DOI:10.16016/j.1000-5404.2002.08.031
第24卷第8期 第三军医大学学报 Vol. 24, No. 8
944 2002年8月 ACTA ACADEMIAE MEDICINAE MILITARIS TERTIAE Aug. 2002

论著

文章编号:1000-5404(2002)08-0944-03

4种通气模式对严重烟雾吸入伤犬早期血流动力学的影响

陶国才,杨宗城,刘志远,傅琼芳,何保斌,李根凤,魏钜菊,黎 鳌 (第三军医大学附属西南医院全军烧伤研究所,重庆 400038)

提 要:目的 观察4种通气模式对严重烟雾吸入伤犬早期血流动力学的影响。方法 35只犬分为PEEP组、PC组、CPAP组、IRV组和对照组。伤后1 h开始连续24 h机械通气。FiO_2=0.4,,PIP=16 cmH_2O,PEEP/CPAP=6 cmH_2O,除IRV组I∶E=2∶1外,其他通气组I∶E=1∶2。结果 各通气组治疗初期CVP、PAP、PCWP、PVR呈不同程度升高,24 h呈回降趋势;各通气组分别于伤后6 h或12 h降至最低点后呈回升趋势,但对照组CI呈进行性降低。结论 本实验所采用的通气模式及参数于烟雾吸入伤早期持续24 h通气治疗对血流动力学无明显不良影响,初期对血流动力学的影响与平均气道压水平关系较密切;机械通气在改善机体供氧的同时,可在一定程度上改善肺循环,增加心排血量;其中,CPAP组、PC组对血流动力学的影响小于PEEP组和IRV组。

关键词:机械通气;烟雾,吸入伤;血流动力学;犬
中图法分类号:R331.3;R332.2;R644 文献标识码:A

Effect of 4 mechanical ventilation modes on hemodynamics of dogs in early stage after severe smoke inhalation injury

TAO Guo-cai, YANG Zong-cheng, LIU Zhi-yuan, FU Qiong-fang, HE Bao-bin, LI Gen-Feng, WEI Ju-ju, LI Ao (Institute of Burn Research, Southwest Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: Objective To observe the effect of 4 mechanical ventilation modes on hemodynamics in early stage after severe smoke inhalation injury in dogs. Methods A total of 35 dogs after smoke inhalation injury were equally divided into 5 groups according to different ventilation modes, that is, positive end expiratory pressure (PEEP), pressure control (PC), continuous positive airway pressure (CPAP), inverse ratio ventilation (IRV), and control. Continuous 24-hour mechanical ventilation was performed with same breathing machine 1 h after smoke inhalation injury at FiO_2 of 0.4, PIP of 16 cmH_2O, PEEP/CPAP of 6 cmH_2O, I∶E of 2∶1 in IRV group, and I∶E of 1∶2 in other ventilation groups. Results CVP, PAP, PCWP, and PVR increased to different degree in the early period after mechanical ventilation in 4 ventilation groups and showed descending trend 24 h after injury. CI decreased to the lowest point 6 h or 12 h after injury in 4 ventilation groups and then showed increasing trend, but progressive decreased in control group. Conclusion Modes and parameters at continuous 24— hour mechanical ventilation have no remarkable negative effects on hemodynamics in early stage after smoke inhalation injury. Hemodynamic depression in the early period of mechanical ventilation depends on the level of mean airway pressure. Following the improvement of oxygen delivery capacity, mechanical ventilation can improve pulmonary circulation and increase cardiac output to certain degree. The CPAP and PC groups have less effect on hemodynamics than those in PEEP and IRV groups.

Key words: mechanical ventialtion; inhalation injury; hemodynamics; smoke; dogs

机械通气是治疗低氧血症和ARDS等急慢性呼吸衰竭的主要手段之一,但有关机械通气治疗烟雾吸入伤尚缺乏较系统深入的研究。本实验着重观察4种机械通气模式连续24 h治疗对严重烟雾吸入伤犬早期血流动力学的影响,试图为临床提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验动物及分组

选用重庆地区健康雄性杂种犬35只,每组7只,体重(11.74±1.73)kg。随机分为呼气末正压组(Positive end expiratory pressure, PEEP组);压力控制组(Pressure control, PC组);持续气道正压组(Continuous positive airway pressure, CPAP)组、反比通气组(Inverse ratio ventilation, IRV组)、对照组。所有动物实验前驱虫、驯养观察1~2周。

基金项目:全军"九五"指令性课题(96L043)
作者简介:陶国才(1961—),男,湖北省钟祥市人,博士,副教授,主要从事烟雾吸入伤发病机制和治疗的研究,发表论文15篇。电话:(023)68754197
收稿日期:2001-09-10;修回日期:2002-06-21

1.2 实验步骤与时相点

实验前禁食12 h,麻醉后分别从右侧股静脉和股动脉插入7F Swan-Gans漂浮导管和动脉导管。动物致伤方法参照我所已建立的犬烟雾吸入伤模型进行,并稍加改进,造成重度烟雾吸入伤。伤后输入乳酸钠林格氏液并酌情补血。伤后1 h开始机械通气。分别于伤前、伤后30 min、3 h、6 h、12 h、24 h采集标本并测定有关指标。

1.3 机械通气模式及参数

各机械通气组均使用NEWPORT WAVE E200呼吸机进行治疗,吸气平台为30%,吸入氧气分数(Fractional concentration of inspired oxygen, FiO_2)=0.4,吸气峰压(Peak Inspiratory Pressure, PIP)为16 cmH_2O(1.6 kPa),PEEP和CPAP分别为6 cmH_2O(0.6 kPa),IRV组吸呼比(I∶E)=2∶1,调节呼吸次数使$PaCO_2$维持在4.67~6.0 kPa。其中PEEP组、PC组和IRV组通气过程中静注潘侃罗宁维持肌肉松弛。对照组经气道导管给氧并调整使FiO_2=0.4。

1.4 观察指标与方法

通过西门子961型监护仪测定心率(Heart rate, HR)、股动脉压(Femoral arterial pressure, FAP)、中心静脉压(Central venous pressure, CVP)、肺动脉压(Pulmonary arterial pressure, PAP)、肺动

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

脉楔压(Pulmonary arterial wedge pressure, PAWP)。热稀释法测定心排血量(Cardiac output, CO)，并计算出心脏指数(Cardiac index, CI)、外周血管阻力(Peripheral vascular resistance, SVR)、肺血管阻力(Pulmonary vascular resistance, PVR)。美国 IL-1303 型血气分析仪测定动脉血氧分压(PaO_2)和二氧化碳分压($PaCO_2$)。

1.5　统计学处理

采用华西医科大学 PEMS2.0 医用统计程序包对所有数据进行完全随机设计的双因素方差分析，F 检验或 t 检验。

2　结果

伤后 3 h 各机械通气组 PaO_2 均显著高于对照组，后逐渐下降；PEEP 组和 CPAP 组伤后 24 h 仍显著高于对照组，且也高于 PC 组和 IRV 组；PC 组和 IRV 组伤后 24 h 则与对照组无显著差异。伤后各组间 $PaCO_2$ 变化无显著差异，见表 1。

表 1　PaO_2 和 $PaCO_2$ 的变化

Tab 1　Changes of PaO_2 and $PaCO_2$

Parameter	Group	Time after injury (h)					
		0	0.5	3	6	12	24
PaO_2 (kPa)	PEEP	12.7±2.0	10.6±1.6	22.5±2.6 **##	21.2±3.9 **##	18.9±4.2 **##	17.1±2.0 **##
	PC	12.7±2.0	10.6±1.2	21.5±3.6 **##	20.0±5.0 **##	18.3±4.8 **#	14.4±6.7
	CPAP	12.8±1.4	10.8±1.5	25.0±1.8 **##	22.4±3.1 **##	21.9±2.4 **##	19.3±3.9 **##
	IRV	12.7±1.5	10.6±1.4	21.0±3.2 **##	18.0±4.6 **##	16.6±3.1 **	13.1±4.6
	Control	13.0±0.9	10.3±1.2	18.2±5.6	14.6±4.5	13.4±4.3	12.4±4.0
$PaCO_2$ (kPa)	PEEP	4.54±0.55	3.97±0.47	4.73±0.68 *	4.88±0.99	5.12±1.33	4.76±1.22
	PC	4.45±0.81	3.66±0.70	3.92±0.69	3.92±0.37	4.41±1.03	4.77±2.26
	CPAP	4.70±0.80	3.83±0.33	3.76±0.49	4.25±0.83	4.27±0.72	4.14±0.60
	IRV	4.62±0.42	3.86±0.50	4.76±0.94 **	4.36±1.37	4.57±1.42	4.70±1.53
	Control	4.44±0.25	3.62±0.42	3.55±0.57 ##	3.55±0.72 #	3.99±0.16	4.04±0.81

*: $P<0.05$, **: $P<0.01$ *vs* control; #: $P<0.05$, ##: $P<0.01$ *vs* before injury

表 2　血流动力学指标的变化

Tab 2　Changes of hemodynamics

Parameter	Group	Time after injury (h)					
		0	0.5	3	6	12	24
HR (b/min)	PEEP	196±29	203±31	187±46	183±12	155±15	141±19 *##
	PC	190±19	187±24	192±37	188±13	168±24	175±36
	CPAP	202±15	185±17	176±30	188±19	190±26	188±17
	IRV	210±22	197±27	190±14	195±15	159±23	131±14 *##
	Control	193±11	192±25	192±12	194±22	176±25	167±10
FAP (kPa)	PEEP	19.7±2.3	16.2±4.3	17.4±2.8	16.4±2.9	13.8±2.9 ##	13.9±1.8 ##
	PC	19.0±3.0	15.3±1.9 #	16.5±2.2	14.8±2.8 #	14.9±1.8 #	13.2±2.5 ##
	CPAP	19.9±1.3	16.3±1.8 #	16.0±3.1 #	16.4±2.6 #	14.4±2.2 ##	12.5±2.0 ##
	IRV	19.6±1.9	16.4±3.0 #	15.9±3.0 #	13.8±3.3 ##	13.4±2.7 ##	12.0±1.6 ##
	Control	19.5±1.3	15.5±3.9 #	16.9±3.0	15.4±2.0 #	12.9±2.3 ##	12.0±4.2 ##
CVP (kPa)	PEEP	0.39±0.16	0.32±0.13 #	0.67±0.19 *##	0.53±0.19 *#	0.53±0.14 *#	0.37±0.14
	PC	0.39±0.16	0.30±0.09 #	0.37±0.19	0.32±0.14 #	0.34±0.11 #	0.34±0.13 #
	CPAP	0.39±0.17	0.29±0.13 #	0.50±0.14 #	0.44±0.16	0.35±0.08	0.31±0.08 #
	IRV	0.38±0.21	0.29±0.12 #	0.53±0.18 *##	0.42±0.08	0.35±0.11 #	0.32±0.07 #
	Control	0.39±0.22	0.33±0.24 #	0.35±0.21	0.34±0.14	0.33±0.14	0.31±0.06 #
PAP (kPa)	PEEP	2.25±0.88	2.32±0.77	2.91±0.48 *	3.09±0.64 *	3.43±1.15 *##	2.83±0.92
	PC	2.11±0.55	2.27±0.41	2.29±0.64	2.30±0.38	2.78±0.55 #	2.77±1.05
	CPAP	2.18±0.48	2.29±0.78	2.29±0.71	2.44±0.73	2.13±0.67	2.42±0.72
	IRV	2.02±0.27	2.42±0.54	2.40±0.39	2.67±0.34 *#	2.89±0.52 ##	2.49±0.43
	Control	2.25±0.23	2.50±0.44	2.49±0.63	2.58±0.51	2.38±0.76	2.70±0.30 #
PAWP (kPa)	PEEP	0.90±0.3	0.78±0.4	1.35±0.5	1.14±0.3	1.49±0.7 **#	1.20±0.4
	PC	0.91±0.3	1.02±0.3	1.43±0.6	1.26±0.6	1.40±0.5 *	1.15±0.4
	CPAP	0.96±0.5	0.90±0.5	1.35±0.7	1.58±0.6	1.01±0.7	1.11±0.5
	IRV	0.91±0.2	0.80±0.2	1.16±0.5	1.51±0.5	1.20±0.6	1.16±0.5
	Control	0.93±0.2	0.93±0.3	0.95±0.2	1.11±0.4	0.67±0.2	0.80±0.2
CI (L/min/m^2)	PEEP	3.90±0.9	3.58±0.7	2.82±0.3 ##	2.42±0.4 ##	2.53±0.6 ##	2.76±0.3 ##
	PC	3.97±0.7	3.65±0.6	3.22±0.8 #	3.00±0.8 ##	2.80±0.8 ##	3.05±0.9
	CPAP	3.98±0.4	3.80±0.9	2.56±0.4 ##	2.36±0.7 ##	2.59±0.4 ##	2.88±0.6 ##
	IRV	4.09±0.5	3.50±0.6	2.67±0.5 ##	2.37±0.9 ##	2.26±0.5 ##	2.60±0.5 ##
	Control	3.97±0.9	3.55±0.8	3.21±0.5	2.84±0.3 #	2.79±0.8 ##	2.41±0.6 ##
SVR (D·S·cm^{-5})	PEEP	5 196±1 050	4 487±991	5 995±772	6 729±1 266	5 549±1 406	5 060±444
	PC	5 051±1 283	4 444±1 168	5 930±2 192	5 353±1 523	5 762±1 500	4 448±1 669
	CPAP	5 187±928	4 552±857	6 382±1 402	6 585±1 727	5 712±851	4 525±857
	IRV	4 871±568	4 756±841	6 101±1 670	6 576±2 825	6 219±2 198	4 380±669
	Control	4 846±737	4 374±1 509	5 180±1 294	5 323±1 338	4 837±1 978	5 128±2 682
PVR (D·S·cm^{-5})	PEEP	353±155	434±117	572±109	832±282 ##	742±348 ##	607±220
	PC	321±111	374±174	314±257	379±199	521±163	498±300 *
	CPAP	329±106	387±107	384±164	350±185	422±139	483±105 *
	IRV	281±104	467±141	480±185	568±231 ##	688±208 ##	501±174
	Control	332±95	484±205	490±217	565±176	659±336 #	827±371 ##

*: $P<0.05$, **: $P<0.01$ *vs* control; #: $P<0.05$, ##: $P<0.01$ *vs* before injury

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

伤后 3 h 各机械通气组 CVP 升高达峰值后逐渐回降，其中 PEEP 组和 IRV 组于 3 h 显著高于伤前和对照组。各机械通气组 PAP 于 6 h 或 12 h 达峰值后呈降低趋势，而对照组伤后 24 h 达最高值。治疗后各组 PVR 均有所增加，PEEP 组 6 h 达峰值，PC 组和 IRV 组 12 h 达峰值；CPAP 组和对照组呈进行性增加，但 CPAP 组显著低于对照组。伤后各组 CI 均低于伤前，各机械通气组分别于伤后 6 h 或 12 h 降至最低点后呈回升趋势，而对照组 CI 呈进行性降低。见表 2。

3 讨论

PEEP、CPAP、IRV 等通气模式可增加肺功能残气量和肺顺应性，改善氧合，减少呼吸作功，常用于治疗急慢性呼吸衰竭[1~3]。但迄今尚缺乏“理想”的通气模式和参数适用于各种不同的疾病和病理状态，其对血流动力学的影响更是人们关注的焦点。吸入伤早期机械通气可否预防性治疗呼吸功能不全值得进一步探讨[4]。

本实验致伤对照组 PVR 呈进行性上升，这是低氧性肺血管收缩和肺泡外血管塌陷综合作用的结果。各机械通气组 PVR 都有不同程度的增加，而血浆内皮素、亚硝酸根、心钠素、血管紧张素 II 含量以及肾素活性并未相应增加。因此，机械通气初期主要通过机械性作用而引起 PVR 增加，体液因素作用较小[5]。机械通气首先引起平均气道压增加，进而增加肺泡压和总胸膜腔压(Glabal intrathordcic pressure，ITP)。前者使肺泡膨胀、肺泡隔伸展变薄，压迫肺泡毛细血管，从而引起肺泡血管阻力增加。机械通气引起的 PVR 增加主要发生在肺泡血管。因此，任何情况的肺泡过度膨胀必然引起 PVR 增加。

在 PIP 相同的情况下，PEEP 组和 IRV 组平均气道压和 PVR 增加幅度均高于 PC 组和 CPAP 组。因此，降低平均气道压水平可相应降低对 PVR 的影响水平。另外，伤后 24 h，尽管各机械通气组 PVR 仍高于伤前水平，但均低于对照组，其中 CPAP 组和 PC 组显著低于对照组。这可能是因为随着治疗的持续进行，通过增加肺泡氧分压，防止或减轻肺泡塌陷、改善急性呼吸酸中毒、降低中枢交感神经张力或通过反射性动脉扩张，从而降低 PVR。

与平均气道压的高低顺序相同，伤后 3 h PEEP 组、CPAP 组和 IRV 组 CVP 增加幅度依次为 PEEP 组、IRV 组、CPAP 组、PC 组。因此，正压通气时 ITP 的增加主要影响 CVP，后者是决定体静脉回流压力梯度变化的主要因素。CVP 的增加可使体静脉压力梯度降低，从而引起静脉回心血量减少[6,7]。PC 组平均气道压较低，并且存在 1/2~2/3 的呼气时间，在此期间，ITP 降低，CVP 也降低、从而加快静脉血回流、以补偿吸气期间减少的回心血量。尽管 CPAP 组存在自主呼吸，并可在一定程度上补偿回心血量，但由于平均气道压较高，其补偿作用有限。而 PEEP 组和 IRV 组平均气道压相对更高，其 CVP 也相应较高。也说明机械通气初期 CVP 的增加主要是由于机械性作用所致。尽管如此，伤后 24 h 各机械通气组 CVP 与对照组无显著差异，说明通气参数若选择恰当，机体存在相应的代偿机制[8]，有待进一步研究。

各机械通气组治疗后 PAWP 均高于伤前和对照组。这可能是由于两侧膨胀的肺脏压迫左心房所致，从而引起左房前负荷增加。另外 PAP 也有所增加，各组增加幅度依次为 PEEP 组、IRV 组、PC 组、CPAP 组，与 PVR、CVP 变化相似。但伤后 24 h PAP 均有回降，且与对照组无显著差异。所以，机械通气后初期主要通过机械性压迫，并导致 PAP 增加。

本实验各机械通气组平均气道压增加所引起的 ITP 增加的幅度远远低于主动脉腔内跨壁压。加上机械通气本身并不损害心肌收缩能力[7]，心肌也可代偿机械通气所造成的左心室和左心房前后负荷改变。因此，本实验机械通气对 FAP 无显著不良影响。同样，机械通气也不直接影响 SVR。伤后 24 h 各机械通气组 CI 水平依次为 PC 组＞CPAP 组＞PEEP 组＞IRV 组，均高于对照组。

综上所述，本实验所采用的通气模式及参数于烟雾吸入伤早期持续 24 h 通气治疗对血流动力学无明显不良影响，初期对血流动力学的影响与平均气道压水平关系较密切；机械通气在改善机体供氧的同时[9]，可在一定程度上改善肺循环，增加心排血量；其中，CPAP 组、PC 组对血流动力学的影响小于 PEEP 组和 IRV 组。

参考文献：

[1] Ullrich R, Lorber C, Roder G, *et al*. Controlled airway pressure therapy, nitric oxide inhalation, prone position, and extracorporeal memebrane oxygenation(ECMO) as components of an integrated approach to ARDS[J]. Anesthesiology, 1999, 91(6): 1 577—1 586.

[2] Max M, Kuhlen R, Falter F, *et al*. Effect of PEEP and inhaled nitric oxide on pulmonary gas exchange during gaseous and partial liquid ventilation with small volumes of perfluorocarbon[J]. Acta Anaesthesiol Scand, 2000, 44(4): 383—390.

[3] Cereda M F, Sparacino M E, Frank A R, *et al*. Efficacy of tracheal gas insufflation in spontaneously breathing sheep with lung injury[J]. Am J Respir Crit Care Med, 1999, 159(3): 845—850.

[4] Fitzpatrick J C, Cioffi W G Jr. Ventilatory support following burns and smoke-inhalation injury[J]. Respir Care Clin N Am, 1997, 31(1): 21—49.

[5] Berglund J E, Haldén E, Jakobson S, *et al*. PEEP ventilation does not cause humorally mediated cardiac output depression in pigs[J]. Intensive Care Med, 1994, 20(5): 360—364.

[6] Fessler H E, Brower R G, Shapiro E P, *et al*. Effects of positive end-expiratory pressure and body position on pressure in the thoracic great veins[J]. Am Rev Respir Dis, 1993, 148(6Pt1): 1 657—1 664.

[7] Berglund J E, Halden E, Jakobson S, *et al*. Echocardiographic analysis of cardiac function during high PEEP ventilation[J]. Intensive Care Med, 1994, 20(3): 174—180.

[8] Takata M, Robotham J L. Effects of inspiratory diaphragmatic descent on inferior vena caval venous return[J]. J Appl Physiol, 1992, 72(2): 597—607.

[9] 陶国才，杨宗城，黎 鳌. 犬严重烟雾吸入伤早期机械通气治疗的实验研究[J]. 第三军医大学学报，1997，19(1)：10.

（编辑 张大春）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net