

静脈還流の規定因子：上大  
静脈血流の呼吸性変動から  
の分析

Factors regulating ve-  
nous return: Analysis  
based on the respiratory  
variations of superior  
vena caval flow

戸田 博敏  
泉 司郎  
小林 茂雄  
太田 哲郎  
越智 弘  
島田 俊夫  
村上 林児  
盛岡 茂文  
森山 勝利

Hirotohi TODA  
Shiro IZUMI  
Shigeo KOBAYASHI  
Tetsuro OHTA  
Hiroshi OCHI  
Toshio SHIMADA  
Rinji MURAKAMI  
Shigefumi MORIOKA  
Katsutoshi MORIYAMA

**Summary**

Characteristics of venous return and its determining factors were observed using pulsed Doppler echocardiography. Superior vena caval (SVC) flow was regarded as representing venous return. Ten healthy subjects and 23 patients with chronic pulmonary disease were studied.

1. In the healthy subjects, the forward flow was biphasic with dominant systolic (S) wave. Among 23 patients, 18 had normal SVC flow patterns (Group I), while in the remaining 5, SVC flow showed disappearance of the diastolic (D) wave, or both the D and S waves (Group II).

2. The healthy subjects and Group I patients had negative pleural pressures during inspiration and expiration. Consistent findings in Group II patients included positive pleural pressures during expiration and reduction in FEV<sub>1.0</sub>%. In the normal subjects and Group I patients, right atrial (RA) pressure was less than the pressure of the subclavian vein (ScV) during an entire respiratory phase. However, in Group II, RA pressure was equal to or greater than ScV pressure during expiration, resulting in disappearance or reversal of the S and D waves.

3. Respiratory variation in pleural pressure correlated significantly with that of the S wave ( $r=0.77$ ) ( $p<0.005$ ), D wave ( $r=0.80$ ) ( $p<0.005$ ), x descent of RA pressure ( $r=0.77$ ) ( $p<0.005$ ), and y descent of RA pressure ( $r=0.82$ ) ( $p<0.005$ ).

The present study clearly confirmed that the superior vena caval flow patterns were closely correlated with right heart hemodynamics and truly reflected the effects of pleural pressure.

**Key words**

Venous return

Superior vena cava

Pleural pressure

Pulsed Doppler echocardiography

はじめに

静脈血液は胸腔および腹腔内圧の作用により右房に還流している<sup>1)</sup>。この静脈還流は胸腔内圧に異常のない限り、心臓側の条件に規定されていると考えられる。また姿勢も静脈還流に影響を与え、仰臥位で血流は最も安定している。しかし、静脈還流の呼吸性変動、特に胸腔内圧の変動との関係はまだ必ずしも明確にされていない。

この点に関し、我々はすでに超音波パルス・ドップラー法を用いた慢性閉塞性肺疾患患者の上大静脈血流の分析を行なって、胸腔内圧が静脈還流に大きな影響を及ぼしている可能性を報告してきた<sup>2)</sup>。さらに今回は、1) 血行動態が最も安定している仰臥位における安静呼吸下の静脈還流を、超音波パルス・ドップラー法による上大静脈血流波形により観察し、2) 静脈還流を規定している因子を、胸腔内圧、肺機能、右心血行動態から分析したので報告する。

対象と方法

対象は肺機能、心電図、胸部 X 線写真、心臓超音波検査で異常を認めなかった健常者 10 例(男 5 例, 女 5 例, 年齢 50~68 歳, 平均 59 歳), および肺活量比 (%VC) ないし 1 秒率 (FEV<sub>1.0</sub>%) に異常を示す肺疾患患者 23 例(男 18 例, 女 5 例, 年齢 38~77 歳, 平均 66 歳)である。換気機能障害は FEV<sub>1.0</sub>% が 70% 以下, かつ %VC が 80% 以上を閉塞性換気障害, FEV<sub>1.0</sub>% が 70% 以上, かつ %VC が 80% 以下を拘束性換気障害, FEV<sub>1.0</sub>% が 70% 以下, かつ %VC が 80% 以下を混合性換気障害とした。肺疾患例の内訳は閉塞性換気障害 14 例, 拘束性換気障害 4 例, 混合性換気障害 5 例であった。

静脈還流は超音波パルス・ドップラー法による上大静脈血流波形により観察した。使用した超音

波装置は東芝製 SSH-65A である。使用探触子周波数は 2.5 MHz, 100 Hz 以下の低周波成分はフィルターで除去した。ドップラー検査の施行にあたっては、被検者を安静仰臥位にし、探触子を右鎖骨上窩に置き、上大静脈の長軸断面を描出し、サンプリングの位置を探触子下 5~7 cm の深さに設定した。呼吸は安静呼吸とし、上大静脈血流を呼吸曲線、心電図とともに記録した。上大静脈波形からは収縮期 S 波, 拡張期 D 波の呼吸性変動を観察し、それぞれの最大流速を吸気時および呼気時で計測し、その差をそれぞれ呼吸による変動  $\Delta S$ ,  $\Delta D$  とした。

健常者 10 例のうち 9 例, 肺疾患例 23 例のうち 18 例に右心カテーテル検査を施行し、各種血行動態を求めた。またこのうち健常者 8 例, 呼吸器患者 15 例に胸腔内外の静脈圧, すなわち右房および右鎖骨下静脈圧およびその圧較差を測定した。右房圧からは x 谷, y 谷の値を吸気, 呼気で計測し、それぞれその呼吸性変動  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  を求めた。

全例に食道バルーン法による胸腔内圧測定を行なった<sup>13)</sup>。食道内在バルーンは日本光電製 TY-101U を使用し、Toyo Baldwin 製低圧用トランスデューサー LPUO 1 に接続し、増幅器はフクダ電子製 Physiograph MCM-300 を使い、東芝製ストリップチャートレコーダー SR-20B で記録した。被検者を坐位として経鼻的にバルーンを 45 cm 挿入し、バルーン内空気容量は 0.5 ml とし、食道内圧の呼気時, 吸気時の値およびその呼吸性変動  $\Delta PPL$  を計測した。

統計解析: 2 群間の比較には Student's t-test を用いた。各測定値は平均値±標準偏差で記載し、 $p < 0.05$  を統計学的有意とした。

## 結 果

### 1. 上大静脈血流波形

健常者では呼気時に収縮期 S 波, 拡張期 D 波の流速は低下した (Fig. 1A 上段). 肺疾患例では健常者と同様の呼吸性変動を示す群 18 例 (肺疾患 I 群) (Fig. 1B 上段) と, 健常の呼吸性変動を示さない群 5 例 (肺疾患 II 群) とに分類された. 肺疾患 II 群には呼気時に D 波が消失ないしは逆転する 2 例 (Fig. 1C 上段), もしくは S 波, D 波いずれも消失ないしは逆転する 3 例 (Fig. 1D 上段) が認められた.

S 波は吸気時には健常者, 肺疾患例それぞれ,  $40.5 \pm 10.5$  cm/sec,  $49.9 \pm 16.1$  cm/sec で, 肺疾患例で大きい傾向にあった. 呼気時には健常者, 肺疾患例それぞれ  $28.4 \pm 11.4$  cm/sec,  $15.0 \pm 11.9$  cm/sec で, 健常者で有意に大きかった ( $p < 0.01$ ).

D 波は吸気時には健常者, 肺疾患例それぞれ  $26.7 \pm 5.8$  cm/sec,  $39.2 \pm 14.7$  cm/sec で, 肺疾患例で有意に大きかった ( $p < 0.05$ ). 呼気時には健常者, 肺疾患例それぞれ  $17.4 \pm 5.2$  cm/sec,  $8.3 \pm 6.5$  cm/sec で, 健常者で有意に大きかった ( $p < 0.001$ ). S 波, D 波の呼吸性変動  $\Delta S$ ,  $\Delta D$  は健常者はそれぞれ  $12.1 \pm 5.2$  cm/sec,  $9.2 \pm 5.7$  cm/sec, 肺疾患例では  $34.9 \pm 18$  cm/sec,  $30.9 \pm 18.9$  cm/sec で,  $\Delta S$ ,  $\Delta D$  はいずれも肺疾患例で有意に大きかった ( $p < 0.005$ ).

### 2. 上大静脈血流波形と右心系血行動態

健常者および肺疾患 I 群では呼気時に右房圧が上昇し, 右房-鎖骨下静脈圧較差が軽度減少した. その結果, 上大静脈血流の S 波, D 波が小となった (Figs. 1A, B). 肺疾患 II 群では全例呼気時に右房圧が鎖骨下静脈圧を凌駕し, その結果, 上大静脈血流の D 波もしくは S 波, D 波が消失した (Figs. 1C, D). 右房圧の x 谷の呼吸による変動  $\Delta x$  は, 健常者では  $2.6 \pm 1.2$  mmHg, 肺疾患例では  $6.4 \pm 4.3$  mmHg で, 肺疾患で有意に大であった ( $p < 0.05$ ). y 谷の呼吸による変動  $\Delta y$  は, 健常者では  $2.8 \pm 1.6$  mmHg, 肺疾患例で

は  $5.9 \pm 4.6$  mmHg と, 肺疾患例で大きい傾向にあった.

### 3. 上大静脈血流波形と胸腔内圧

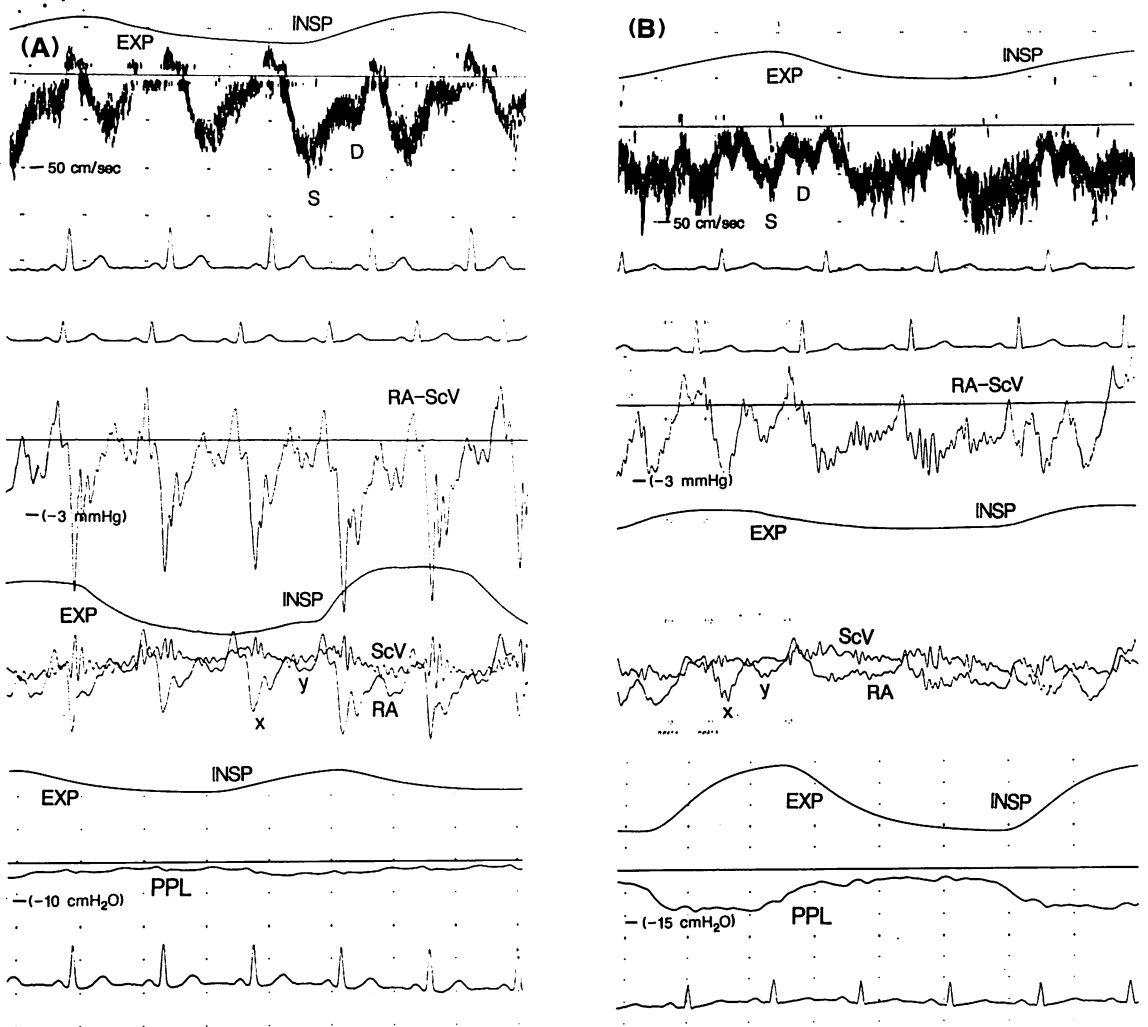
健常者および肺疾患 I 群では胸腔内圧は吸気時, 呼気時いずれも陰圧であったが, 肺疾患 II 群では全例呼気時に陽圧であった (Figs. 1, 2). 健常者では胸腔内圧は吸気時, 呼気時それぞれ  $-7.5 \pm 2.6$  cmH<sub>2</sub>O,  $-2.7 \pm 1.2$  cmH<sub>2</sub>O で, 肺疾患例ではそれぞれ  $-9.3 \pm 2.6$  cmH<sub>2</sub>O,  $-2.0 \pm 2.9$  cmH<sub>2</sub>O と吸気時は肺疾患例で, 呼気時は健常者でより陰圧度が大きい傾向がみられた. 胸腔内圧の呼吸性変動  $\Delta PPL$  は, 健常者で  $4.9 \pm 2.0$  cmH<sub>2</sub>O, 肺疾患例で  $7.3 \pm 3.9$  cmH<sub>2</sub>O と, 肺疾患例で大きい傾向にあった (Fig. 2).  $\Delta PPL$  と  $\Delta S$ ,  $\Delta D$ ,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  の間には, それぞれ  $r = 0.77$ ,  $0.80$ ,  $0.77$ ,  $0.82$  の有意な相関がみられた ( $p < 0.005$ ) (Figs. 3, 4).

### 4. 上大静脈血流波形と肺機能

肺疾患 II 群はすべて FEV<sub>1.0</sub>% が 70% 以下の例であった. FEV<sub>1.0</sub>% が 70% 以上の肺疾患例は, 健常者と同じ上大静脈血流波形を示す肺疾患 I 群に含まれていた (Fig. 5).

## 考 按

静脈還流を促す因子として cardiac suction, respiratory suction の概念がある<sup>4)</sup>. 前者は心室拡張期における心房より心室への血液流入による右房圧の低下, および心室収縮期に房室弁輪が心室側へ移動することによる右房圧の低下によるもの, 後者は吸気時の胸腔内圧陰圧度増大によるものである<sup>4)</sup>. 本研究では静脈還流を超音波パルス・ドップラー法による上大静脈血流波形で観察した. 上大静脈血流波形は, 侵襲的方法<sup>5-7)</sup>同様, 非侵襲的にも超音波パルス・ドップラー法により容易に記録されるようになり, 右心系血液流入動態の解析に応用されるようになってきた<sup>8-11)</sup>. 正常の上大静脈波形は, 1) 心房収縮による小さな逆行性血流 A 波<sup>8,9)</sup>, 2) 心室収縮期の心房弛緩および三尖弁輪の心室側への引き込みによる<sup>9-11)</sup> 順



**Fig. 1. Superior vena caval (SVC) flow patterns in comparison to pleural pressure and the pressure difference between intra- and extrathoracic veins.**

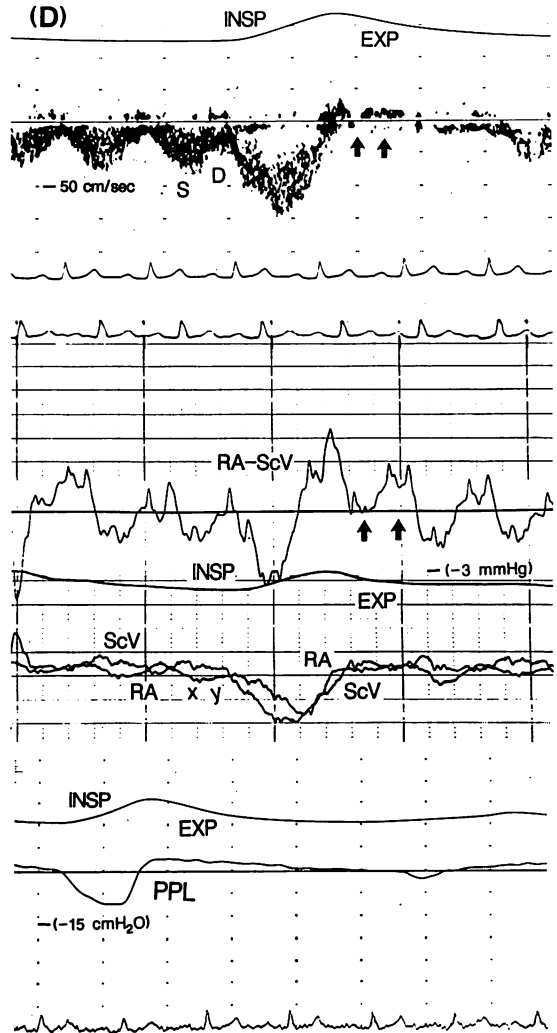
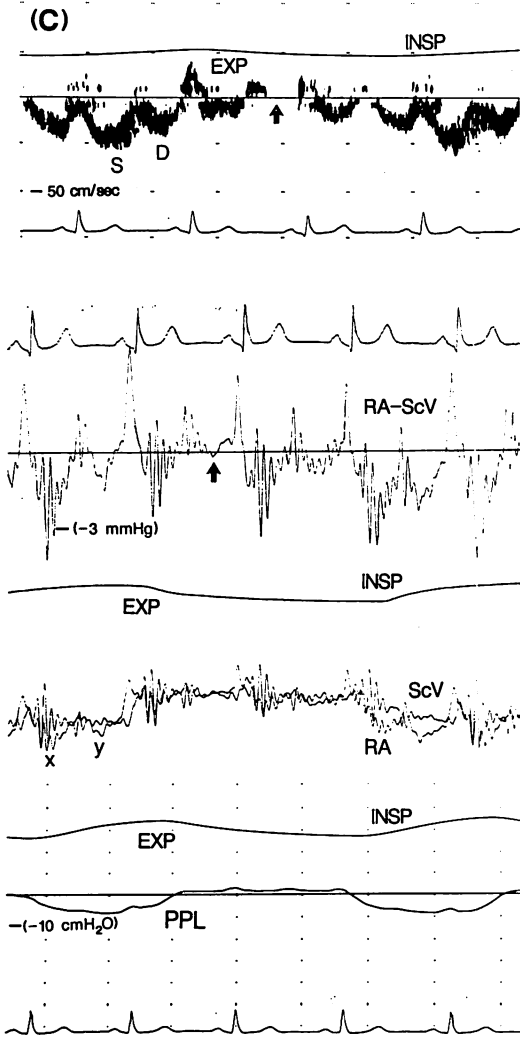
A: A healthy subject. Velocity of the S and D waves decreases during expiration. B: A patient with pulmonary disease. C: A patient with pulmonary disease. An abnormal flow pattern including disappearance of the D wave during expiration. Note that pleural pressure is positive during expiration.

D: A patient with pulmonary disease. An abnormal flow pattern including disappearance of the S

行性血流 S 波, 3) 心室拡張期の三尖弁開放, 心室流入による<sup>8,11)</sup>順行性血流 D 波より構成され, S 波のピーク流速は D 波のピーク流速より大きい<sup>2,9)</sup>. また異常パターンを示す病的状態として, 心タンポナーデ<sup>10,11)</sup>, 三尖弁閉鎖不全<sup>11)</sup>, 開心

術後<sup>11)</sup>, 重篤な僧帽弁閉鎖不全<sup>11)</sup>, 収縮性心膜炎<sup>11,12)</sup>, 拘束性心筋症<sup>12)</sup>, などが報告されてきた.

我々は先に報告したごとく<sup>2)</sup>, 健常者においては吸気, 呼気とも S 波が D 波より大きく, S 波,

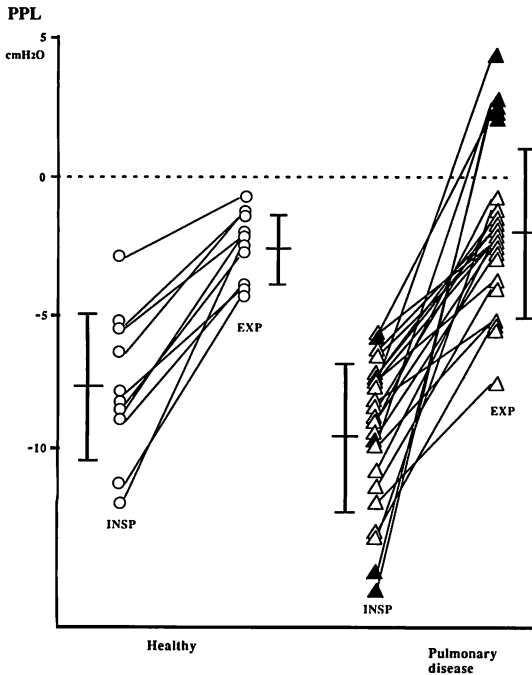


and D waves during expiration corresponds to the rise of right atrial pressure (arrows.) Note that pleural pressure is positive during expiration.

EXP=expiration; INSP=inspiration; S=systolic forward flow wave; D=diastolic forward flow wave; RA=right atrial pressure; x=x descent of RA; y=y descent of RA; ScV=pressure of subclavian vein; RA-ScV=pressure gradient between RA and ScV; PPL=pleural pressure.

D波とも呼気で低下することを認めた。Appletonら<sup>9)</sup>もほぼ同様の結果を報告している。この呼吸性変動は胸腔内圧の変動とよく一致している。つまり胸腔内圧が静脈還流の規定因子の一つであるといえる。肺疾患例についても、重篤な気道閉塞

のある場合、例えば慢性閉塞性肺疾患患者あるいは気管支喘息患者の発作時においては、健常者あるいは気管支喘息の非発作時に比し、胸腔内圧の呼吸性変動が大きいという報告があり<sup>13,14)</sup>、今回の我々の成績もほぼ同様であった。特に吸気時陰



**Fig. 2. Respiratory variations in pleural pressure.**

Open circles, open triangles and closed triangles indicate healthy subjects, patients in Groups I and II, respectively.

EXP=expiration; INSP=inspiration.

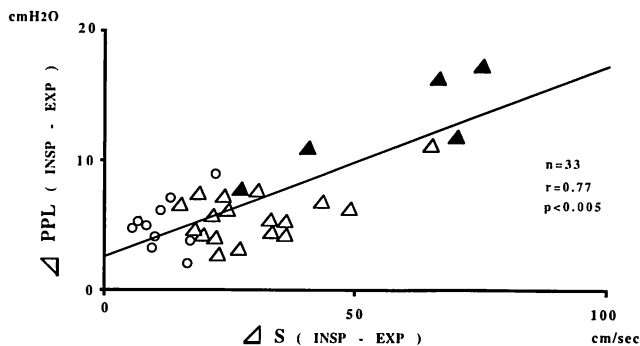
圧から呼気時陽圧に変化した肺疾患 II 群の肺機能は、全例、閉塞性ないしは混合性換気障害、すなわち  $FEV_{1.0\%}$  が低下していた。つまり  $FEV_{1.0\%}$  の低下が呼気時の胸腔内圧上昇を来している<sup>14)</sup>。

今回、胸腔内圧は食道内圧で代用したが、胸腔内圧は体位により異なり<sup>15)</sup>、直立位による食道内圧が胸腔内圧を最も正しく反映している<sup>3,15)</sup>。今回は、坐位における食道内圧を胸腔内圧としたが、特に問題はないと考えられる。

胸腔内圧上昇は心拍出量を減少させると報告されている<sup>16-20)</sup>。その機序としては、1) 胸腔内圧の上昇により、右房圧、上大静脈の圧が増加し静脈還流が低下する<sup>16-18)</sup>、2) 肺容量の増大により肺血管抵抗が上昇し、右室の後負荷の変化が結果的に右房圧の上昇につながる<sup>20)</sup>ことが考えられている。

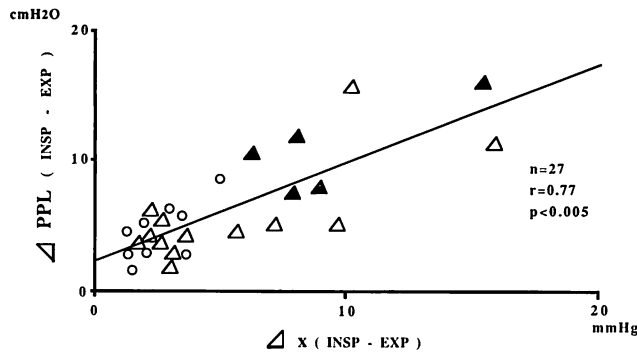
本研究においても、 $\Delta PPL$  が  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  と良く相関したことから、胸腔内圧が右房圧そのものを規定していることが示された。すなわち、胸腔内圧の増減による右房圧の増減が静脈還流を変化させた大きな成因であった。胸腔内圧の増減により胸腔内外圧較差が変化し、右房への血液流入が規定され、この胸腔内圧を上昇させる成因が  $FEV_{1.0\%}$  の低下であるといえる。

今回、上大静脈血流波形の収縮期、拡張期の各



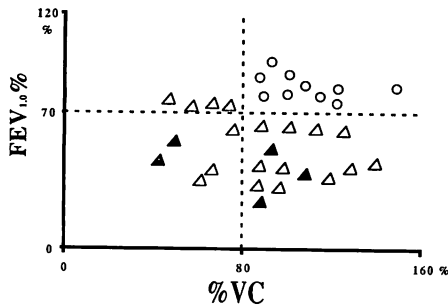
**Fig. 3. Relationship between variations of pleural pressure ( $\Delta PPL$ ) and systolic waves ( $\Delta S$ ) during respiration.**

Symbols are the same as in Fig. 2.



**Fig. 4. Relationship between variations of pleural pressure ( $\Delta PPL$ ) and the x descent of right atrial pressure ( $\Delta x$ ) during respiration.**

Symbols are the same as in Fig. 2.



**Fig. 5. Superior vena caval (SVC) flow patterns in relation to pulmonary function.**

Note that patients who have abnormal SVC flow patterns show a reduction in  $FEV_{1.0}\%$ .

Symbols are the same as in Fig. 2.

成分を分析することによって、いずれの時相においても、胸腔内圧が胸腔内外静脈圧較差を規定し、ひいては静脈還流を規定する主要因子であることが明らかとなった。今回の検討は循環動態の最も安定した仰臥位で行なったが、人間は様々な体位をとる。立位、坐位で静脈還流の様相も変わってくるであろう。また、呼吸による腹圧の変化で、下大静脈からの静脈還流も影響されるであろう。これらは今後検討すべき問題である。

要 約

健常者および肺疾患例において、静脈還流を規

定している因子を超音波パルス・ドップラー法による上大静脈血流波形の呼吸性変動から分析した。この上大静脈血流波形に対する食道内圧(=胸腔内圧)、胸腔内外の静脈圧較差、肺機能の影響を検討した。

1. 健常者での上大静脈血流は呼気時に収縮期 S 波、拡張期 D 波の二相性を示した。肺疾患例では健常者と同様の呼吸性変動を示す群(肺疾患 I 群)と、呼気時に D 波のみ、もしくは S 波、D 波いずれも消失ないし逆転する群(肺疾患 II 群)が認められた。

2. 胸腔内圧は健常者および肺疾患 I 群では、呼気時も陰圧であったが、肺疾患 II 群では全例呼気時に陽圧であり、同群の肺機能では閉塞性ないしは混合性換気障害、すなわち全例  $FEV_{1.0}\%$  が低下していた。健常者および肺疾患 I 群では呼気時、吸気時いずれも鎖骨下静脈圧が右房圧より高かったが、肺疾患 II 群では呼気時に右房圧が鎖骨下静脈圧を凌駕した。

3. 胸腔内圧の呼吸による変動  $\Delta PPL$  と、上大静脈血流の呼吸による変動  $\Delta S$ ,  $\Delta D$  および右房圧の x 谷, y 谷の呼吸による変動  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  の間には、いずれにおいても有意な相関がみられた ( $p < 0.005$ )。

4. 前 3 項の事実から帰納して、静脈の胸腔内への還流は胸腔内外の静脈圧較差により規定さ

れ, この胸腔内の静脈圧は胸腔内圧そのものに規定されているといえる.

文 献

- 1) Stegall HF: Muscle pumping in the dependent leg. *Circ Res* **19**: 180-190, 1966
- 2) 小林茂雄, 泉 司郎, 戸田博敏, 太田哲郎, 越智弘, 松野好男, 村上林児, 盛岡茂文, 森山勝利: 肺疾患における静脈還流異常: 上大静脈血流の呼吸性変動からの分析. *J Cardiol* **21**: 1009-1015, 1991
- 3) Milic-Emili J, Mead J, Turner JM, Glauser EM: Improved technique for estimating pleural pressure from esophageal balloons. *J Appl Physiol* **19**: 207-211, 1964
- 4) Guyton AC, Johns CE, Coleman TG: *Circulatory Physiology*. 2nd ed, WB Saunders, Philadelphia, London, Toronto, 1973, p173
- 5) Gabe IT, Gault JH, Ross J Jr, Mason DT, Mills CJ, Shillingford JP, Braunwald E: Measurement of instantaneous blood flow velocity and pressure in conscious man with a catheter-tip velocity probe. *Circulation* **40**: 603-614, 1969
- 6) Wexler L, Bergel DH, Gabe IT, Makin GS, Mills CJ: Velocity of blood flow in normal human venae cavae. *Circ Res* **23**: 349-259, 1968
- 7) Benchimol A, Stegall HF, Gartlan JL, Barreto EC, Goldstein MR, Sandoval J: Right atrium and superior vena cava flow velocity in man measured with the Doppler-catheter flowmeter-telemetry system. *Am J Med* **57**: 930-939, 1970
- 8) Cohen ML, Cohen BS, Kronzon I, Lighty GW, Winer HE: Superior vena caval blood flow velocities in adults: A Doppler echocardiographic study. *J Appl Physiol* **61**: 215-219, 1986
- 9) Appleton CP, Hatle LK, Popp RL: Superior vena cava and hepatic vein Doppler echocardiography in healthy adults. *J Am Coll Cardiol* **10**: 1032-1039, 1987
- 10) Appleton CP, Hatle LK, Popp RL: Cardiac tamponade and pericardial effusion: Respiratory variation in transvalvular flow velocities studied by Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* **11**: 1020-1030, 1988
- 11) Sivaciyan V, Ranganathan N: Transcutaneous Doppler jugular venous flow velocity recording. *Circulation* **57**: 930-939, 1978
- 12) Appleton CP, Hatle LK, Popp RL: Demonstration of restrictive ventricular physiology by Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* **11**: 757-768, 1988
- 13) Olgiati R, Atchou G, Cerretelli P: Hemodynamic effects of resistive breathing. *J Appl Physiol* **60**: 846-853, 1986
- 14) Blaustein AS, Risser TA, Weiss JW, Parker JA, Holman BL, McFadden ER: Mechanisms of pulsus paradoxus during resistive respiratory loading and asthma. *J Am Coll Cardiol* **8**: 529-536, 1986
- 15) Mead J, Gaensler EA: Esophageal and pleural pressures in man, upright and supine. *J Appl Physiol* **14**: 81-83, 1959
- 16) Lutch JS, Murray JF: Continuous positive-pressure ventilation: Effects on systemic oxygen transport and tissue oxygenation. *Ann Intern Med* **76**: 193-202, 1972
- 17) Ashbaugh DG, Petty TL: Positive end-expiratory pressure. *J Thoracic Cardiovasc Surg* **65**: 165-170, 1973
- 18) Kumar A, Falke KJ, Geffin B, Aldredge CF, Laver MB, Lowenstein E, Pontoppidan H: Continuous positive-pressure ventilation in acute respiratory failure. *N Engl J Med* **283**: 1430-1436, 1970
- 19) Lloyd TC Jr: Mechanical cardiopulmonary interdependence. *J Appl Physiol: Resp Environ Exercise Physiol* **52**: 333-339, 1982
- 20) Scharf SM, Cardini P, Ingram RH: Cardiovascular effects of increasing airway pressure in the dog. *Am J Physiol* **232**: H35-H43, 1977