

原著

終末呼気陽圧 (PEEP) 人工呼吸の
臓器血液量に及ぼす影響福井 明* 高折益彦*
木村健一* 藤田喜久*

要 旨

調節呼吸されたイヌに PEEP を負荷し、これによる循環血液量、頭部、胸部、肝部、脾部、下腹部、右大腿部の血液量の変化を経時的に測定した。

この結果、PEEP を 5, 10, 15, 20 cmH₂O と上昇させるにしたがって、循環血液量と胸部の血液量は減少し、反対に肝、脾、下腹、右大腿各部の血液量は増加した。とくに肝部における増加率が最大であった。また PEEP 負荷は、門脈、大腿静脈の圧を上昇させ、心拍出量を減少させた。したがって PEEP は各臓器への血流増加ではなく、静脈側の血液貯留を発生させることを認めた。ただ、頭部（特に脳）の血液量は PEEP 5 cmH₂O で最大値を示し、以後その増加は減少した。これらの変化は PEEP 解除後少なくとも30分間は持続した。

はじめに

終末呼気陽圧 (PEEP) 人工呼吸に伴う胸腔内圧の上昇は、肺血管抵抗も増加させて静脈還流を一時的に低下させるといわれる¹⁻²⁾。そして循環血液の体内脈管系への分布に変化が生じるといわれる。すなわち Risøe³⁾ は、埋め込み超音波クリスタルによって肝臓、ならびに脾臓のサイズを測定し、PEEP 負荷によって肝臓のサイズが増大、脾臓のサイズが減少することを認めた。しかしその

他の部位の変化、持続時間、そしてその状態からの回復過程はまったく明らかにされていない。そこで今回われわれは、イヌに 0, 5, 10, 15, 20 cmH₂O の PEEP を負荷し、各種臓器の血液量変化を経時的に測定し、PEEP に伴う予想される血液貯留がいかなる臓器に発生するか検討した。また合せてこの変化を発生させる、あるいはこの変化に伴う循環動態変化も観察した。

対象と方法

実験にはビーグル犬（体重 11.0-12.4 kg, 11.5±1.7 kg）計10頭を使用した。

実験動物を 1 mg·kg⁻¹ のケタミンの静脈内投与により麻酔し、仰臥位とし気管内挿管を行った。パンクロニウム 0.4 mg·kg⁻¹ の静脈内投与にて筋弛緩を得て、アイカ社製ベンチレーター R60 を用いて酸素 2 l·min⁻¹、笑気 4 l·min⁻¹ の混合ガスで換気し、動物の呼吸、麻酔を維持した。1 回換気量は 15 ml·kg⁻¹ と固定し、呼吸回数を Paco₂ が 35~40 mmHg となるように調節した。

加温マットを用いて直腸温を 38~39°C に維持した。

左大腿動脈、右大腿静脈、左外頸静脈を外科的に露出し、これらの側枝から本幹血流を可及的障害しないように外径 2 mm のポリエチレン管をそれぞれ 50 mm 中樞側へ挿入した。次に上腹部正中切開にて開腹し、脾静脈の 1 分枝から外径 2 mm のポリエチレン管を肝側に進め、先端が門脈にあることを確認した後固定した。50×30×20 mm の外孔カプセルを肝下面に留置し、腹腔内に

*川崎医科大学麻酔科学教室

接続されたポリエチレンチューブを腹腔外に導いた。さらに肝、脾の位置を確認して閉腹した。右外頸静脈の枝より本幹血流を可及的障害しないように flow directed thermodilution catheter (5F) を肺動脈まで挿入した。食道内圧バルーンカテーテル (日本光電, TY-103U) を心拍動の影響が少なく, tracheal artifact を示さない食道内に挿入した。これらのポリエチレンチューブ, カテーテルを日本光電社製血圧トランスジューサー (TP-200T) にそれぞれ接続し, 動脈圧 (AP), 右心房圧 (RAP), 肺動脈圧 (PAP), 門脈圧 (PVP), 右大腿静脈圧 (FVP), 腹腔内圧 (ACP), 食道内圧 (EP) を日本光電社製ミニポリグラフ WT-645G, CP-640G に記録した。これらの測定圧の平均圧 (m) はそれぞれ電氣的に求めた。心拍数 (HR) は30秒間のR波数を算定し, これを2倍して求めた。

心拍出量 (CO) は Gould 社製 Cardiac Output Computer SP-1425 を用い, 熱希釈法で測定した。これを $0.112 \times \text{体重}^{2/3}(\text{kg})$ なる式⁴⁾ から求めたイヌの体表面積 (m^2) で除して心係数 (CI) を求めた。

動脈血 Pao_2 , Paco_2 , pH, base excess は, Radiometer 社製血液ガス分析装置 (BMS, 3MK-2) により測定した。ヘマトクリット値はキャピラリーヘマトクリット管 (Red Tip[®]) と専用遠心器 (Kubota Hematocrit KH-120A) を用い, 5分間, 11,000 r.p.m. の遠心法によって測定した。

PEEP は pressure threshold 方法で作成し, その値は 0, 5, 10, 15, 20 cmH_2O (P0, P5, P10, P15, P20) の5種類とした。これらを実験に無作為に選択して, それぞれ30分間負荷した。

VALMET 社製局所脳血流測定装置 BI 1,400 の検出器を頭部 (特に脳を中心に) に3箇所, 胸部 (特に心, 肺を中心に) に3箇所, 肝部, 脾部にそれぞれ2箇所, 下腹部 (骨盤内臓器を中心に) に2箇所, 右大腿部 (特に内側広筋を中心に) に2箇所を体表から可及的に目的臓器に接近させて固定した。肝・脾の下面と側面はそれぞれ厚さ 3 mm の鉛板にて囲み, 周囲からの放射線乱入を防いだ。動物の静脈から 5 ml の血液を採取し, これをヘパリン化し, その赤血球に 2 mCi の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を専用標識キット (オリス社製 REF:TCK-11) を用いて標識した。この $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識赤血球を左外頸静脈カテーテルを介して注入し, 上記6ヶ所の放

射能値の測定を1分毎に測定した。標識赤血球注入後10分間の mixing time⁵⁾ を置いて混合静脈, 前述の血液量測定を目的とした各臓器からの流出静脈から血液をそれぞれ 1 ml を採取し, ヘマトクリット値を測定した。各臓器の血液量変動 Vr は, 対照測定時値と比較し以下の計算式で決めた。
$$\text{Vr} = (\text{Hto} \cdot \text{Cr} / \text{Htr} \cdot \text{Co}) \times 100(\%)$$
 ここで Hto は標識赤血球注入時 (対照測定時) の臓器のヘマトクリット値, Htr は r 分後の臓器のヘマトクリット値, Co は対照測定時の臓器の放射能値, Cr は r 分後の臓器の放射能値を $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の半減期値から対照測定時に補正した値とした。

左大腿静脈を約 25 mm にわたり外科的に露出し, 静脈の外周をこの静脈径よりもやや太いビニールチューブ (JMS 社製) で長さ 25 mm にわたって覆い, 全周にわたりアロンアルファ A「三共」(三共株式会社) にて静脈外壁と接着し, 一定容量の血管腔を作製した。周囲組織と厚さ 3 mm の鉛板にて隔絶させ, これに検出器1本を密着させて, その中に含まれる $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識赤血球量, およびヘマトクリット値から各臓器血液量変動と同様に循環血液量変動を算出するようにした。

これらの処置後, 動物の酸・塩基平衡障害の補正 (重炭酸ナトリウムの投与, あるいは呼吸数の変更) を行い, 30分間循環動態の安定化を計って測定を開始した。すなわち PEEP 0 cmH_2O 時の各因子の測定を行い, 以後無作為に異なる値の PEEP をそれぞれ30分間負荷した時と, PEEP 解除30分後 (Post-P) に測定を行った。

これらの成績はすべて平均土標準偏差で表した。対照時から各測定時までの変化値に対しては paired t test を用いて検討した。そして $p < 0.05$ をもって有意差ありとした。

結 果

1. 血液性状の変化

Pao_2 は P0 時に $129 \pm 12 \text{ mmHg}$ であって, 以後実験中に変化を示さなかった。

Paco_2 は P0 時の $36.9 \pm 1.2 \text{ mmHg}$ から, P5, P10, P15, P20 でそれぞれ 38.2 ± 1.0 , 39.2 ± 1.9 , 40.4 ± 1.6 , $42.4 \pm 2.1 \text{ mmHg}$ に上昇した ($p < 0.01$)。しかし, Post-P には $37.5 \pm 1.8 \text{ mmHg}$ と初期値に復帰した。

pH は P0 時の 7.46 ± 0.04 から, P5, P10, P15,

P20 でそれぞれ 7.42 ± 0.04 , 7.39 ± 0.03 , 7.37 ± 0.03 , 7.33 ± 0.03 に低下した ($p < 0.01$). しかし, Post-P には 7.41 ± 0.08 と P0 時値との間に差を認めなくなった. しかし, base excess は P0 時に $-0.4 \pm 0.2 \text{ mEq} \cdot \text{l}^{-1}$ であって以後変化を認めなかった.

動脈血ヘマトクリット値は, P0 時に $37.8 \pm 2.3\%$ であって以後変化を認めなかった. また臓器血のヘマトクリット値は P0 時に 35 から 42% に分布し, 実験中変化を認めなかった.

2. 循環動態の変化

HR は P0 時に $121 \pm 5 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ であったが, 以後変化を認めなかった.

mAP は P0 時の $132 \pm 9 \text{ mmHg}$ から, P10, P15, P20 でそれぞれ 118 ± 8 , 108 ± 7 , $101 \pm 5 \text{ mmHg}$ に低下した ($p < 0.01$). しかし, Post-P には $125 \pm 15 \text{ mmHg}$ と P0 値との間に差を認めなくなった.

mRAP は P0 時の $5.5 \pm 0.6 \text{ mmHg}$ から, P10, P15, P20 でそれぞれ 6.3 ± 0.5 , 7.0 ± 0.6 , 7.5 ± 0.6 に上昇した ($p < 0.01$). また, Post-P でも $6.2 \pm 0.4 \text{ mmHg}$ に上昇したままであった ($p < 0.01$).

mPAP は P0 時の $13.2 \pm 1.3 \text{ mmHg}$ から, P5, P10, P15, P20 でそれぞれ 15.0 ± 1.7 , 17.4 ± 2.0 , 20.6 ± 2.3 , $23.4 \pm 2.5 \text{ mmHg}$ に上昇した ($p < 0.01$). また, Post-P でも $18.7 \pm 3.4 \text{ mmHg}$ に上昇したままであった ($p < 0.01$).

CI は P0 時の $3.0 \pm 0.2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \text{m}^2^{-1}$ から, P10, P15, P20 でそれぞれ 2.6 ± 0.2 , 2.3 ± 0.1 , $2.1 \pm 0.1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \text{m}^2^{-1}$ に低下した ($p < 0.01$). また Post-P でも $2.8 \pm 0.1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \text{m}^2^{-1}$ と低下したままであった ($p < 0.01$).

mPVP は P0 時の $4.8 \pm 0.8 \text{ mmHg}$ から, P10, P15, P20 でそれぞれ 5.4 ± 0.6 , 5.5 ± 0.4 , $5.7 \pm 0.8 \text{ mmHg}$ に上昇した ($p < 0.01$). また, Post-P でも $5.5 \pm 0.7 \text{ mmHg}$ と上昇したままであった ($p < 0.01$).

mFVP は P0 時の $6.1 \pm 1.0 \text{ mmHg}$ から, P10, P15, P20 でそれぞれ 6.8 ± 0.5 , 6.9 ± 0.8 , $6.9 \pm 0.6 \text{ mmHg}$ に上昇した ($p < 0.01$). また, Post-P でも $6.5 \pm 0.4 \text{ mmHg}$ と上昇したままであった ($p < 0.01$).

3. 平均胸腔内圧, 平均食道内圧の変化

mACP は P0 時の $2.8 \pm 1.2 \text{ mmHg}$ から, P15, P20 でそれぞれ 3.8 ± 0.7 , $3.7 \pm 0.8 \text{ mmHg}$ に上昇した ($p < 0.01$). しかし, Post-P には $2.9 \pm 1.7 \text{ mmHg}$ と P0 値との間に差を認めなくなった.

mEP は P0 時の $0.6 \pm 0.2 \text{ mmHg}$ から, P5, P10, P15, P20 でそれぞれ 0.8 ± 0.2 , 2.1 ± 0.5 , 3.7 ± 0.6 , $5.6 \pm 0.9 \text{ mmHg}$ に上昇した ($p < 0.01$). しかし, Post-P には $0.8 \pm 0.4 \text{ mmHg}$ と P0 値との間に差を認めなくなった.

4. 循環血液量と各臓器血液量の変化 (図1)

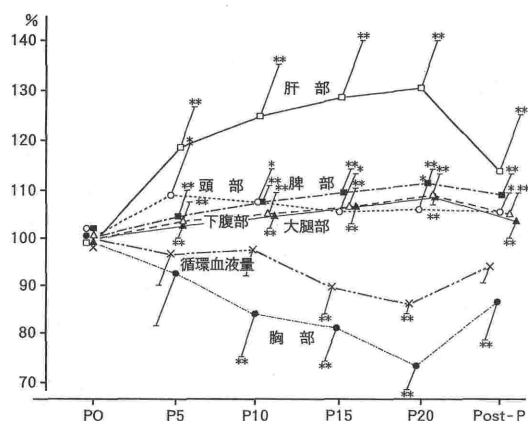


図1 循環血液量と各臓器血液量の変化
mean \pm S. D.

P0 を100とした%変化

* : P0 に対して $0.01 < p < 0.05$

** : P0 に対して $p < 0.01$

P0 : PEEP 0 cmH₂O 負荷30分後

P5 : PEEP 5 cmH₂O 負荷30分後

P10 : PEEP 10 cmH₂O 負荷30分後

P15 : PEEP 15 cmH₂O 負荷30分後

P20 : PEEP 20 cmH₂O 負荷30分後

Post-P : PEEP 解除30分後

×-× 循環血液量, ○-○ 頭部血液量

●-● 胸部血液量, □-□ 肝部血液量

■-■ 脾部血液量, ▲-▲ 下腹部血液量

▲-▲ 右大腿部血液量

循環血液量は, P0 に比して P5, P10 では変化を認めなかったが, P15, P20 ではそれぞれ 90 ± 6 , $86 \pm 2\%$ に低下した ($p < 0.01$). Post-P でも $94 \pm 4\%$ に低下したままであった ($p < 0.01$).

頭部血液量は、P0 に比して P5, P10, P15, P20 でそれぞれ 109 ± 11 , 108 ± 8 , 106 ± 7 , 106 ± 6 %に上昇した ($p < 0.05$). Post-P でも 105 ± 5 %に上昇したままであった ($p < 0.05$).

胸部血液量は、P0 に比して P10, P15, P20 でそれぞれ 84 ± 9 , 81 ± 5 , 74 ± 5 %に低下した ($p < 0.01$). Post-P でも 87 ± 9 %に低下したままであった ($p < 0.01$).

肝部血液量は、P0 に比して P5, P10, P15, P20 でそれぞれ 118 ± 7 , 127 ± 10 , 130 ± 9 , 133 ± 9 %に上昇した ($p < 0.01$). Post-P でも 113 ± 11 %に上昇したままであった ($p < 0.01$).

脾部血液量は、P0 に比して P5, P10, P15, P20 でそれぞれ 105 ± 5 , 107 ± 4 , 109 ± 5 , 112 ± 3 %に上昇した ($p < 0.01$). Post-P でも 109 ± 4 %に上昇したままであった ($p < 0.01$).

下腹部血液量は、P0 に比して P5, P10, P15, P20 でそれぞれ 104 ± 3 , 107 ± 4 , 108 ± 4 , 109 ± 4 %に上昇した ($p < 0.01$). Post-P でも 106 ± 4 %に上昇したままであった ($p < 0.01$).

大腿部血液量は、P0 に比して P5, P10, P15, P20 でそれぞれ 103 ± 3 , 106 ± 3 , 108 ± 2 , 109 ± 3 %に上昇した ($p < 0.01$). Post-P でも 105 ± 4 %に上昇したままであった ($p < 0.01$).

考 察

Ashbaugh ら⁶⁾ によって提唱された PEEP は、機能的残気量の増大、ならびに肺内シャント率の低下をもたらし、その結果動脈血酸素分圧の上昇、組織への酸素供給を増加させる⁷⁾。しかしその反面、生体機能の維持に好ましからざる点も散見される^{8~11)}。たとえば心拍出量の減少、血圧の低下、尿量の減少、体水分量の増加、頭蓋内圧の上昇、肝機能障害である。一方、PEEP 負荷が各臓器血液量に及ぼす影響については、Risøe ら³⁾ の研究しか報告されていない。すなわち、彼等はイヌに 10, 15 cmH₂O の PEEP を負荷し、肝、脾の血液量の変化をそのサイズ変化から推測した。その結果では PEEP 負荷は肝内静脈圧の上昇に伴い肝血液量が増加し、反対に脾血液量は減少した。この脾臓の血液量の減少に関して彼等は交感神経系を介する反射であると解釈した。

今回の研究で PEEP の圧が上昇するにしたがって、食道内圧すなわち胸腔内圧の上昇を来とし、

胸腔内血液量の減少を来たすことが認められた。そして反対に肝、脾、下腹部、右大腿部各部の血液量の増加が認められた。すなわち、肝血液量の増加では Risøe ら³⁾ の研究と一致したが、脾血液量変化では異なる結果を得た。また血液量の増加の程度は、肝部において最大であって、この変化が PEEP 解除後すくなくとも30分間は持続することが認められた。門脈圧は PEEP 5 cmH₂O から、大腿静脈圧は PEEP 10 cmH₂O からそれぞれ上昇してくることを認めた。同時に心拍出量の減少、平均右心房圧、平均肺動脈圧の上昇を伴い、静脈還流の低下が発生していることが認められた。

静脈還流は、骨格筋の収縮・弛緩による圧迫(筋ポンプ効果)、右心室の弛緩期に三尖弁が開くときの右心室への静脈血の吸引効果(心臓の吸引ポンプ効果)、呼吸に伴う胸腔内圧の変化によるポンプ効果(胸腹腔ポンプ効果)によって決定される¹²⁾。本研究では、全身麻酔下で筋弛緩薬を使用し、間欠的陽圧呼吸下に置いたため、上記の筋ポンプ効果はなかったものと思われる。

谷¹³⁾ は PEEP の左心、右心機能に及ぼす影響を検討し、PEEP の負荷は圧依存性に心拍出量、一回拍出量の有意の減少を来とし、PEEP の増加に伴い左心室、右心室の駆出率も低下することを認めている。そしてその低下は右心室において著明であり、PEEP 負荷による肺血管抵抗の増加から右室後負荷が増加し、駆出率が低下するものとしている。また肺の膨張に伴う直接的な心房壁への圧迫も右心系血液充満を抑制すると考えられる^{14~15)}。

筋弛緩薬を使用し、間欠的陽圧呼吸が施行されている場合には、筋ポンプ効果の消失と PEEP 負荷による心臓の吸引ポンプ効果、ならびに胸腹腔ポンプ効果の減少が発生している。そしてこれらの静脈還流を阻害する因子が複合的に作用し、静脈還流が減少し、低圧系の末梢部位に血液貯留が発生したと思われる。すなわち静脈はそのコンプライアンスが動脈に比して8~10倍も大きいため伸展されやすく、さらに内圧が低いときは楕円形を呈し、血液の充満によって円形に近づき、内圧の上昇を伴わないで貯留量を増加させることが可能である¹⁶⁾。これらの静脈圧の生理機能にも拘らず、門脈圧は PEEP 5 cmH₂O から、大腿静脈圧は PEEP 10 cmH₂O からそれぞれの静脈圧の

上昇を来たしたことは、静脈還流障害の程度は非常に大であったことを示している。またその貯留は肝血液量が速やかに増加したことから、まず門脈内に発生し、PEEP 圧の増加にしたがってより末梢の大腿静脈にも波及したものと思われる。肝静脈は洞様血管であり中心静脈の影響を受けやすく¹⁷⁻¹⁸⁾、肝細静脈枝の筋性括約筋である Lebersperre の収縮による肝血流出障害が発生すること¹⁹⁾、が容易に肝への血液貯留を来たす結果となったものと思われる。

今回の研究で脳の血液量は PEEP 5 cmH₂O で最大の増加を示した。しかし、その増加は109%にとどまり、以後 PEEP 圧を上昇させてもむしろ増加量は減少し、PEEP 20 cmH₂O で106%にとどまっていた。脳内血液量は、脳血流量の影響を比較的強く受けている。脳の血流量は、血液ガス、血管壁自動能、血液粘度、頭蓋内圧で規定される。これらの内 Paco₂ の与える影響が大であることはすでに認められていて、Paco₂ が20~80 mmHg の間で脳の血流量は Paco₂ の上昇に直線的に比例して増加する²⁰⁾。今回の研究中、Paco₂ は P0 から P20 までの間で生理的変動範囲内ではあるが増加した。しかし Paco₂ がもっとも上昇した P20 での頭部の血液量は P5 のそれに比して低下していた。このことから、今回の研究中的頭部血液量変化は Paco₂ の直接の影響によるものでないことがいえよう。また菊田ら²¹⁾、渡辺²²⁾、開ら²³⁾ は、PEEP は頭蓋内圧ならびに、脳還流圧に変化を及ぼさないとしており、このことも今回の研究結果と符号している。

下腹部、大腿部での血液量増加の程度が比較的同程度であったが、これらの部位が同一静脈系に属するものであったためではないかと想像される。

PEEP 解除後、各部位の血液量は PEEP 負荷前値へ回復傾向は見られるものの、なお多くの部位において有意な変動を示したままであった。この現象は静脈の delayed compliance (stress relaxation)¹⁶⁾ が影響したものと思われる。すなわち PEEP 負荷で静脈血の末梢貯留が発生し、この部の静脈壁のコンプライアンスを変化させ、PEEP 解除後も血液貯留が持続したものと思われる。

本研究中 PEEP によって循環血液量は減少を来たした。静脈圧、特に門脈圧の上昇は、血漿の

血管外濾出を発生させる。そしてこの際赤血球量に変化がなければ、ヘマトクリット値の上昇、すなわち血液濃縮を発生させるはずである。しかし、今回の研究中ヘマトクリット値の変動がなかった点より、PEEP に伴う血漿の血管外移行は著明でなかったと思われる。赤血球に物質 (^{99m}Tc) を標識した本研究の循環血液量測定法では、いずれかの測定しなかった部位に赤血球の trapping が発生した可能性も否定出来ない。血管外水分量、ならびに測定しなかった臓器の血液量についても検討して、この結果に考察を加えることが必要であると思われる。

以上の結果から、PEEP はその圧の上昇に比例して胸腔内血液量の減少を来たし、腹腔内、とくに門脈領域の臓器の血液量を増加させ、この回復に少なくとも30分以上を要することが明らかになった。

本研究は、文部省科学研究費補助金一般 B 04454397、ならびに川崎医科大学プロジェクト研究 4-101の補助によって行われた。

本論文の内容は、第14回日本循環制御医学会総会 (1993年5月、甲府) にて発表した。

文 献

- 1) Cournand, A., Motley, H. L., Werko, L., et al.: Physiological studies of the effects of intermittent positive pressure breathing on cardiac output in man. *Am. J. Physiol.* 152:162-174, 1948.
- 2) Lauson, H. D., Bloomfield, R. A., Cournand, A.: The influence of the respiration on the circulation in man. With special reference to pressures in the right auricle, right ventricle, femoral artery and peripheral veins. *Amer. J. Med.* 1:315-336, 1946.
- 3) Risøe, C., Hall, C., Smiseth, O. A.: Splanchnic vascular capacitance and positive end-expiratory pressure in dogs. *J. Appl. Physiol.* 70:818-824, 1991.
- 4) DuBois, E. F.: Basal metabolism in health and disease. Lea and Febiger. Philadelphia. 125-144, 1936.
- 5) 福井 明, 濱田 宏, 木村健一ら: 経時的臓器血液量の測定方法. 循環制御 12: 135-140, 1991.
- 6) Ashbaugh, D. G., Bigelow, D. B., Petty, T. L., et al.: Acute respiratory distress in adults. *Lancet* 2:319-323, 1967.
- 7) Lutch, J. S., Murray, J. F.: Continuous positive-pressure ventilation: Effects on systemic oxygen transport and tissue oxygenation. *Ann. Intern. Med.* 76:193-202, 1972.

- 8) Pick, R. A., Handler, J. B., Murata, G. H., et al.: The cardiovascular effects of positive end-expiratory pressure. *Chest* 82:345-350, 1982.
- 9) Smith, P. K., Tyson, G. S., Hammon, J. W., et al.: Cardiovascular effects of ventilation with positive expiratory airway pressure. *Ann. Surg.* 195:121-130, 1982.
- 10) Dorinsky, P. M., Whitcomb, M. E.: The effect of PEEP on cardiac output. *Chest* 84:210-216, 1983.
- 11) 永井一成, 劔物 修, 相馬一亥: PEEP の心・循環系に及ぼす影響. *循環制御* 6:153-162, 1985.
- 12) Guyton, A. C.: *Basic Human Physiology: Normal Function and Mechanisms of Disease*. W. B. Saunders Company, Philadelphia. 1971.
- 13) 谷 知久: 左心および右心機能に及ぼす PEEP の影響. *循環制御* 10:275-287, 1989.
- 14) Pinsky, M., Vincent, J. L., Smet, J. M.: Estimating left ventricular filling pressure during positive end-expiratory pressure in humans. *Am. Rev. Respir. Dis* 143:25-31, 1991.
- 15) Guyton, A. C.: *Human Physiology and Mechanisms of Disease*. Fifth ed. W. B. Saunders Company. Philadelphia. 1991.
- 16) Guyton, A. C.: *Textbook of Medical Physiology*. 8th ed. W. B. Saunders Company. Philadelphia. 1991.
- 17) Ruch, T. C., Patton, H. D.: *Physiology and Biophysics*. vol. II Twentieth ed. W. B. Saunders Company. Philadelphia, 1974.
- 18) Ganogon, W. F.: *Review of Medical Physiology* 15 ed. Appleton & Lange, Connecticut. 1971.
- 19) 堀 原一: ショックの循環病態生理. 新外科学体系 5 侵襲とショック. 木本誠二, 和田達雄監修, 中山書店, 東京. 47-77, 1990.
- 20) Michenfelder, J. D.: *Anesthesia and the Brain. Clinical, Functional, Metabolic, and Vascular Correlates*. Churchill Livingstone, 3-21, 1988.
- 21) 菊田 勇, 上原康一, 本松研一: PEEP の頭蓋内圧および脳灌流圧に及ぼす影響. *麻酔* 29:1037-1041, 1980.
- 22) 渡辺敏光: 全脳虚血後における PEEP の脳循環動態に及ぼす影響. *麻酔* 33:846-852, 1984.
- 23) 開 信郎, 北口勝康, 青山信房ら: 頭部疾患患者における PEEP および Superimposed HFJO の頭蓋内圧および脳灌流圧に及ぼす影響. *ICU と CCU* 9:59-66, 1985.

The effect of positive end-expiratory pressure (PEEP) on the organ blood volume

Akira Fukui, Masuhiko Takaori
Ken-ichi Kimura and Yoshihisa Fujita

Department of Anesthesiology, Kawasaki Medical School
577 Matsushima, Kurashiki City, Okayama, 701-01

We observed changes in the circulating blood volume as well as regional blood volume, such as the brain, thoracic cavity, liver, spleen, lower abdomen, and right femoral skeletal muscles by loading PEEP on dogs under controlled ventilation.

In the result, the circulating blood volume and the blood volume in the thoracic cavity decreased linearly in response to the increase in PEEP from 5 to 10, 15 and 20 cmH₂O, whereas blood volumes in the liver, spleen, lower abdomen and the right femoral skeletal muscles increased. At the same time, PEEP loading raised the portal and femoral venous pressures and

decreased cardiac output.

Hence, it was demonstrated that PEEP would cause accumulation of venous blood instead of increasing blood flow to various organs. However, the blood volume in the head (especially in the brain) reached the maximum (109±11%) at 5 cmH₂O PEEP. It started to decrease thereafter, but remained in 106±6% at 20 cmH₂O PEEP. The degree of increase in blood volume was the greatest (133±9%) in the liver. These changes tended to return toward the initial after PEEP had been relieved, but did not recover at all within at least 30 minutes.

Key words: organ blood volume, PEEP