

〔一般演題〕

左右心機能に及ぼす PEEP の効果について

谷 知久* 石山忠彦* 飯田宏樹*
若松正樹* 上松治孝* 山本道雄*

呼吸管理でよく用いられる PEEP には、機能的残気量を増加し、肺内シャント量を減少させ、 PaO_2 を改善させるという利点がある反面、循環系の抑制、とくに心拍出量減少や血圧の低下などの合併症が見られる。しかしその機序についてははつきりとした定説がない。そこで今回、われわれは PEEP の犬の左右心機能に与える影響について、ラピッドレスポンススワン・ガンツカテーテルを用いた熱希釈法により検討した。

方 法

10 kg 前後の雑種成犬 6 頭を用い、塩酸モルヒネ 10 mg (総量 3 mg/kg)、フルニトラゼパム 2 mg、塩化ツボクラリン 6 mg の静注にて導入後気管内挿管し、調節呼吸を行った。調節呼吸下に Paco_2 が 35 mmHg 前後になるように換気を調節した。心拍数の増加にとくに注意し、以下のカテーテル操作は局麻下に行った。

右大腿静脈に点滴路を確保し、次にラピッドレスポンススワン・ガンツカテーテル (American Edwards 社製 モデル 93A-431H-7.5F) を右外頸静脈および右大腿動脈より挿入し、その先端をそれぞれ肺動脈および大動脈弁直上に留置した。冷水の注入はそれぞれ左外頸静脈から右心室内に挿入した 15 G のトリプルルーメンカテーテル、および左内頸動脈から左心室内に挿入した 7 F のピッグテイルカテーテルから行った。

以上の操作終了後、1 時間待って状態を安定させてから測定を開始した。対照値測定後、PEEP を 5 cmH₂O、10 cmH₂O、15 cmH₂O、20 cmH₂O に設定し、それぞれ設定 15 分後に測定した。熱希釈

曲線は日本光電の心拍出量コンピュータ AH611V を用い、心室より 5 cc の氷冷した生食を注入して熱希釈曲線を描き、他のパラメータとともにサーマルアレイレコーダ (日本光電 WS682G) に記録した。

図 1 は、今回の実験で記録された左心室内へ 5 cc の冷水注入時のラピッドレスポンススワン・ガンツカテーテルを用いた熱希釈曲線の 1 例である。この熱希釈曲線の原理は、図 2 のスワン・ガンツカテーテルとの比較のなかで、プラトーになった所の高さは拡張終期の温度にあたり、1 回の拍出で C1 から C2 へ温度が変化したことになる。この (C1-C2) が 1 回の拍出で変化した温度になり、これとこの拍出前の拡張期の温度 C1 との比が心室駆出率になる。表 1 の式より 1 回拍出量を心室駆出率で割ることにより心室拡張期容量が求まる。

心拍出量は American Edwards 社製 9520A 心

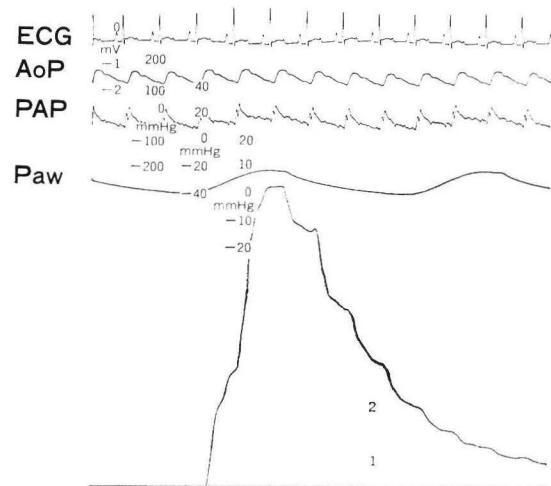


図 1 热希釈曲線の 1 例

* 岐阜大学医学部麻酔学教室

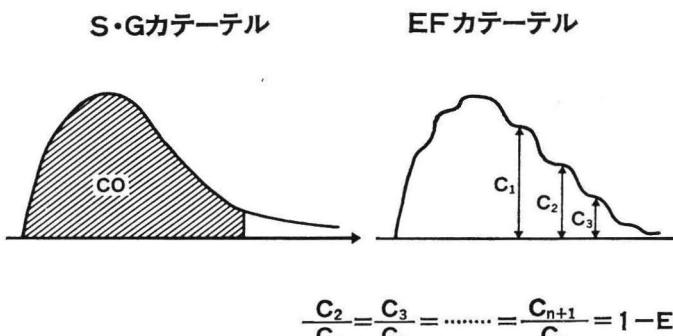


図 2 従来のスワン・ガンツカテーテルとの比較

抽出量コンピュータを用いて測定した。測定したパラメータは、心抽出量 (CO), 心拍数 (HR), 右室駆出率 (RVEF), 左室駆出率 (LVEF), 右室圧 (RVP), 左室圧 (LVP), 肺動脈圧 (PAP), 大動脈圧 (AoP), 気道内圧 (Paw), 血液ガス分析で、これらより 1 回抽出量 (SV), 右室拡張終期容量 (RVEDV), 左室拡張終期容量 (LVEDV), 右室収縮終期容量 (RVESV), 左室収縮終期容量 (LVE SV), 肺血管抵抗 (PVR)などを算出した (表 2)。

統計処理は paired t test を使用し、5% の危険率をもって有意差ありとした。

結 果

心抽出量(表 2, 図 3) : 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cmH₂O と, PEEP の増加とともにすべてで有意に減少した。

心拍数(表 2) : 上昇傾向であったが、10 cmH₂O のみで有意であった。

1 回抽出量(表 2) : 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm H₂O と, PEEP の増加とともにすべてで有意に減少した。

右室駆出率(表 2, 図 4) : 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cmH₂O と, PEEP の増加とともにすべてで有意に減少した。

左室駆出率(表 2, 図 5) : 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cmH₂O と, PEEP の増加とともにすべてで有意に減少した。

右室拡張終期容量(表 2, 図 6) : 減少傾向を示したが、有意ではなかった。

左室拡張終期容量(表 2, 図 7) : 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cmH₂O と, PEEP の増加とともにすべて

表 1

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{C_3}{C_2} = \dots = \frac{C_{n+1}}{C_n} = 1 - EF \quad (1)$$

$$SV = \frac{CO}{HR} \quad (2)$$

$$EF = \frac{SV}{EDV} \quad (3)$$

で有意に減少した。

右室収縮終期容量(表 2) : ほとんど変化がなかった。

左室収縮終期容量(表 2) : 20 cmH₂O のみで有意に減少した。

右室圧(表 2, 図 8) : 収縮期、拡張期、平均ともに 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cmH₂O と, PEEP の増加とともにすべてで有意に上昇した。

左室圧(表 2, 図 9) : 拡張期圧の有意の上昇が 15 cm, 20 cmH₂O で見られたが、収縮期、平均ではほとんど変化が見られなかった。

肺動脈圧(表 2, 図 10) : 収縮期、拡張期、平均すべてで、10 cm, 15 cm, 20 cmH₂O と PEEP の増加とともに有意に増加した。平均のみ、5 cmH₂O でも有意に増加した。

大動脈圧(表 2) : 下降傾向を示したが、20 cm H₂O の平均のみで有意の下降がみられた。

肺血管抵抗(表 2, 図 11) : 15 cm, 20 cmH₂O で有意に増加した。

考 察

心機能評価の 1 つとして用いられる駆出率、拡張終期容量の測定には、エコー、シネアンギオ、RI などが用いられているが、それぞれにいろいろ

表 2

	control	5cmH ₂ O	10cmH ₂ O	15cmH ₂ O	20cmH ₂ O
CO (L/min)	1.50±0.32	1.27±0.21*	1.17±0.21*	0.99±0.23*	0.81±0.37*
HR (beats/min)	118±12	121±15	132±11 *	138±14	143±20
SV (mℓ)	12.7±2.2	10.5±1.5 *	8.9±1.3 *	7.2±1.8 *	5.7±2.3 *
RVEF	0.345±0.04	0.303±0.05*	0.272±0.05*	0.246±0.05*	0.202±0.07*
LVEF	0.258±0.06	0.239±0.05*	0.216±0.05*	0.195±0.04*	0.187±0.06*
RVEDV (mℓ)	37.0±5.2	35.0±4.5	32.9±3.1	30.0±5.5	28.8±7.8
LVEDV (mℓ)	51.5±13.0	45.0±8.0 *	42.3±9.0 *	37.2±6.6 *	32.3±14.1 *
RVESV (mℓ)	24.3±4.0	24.4±4.1	24.0±3.4	22.4±4.7	23.1±7.5
LVESV (mℓ)	38.8±12.5	34.5±8.0	33.4±8.9	30.0±5.6	26.6±12.3 *
RVP (mmHg)	systolic diastolic mean	28.3±2.6 0.7±1.0 10.5±1.0	33.7±2.9 * 2.5±1.2 * 12.8±1.6 *	38.8±3.4 * 3.5±1.4 * 15.3±0.8 *	45.3±3.3 * 5.0±1.3 * 18.2±1.0 *
PAP (mmHg)	systolic diastolic mean	26.8±2.8 9.2±1.9 16.8±1.7	27.8±4.7 11.8±2.1 18.5±2.1 *	32.8±4.3 * 16.3±2.2 * 22.8±2.6 *	40.3±4.9 * 19.8±3.3 * 28.5±2.3 *
LVP (mmHg)	systolic diastolic mean	130.5±10.0 1.7±1.4 49.5±11.3	126.7±9.9 2.7±1.5 50.0±8.5	125.8±7.4 3.2±2.2 47.7±6.8	120.8±12.3 4.3±1.0 * 44.7±6.7
AoP (mmHg)	systolic diastolic mean	131.8±11.3 91.5±11.9 109.3±12.0	127.8±6.7 93.5±9.3 109.2±9.2	124.7±9.2 91.3±12.3 106.3±11.4	124.5±12.2 84.3±17.6 100.8±15.2
PVR (dynes·sec/cm ⁵)		284.8±52.4	329.8±77.0	318.4±71.0	449.4±98.6 *
					545.0±99.1 *

(*; p < 0.05)

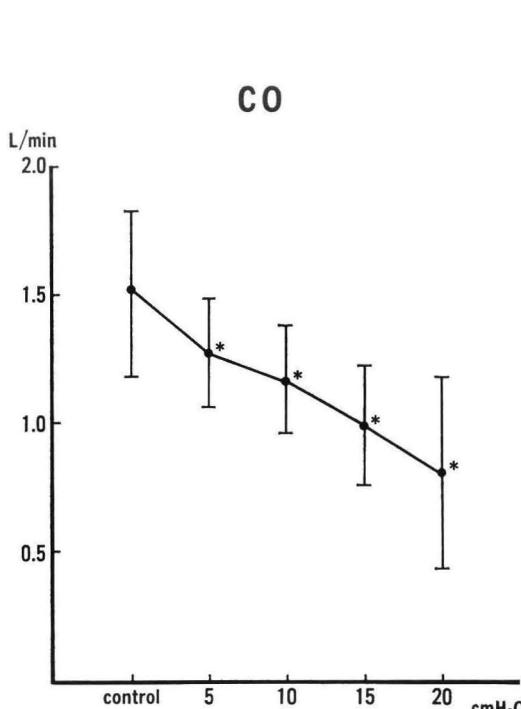


図 3 PEEP による心拍出量の変化

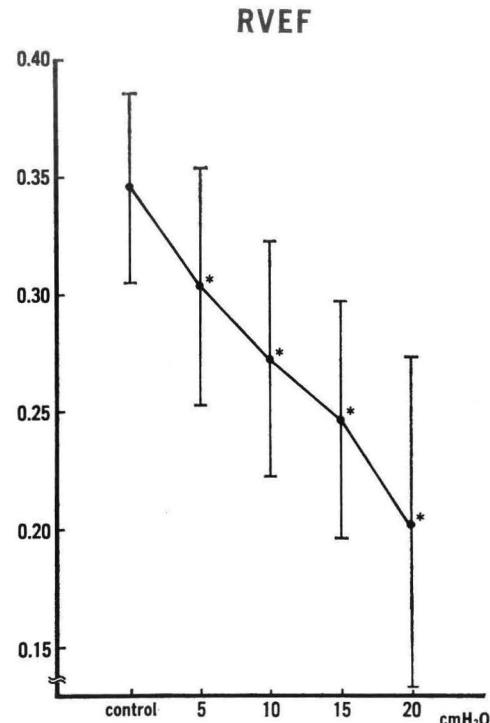


図 4 PEEP による右室駆出率の変化

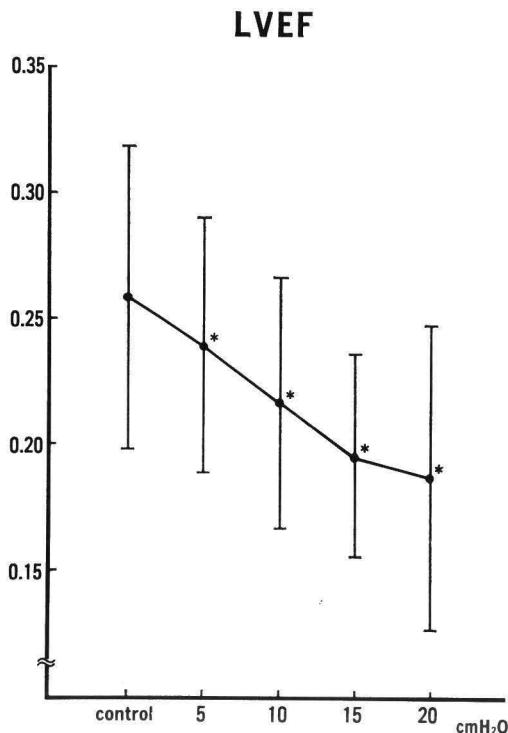


図 5 PEEP による左室駆出率の変化

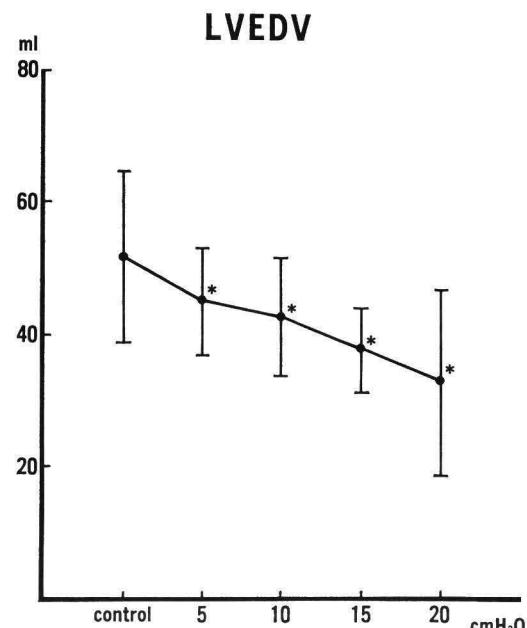


図 7 PEEP による左室拡張終期容量の変化

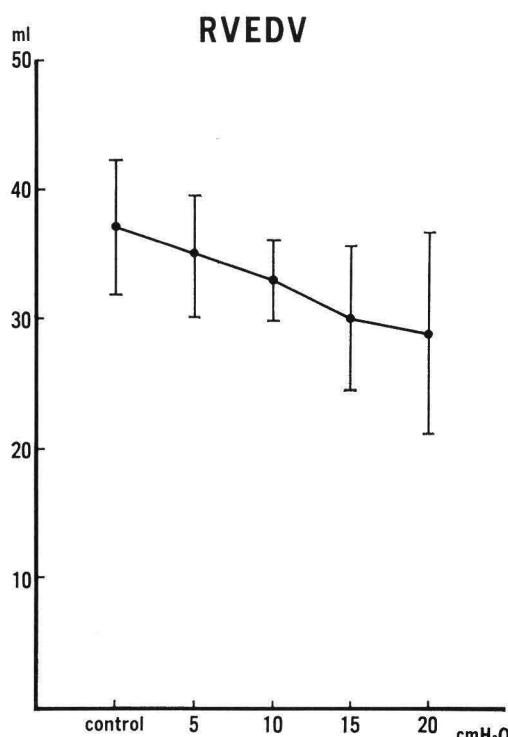


図 6 PEEP による右室拡張終期容量の変化

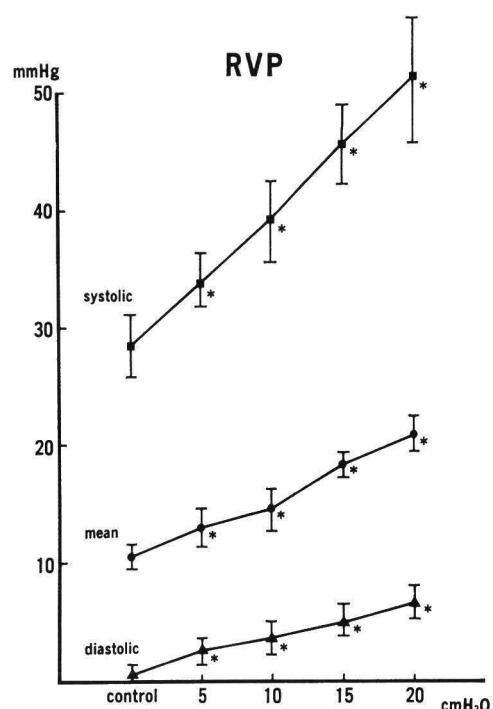


図 8 PEEP による右室圧の変化

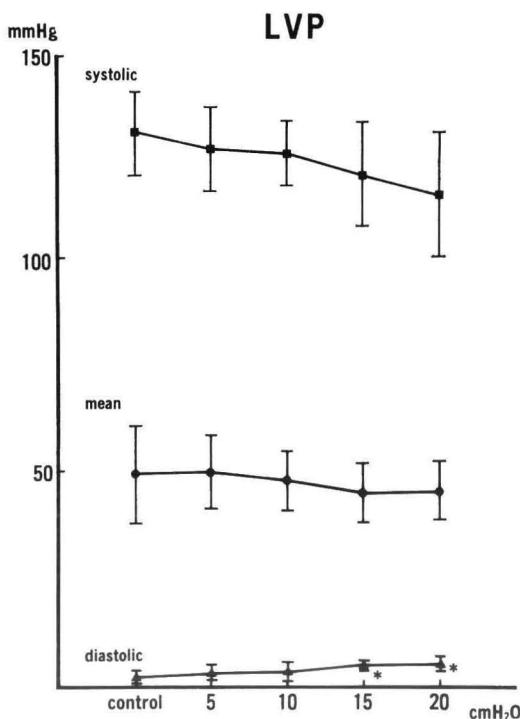


図 9 PEEP による左室圧の変化

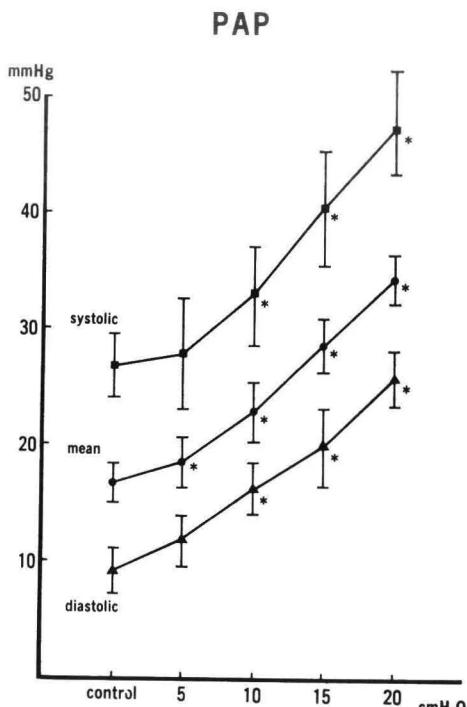


図 10 PEEP による肺動脈圧の変化

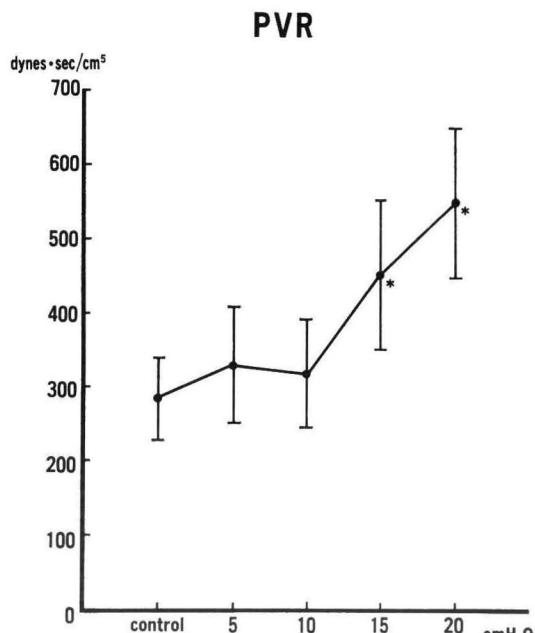


図 11 PEEP による肺血管抵抗の変化

な利点、欠点がある。

心エコー法は非侵襲的に反復してしかもきわめて簡便に情報が得られるが、そのほとんどが左室に対するものであり、右室に関してはその複雑な形態、体位による位置の変化、全景の描出が非常に困難であることなどから、その容積の評価には十分な注意が必要である。

シネアンギオも心エコー法と同じように、平面的なものから心室を回転橢円形と仮定して容量計測しているためそのほとんどが左室に対するものであるが、時間ならびに空間分解能がよく、画質の優れた像が得られる利点がある。しかし繰り返しの測定が困難であり、また大量に使用する造影剤による容量負荷にも問題がある。

RI 造影検査による測定では、他の方法と違い、値が立体的なものとして算出され、心室の形態に左右されないという大きな利点がある。しかし画質の面ではるかに劣り、またシンチカメラの解像力が距離によって変化し正確に放射能の量を定量化することが困難であるという欠点がある。

これらに対して最近、温度応答性の優れたサーミスターをもったカテーテルの開発により、熱希釈法による報告がしばしば見られるようになった。

この方法は侵襲的ではあるが、臨床的に重症患者で用いられるスワンガンツカテーテルとまったく同じ侵襲であり、圧の計測だけでなく駆出率からの容量の算出もできる。またベッドサイドで簡単に、しかも反復して行えるという優れた利点がある。

そこで今回われわれは、PEEP を加えた人工呼吸中の犬の左右心機能を比較するためにこのラビッドレスポンススワン・ガンツカテーテルを肺動脈および大動脈弁直上に留置することにより右室、左室の駆出率を求めた。

この方法の問題点として、著しく脈拍が増加すると熱希釈曲線の一心拍ごとの温度変化を捉えることが困難となるため、頻脈あるいは不整脈時には不正確になる¹⁾ことがあげられる。しかしモデル心による検討²⁾では、心拍数が 140/分までは設定値ときわめてよい相関関係を示しており、今回の実験ではほぼ問題はないと思われる。しかし注入部位やサーミスタの部位、また注入量や注入速度などにより冷水の混合不良³⁾⁴⁾やサーミスタの感知不良が起こり得るが、今回の実験では注入は左右とも心室より行い注入量も 5 cc としたが、これらに関しては今後の検討が必要と思われる。

PEEP は一般に減少した FRC を増加し、閉鎖した肺胞を拡張して肺内シャントを減少させる⁵⁾と考えられている。その結果肺内の換気血流比の不均衡が是正され、Pao₂ が上昇する。しかし PEEP にはこのような利点がある反面、心拍出量の減少、血圧の低下、頭蓋内圧の上昇、尿量の減少、barotrauma などの合併症が見られる。とくに心拍出量の著明な減少は組織への血流を低下させ、たとえ Pao₂ は上昇しても組織への酸素供給が減少する可能性もあり得るため、以前よりその原因について盛んに研究がなされている。

PEEP による心拍出量の減少の主な原因として、従来より胸腔内圧の上昇による静脈還流の減少⁶⁾⁷⁾、および肺血管抵抗増加による右室後負荷の増大⁸⁾⁹⁾が言われてきた。しかし右房圧、左房圧や肺動脈圧を transmural pressure として捉えてみると、PEEP をかけてもそれぞれ不变、あるいはわずかな上昇のみであったという実験結果¹⁰⁾から、心拍出量減少の原因が静脈還流の減少や右室

後負荷の増加とは考え難いという報告もある。ほかに肺の伸展による自律神経反射、あるいは直接的な圧排による心筋血流の減少¹⁰⁾¹¹⁾による心室の機能低下も考えられている。また体液性因子を介する機序を主張する報告¹²⁾もある。

今回の実験でも、PEEP 負荷により圧依存性に心拍出量の有意の減少が見られ、また有意ではなかったが血圧の低下も見られた。

駆出率は右室、左室とも PEEP の増加とともに有意に減少した。肺血管抵抗が PEEP の増加とともに著明に上昇しているのに対し右室の容量の変化が少ないため、右室駆出率の減少は右室後負荷の増加によると思われた。

PEEP の増加による右室拡張終期容量の減少はわずかなのに対し、左室拡張終期容量は著明に減少した。また（とくに PEEP が 10 cmH₂O 以上で）拡張終期には右室圧が左室圧よりも高くなっていることから、心室中隔が左室側に圧排され、そのために左室拡張終期容量が減少したと推定された。

このような両心室の直接的な相互関与は、ventricular interference¹³⁾、ventricular interaction¹⁴⁾などと呼ばれ、右室負荷がもたらす左室への影響¹⁵⁾¹⁶⁾や、逆に左室負荷がもたらす右室への影響¹⁷⁾¹⁸⁾をみる実験が行われている。とくに前者の場合、すなわち右室負荷が直接的に左室に影響を与える際には、心膜の役割よりも両心室をとりまく心筋の役割が大きいとされ、右室腔の拡大が主として心室中隔の偏位を介して左室腔を圧迫し左室機能に影響を及ぼすと考えられている¹⁹⁾。また ARDS 患者に PEEP を用いた時の左室の容量を心エコー法で検討した報告¹⁴⁾でも、PEEP の上昇に伴って左室容量の減少がみられたが、これは心室中隔の左室側へのシフトによることを指摘している。

今回のわれわれの実験においても、右室に対して左室の拡張終期容量が有意に減少しており、心室中隔が左室側へ圧排されて左室の形態学的な変化が起き、左室のコンプライアンスが低下し、これが左室駆出率の減少、引いては心拍出量減少の一つにつながると予想された。

結 語

- 1) PEEP の犬の左右心機能に与える影響について、ラピッドレスポンススワン・ガンツカテーテルを用いて検討した。
- 2) PEEP 圧上昇とともに、心拍出量は有意に減少し、1回拍出量も有意に減少した。
- 3) 駆出率は右室、左室ともに有意に減少した。
- 4) 右室拡張終期容量はわずかに減少したが、有意ではなかった。一方左室拡張終期容量は有意に減少した。
- 5) 右室圧は有意に上昇したが、左室圧はほとんど変化しなかった。
- 6) 以上より、PEEP による右室圧の上昇が左室容量に影響していることが示唆された。

文 献

- 1) Maruschak GF, Schauble JF : Limitation of thermodilution ejection fraction : Degradation of frequency response by catheter mounting of fastresponse thermister. Crit Care Med 13 : 679, 1985
- 2) 加藤啓一, 可児浩行, 有井秀裕ほか : 热希釈法による右室駆出率、右室拡張終期容量の測定—モデル心における検討—. 麻酔 35 : 1778, 1986
- 3) Rolett EL, Sherman H, Gollin R : Measurement of left ventricular volume by thermodilution : an appraisal of technical errors. J Appl Physiol 19 : 1164, 1964
- 4) Bartler SH, Sanmarco ME : Comparison of angiographic and thermal washout technics for left ventricular volume measurement. Am J Cardiol 18 : 235, 1966
- 5) Hechtman HB, Weisel RD, Vito L, et al : The independence of pulmonary shunting and pulmonary edema. Surg 74 : 300, 1973
- 6) Cournard A, et al : Physiological studies of the effects of intermittent positive pressure breathing on cardiac output in man. Am J Physiol 152 : 162, 1948
- 7) Morgan BC, et al : Hemodynamic effects of intermittent positive pressure respiration. Anes-
- thesiology 27 : 584, 1966
- 8) Hobelmann CF, Smith DE, Sapiro AR, et al : Hemodynamic alternations with positive end-expiratory pressure : The contribution of the pulmonary vasculature. J Trauma 15 : 951, 1975
- 9) Harken AH, Brennan MF, Smith B, et al : The hemodynamic response to positive end-expiratory ventilation in hypovolemic patients. Surgery 76 : 786, 1974
- 10) Cassidy SS, Robertson CH Jr, Jonson RL Jr : Cardiovascular effects of positive end-expiratory pressure in dogs. J Appl Physiol 44 : 743, 1978
- 11) Powers SR Jr, Dutton RE : Correlation of positive end-expiratory pressure with cardiovascular performance. Crit Care Med 3 (2) : 64, 1975
- 12) Manny J, et al : The association of lung distension, PEEP and biventricular failure. Ann Surg 187 (2) : 151, 1978
- 13) Elzinga G, van Grondelle R, Eesterhof N, et al : Ventricular interference. Am J Physiol 226 : 941, 1974
- 14) Jardin F, et al : Influence of positive end-expiratory pressure on left ventricular performance. New Engl J Med 304 : 387, 1981
- 15) Kelly DT, Spotnitz HM, Beiser GD, et al : Effects of chronic right ventricular volume and pressure loading on left ventricular performance. Circulation 44 : 403, 1971
- 16) Bemis CE, Serur JR, Brockenbagen D, et al : Influence of right ventricular filling pressure on left ventricular pressure and dimension. Circ Res 34 : 498, 1974
- 17) Santamore WP, Lynch PR, Meier G, et al : Myocardial interaction between the ventricles. J Appl Physiol 41 : 362, 1976
- 18) Berglund E, Sarnoff SJ, Isaacs JP : Ventricular function, Role of the pericardium in regulation of cardiovascular hemodynamics. Circ Res 3 : 133, 1955
- 19) 川村陽一 : 右室および左室の機能の直接的相互関与に関する実験的研究—心室拡張終期圧を指標として. 慶應医学 56 (3) : 197, 1979