

□原著□

PEEPの循環動態に及ぼす影響

— 経食道心エコーによる評価 —

坪 敏 仁*¹ 荒 木 功*¹ 石 原 弘 規*² 松 木 明 知*²

ABSTRACT

Effects of PEEP on hemodynamics—Evaluation with transesophageal echocardiography—

Toshihito Tsubo, Yoshito Takagi, Isao Araki, Hironori Ishihara and Akitomo Matsuki

Intensive Care Unit, Department of Anesthesiology, University of Hirosaki School of Medicine

We investigated the effects of PEEP on hemodynamics using transesophageal echocardiography (TEE). Twelve orthopedic patients were the subjects in this study. The superior vena cava dimension, right atrial and right ventricular area, velocity of pulmonary arterial and venous flow, left atrial dimension and late/early ratio of peak velocity of mitral flow were evaluated under PEEP 10 cmH₂O, 15 cmH₂O and 20 cmH₂O.

The superior vena cava dimension was reduced from 1.35±0.08 cm before PEEP (control) to 1.10±0.10 cm at PEEP 20 cmH₂O (Mean±S.E., P<0.05). The right atrial area, right ventricular area, velocity of pulmonary artery and systolic velocity of pulmonary vein were reduced with increases of PEEP. We confirmed that the hemodynamic changes during PEEP were due to the reduction of preload measured with TEE.

はじめに

PEEP時の循環変動の原因としては前負荷の減少、右心室への後負荷の増加、心室収縮力減少、交感神経の抑制、内分泌系への影響などが報告されている。しかし、その機序に関してはいまだ不明な点が多い¹⁾。

経食道心エコーを用いたPEEP時の循環動態変動に関しては数編の報告がある²⁾³⁾。しかし右心系と左心系を詳細に検討した報告はない。今回、経食道心エコーを用いてPEEPが右心系および左心系に与える影響を検討したので報告する。

方法

整形外科手術を受けた全身麻酔症例12例を対象とした。対象患者の平均年齢は34.9±5.0歳、体重55.8±3.2kg、平均手術時間181.9±16.5分、平均麻酔時間233.7±15.9分(Mean±SE)であった。全例ASA 1~2に属し、心循環系に異常はなかった。肩部の手術例が主で、ターニケットを用いた症例および大量出血時の患者はいなかった。経食道心エコーを用いた本研究について、患者に術前に説明し了解を得た。麻酔導入にはチオペンタール4mg/kgとスキサメトニウム(サクシニルコリン)1mg/kgを用い、麻酔維持は酸素—笑気—エンフルラン(0.5~1.5MAC)とベクロニウムを用いた。測定に

*¹ 弘前大学医学部集中治療部*² 同麻酔科学教室

表 PEEP の循環機能におよぼす影響

	Control	PEEP		
		10 cm H ₂ O	15 cm H ₂ O	20 cm H ₂ O
上大静脈径 (cm)	1.35±0.08	1.30±0.07*	1.19±0.08*	1.10±0.10*
右房面積 (cm ²)	11.47±0.46	9.76±0.51*	7.78±0.29*	6.84±0.30*
右心室面積 (cm ²)	7.10±0.84	7.00±1.02*	5.23±0.82*	6.80±0.93*
肺動脈血流速度 (cm/sec)	75.13±4.97	69.17±5.91	71.00±3.66*	61.5±7.47*
S 波血流速度 (cm/sec)	52.56±3.95	47.14±3.80*	38.25±4.67*	31.75±5.67*
D 波血流速度 (cm/sec)	42.50±3.67	45.40±4.24	40.33±2.89	40.33±7.13
左房径 (cm)	2.72±0.16	2.48±0.15*	2.50±0.15*	2.35±0.45*
A/E	0.78±0.07	0.77±0.06	0.89±0.05	0.75±0.15

Mean±S.E. *P<0.05 compared to control values

S 波：収縮期肺静脈血流 D 波：拡張期肺静脈血流

は手術開始後循環が安定した時期を選んだ。呼吸維持はサーボベンチレータ 900 C[®] (シーメンス社製) を用い、設定を調節呼吸、一回換気量 10 ml/kg、呼吸回数 15 回/分、吸気/呼気比 1:2 とした。PEEP 目盛りを操作し 10 cmH₂O、15 cmH₂O、20 cmH₂O と圧を 10 分間負荷した。測定時は呼気時、心拡張期に行った。

心エコー装置としてアロカ社製 SSD-870、経食道心エコープローブとして MNI-0259-2 5 MHz を用いた。循環動態の指標として、直接動脈圧、中心静脈圧、心拍数を測定した。断層像とドップラー法を用い、四腔断面像で上大静脈径、右心房面積、右心室面積を測定した。上大静脈径は、右房入口部で計測した。また肺動脈血流、肺静脈血流および経僧房弁血流を測定した。経僧帽弁血流では A/E (心房収縮期血流速度/拡張早期血流速度) を算出した。症例中 5 例で随時経食道心エコープローブを抜き食道内圧を測定した。食道内圧は食道内圧バルーン (日本光電社製、TY-101 U) を用い、鼻孔より 45 cm 挿入した部位で測定した。

統計処理には repeated ANOVA と Newman-Keuls test を用い、P<0.05 をもって有意とした。

結果

PEEP を増加するに従って上大静脈径、右房面積、右心室面積、肺動脈血流および収縮期肺静

脈血流速度はいずれも減少した (表)。しかし、拡張期肺静脈血流および経僧房弁血流には著明な変動はなかった。中心静脈圧は PEEP 負荷前 7.5±1.2 mmHg から、PEEP 15 cmH₂O 負荷時には 13.1±3.0 mmHg と上昇した (Mean±SE)。食道内圧も同時に 4.9±0.7 mmHg から 9.7±5.2 mmHg と上昇した。

考察

PEEP 負荷時の循環動態変動の機序には種々の議論があり、未だ定まっていない。心室収縮力の影響に関しても Biondi ら⁴⁾は PEEP 15 cmH₂O 以上での右心室への後負荷増加と心収縮力減少を報告している。しかし Johnston ら⁵⁾は PEEP 時の心収縮力への影響は少ないとしている。また PEEP 時の循環動態変動に神経反射が大きな役割を果たすとの報告がある⁶⁾。しかし、Rankin ら⁷⁾は迷走神経切断、β遮断薬を用いて、PEEP 時の循環抑制に神経因子の関与は少ないとしており、循環動態の変動の原因として確定したものはない。

経胸壁心エコーは PEEP 時の循環動態評価にも用いられ、Mitaka ら⁸⁾は PEEP 時に下大静脈径の増大、右心および左心室径の減少を認めている。また Jordan ら⁹⁾は PEEP 時の循環抑制の原因として心室中隔の左心室へのせりだしを指摘している。また心エコーによる PEEP 時の評価は肺動脈カテーテルに優るとの報告もある¹⁰⁾。

経食道心エコーを用いた評価では PEEP 負荷により肺静脈血流の減少，右心室および右心房拡張期径の減少などが報告されている¹¹⁾。Schuster ら¹²⁾は経食道心エコーを用いて心拍出量減少を認め，拡張した肺による右心室充満の障害としている。しかし，経食道心エコーを用いて右心系および左心系を同時に評価した報告はない。

PEEP 負荷時の右心系の評価では右心室径の減少，下大静脈径の増加が知られている⁸⁾。今回の結果では右心房付近の上大静脈径は減少していた。PEEP 時の下大静脈は腹部で増加しており，各部位での違いが示唆された。PEEP 時の右房面積，右心室面積は減少しており，肺動脈血流減少の大きな原因は右心系での前負荷減少のためと思われた。

収縮期肺静脈血流は主に心房拡張によって生じるが，左房圧と強い相関を持つことが知られている¹³⁾。その他に左心室収縮機能，僧房弁逆流，左房コンプライアンスおよび左房圧などが影響する。収縮期肺静脈血流速度は PEEP 負荷によって減少することが報告されているが，今回も同じ結果を認めた¹⁴⁾。拡張期肺静脈血流は主に左心室拡張機能に影響される。

僧帽弁血流の A/E は，一般に前負荷減少時に増加することが知られている。また寺沢ら¹⁵⁾は肺静脈血流変化は経僧房弁血流に影響を与えるとしている。しかし，今回 PEEP 負荷時にはその増加は認められなかった。A/E は心収縮力変化などが影響することが知られ，詳細は不明であるが，PEEP 時の前負荷変動をとらえきれなかったと推察された。Jardin ら¹⁶⁾は PEEP 時には左右心室機能に差が生じるとしている。

今回の経食道心エコーの検討結果では，PEEP 負荷時の右心系および左心系の変動は前負荷の減少の関与が示唆された。経食道心エコーは PEEP 時の循環動態変動を右心および左心系の両面から評価でき有用であった。

参考文献

- 1) Chomka CM : Cardiopulmonary effects of positive end expiratory pressure. *Anesth Clin* 5 : 777-787, 1992
- 2) Schuster S, Erbel R, Weilemann LS, et al : Hemodynamics during PEEP ventilation in patients with severe left ventricular failure studied by transesophageal echocardiography. *Chest* 97 : 1181-1189, 1990
- 3) Berglund JE, Halden E, Jakobson S, et al : Echocardiographic analysis of cardiac function during high PEEP ventilation. *Intensive Care Med* 20 : 174-180, 1994
- 4) Biondi JW, Schulman DS, Soufer R, et al : The effect of incremental positive end-expiratory pressure on right ventricular hemodynamics and ejection fraction. *Anesth Analg* 67 : 144-151, 1988
- 5) Johnston WE, Vinten-Johansen J, Santamore WP, et al : Mechanism of reduced cardiac output during positive end-expiratory pressure in the dog. *Am Rev Respir Dis* 140 : 1257-1264, 1989
- 6) Fessler HE, Brower RG, Wise RA, et al : Effects of positive end-expiratory pressure on the gradient for venous return. *Am Rev Respir Dis* 143 : 19-24, 1991
- 7) Rankin JS, Olsen CO, Arentzen CE, et al : The effect of airway pressure on cardiac function in intact dogs and man. 66 : 108-120, 1982
- 8) Mitaka C, Nagura T, Sakanishi N, et al : Two-dimensional echocardiographic evaluation of inferior vena cava, right ventricle and left ventricle during positive-pressure ventilation with varying levels of positive end-expiratory pressure. *Crit Care Med* 17 : 205-210, 1989
- 9) Jardin F, Farcot JC, Boisante L et al : Influence of positive end-expiratory pressure on left ventricular performance. *N Engl J Med* 304 : 387-92, 1981
- 10) Jardin F, Brun-Ney D, Hardy A, et al : Combined thermodilution and two-dimensional echocardiographic evaluation of right ventricular function during respiratory support with PEEP. *Chest* 99 : 162-168, 1991
- 11) Koolen JJ, Visser CA, Wever E, et al : Transesophageal two-dimensional echocardiographic evaluation of biventricular dimension

- and function during positive end-expiratory pressure ventilation after coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* 59 : 1047-1051, 1987
- 12) Schuster S, Erbel R, Weilemann LS, et al : Hemodynamic during PEEPventilation in patients with severeleft ventricular failure studied bytransesophageal echocardiography. *Chest* 97 : 1181-1189, 1990
- 13) Hoit BD, Shao Y, Grabel M, at al : Influence of loading condition and contractile state on pulmonary venous flow. *Circulation* 86 : 651-659, 1992
- 14) 寺沢悦司, 赤松繁, 加川憲作, ほか : PEEP の肺静脈血流動態に及ぼす影響. *超音波医学* 17 (Suppl 1) : 531-532, 1990
- 15) 寺沢悦司, 赤松繁, 加川憲作, ほか : PEEP の肺静脈血流動態に及ぼす影響 : 第二報. *超音波医学* 18 (Suppl 2) : 327-328, 1990
- 16) Jardin F, Farcot JC, Gueret P, et al : Echocardiographic evaluation of ventricles during continuous positive airway pressure breathing. *J Appl Physiol* 56 : 619-627, 1984
-