

左心室拡張期動態に与える
気道内圧の影響：とくに奇
脈との関連について

Effect of intraairway
pressure on the left
ventricular diastolic per-
formance: With special
reference to pulsus para-
doxus studied by M-
mode and cross-sec-
tional echocardiography

中島 明雄
多田 利彦
佐田 孝治*
阿武 義人*
塔間 陽一*
松崎 益徳*
楠川 禮造*

Akio NAKASHIMA
Toshihiko TADA
Kouji SADA*
Yoshito ANNO*
Youichi TOUMA*
Masunori MATSUZAKI*
Reizo KUSUKAWA*

Summary

Quantitative effect of intraairway pressure (Paw) on the left ventricular diastolic performance was investigated in 5 normal subjects. The left ventricular diastolic performance in the first heart beat after the beginning of Mueller maneuver was rather different from that of control performance in which Paw is 0 cm H₂O. The short axis cross-sectional echocardiogram indicated that diastolic configuration of the left ventricle during the earlier stage of Mueller maneuver was flattened due to shortening of the dimension between the interventricular septum and the free wall (DIVS-FW), while that of normal state was nearly circular.

In short axis cross-sectional echocardiographic studies, exponential relations between Paw and three parameters obtained were observed as follows:

- 1) $D_{II}/D_{I} \cdot (IVS-FW) = 1.246 \cdot e^{6.435 \times 10^{-3} \cdot P_{aw}}$ (n=27, r=0.879, p<0.001)
- 2) $D_{IVS-FW}/D_{AW-PW} = 0.949 \cdot e^{5.72 \times 10^{-3} \cdot P_{aw}}$ (n=27, r=0.885, p<0.001)
- 3) $A_{II}/A_{I} = 1.578 \cdot e^{7.078 \times 10^{-3} \cdot P_{aw}}$ (n=27, r=0.884, p<0.001)

済生会下関総合病院 内科
下関市貴船町3 (〒751)
*山口大学医学部 第二内科
宇部市小串1144 (〒755)

Department of Internal Medicine, Saiseikai Shimonoseki Hospital, Kifune 3, Shimonoseki 751
*The Second Department of Internal Medicine, Yamaguchi University School of Medicine

Presented at the 18th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, April 2-3, 1979
Received for publication August 13, 1979

Whereas, $D_{II}/D_{I} \cdot (AW-PW)$ did not show a significant relation with Paw . (D_{IVS-FW} =interventricular septum to free wall dimension of the left ventricle; D_{AW-PW} =diagonal dimension of D_{IVS-FW} ; A =left ventricular area in the short axis cross-sectional echocardiogram measured by zero setting roller planimeter; I =end-systole; II =early diastole, Paw =negative and expressed in cmH_2O).

In Mueller maneuver, augmentation of right ventricular volume and diminution of left ventricular volume seemed to occur concomitantly and pulsus paradoxus was always observed. It was speculated that the decrease of pulmonary venous return due to pulmonary pooling was always followed by the decrease of mitral flow and, in turn, left ventricular end-diastolic volume, and such a decrease of flow seemed to be the primary factor of pulsus paradoxus seen in cases with upper airway obstruction.

Key words

Pulsus paradoxus Mueller maneuver Intraairway pressure Pulmonary venous pooling
Airway obstruction

緒 言

循環動態に与える呼吸の影響に関する研究報告は数多いが¹⁻³⁾, これらの研究は臨床的あるいは実験的に⁴⁾, 主として心臓カテーテル法を用いて呼吸による血流の変化⁵⁾や心室内圧の変化^{6,7)}を論じたものか, 心筋内マーカー植え込みによる心室径の測定^{8,9)}を行ったものである. 最近心エコー図を使用して, 呼吸と心動態との関係を呈示した報告¹⁰⁾はあるものの, 正常人において, 心室拡張期動態と気道内圧との相互関係を定量的に論じた報告は見当たらない.

また慢性閉塞性肺炎患者もしくは上気道閉塞時に, 臨床上的奇脈が観察されることはよく知られてはいるが^{11,12)}, この奇脈の成因に関してはまだ定説はない.

今回, 我々は正常人を対象として, 上気道閉塞時に出現する奇脈の成因を検討するとともに, 左室拡張期動態と気道内圧との定量的関係を断層心エコー図を用いて検討したので報告する.

対象および方法

5名の健常男子を対象とした. 平均年齢は 27 ± 2.2 歳である. 被験者に仰臥位にて安静呼吸より気道内圧 (intraairway pressure: Paw) を急激に陰圧化するいわゆるミュラー試験 (Mueller

maneuver) を行わせ, このさい M モード心エコー図もしくは断層心エコー図および心電図, 肺気量位曲線, 呼吸流量曲線さらに気道内圧曲線を同時に記録した. これらの呼吸曲線は日本光電製 Fleish 型 pneumotachometer を用いて記録した. 気道内圧は声門開放下において気流がない時の口腔内圧に等しいので¹³⁾, 口腔内圧を測定した. なお被験者の声門開放状態をチェックするために, 被験者の口腔とマウスピースを介して連結された pneumotachometer の電磁弁より, $0.5 \sim 0.8$ l/分の気流漏れが生じるようにした. 気道内圧曲線は, 4 Hz の気道内圧変化に対しても忠実に圧を反映することが確認されている.

ミュラー試験開始直後の左室拡張期動態と Paw との定量的関係を求めるために, 断層心エコー図短軸像に関して心内膜エコーを smoothing し, 心室中隔 (IVS) 中央より左室の中央を通過し自由壁 (FW) へ至る径 (D_{IVS-FW}) と, これに直交し, かつ左室の中央を通過する前壁 (AW), 後壁 (PW), 径 (D_{AW-PW}), これらの比 (D_{IVS-FW}/D_{AW-PW}), および左室断面積 (A) の4種のパラメーターを計測した. これら4種のパラメーターの測定は心周期の収縮終期, 拡張早期および拡張終期での時相で行った. 収縮終期は断層心エコー図短軸像において左室断面積が最小の時点と見なし, 拡張早期は拡張期を3等分した初期 1/3 の時点と

し、拡張終期は心電図上 R 棘と一致する時点とした。

左室の断面積は帰零式プランメーターで計測した。これらの4種のパラメーターを収縮終期 (I) に対する拡張早期 (II) の比 $[D_{II}/D_{I} \cdot (IVS-FW)]$, $[D_{II}/D_{I} \cdot (AW-PW)]$, $[DIVS-FW/DAW-PW \cdot II]$, $[A_{II}/A_{I}]$ で示し、Paw との定量的関係を求めた。

ミューラー試験開始時期のバラツキの影響を少なくするため、心周期の収縮期に一致するよう試験を開始し、続く左室拡張期動態を計測した。

用いた M モード心エコー図は Aloka 製 SSD-80 でフクダ電子製 ECO-125 記録器にて、紙送り速度 50 または 100 mm/sec で記録した。断層心エコー図には東芝製電子走査形超音波診断装置セクター式 SSH-11A を用いた。動画像は Sony 製ポータブルカメラ AVC-1500 を用い、Victor 製 U-matic 3/4 インチカセットビデオ記録器 CR-6060 にて連続記録した。個々の断層心エコー像はテレビモニターより直接写真撮影を行った。なお、断層心エコー図に心電図および気道内圧曲線を同時記録できるように、装置の参考信号同時記録回路を一部改修した。

結 果

1. M モード心エコー図による検討

仰臥位における安静呼吸下では、心室中隔は心周期とは無関係に、緩やかな周期を有する動きをも示し、同時記録した肺気量曲線 (volume) の周期とよく一致していた。吸気相に心室中隔は後方運動を示し、呼気相には前方運動を示した (Fig. 1)。この心室中隔の緩徐な前後運動は、呼吸を停止し、気道内圧 (Paw) を一定に保持すると消失した。心室中隔の後方への一過性偏位は、呼吸停止中においても、気道内圧 Paw を急激に陰圧化するミューラー試験によっても容易に生じ、その後方偏位の程度は Paw の陰圧の程度に依存していると思われた (Fig. 2)。さらに Paw=0 cmH₂O の時の左室拡張期動態をコントロールとして、試験開始に続く左室拡張期動態を検討すると、コントロール時に認められる左室後壁の拡張早期の急激な後方運動が、試験時には消失するかもしれない減少していた。さらに試験開始直後の拡張期僧帽弁動態を観察すると、僧帽弁前尖の振幅の著明な減少が一過性に出現していた (Fig. 3)。

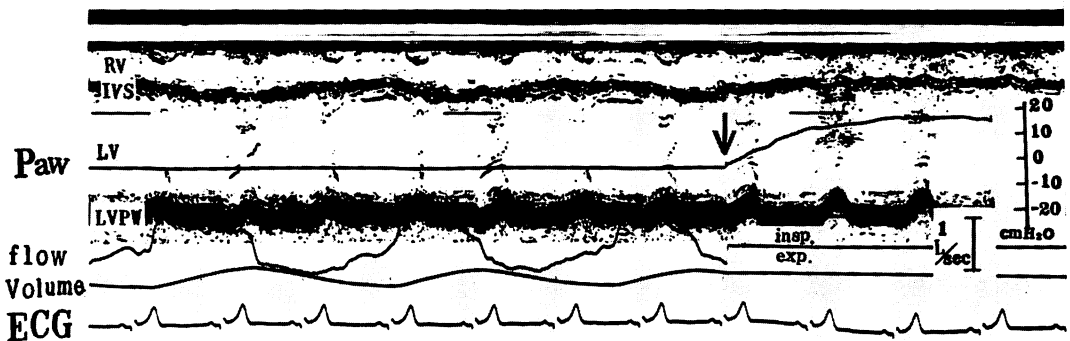


Fig. 1. An example of the M-mode echocardiogram used in the present study.

Undulation of the interventricular septum due to respiration is observed. This disappears, whenever respiration is stopped.

An arrow indicates the point at which airway is occluded by the electric magnetic valve. Paw=intra-airway pressure; flow=respiratory flow; volume=lung volume level; RV=right ventricle; IVS=interventricular septum; LV=left ventricle; LVPW=posterior wall of the left ventricle; insp.=inspiration (above the bar); exp.=expiration (below the bar).

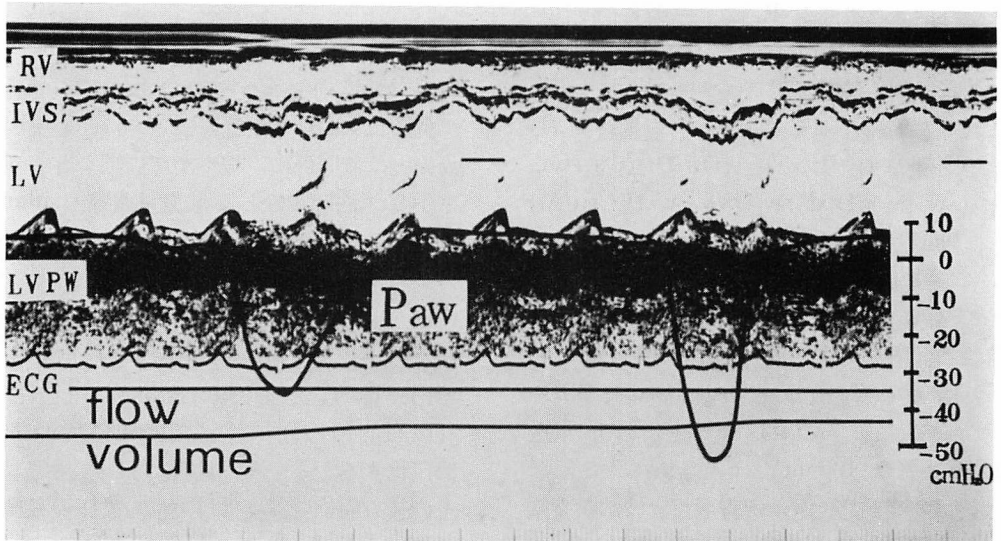


Fig. 2. Transient approach of IVS to LVPW during Mueller maneuver.

Even when respiration is ceased, IVS approaches to LVPW and its degree seems to be dependent on the degree of negativity of P_{aw} . Diastolic performance of LVPW and IVS during Mueller maneuver differs from the normal control.

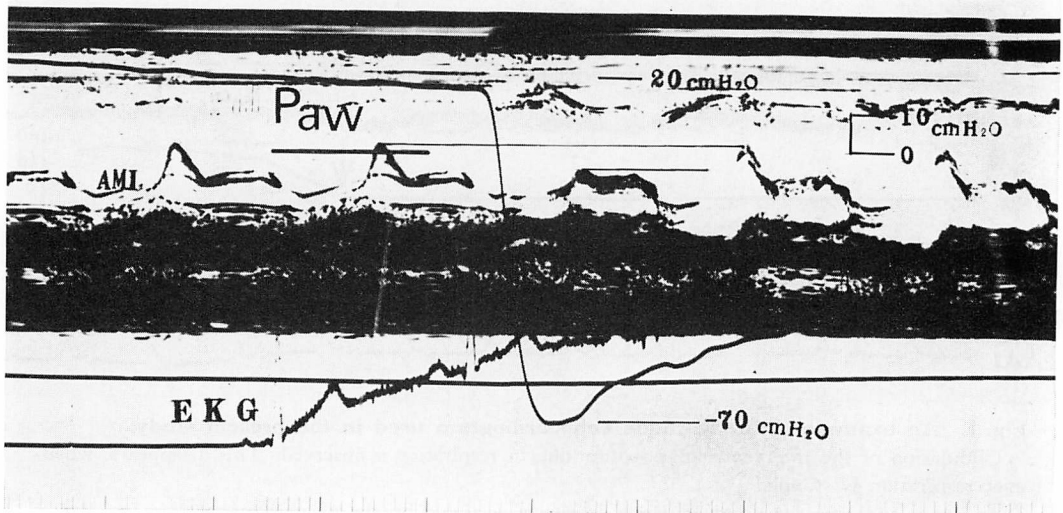


Fig. 3. Anterior mitral leaflet motion during the earlier phase of Mueller maneuver.

The diastolic motion pattern of the anterior mitral leaflet (AML) is different from the normal state, i.e., the excursion is markedly depressed.

2. 断層心エコー図による検討

Fig. 4 は $Paw=0 \text{ cmH}_2\text{O}$ のコントロール時の断層心エコー図長軸方向による左室拡張期動態を収縮終期, 拡張早期, 拡張終期に一致して上段に示し (a), 下段 (b) には試験時のそれらを示したものである。

ミュラー試験開始直後の収縮終期の左房の断面積は, コントロールのそれに比してすでに小さいように思えた (b-I). 拡張早期 (II) において試験時の右室腔はコントロールに比して著明に拡張し, 心室中隔は著しく左室後壁側へ偏位を示すとともに, 僧帽弁前尖の振幅はコントロールに比して著明に減少していた。拡張終期 (III) においてもこれらの所見は持続し, 試験時における長軸方向での左室腔断面積はコントロール時のそれに比して減少しているように見えた。逆に右室腔は試験時に著明に拡張しているように見えた。

短軸方向での断層心エコー図 (Fig. 5) で, コントロール (a) の左室断面像は, 収縮終期 (I), 拡張早期 (II), 拡張終期 (III) のいずれの時相においてもほぼ円形を示したが, 他方試験時の拡張早期には, 左室は著しくひずみ, 類円形を示した。同時に試験時の左室断面積はコントロール時に比し明らかに減少していた。この短軸像において Paw と 4 種のパラメーターとを定量的に解析するため, Fig. 6 に示すように心内膜エコーを smoothing し, おおのこのパラメーターを計測すると, Paw と 4 種のパラメーターとの間には Fig. 7 で示す関係が得られた。 $D_{II}/D_{I} \cdot (IVS-FW)$, D_{IVS-FW}/D_{AW-PW} , A_{II}/A_{I} と Paw とは, 試験時, 指数関数の関係を有し, つぎの式で表わされた。

$$D_{II}/D_{I} \cdot (IVS-FW) = 1.246 \cdot e^{6.435 \times 10^{-3} \cdot Paw}$$

(n=27, r=0.879, p<0.001)

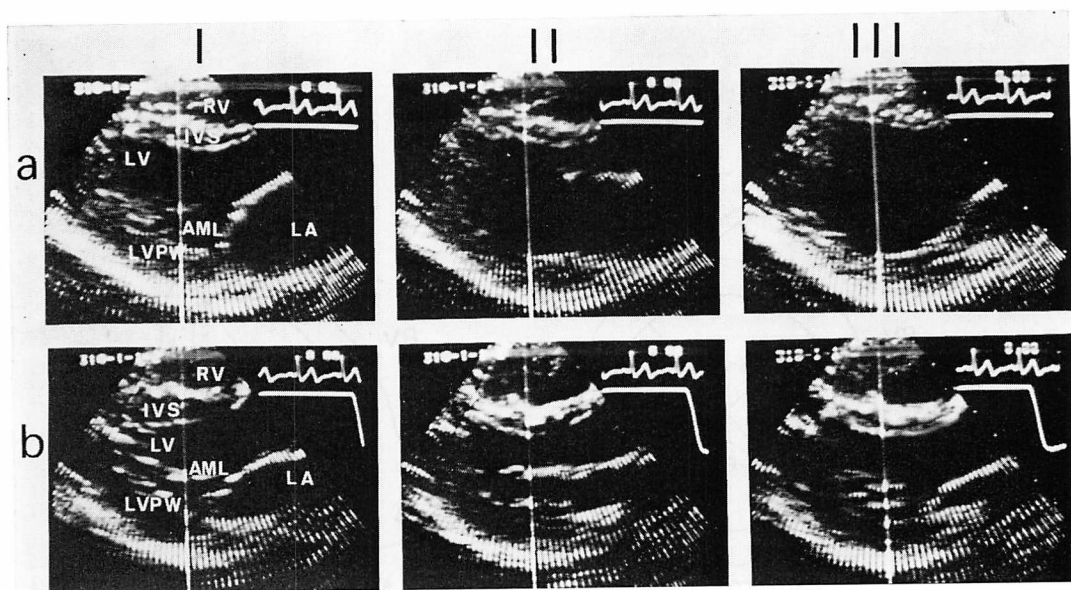


Fig. 4. Long axis cross-sectional echocardiograms demonstrating the change of left ventricular dimension.

End-systolic left ventricular (LV) volume decreases during Mueller maneuver. Top figures (a) are in normal state, in which Paw is nearly $0 \text{ cmH}_2\text{O}$. Bottom figures (b) are during Mueller maneuver. From the left to right, figures are recorded at end-systolic phase (I), early-diastolic phase (II) and end-diastolic phase (III). ECG and Paw curve are simultaneously recorded.

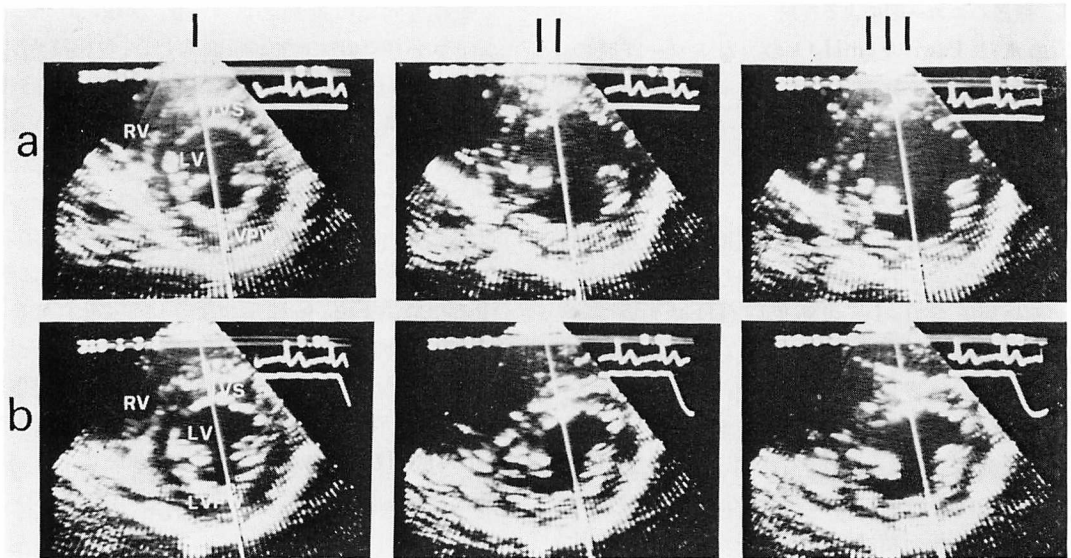


Fig. 5. Short axis cross-sectional echocardiograms demonstrating the change in the shape of the left ventricle.

Distortion or flattening of the left ventricle (LV) at diastolic phase is observed during Mueller maneuver. Diastolic LV flattening is derived from shortening of interventricular septum-to-free wall dimension.

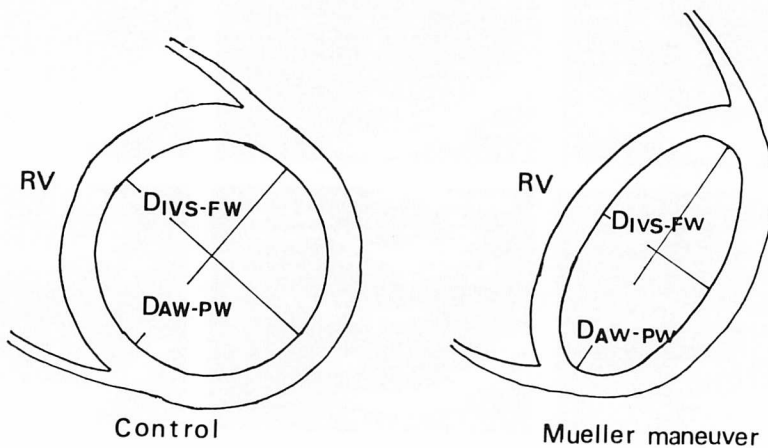


Fig. 6. Schematic representation of configuration of the left ventricle in the control state and during Mueller maneuver.

DIVS-FW is measured from the center of the IVS to the posterior wall of the left ventricle passing through the center of the left ventricle and DAW-PW is measured as the diagonal line of DIVS-FW. The configuration of the left ventricle is flattened during the maneuver.

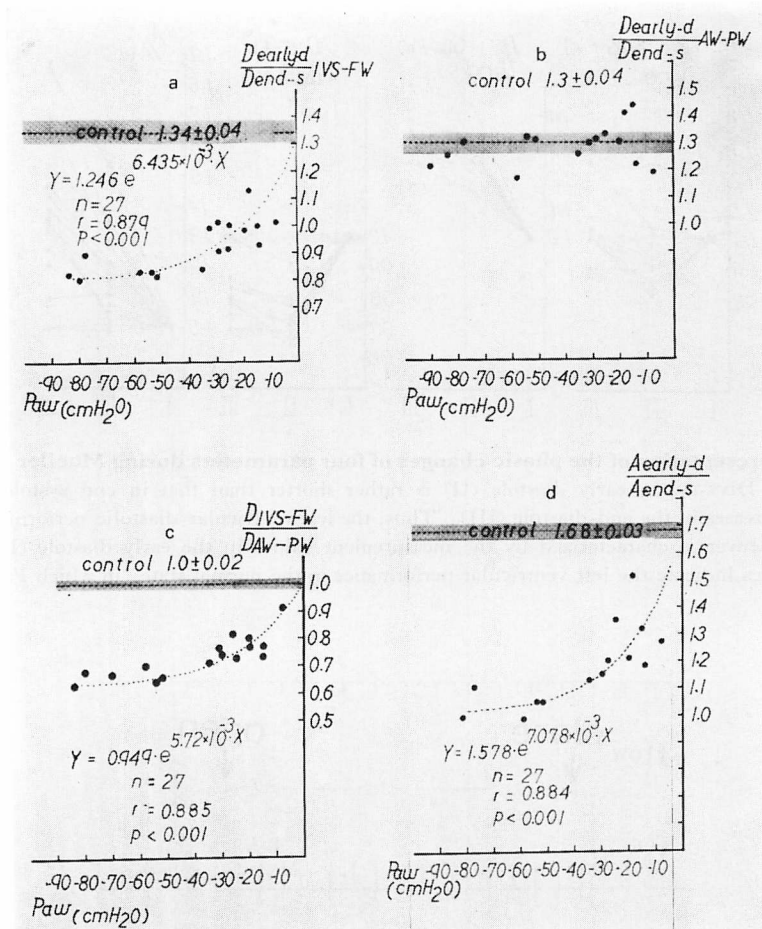


Fig. 7. Relationship between intraairway pressure (P_{aw}) and various parameters.

Three parameters, D_{II}/D_I (vSI-FW), D_{IVS-FW}/D_{AW-PW} and A_{II}/A_I , obtained from short axis cross-sectional echocardiograms, have exponential relation to P_{aw} during Mueller maneuver quantitatively. However, D_{II}/D_I (AW-PW) does not have any significant relation to P_{aw} .

$$D_{IVS-FW}/D_{AW-PW} = 0.949 \cdot e^{5.72 \times 10^{-3} \cdot P_{aw}}$$

($n = 27$, $r = 0.885$, $p < 0.001$)

$$A_{II}/A_I = 1.578 \cdot e^{7.078 \times 10^{-3} \cdot P_{aw}}$$

($n = 27$, $r = 0.884$, $p < 0.001$)

ここで、 P_{aw} はいずれも負の値で、cmH₂Oの単位を有する。e は自然対数の底である。またこれら D_{IVS-FW} , D_{AW-PW} , D_{IVS-FW}/D_{AW-PW} , A の各時相 I, II, III における変化を示した図が Fig. 8 である。試験時、 D_{IVS-FW} は拡張早期にはむしろ収縮終期に比して減少し、拡張終期にや

や増加傾向を示した。 D_{AW-PW} は試験時、コントロール時とも、ほぼ同様なパターンを示し、 P_{aw} には影響を受け難いことが示された。左室短軸断面像でのひずみ率を示す D_{IVS-FW}/D_{AW-PW} 比は拡張早期に著しい低値を示し、その後徐々に増加するパターンを示した。試験時の短軸方向左室断面積 A は拡張早期には急激に増加せず、コントロールに比して低値を示し、その程度は P_{aw} の陰圧の程度に依存した。

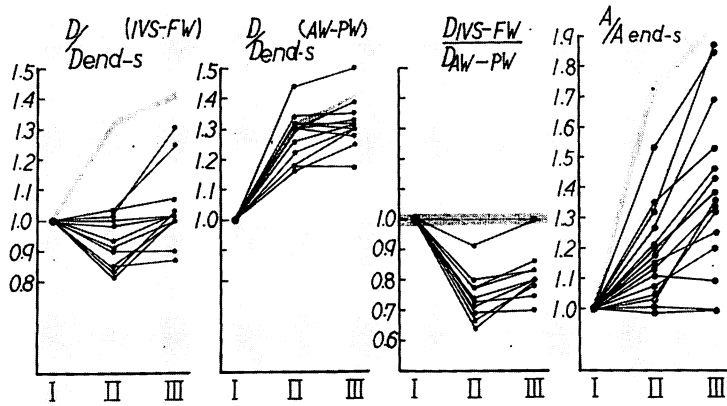


Fig. 8. Representation of the phasic changes of four parameters during Mueller maneuver.

Note that D_{IVS-FW} in early diastole (II) is rather shorter than that in end systole (I), but it gradually increases in the end-diastole (III). Thus, the left ventricular diastolic performance during Mueller maneuver is characterized by the measurement values in the early diastole (II).

Shaded lines indicate the left ventricular performance in the normal state, in which P_{aw} is nearly 0 cmH_2O .

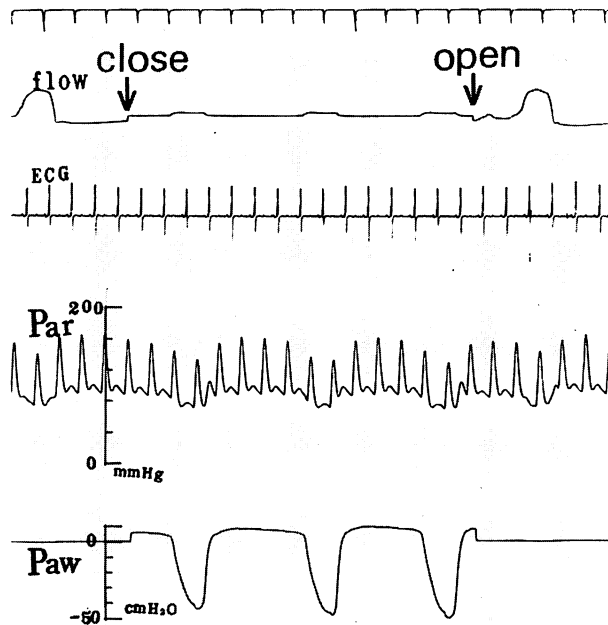


Fig. 9. Pulsus paradoxus observed in a case of upper airway obstruction of the post-operative state.

Upper airway obstruction was due to sputum in the respiratory tube. Note that a decrease of arterial systolic pressure occurs when the intra-airway pressure (P_{aw}) reaches below zero level (similar to Mueller maneuver). Par =femoral arterial pressure.

考 案

吸気時に一致して周期的に収縮期動脈圧が 10 mmHg 以上の低下¹⁴⁾を示す奇脈は、種々の疾患において観察される^{15~17)}。奇脈の成因に関する研究で多くの報告が一致している事実は、吸気時の収縮期動脈圧の低下と、吸気時の左心室一回拍出

量の減少である。Brenner ら¹⁰⁾は正常人を対象として、M モード心エコー図を用いて呼吸周期と左室動態との関連を検討し、吸気時における左室拡張期径は有意に減少すると報告した。Settle ら¹⁸⁾は心タンポナーデ患者と同様、奇脈を呈する慢性閉塞性肺疾患患者にも、M モード心エコー図上、吸気時に、僧帽弁前尖の拡張期 E-F slope

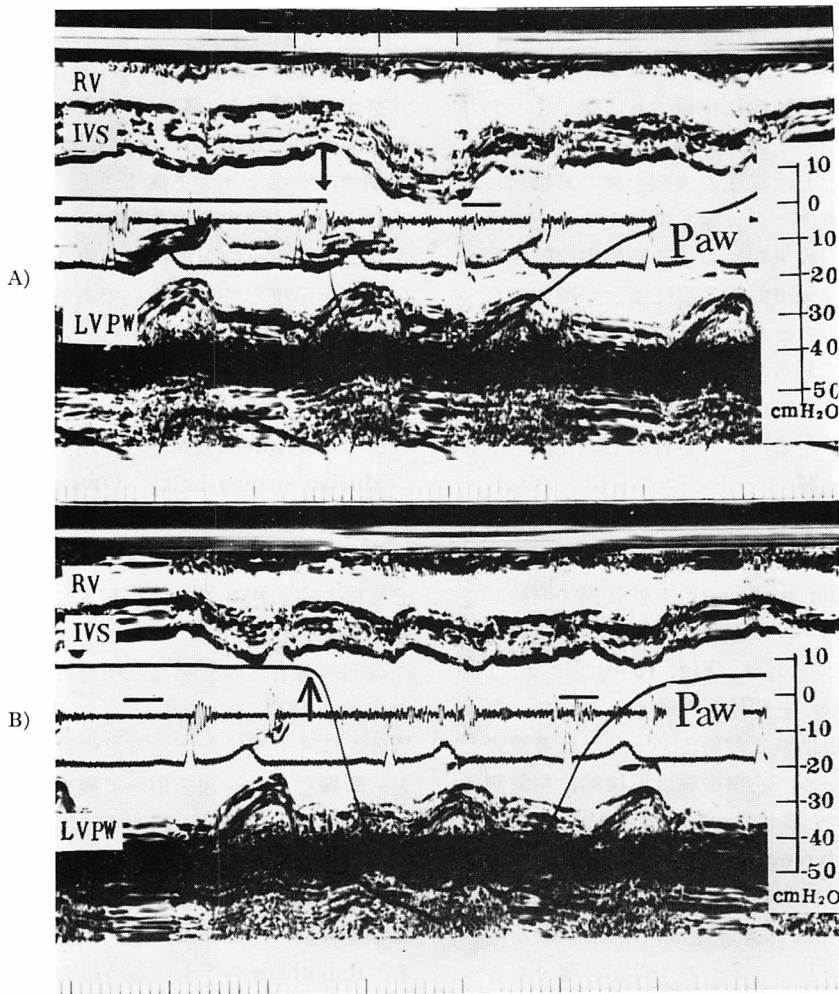


Fig. 10. Echocardiograms illustrating the different effect of Mueller maneuver performed during the different cardiac cycle.

When Mueller maneuver is begun at systolic phase, a marked posterior movement of IVS appears in the following diastolic phase, while such a movement never appears when Mueller maneuver is begun at diastole. This finding probably suggests ventricular interference. Arrows mean beginning of Mueller maneuver.

の減少が出現することを観察した。Ruskin ら¹⁹⁾は気道閉塞患者において、吸気時における左室血液充満の低下が左室一回拍出量の低下の一義的因子であると結論している。

これらの報告は本研究における所見とよく合致し、正常者においても、人工的に気道閉塞状態を作成し、急激に気道内圧を陰圧化する Mueller maneuver を行えば容易に奇脈が出現し (Fig. 9)、心エコー上奇脈の出現時観察されてきた所見が容易に観察できた。すなわち吸気時に胸腔内圧はより陰圧度を増し、胸腔内に位置する心臓、とりわけ拡張期の血行動態に強い影響を与えるものと考えられる。このことは奇脈の成因を論じる場合に、単に呼気相と吸気相とを分離して考えることが重要なのではなく、吸気相における胸腔内の陰圧度の変化、もしくは気道内圧の陰圧度との関連で奇脈の成因を論じることが、より本質的であることを示唆するものである。

吸気時には胸腔内圧がより陰圧となるために体静脈還流の増加が生じ²⁰⁾、一過性に右室充満の増大が認められる。M モード心エコー図にみられる拡張期における心室中隔の左室側への偏位と右室径の増加は、これを支持する所見である。しかしながら、Mueller maneuver を拡張期に開始した場合は、その同一拡張期における心室中隔の左室側偏位は著明ではない (Fig. 10-b)。これは Mueller maneuver を開始した時点において、左室にはすでに拡張早期に左房より十分な血液流入が完了しているため、心室中隔は器械的に左室側へ偏位できないと考えられる。すなわちこれは ventricular interference²¹⁾ を示す所見と考えられる。この事実より吸気時に右室への血液充満が増加するためには、1) 体静脈還流の増加、2) 左室の血液充満の減少という2つの条件が必要であると考えられる。なお、Mueller maneuver 開始直後の収縮終期において、すでに左房断面積はコントロール時のそれに比して減少しており、肺静脈還流の減少を示唆している。左房血液量の減少により拡張早期の僧帽弁血流量の低下がもたらされ

ることは容易に推察できる。続いて左室拡張終期において血液充満が減少し、このために続く一回拍出量の低下をもたらすとも考えうる。

Fowler ら¹⁴⁾は慢性閉塞性肺疾患患者で奇脈を呈した症例には、いずれも右室の拡張期血液充満の増大が観察されたと報告している。吸気時において右室拡張期容量の増大が心室中隔の左室側への偏位をもたらし、このために ventricular interference の立場より、左房・左室血液流入の障害が生じるとの推察は、今回の著者らの得た所見とは必ずしも合致しない。なぜならば Fig. 8 に示したように、Divs-fw は拡張早期に比して拡張終期のほうがより大であること、 $A_{III} > A_{II}$ であることは、心室中隔の左室側への偏位が一義的に左房より左室への血液流入を阻止しているのではないことを示唆しているからである。Mueller maneuver 開始に続く拡張期左室容量の減少は、一次的には肺静脈還流の減少に基づくもので、さらに二次的に右室容量の増大によってもたらされる ventricular interference が作用すると考えられる。

Mueller maneuver 時、Divs-fw は Paw にきわめて良く相関するにもかかわらず、Daw-pw は Paw とは相関を有さなかったのは、心室中隔を介して両心室の相互依存性があることを示唆していると考えられる。

今回の著者らの観察した所見は心タンポナーデの患者に観察される所見とよく一致する^{14,22)}。Weiss ら²³⁾も吸気時に左室拡張終期径は減少すると、断層心エコー図を用いて観察している。他方、Parsons ら¹¹⁾は上気道閉塞時に出現する奇脈の成因は、吸気時の左室後負荷の増大であると結論し、transmural pressure の解析より、吸気時の左室拡張期容量の増加および左房の拡大を推定している。Robotham ら¹²⁾も吸気時における左室後負荷の増大、および心筋収縮力の変化のいずれかが奇脈の成因であるとし、吸気時における肺静脈還流量の減少は奇脈の成因ではありえないと報告している。これらの報告は著者らの結果と合致しないが、その理由は不明である。われわれは、連続す

る肺内肺静脈, 肺外肺静脈および左房などの compliance あるいは transmural pressure の測定, および肺静脈内 pooling capacity の測定などが, 奇脈の成因を論ずるさいになお必要であると考えている。

結 語

正常男子 5 名を対象とし, 気道内圧 (Paw) の左室拡張期動態に与える影響を, 断層心エコー図を用いて定量的に検討した。同時に上気道閉塞時に出現する奇脈の成因に関しても検討した。

Paw を急激に陰圧化する Mueller maneuver を行うと, それに続く第 1 拍目の左室拡張期動態と Paw の陰圧の程度はきわめてよい相関を示した。とくに短軸断層心エコー図より求めた 3 種のパラメーター, 心室中隔-左室自由壁径 (DIVS-FW), これと左室前壁-後壁径 (DAW-PW) との比 (DIVS-FW/DAW-PW), および左室腔断面積 (A) は以下の指数関数で表わされた。

- 1) $D_{II}/D_{I} \cdot (IVS-FW) = 1.246 \cdot e^{6.435 \times 10^{-3} \cdot P_{aw}}$
(n=27, r=0.879, p<0.001)
- 2) $DIVS-FW/DAW-PW = 0.949 \cdot e^{5.72 \times 10^{-3} \cdot P_{aw}}$
(n=27, r=0.885, p<0.001)
- 3) $A_{II}/A_{I} = 1.578 \cdot e^{7.078 \times 10^{-3} \cdot P_{aw}}$
(n=27, r=0.884, p<0.001)
(I は収縮終期, II は拡張早期)

一方, DAW-PW は Paw に影響を受けずほぼ同一測定値を示した。

また Mueller maneuver 開始直後に肺静脈還流が減少し, 左房血液量の減少, 左室拡張終期血液量の減少が一次的因子として存在し, 右室の血液量増加が二次的因子として働き, 奇脈の出現に関与していることが推察された。

本研究に対して絶大なご援助を賜った伊豆元 清, 上田 敦両氏に心より謝意を表します。

文 献

- 1) Lauson HD, Bloomfield RA, Cournand A: The influence of the respiration on the circulation in man—With special reference to pressure in the right auricle, right ventricle, femoral artery and peripheral veins. *Amer J Med* **1**: 315, 1946
- 2) Kilburn KH, Sieker HO: Hemodynamic effects of continuous positive and negative pressure breathing in normal man. *Circulat Res* **8**: 660, 1960
- 3) Attinger EO: Some interrelations between ventricle and circulation. *Amer Heart J* **54**: 837, 1957
- 4) Coleridge JCG, Linden RJ: The variations with respiration in effective right and left atrial pressures in the dog. *J Physiol* **145**: 482, 1959
- 5) Greenfield JC, Cox RL, Hernandez RR, Thomas C, Schoonmaker FW: Pressure-flow studies in man during the Valsalva maneuver properties of the ascending aorta. *Circulation* **35**: 653, 1967
- 6) Nandi PS, Pigott VM, Spodick DH: Sequential cardiac responses during the respiratory cycle patterns of change in systolic intervals. *Chest* **63**: 380, 1973
- 7) Lange RL, Tsagaris TJ: Time course of factors causing exaggerated respiratory variation of arterial blood pressure. *J Lab Clin Med* **63**: 431, 1964
- 8) Goldblatt A, Harrison DC, Glick G, Braunwald E: Studies on cardiac dimensions in intact, unanesthetized man—effects of respiration. *Circulat Res* **13**: 455, 1963
- 9) Bemis CE, Serur JR, Borkenhagen D, Sonnenblick EH, Urschel CW: Influence of right ventricular filling pressure on left ventricular pressure and dimension. *Circulat Res* **14**: 498, 1974
- 10) Brenner JI, Waugh RA: Effect of phasic respiration on left ventricular dimension and performance in a normal population. An echocardiographic study. *Circulation* **57**: 122, 1978
- 11) Parsons GH, Green JF: Mechanisms of pulsus paradoxus in upper airway obstruction. *J Appl Physiol* **45**: 598, 1978
- 12) Robotham JL, Lixfeld W, Holland L, MacGregor D, Bryan AC, Rabson J: Effects of respiration on cardiac performance. *J Appl Physiol* **44**: 703, 1978
- 13) Nunn JF: Applied respiratory physiology. 2nd Ed, Butterworths, London, 1977, p 91
- 14) Fowler NO: Modern concepts of cardiovascular disease. Physiology of cardiac tamponade and pulsus paradoxus. I: Mechanisms of pulsus paradoxus in cardiac tamponade. *Mod Concepts Cardiovasc Dis* **47**: 109, 1978
- 15) Shabetai P, Fowler NO, Guntheroth W: The

- hemodynamics of cardiac tamponade and constrictive pericarditis. *Amer J Cardiol* **26**: 480, 1970
- 16) Cohn JN, Pinkerson AL, Tristani FE: Mechanism of pulsus paradoxus in clinical shock. *J Clin Invest* **46**: 1744, 1967
 - 17) Winer H, Kronzon I, Glassmen E: Echocardiographic findings in severe paradoxical pulse due to pulmonary embolization. *Amer J Cardiol* **40**: 808, 1977
 - 18) Settle H, Adolph RJ, Fowler NO, Engle P, Agruss NS, Levenson NL: Echocardiographic study of cardiac tamponade. *Circulation* **56**: 951, 1977
 - 19) Ruskin J, Bache RJ, Rembert JC, Greenfield JC: Pressure-flow studies in man: Effect of respiration of left ventricular stroke volume. *Circulation* **48**: 79, 1973
 - 20) Opdyke DF, Van Noate HF, Brecher GA: Further evidence that inspiration increases right atrial inflow. *Amer J Physiol* **162**: 259, 1950
 - 21) Elzinga G, Grondelle R, Westerhof N, Bos GC: Ventricular interference. *Amer J Physiol* **226**: 941, 1974
 - 22) D'Cruz IA, Prabhu R, Glick G: Diagnosis of cardiac tamponade by echocardiography. Changes in mitral valve motion and ventricular dimensions, with special reference to paradoxical pulse. *Circulation* **52**: 460, 1975
 - 23) Weiss JL, Lappe DL, Rabson JL, Summer WR, Permutt S, Weisfeldt ML: Leftward septal displacement during right ventricular loading in man: Demonstration by two-dimensional echo. *Amer J Cardiol* **41**: 362, 1978 (abstr)