

頭蓋内圧に及ぼす Inverse Ratio Ventilation の影響

三平 将彦

陽圧換気では、頭蓋内圧 (Intracranial pressure, ICP) は吸気時に上昇し呼気時に下降する。そこで、吸気時間を延長させ呼気時間を短縮し吸気呼気相比 (inspiratory/expiratory ratio, I : E) が逆転する人工呼吸法 Inverse Ratio Ventilation (IRV) が、ICP にどのような影響を与えるかを雑種成犬を用いて実験した。I : E は 1 : 2 から 1.7 : 1, 2.3 : 1, 4 : 1 まで吸気時間を延長させ、吸気流速波形は矩形波 (矩形波群, $n = 10$) と漸増波 (漸増波群, $n = 10$) の二種類を用い、流速波形の影響も検討した。ICP, 最高気道内圧, 平均気道内圧, 平均動脈圧, 平均肺動脈圧, 中心静脈圧, 心拍出量を I : E 変更 30 分後に測定した。ICP の変化は、I : E = 1 : 2, 1.7 : 1, 2.3 : 1, 4 : 1 でそれぞれ矩形波群が 12.7 ± 3.1 , 12.4 ± 4.6 , 12.3 ± 3.3 , 14.4 ± 3.5 cmH₂O (mean \pm SD), 漸増波群が 12.0 ± 6.6 , 14.0 ± 6.0 , 12.0 ± 6.3 , 13.8 ± 2.8 cmH₂O であった。両群とも ICP は各 I : E 間で有意差なく、また両流速波形群間でも有意差を認めなかった。次に、人工脳脊髄液の持続注入により ICP を上昇させたイヌ (頭蓋内圧亢進群, $n = 10$) を用いて同様に検討した。ICP は I : E = 1 : 2, 1.7 : 1, 2.3 : 1, 4 : 1 でそれぞれ 29.4 ± 7.0 , 28.6 ± 7.0 , 28.1 ± 7.1 , 27.0 ± 6.2 cmH₂O と有意の変化を認めず、吸気時間の延長は ICP に影響を及ぼさなかった。また、3 群とも平均気道内圧は全ての IRV で有意に ($p < 0.05$) 上昇したが、最高気道内圧および血行動態は有意な変化を認めなかった。IRV では最高気道内圧が上昇しないので、頭蓋内血行動態への影響が少なく ICP は上昇しない。この結果は、IRV は頭蓋内圧亢進患者の人工呼吸法として有用であることを示唆した。

(平成10年4月30日受理)

Effects of Inverse Ratio Ventilation on Intracranial Pressure in Dogs

Masahiko MIHIRA

The correlation between the inspiratory to expiratory ratio (I : E ratio) and intracranial pressure (ICP) has not been clarified. This study was undertaken to determine the effects of the I : E ratio = 1 : 2 to 4 : 1 on ICP in dogs with normal ICP and elevated ICP. Thirty animals were divided into three groups. Animals in the first group ($n = 10$) were ventilated with a constant inspiratory flow pattern, in the second group ($n = 10$) with an increasing inspiratory flow pattern, and in the third group ($n = 10$) with a constant inspiratory flow pattern under elevated ICP. In each animal, following the control ventilation (I : E ratio = 1 : 2), three different I : E ratios of inverse ratio ventilation (IRV) were applied in the order of I : E = 1.7 : 1, 2.3 : 1, and 4 : 1. Arterial carbon dioxide (PaCO₂) was constantly maintained normocapnia by adding or subtracting the dead space

tube throughout the experiment. Tidal volume and ventilatory frequency were unaltered. ICP, mean airway pressure (mean Paw), peak airway pressure (peak Paw) and such hemodynamics as mean arterial pressure, mean pulmonary artery pressure, central venous pressure and cardiac output, were measured at 30 min under every I : E ratio ventilatory condition.

Changes in the I : E ratio had no effect on hemodynamics in any of the groups. The mean Paw was higher during IRV than that during control ventilation ($p < 0.05$), but there was no difference in peak Paw between control ventilation and the different ratios of IRV. Despite the higher mean Paw, ICP remained unchanged during IRV as compared with control ventilation in the three groups (12.7 ± 3.1 , 12.4 ± 4.6 , 12.3 ± 3.3 and 14.4 ± 3.5 cmH₂O in the first group, 12.0 ± 6.6 , 14.0 ± 6.0 , 12.0 ± 6.3 and 13.8 ± 2.8 cmH₂O in the second group, 29.4 ± 7.0 , 28.6 ± 7.0 , 28.1 ± 7.1 and 27.0 ± 6.2 cmH₂O in the third group, at I : E = 1 : 2, 1.7 : 1, 2.3 : 1 and 4 : 1, respectively).

This study showed that IRV (at I : E ratios of 1.7 : 1, 2.3 : 1, and 4 : 1) does not influence ICP. Therefore IRV may be a good strategy in the mechanical ventilation of patients with intracranial hypertension. (Accepted on April 30, 1998) *Kawasaki Igakkaishi* 24(1) : 17-24, 1998

Key Words ① Inverse ratio ventilation ② Intracranial pressure
③ Peak airway pressure ④ Intracranial hypertension

はじめに

終末呼気陽圧 (positive end-expiratory pressure, PEEP) は機能的残気量を増加させ肺酸化能を改善する¹⁾。しかし、PEEPは頭蓋内圧 (intracranial pressure, ICP) を上昇させ^{2)~4)} 頭部外傷患者の神経症状が悪化した報告もある^{5), 6)}。Bone は⁷⁾、頭蓋内圧亢進症では高い PEEP および高い最高気道内圧を避けた肺酸化能の改善方法が必要であると述べている。一方、PEEP による気道内圧の上昇は気圧外傷をもたらす^{8), 9)} 気道内圧を低く維持して、肺酸化能を改善する人工呼吸法が検討されるようになった。その一つに、一呼吸サイクルの吸気時間を延長させ呼気時間を短くする、すなわち吸気呼気相比 (inspiratory/expiratory ratio, I : E) を逆転させる人工呼吸法 Inverse ratio ventilation (IRV) がある。すでに急性呼吸不全の人工呼吸法として肺酸化能の改善に有効である事が認められている^{10), 11)}。

陽圧換気では、ICP は胸腔内圧の変動を反映し吸気時に上昇、呼気時に吸気前値にもどる呼

吸性変動がみられる。従って、一呼吸サイクルで呼気時間を短くする IRV は ICP に影響を及ぼす可能性がある。そこで、I : E を 1 : 2, 1.7 : 1, 2.3 : 1, 4 : 1 と変更し吸気時間の延長が ICP に及ぼす影響を、正常頭蓋内圧、および頭蓋内圧亢進のイヌを用いて、吸気流速波形を矩形波と漸増波の2種類に分けて研究した。

対象および方法

本研究は川崎医科大学動物実験委員会の承認を受け (97-042, 1997年)、川崎医科大学の動物実験指針に基づき実施した。

体重 13 ± 2 kg の雑種成犬30頭を対象に、ペントバルビタール 25 mg/kg を静注後気管内挿管し、十分なカフ圧で気道をシールした。麻酔は1%ハロセンで維持し、バンクロニウム 0.1 mg/kg の間欠的投与で不動化した。麻酔深度は瞳孔径、心拍数、動脈圧を観察し十分な深度であることを確認した。人工呼吸は Servo Ventilator 900B (SIEMENS-ELEMA, Solna, Sweden) で $F_{iO_2} = 1.0$ 、分時換気量は動脈血炭酸ガス分圧が normocapnia ($PaCO_2 = 40 \pm 2$ mmHg)

となるように設定した。最高気道内圧 (peak airway pressure, peak Paw), 平均気道内圧 (mean airway pressure, mean Paw) は, CP-100Pulmonary Monitor (Bicore, Irvine, CA) で測定した。左大動脈にカテーテルを留置し平均動脈圧測定 (mean arterial pressure, MAP) および動脈血採血に用いた。スワンガンツカテーテル (Five French size, Arrow International, Inc., PA) を左大腿静脈から肺動脈に挿入し, 心拍出量 (cardiac output, CO), 平均肺動脈圧 (mean pulmonary artery pressure, MPAP), 中心静脈圧 (central venous pressure, CVP) の測定と混合静脈血の採血に用いた。心拍数 (heart rate, HR) は心電計を用いて測定した。各 MAP, MPAP, CVP はトランスデューサー (A001; ガンプロ社, 東京) に接続し, 磁気レコーダー (RTA 1200; 日本光電, 東京) に記録した。これらの圧は胸郭前後径中線の高さをゼロ点として測定した。心拍出量は心拍出量計 (HEMOPRO1 SP 1445; SPECTRAMED, WI) を用いて熱希釈法で測定した。動脈血 (a) および混合静脈血 (v) の酸素分圧 (PO_2), 炭酸ガス分圧 (PCO_2), 酸素飽和度 (S), pH は血液ガス測定装置 (1304 pH/Blood Gas Analyzer; Instrumentation Laboratory, Milan, Italy) で測定し, ヘモグロビン濃度 (hemoglobin concentration, Hb) は IL 482 TMCO-Oximeter (Instrumentation Laboratory, Milan, Italy) で測定した。呼気炭酸ガス濃度は呼気ガスモニター (Capnomac Ultima; Datex, Helsinki, Finland) を用いて持続的に測定した。肺内シャント率 (\dot{Q}_s/\dot{Q}_t) は以下の式で求めた¹²⁾。

$$\dot{Q}_s/\dot{Q}_t = (CcO_2 - CaO_2) / (CcO_2 - C\bar{v}O_2) \times 100$$

ただし CcO_2 = 肺胞終末毛細血管血酸素含量

CaO_2 = 動脈血酸素含量

$C\bar{v}O_2$ = 混合静脈血酸素含量

を用いた。

ICP 測定法

体位は腹臥位で, 頭部を軽度挙上させ定位脳

固定装置 (SN-1; NARISIGE, 東京) に固定した。側頭骨を露出し歯科用ドリル (TR-2; モリタ製作所, 東京) で Burr hole (径 3 mm) をあけ, 18G 静脈留置用カテーテルの先端を正中矢状面から 10 mm 外側, 両側外耳道を結ぶ線から鼻側 10 mm, 両側下眼窩と両側外耳道を結ぶ平面上 25 mm にある側脳室内に留置した^{13)~16)}。カテーテル先端が側脳室内にあることは, 髄液の逆流で確認した。ICP は, カテーテルをトランスデューサー (TP-400T; 日本光電, 東京) に接続し外耳道をゼロ点にとり, 計測値を平均値で示した。Burr hole は歯科用セメントで閉鎖した。脳灌流圧 (cerebral perfusion pressure, CPP) は次の式で求めた。

$$CPP = MAP - ICP$$

頭蓋内圧亢進モデル

後頭部皮膚を切開して小脳延髄溝にカテーテルを挿入し¹⁵⁾, 以下に述べる人工的に作製した髄液を ICP が一定 (29.4 ± 7.0 cmH₂O) となるようにシリンジポンプ (TE311; テルモ, 東京) を用いて持続注入 (10 ml/hr) した。人工髄液は組成が, $NaCl = 7.0$ g/L, $NaHCO_3 = 1.9$ g/L, $NaH_2PO_4 \cdot H_2O = 0.014$ g/L, $Na_2HPO_4 = 0.057$ g/L, $KCl = 0.268$ g/L, $MgSO_4 = 0.0145$ g/L, $CaCl_2 = 0.128$ g/L, glucose = 1.8 g/L, pH = 7.4 となるように作製した¹⁷⁾。

プロトコール

動物を無作為に, 正常頭蓋内圧の状態で吸気流速波形を矩形波で換気した10頭 (矩形波群), 正常頭蓋内圧の状態で吸気流速波を漸増波形で換気した10頭 (漸増波群), 頭蓋内圧亢進状態で吸気流速波形を矩形波で換気した10頭 (頭蓋内圧亢進群) の3群に分けた。体温は直腸温を測定し, 温水マットを用いて37℃に維持した。輸液は乳酸加リンゲル液を 3 ml/kg/hr 投与した。以上の操作が終了後, 60分間測定項目が安定し

ていることを確認した後に測定を開始した。測定中の分時換気量は一定にした。1頭の犬につき、I:Eが1:2の値(コントロール1)を測定後、順次I:Eを1.7:1, 2.3:1, 4:1として測定を行った。4種類のI:Eで測定後、次に再度I:Eを1:2に戻して測定し(コントロール2)、コントロール2とコントロール1の測定値が近似していることを確認した。全ての測定値はI:E変更後30分経過してから測定した。吸気時間の延長に伴うPaCO₂の低下は、死腔チューブ(100-300 mL)を付加して一定に維持し¹⁸⁾、PaCO₂の変化が及ぼす脳血流への影響を除外した。

結果は、平均±標準偏差で表現した。統計学的有意差は、Student's t testでP<0.05を統計学的有意とした。

結 果

漸増波群と矩形波群の間では、全ての測定値に有意差を認めなかった。また3群ともコントロール1とコントロール2の測定値に有意差を認めなかった。

1. 気道内圧 (Table 1, 2)

3群ともPeak Pawは全てのI:Eで変化しなかったが、mean Pawは吸気時間の延長(I:E=1.7:1, 2.3:1, 4:1)によりI:E=1:2(コントロール1及び2)と比較して有意に上昇した(p<0.05)。

2. ガス交換能 (Table 1, 2)

血液ガス分析値および肺内シャント率は、3群とも各I:E間に有意差を認めなかった。

3. 血行動態 (Table 3, 4)

3群とも各I:E間で、血圧および心拍出量に有意差を認めなかった。

4. ICPおよびCPP (Table 3, 4)

今回得られた正常のICPは、normocapniaでのハロセン麻酔における犬の正常頭蓋内圧6-9 cmH₂O^{19), 20)}と近似していた。3群とも吸気時間の延長でICPおよびCPPは変化を認めなかった。

Table 1. Airway pressure, blood gas analysis and hemoglobin (Hb) during mechanical ventilation with a constant inspiratory flow pattern (CIFP) and an increasing inspiratory flow pattern (IIFP) in dogs with normal ICP.

I:E ratio	1:2(control 1)	1.7 : 1	2.3 : 1	4 : 1	1:2(control 2)
CIFP group					
peak Paw (cmH ₂ O)	14 ± 4	14 ± 4	14 ± 3	14 ± 3	13 ± 3
mean Paw (cmH ₂ O)	3 ± 1	7 ± 2 [#]	7 ± 2 [#]	10 ± 2 [#]	3 ± 2
pH	7.34 ± 0.03	7.34 ± 0.03	7.34 ± 0.03	7.36 ± 0.02	7.34 ± 0.05
PaCO ₂ (mmHg)	40 ± 1	39 ± 2	39 ± 2	39 ± 2	40 ± 2
PaO ₂ (mmHg)	530 ± 77	552 ± 71	545 ± 50	565 ± 49	542 ± 77
SvO ₂ (%)	93 ± 4	91 ± 6	91 ± 5	91 ± 6	91 ± 5
PvO ₂ (mmHg)	77 ± 13	75 ± 17	71 ± 11	70 ± 14	69 ± 12
PvCO ₂ (mmHg)	45 ± 2	45 ± 3	47 ± 2	46 ± 2	47 ± 2
Hb (g/dl)	15 ± 2	15 ± 2	15 ± 2	14 ± 3	15 ± 3
Qs/Qt (%)	12.4 ± 5.7	10.1 ± 4.9	9.7 ± 3.6	9.7 ± 5.4	9.7 ± 4.2
IIFP group					
peak Paw (cmH ₂ O)	12 ± 2	13 ± 2	13 ± 3	13 ± 3	12 ± 2
mean Paw (cmH ₂ O)	3 ± 2	7 ± 2 [#]	7 ± 2 [#]	11 ± 1 [#]	3 ± 1
pH	7.33 ± 0.04	7.34 ± 0.05	7.33 ± 0.05	7.35 ± 0.01	7.33 ± 0.06
PaCO ₂ (mmHg)	41 ± 2	40 ± 3	40 ± 3	39 ± 2	41 ± 2
PaO ₂ (mmHg)	541 ± 54	535 ± 46	522 ± 78	527 ± 45	552 ± 38
SvO ₂ (%)	93 ± 3	92 ± 4	92 ± 3	93 ± 2	93 ± 4
PvO ₂ (mmHg)	69 ± 12	75 ± 12	74 ± 10	72 ± 8	76 ± 11
PvCO ₂ (mmHg)	46 ± 3	45 ± 2	47 ± 5	45 ± 2	48 ± 4
Hb (g/dl)	15 ± 2	15 ± 2	15 ± 2	16 ± 2	15 ± 2
Qs/Qt (%)	14.1 ± 10.8	12.0 ± 5.2	12.1 ± 7.2	11.1 ± 4.3	11.1 ± 4.9

peak Paw=peak airway pressure; mean Paw=mean airway pressure; PaCO₂=arterial PCO₂; PaO₂=arterial PO₂; SvO₂=mixed venous oxygen saturation; PvO₂=mixed venous PO₂; PvCO₂=mixed venous PCO₂; Qs/Qt=intrapulmonary shunt.

Values are means ± SD.

[#] p<0.05 vs 1:2 (control 1, 2).

Table 2. Airway pressure, blood gas analysis and hemoglobin (Hb) during mechanical ventilation with a constant inspiratory flow pattern dogs with increased ICP.

I:E ratio	1:2(control 1)	1.7 : 1	2.3 : 1	4 : 1	1:2(control 2)
peak Paw (cmH ₂ O)	11 ± 2	11 ± 2	11 ± 2	11 ± 3	11 ± 2
mean Paw (cmH ₂ O)	3 ± 1	6 ± 2 [#]	6 ± 2 [#]	7 ± 2 [#]	3 ± 1
pH	7.32 ± 0.04	7.33 ± 0.04	7.33 ± 0.04	7.33 ± 0.04	7.32 ± 0.03
PaCO ₂ (mmHg)	40 ± 2	38 ± 2	39 ± 3	39 ± 2	40 ± 2
PaO ₂ (mmHg)	539 ± 53	557 ± 19	559 ± 25	567 ± 23	555 ± 22
SvO ₂ (%)	92 ± 3	92 ± 2	92 ± 2	92 ± 2	93 ± 2
PvO ₂ (mmHg)	74 ± 9	73 ± 8	74 ± 8	73 ± 6	74 ± 7
PvCO ₂ (mmHg)	45 ± 2	44 ± 3	45 ± 4	45 ± 3	45 ± 4
Hb (g/dl)	14 ± 2	14 ± 2	14 ± 2	14 ± 1	14 ± 2
Qs/Qt (%)	12.6 ± 6.0	10.3 ± 2.5	10.8 ± 3.3	9.6 ± 3.2	10.9 ± 2.7

peak Paw=peak airway pressure; mean Paw=mean airway pressure; PaCO₂=arterial PCO₂; PaO₂=arterial PO₂; SvO₂=mixed venous oxygen saturation; PvO₂=mixed venous PO₂; PvCO₂=mixed venous PCO₂; Qs/Qt=intrapulmonary shunt. Values are means ± SD.

[#] p<0.05 vs 1 : 2 (control 1, 2).

Table 3. Intracranial pressure(ICP), cerebral perfusion pressure (CPP) and systemic hemodynamic variables during mechanical ventilation with a constant inspiratory flow pattern (CIFF) and an increasing inspiratory flow pattern (IIFP) in dogs with normal ICP.

I:E ratio	1:2(control 1)	1.7 : 1	2.3 : 1	4 : 1	1:2(control 2)
CIFF group					
ICP(cmH ₂ O)	12.7 ± 3.1	12.4 ± 4.6	12.3 ± 3.3	14.4 ± 3.5	13.1 ± 3.5
CPP(mmHg)	114 ± 14	115 ± 16	113 ± 16	101 ± 16	114 ± 15
MAP(mmHg)	127 ± 14	129 ± 15	127 ± 15	116 ± 18	127 ± 14
HR (b.p.m.)	144 ± 16	140 ± 16	136 ± 17	136 ± 31	139 ± 18
MPAP (mmHg)	16 ± 5	18 ± 5	19 ± 5	21 ± 6	19 ± 4
CVP(mmHg)	3 ± 3	4 ± 3	4 ± 3	5 ± 3	4 ± 3
CO(L/min)	2.2 ± 0.5	2.1 ± 0.5	2.1 ± 0.3	2.1 ± 0.5	2.3 ± 0.2
IIFP group					
ICP(cmH ₂ O)	12.0 ± 6.6	14.0 ± 6.0	12.0 ± 6.3	13.8 ± 2.8	11.9 ± 6.9
CPP(mmHg)	121 ± 20	119 ± 20	119 ± 21	118 ± 17	117 ± 19
MAP(mmHg)	133 ± 21	133 ± 23	131 ± 22	132 ± 18	130 ± 19
HR (b.p.m.)	152 ± 38	154 ± 40	149 ± 35	156 ± 43	151 ± 36
MPAP (mmHg)	16 ± 4	19 ± 3	19 ± 3	18 ± 3	18 ± 3
CVP(mmHg)	3 ± 5	4 ± 5	4 ± 4	4 ± 4	4 ± 4
CO(L/min)	2.5 ± 0.9	2.3 ± 0.6	2.4 ± 0.6	2.5 ± 0.4	2.3 ± 0.5

MAP = mean arterial pressure; HR = heart rate; b.p.m. = beats per minute; MPAP = mean pulmonary artery pressure; CVP = central venous pressure; CO = cardiac output. Values are means ± SD.

考 察

通常の人工呼吸に用いられる I : E = 1 : 2 から I : E を 1.7 : 1, 2.3 : 1, 4 : 1 と吸気時間を延長しても, ICP の変化は認めなかった。陽圧換気による気道内圧の上昇は胸腔内圧を上昇させ中心静脈圧の上昇により脳静脈還流を障害する。この脳静脈還流障害は頭蓋内血液量を増加させ, その結果 ICP が上昇する²¹⁾。さらに胸腔内圧の上昇と中心静脈のうっ血は椎間孔を介して胸部髄液腔を圧迫し頭蓋内髄液量を増加させる²²⁾。このように気道内圧の変動は ICP に影響を与え, ICP が呼吸性に変動する (Fig. 1)。しかし IRV では, 吸気時間を延長させても peak Paw が上昇しないので ICP は上昇しなかった。

また人工呼吸中の ICP には, 吸気時に上昇し呼気時に上昇前値まで低下する呼吸性変動がみられる。IRV では呼気時間が短くなるので, 吸気時に上昇した ICP が呼気時に上昇前値まで完全に低下する前に吸気が始まり, ICP が漸増的に上昇していくことが考えられる。しかし呼気時間の短縮に比例して呼気流速は速くなり, ICP の低下もそれに一致して速くなることを認め ICP は上昇しなかった (Fig. 1)。

頭蓋内容量の増加に伴う ICP の変化はその頭蓋内エラストランスに影響される^{23), 24)}。すなわち頭蓋内エラストランスが高くなるまで頭蓋内容量を増加さ

Table 4. Intracranial pressure (ICP), cerebral perfusion pressure (CPP) and systemic hemodynamic variables during mechanical ventilation with a constant inspiratory flow pattern in dogs with increased ICP.

I:E ratio	1:2(control 1)	1.7:1	2.3:1	4:1	1:2(control 2)
ICP(cmH ₂ O)	29.4±7.0	28.6±7.0	28.1±7.1	27.0±6.2	28.4±6.5
CPP(mmHg)	90±8	90±7	91±6	90±7	89±8
MAP(mmHg)	111±10	110±10	111±8	109±9	109±10
HR(b.p.m.)	115±46	124±23	123±21	120±19	120±19
MPAP(mmHg)	16±4	18±3	17±4	18±4	16±4
CVP(mmHg)	4±1	5±1	5±1	6±1	4±1
CO(L/min)	2.2±0.8	2.2±0.8	2.1±0.8	1.9±0.5	2.0±0.7

MAP=mean arterial pressure; HR=heart rate; b.p.m.=beats per minute; MPAP=mean pulmonary artery pressure; CVP=central venous pressure; CO=cardiac output.

Values are means ± SD.

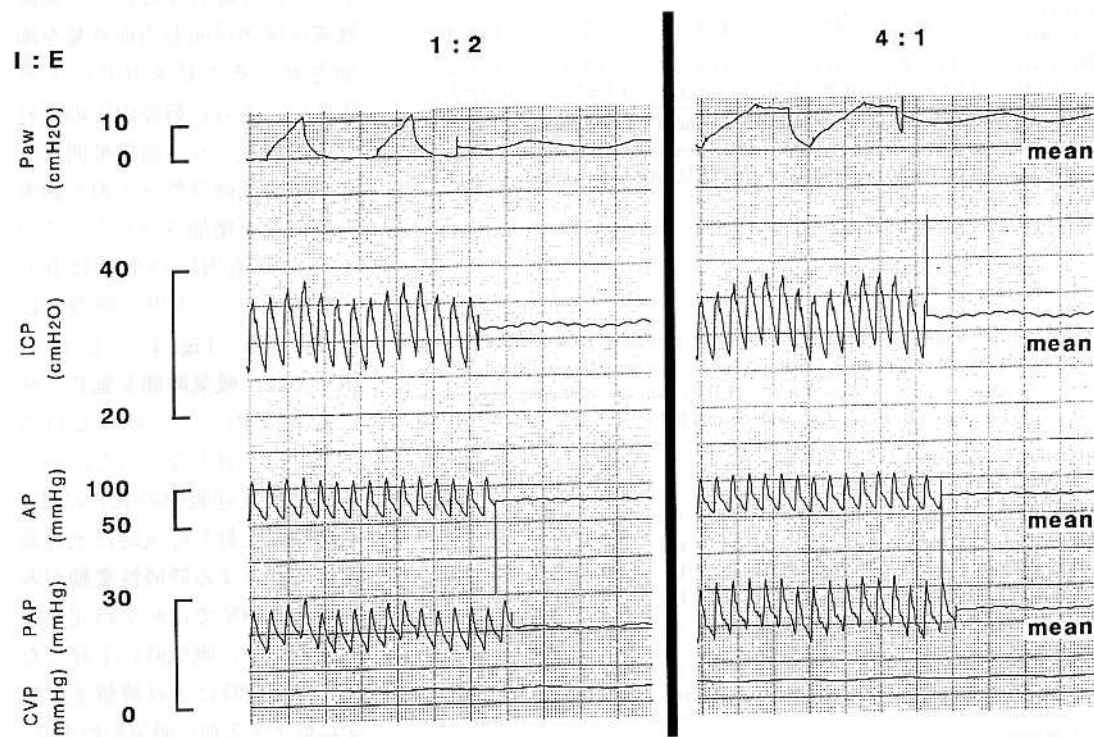


Fig. 1. Polygraph recording of airway pressure (Paw), intracranial pressure (ICP), arterial pressure (AP), pulmonary artery pressure (PAP), central venous pressure (CVP), at I:E = 1:2 and 4:1. ICP waves are synchronous with ventilatory cycles.

せた場合は、少しの容量変化が ICP を大きく変化させる。そこで頭蓋内圧亢進群を作成し、IRV が ICP に及ぼす影響を検討したが、頭蓋内エラストンが高い状態でも IRV の ICP への影響は認められなかった。

吸気流速波形が異なると mean Paw および peak Paw が変化し、肺酸素化能および血行動態に差をもたらす^{25), 26)}。この研究で用いた吸

気流速波形の違いでは血行動態、ICP および肺酸素化能に変化を認めなかった。今回用いた流速波形が、矩形波と漸増波で比較的類似した波形を用いたためと考える。また、正常肺のため肺コンプライアンスが高く、吸気流速波形の違いは気道内圧に影響を与えなかったことも関与している。

IRV による肺酸素化能の改善は mean Paw の

上昇によるとされているが^{(25), (27)}、この研究では PaO_2 の上昇を認めなかった。これは肺が病的肺でなく、しかも純酸素で換気したため、低酸素血症の大きな原因となる肺内不均等換気の因子⁽²⁸⁾ が少ないことによる。さらに IRV はこの不均等換気の是正に有効だが、その効果に時間がかかる⁽¹¹⁾ ことも関与している。

この研究では IRV で ICP は上昇せず、これは Clarke⁽²⁹⁾ の、IRV における mean Paw の変化と ICP とは関係がないという速報と一致している。この研究では、IRV が頭蓋内圧亢進症の患者の人工呼吸管理時に有効な換気様式であることを示唆した。

結 語

IRV が ICP、血行動態、気道内圧および肺酸素化能に及ぼす変化を、通常用いられている人工呼吸 ($\text{I:E} = 1:2$) と比較し検討した。IRV では平均気道内圧は上昇させるが最高気道内圧は上昇せず循環動態への影響も少ないため、脳静脈還流が障害されず ICP の変化も認めない。

稿を終えるにあたり、ご指導とご校閲を賜りました川崎医科大学麻酔・集中治療医学教室左利厚生教授に深甚なる謝意を表します。そして直接のご指導をいただきました同教室藤田喜久助教授、横田喜美夫助教授に深謝いたします。本研究は本学プロジェクト研究費(8-715)の援助によって行われた。尚、本論文の要旨は第25回日本集中治療医学会総会(1998年3月、東京)にて発表した。

文 献

- Hemmer M : Ventilatory support for pulmonary failure of the head trauma patients. *Bull Eur Physiopathol Respir* 21 : 287-293, 1985
- Doblar DD, Santiago TV, Kahn AU, Edelman NH : The effect of positive end-expiratory pressure ventilation (PEEP) on cerebral blood flow and cerebrospinal fluid pressure in goats. *Anesthesiology* 55 : 244-250, 1981
- Hurst JM, Saul TG, Dehaven CB Jr, Branson R : Use of high frequency jet ventilation during mechanical hyperventilation to reduce intracranial pressure in patients with multiple organ system injury. *Neurosurgery* 15 : 530-534, 1984
- Luce JM : Medical management of head injury. *Chest* 89 : 864-872, 1986
- Apuzzo MLJ, Weiss MH, Peterson V, Small RB, Kurze T, Heiden JS : Effect of positive end expiratory pressure ventilation on intracranial pressure in man. *J Neurology* 46 : 227-232, 1977
- Shapiro HM, Marshall LF : Intracranial pressure response to PEEP in head-injured patients. *J Trauma* 18 : 254-256, 1978
- Bone RC : Complication of mechanical ventilation and expiratory pressure. *Resp Care* 27 : 402-407, 1982
- de-Latorre FJ, Tomasa A, Klamburg J, Leon C, Soler M, Rius J : Incidence of pneumothorax and pneumomediastinum in patients with aspiration requiring ventilatory support. *Chest* 72 : 141-144, 1977
- Petersen GW, Baier H : Incidence of pulmonary barotrauma in a medical ICU. *Crit Care Med* 11 : 67-69, 1983
- Sari A, Yamashita S, Toriumi T, Nakashima K, Kawata R, Kunihiro M, Yonei A : The effects of inversed ratio ventilation (IRV) on arterial oxygenation during mechanical ventilation in patients with acute respiratory failure. *Resuscitation* 22 : 93-101, 1991
- Sari A, Toriumi T, Yamashita S, Nonoue T, Kojima S, Kawai K, Yonei A : Combined effects of inversed ratio ventilation (IRV) with positive end-expiratory pressure (PEEP) ventilation on cardiorespiratory function in acute respiratory failure. *J Anesthesia* 5 : 105-113, 1991
- Bendixen HH : Respiratory care. Saint Louis, Mosby. 1965, pp52-55
- Artru AA : Relationship between cerebral blood volume and CSF pressure during anesthesia with Isoflurane or Fentanyl in dogs. *Anesthesiology* 60 : 575-579, 1984

- 14) Pang D, Scialabassi RJ, Horton JA : Lysis of intraventricular blood clot with Urokinase in canine model : Part 1. *Neurosurgery* 19 : 540-546, 1986
- 15) Artru AA : Intracranial volume-pressure relationship following thiopental or etomidate. *Anesthesiology* 71 : 763-768, 1989
- 16) Artru AA : Relationship between cerebral blood volume and CSF pressure during anesthesia with Halothane or Enflurane in dogs. *Anesthesiology* 58 : 533-539, 1983
- 17) Mann JD, Butler AB, Rosenthal JE, Maffeo CJ, Johnson RN, Bass NH : Regulation of intracranial pressure in rat, dog and man. *Ann Neurol* 13 : 156-165, 1978
- 18) Czinn EA, Salem MR, Crystal GJ : Hemodilution impairs hypocapnia-induced vasoconstrictor responses in the brain and spinal cord in dogs. *Anesth Analg* 80 : 492-498, 1995
- 19) Artru AA, Hornbein TF : Closed ventriculocisternal perfusion determine CSF production rate and pressure. *Am J Physiol* 251 : R996-R999, 1986
- 20) Artru AA : Effects of halothane and fentanyl on the rate of CSF production in dogs. *Anesth Analg* 62 : 581-585, 1983
- 21) Luce JM, Huseby JS, Kirk W, Butler J : Mechanism by which positive end-expiratory pressure increases cerebrospinal fluid pressure in dogs. *J Appl Physiol* 52 : 231-235, 1982
- 22) Guerci AD, Shi A-Y, Levin H, Tsitlik J, Weisfeldt ML, Chandra N : Transmission of intrathoracic pressure to the intracranial space during cardiopulmonary resuscitation in dogs. *Circ Res* 56 : 20-30, 1985
- 23) Langfitt TW, Weinstein JD, Kassell NF : Cerebral vasomotor paralysis produced by intracranial hypertension. *Neurology* 15 : 622-64, 1965
- 24) Miller JD, Garibi J, Pickard JD : Induced changes of cerebrospinal fluid volume. *Arch Neurol* 28 : 265-269, 1973
- 25) Gattinoni L, Marcolin R, Caspani ML, Fumagalli R, Mascheroni D, Pesenti A : Constant mean airway pressure with different patterns of positive pressure breathing during the adult respiratory distress syndrome. *Bull Eur Physiopathol Respir* 21 : 275-279, 1985
- 26) Marini JJ, Ravenscraft SA : Mean airway pressure : Physiologic determinants and crinical importance-Part 2 : Clinical implications. *Crit Care Med* 20 : 1604-1616, 1992
- 27) Marcy TW, Marini JJ : Inverse ratio ventilation in ARDS : Rationale and implementation. *Chest* 100 : 494-504, 1991
- 28) Bendixen HH : Respiratory care. Saint Louis, Mosby. 1965, pp 12-27
- 29) Clarke JP : The effects of inverse ratio ventilation on intracranial pressure : A preliminary report. *Intensive Care Med* 23 : 106-109, 1997