



## 胸腔穿刺术对机械通气患者呼吸力学和气体交换的影响

*Peter Doelken, MD, FCCP; Ricardo Abreu, MD, FCCP; Steven A. Sahn, MD, FCCP; and Paul H. Mayo, MD, FCCP*

**背景** 本研究报告胸腔穿刺术对机械通气患者呼吸力学和气体交换的影响。

**设计** 前瞻性研究。

**地点** 大学医院。

**对象** 8例接受机械通气的患者，其中7例为单侧大量胸腔积液，1例为双侧大量胸腔积液。

**干预** 治疗性胸腔穿刺术（9次）。

**监测指标** 用恒定吸气流量阻断法测定峰值压和平台压、呼吸系统的有效静态顺应性（C<sub>st,rs</sub>）、呼吸机做功（W<sub>v</sub>）、动脉血气分析、混合呼出气中的PCO<sub>2</sub>以及胸腔内的液体压力（P<sub>liq</sub>）。

**结果** 胸腔穿刺术可导致W<sub>v</sub>和P<sub>liq</sub>明显下降，但对呼吸系统动态顺应性、C<sub>st,rs</sub>、呼吸系统的有效阻断阻力、欧姆阻力及额外阻力（非欧姆阻力）、内源性呼气末正压（PEEP<sub>i</sub>）没有明显影响。胸腔穿刺术并未明显改变气体交换指数。

**结论** 胸腔穿刺术可使机械通气患者的W<sub>v</sub>和P<sub>liq</sub>明显下降，但这些改变并不伴随术后明显的阻力或顺应性改变，没有明显改变气体交换指数，也不改变常规临床方法所监测到的吸气阻力和静态顺应性。行胸腔穿刺术的好处在高水平PEEP<sub>i</sub>患者中尤为明显。

**关键词** 机械通气 (mechanical ventilation); 生理学 (physiology); 胸腔穿刺术 (thoracentesis)

**缩略语** C<sub>c</sub> = static compliance of the ventilator circuit; C<sub>dyn,rs</sub> = dynamic compliance of the respiratory system; C<sub>st,rs</sub> = effective static compliance of the respiratory system; ΔR<sub>rs</sub> = additional (non-ohmic) resistance of the respiratory system; ΔV = volume change; Est,pl = pleural space elastance during entire thoracentesis; Est,pl,0.5 = pleural space elastance during withdrawal of first 500 mL of fluid; F<sub>IO<sub>2</sub></sub> = fraction of inspired oxygen; P<sub>1</sub> = intercept of a computer-fitted third-order polynomial equation of the slow pressure decline and a vertical line indicating the time of onset of valve closure; P(A-a)O<sub>2</sub> = alveolar-arterial oxygen pressure difference; PEEP = positive end-expiratory pressure; PEEP<sub>i</sub> = intrinsic positive end-expiratory pressure; P<sub>liq</sub> = pleural liquid

pressure; Ppeak = peak pressure; Pplat = plateau pressure; Rinit,rs = ohmic resistance of the respiratory system; Rmax,rs = effective interrupter resistance of the respiratory system;  $V_D / V_T$  = dead space fraction;  $V_T$  = tidal volume;  $W_v$  = work performed by the ventilator

胸腔穿刺术对自主呼吸患者呼吸功能的影响已有研究<sup>[1-4]</sup>，然而，其对正在接受机械通气患者的影响却没有得到很好的研究。临床医师凭直觉可能认为胸腔穿刺术会影响床旁测定的呼吸力学指标，尤其在胸腔穿刺术有助于脱机的观念影响下更容易这样认为。在此，我们研究了胸腔穿刺术对床旁测定的呼吸功能指标（由ICU医师常规监测）的影响。

## 材料和方法

对8例接受机械通气的患者胸腔穿刺术前后进行对比研究。研究方案获机构审查委员会批准，每例患者或家属均签署了知情同意书。所有患者的血流动力学稳定，通过气管内插管进行机械通气，仰卧前后位胸片提示大量胸腔积液，并经超声检查证实。由患者的经治临床医师决定进行胸腔穿刺术。

### 实验步骤

所有患者均使用镇静剂和肌松药，并将呼吸机（Puritan-Bennett 7200；Puritan-Bennett Corporation; Carlsbad, CA）调至持续指令通气模式。患者取仰

卧位，开始研究的30 min内不给予支气管扩张剂，15 min内不进行气管内抽吸操作。通气过程应用防漏低顺应性回路[呼吸机回路的静态顺应性( $C_c$ ) = 1.69 mL / cm H<sub>2</sub>O]，不使用加湿器。呼吸机的设置如下：吸入氧浓度( $FI_{O_2}$ )为1.0；潮气量( $V_T$ )为500 mL；吸气流速为60 L / min；方波流量模式；如果没有其他需要，呼气末正压(PEEP)为0 cm H<sub>2</sub>O；平台时间为2 s；呼吸频率为8次 / min。如果峰值压(Ppeak)和平台压(Pplat)稳定，则提示新的设置已达稳定状态。应用呼气末闭合法测定内源性PEEP(PEEPi)，目的是研究呼吸系统松弛情况下呼气末容量。因此除了3和4号患者的PEEP设置为5 cm H<sub>2</sub>O外，其他患者PEEP均设置为0 cm H<sub>2</sub>O。一旦监测到PEEPi，呼吸频率就低至5次 / min(最低)。结果在总PEEP出现时测到5组数据(1、3、4、7a、7b)。在确定每例患者的呼吸机参数设置后，重新进行基础通气数分钟，然后再重新建立研究设置。在达到稳定的Ppeak和Pplat后，再次应用呼气末闭合法进行PEEPi检测，总共记录8个呼吸周期。获取信号期间取Ppeak和Pplat稳定情况下的测量值，同样在获取信号前后测定PEEPi。

在胸腔穿刺前完成监测指标测定后，由经治医师重新给予基础通气，并在超声引导下进行胸腔穿刺术。导管刚插入胸腔以及每抽出250 mL液体都测定1次呼气末胸腔液压(Pliq)，直至不再有液体可以抽出。检测系统在导管穿刺部位调零。胸腔穿刺术后，患者采取与穿刺前测定初始数据时相同的体位和呼吸机参数进行呼吸力学测定。

### 测定方法

气道开放压由靠近气管导管侧孔的压力传感器

From the Division of Pulmonary, Critical Care, Allergy and Sleep Medicine (Drs. Doelken and Sahn), Medical University of South Carolina, Charleston, SC; Department of Medicine (Dr. Abreu), Knapp Medical Center, Weslaco, TX; and Division of Pulmonary and Critical Care Medicine (Dr. Mayo), Beth Israel Medical Center, New York, NY.

Correspondence to: Paul H. Mayo, MD, FCCP, Division of Pulmonary and Critical Care Medicine 7D, Beth Israel Medical Center, First Ave and Sixteenth St, New York, NY 10003; e-mail: pmayo@chpnet.org

(Validyne MP45 80 cm H<sub>2</sub>O ; Validyne Engineering; Northridge , CA) 测定。用经预热的呼吸调速器 (Hans Rudolph 3700 ; Hans Rudolph ; Kansas City , MO) 和差压传感器 [ Validyne MP (45 ± 2) cm H<sub>2</sub>O ; Validyne Engineering ] 测定气管内导管与呼吸机回路之间的气流。气流传感器在气流测定范围内用纯氧校正。用数字存储示波器 (Gould Classic 6500 ; Gould Instrument Systems ; Ilford , UK) 记录信号 , 并储存流量触发的 8 个呼吸周期的均值。用装满消毒液的系统 (Transpac IV ; Abbott Critical Care Systems ; North Chicago , IL) 测定 Pliq。

对流速用体温和饱和压进行算术校正 , 并通过数字整合获得 V<sub>T</sub>。测定 P<sub>peak</sub>、P<sub>plat</sub>、压力缓慢下降的计算机拟合三阶多项式公式 (computer-fitted third-order polynomial equation) 的截距以及显示气阀开始关闭时间 (P1) 的垂直线<sup>[5]</sup>。图 1 显示了呼吸力学的一条代表性曲线。对呼吸系统的有效阻断阻力 (R<sub>max,rs</sub>) [ (P<sub>peak</sub>-P<sub>plat</sub>) / 吸气末流量 ] 呼吸系统的欧姆阻力 (R<sub>init,rs</sub>) [ (P<sub>peak</sub>-P1) / 吸气末流量 ] 以及呼吸系统的额外阻力 (非欧姆阻力) (ΔR<sub>rs</sub>) [ (P1-P<sub>plat</sub>) / 吸气末流量 ] 要用仪器设备阻力<sup>[6]</sup> 和气阀开始关闭时的容量改变 (ΔV) 进行校正<sup>[7,8]</sup>。呼吸机的流量依赖性 ΔV 特征为: ΔV = 控制流量 0.026 s +

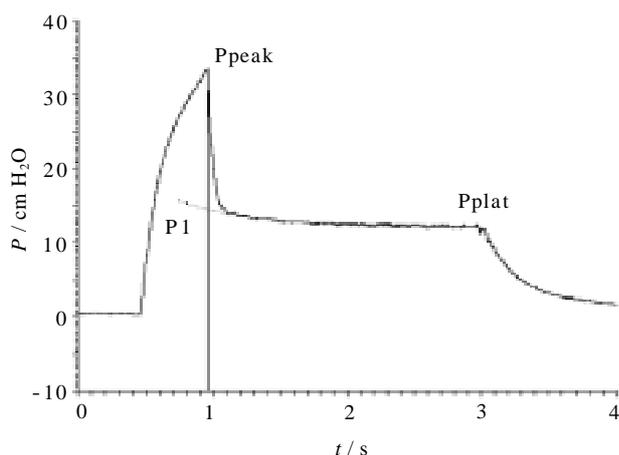


图 1 2 号患者胸腔穿刺后于恒定流量充气、流量阻断和 2 s 吸气末屏气动作的气道开放压

压力曲线显示 8 个阻断周期的均值。

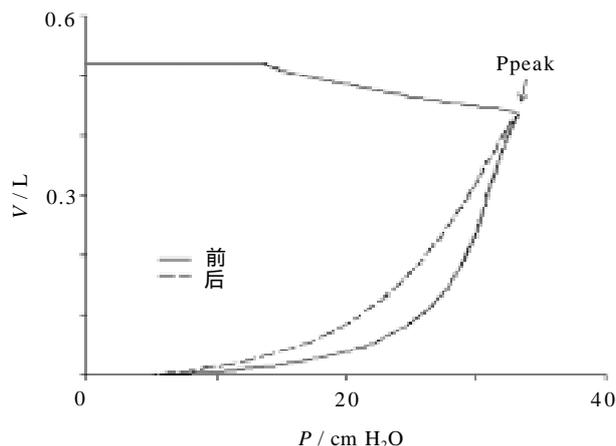


图 2 2 号患者胸腔穿刺前后的容量 / 压力曲线

P<sub>peak</sub> 与吸气容量几近相同 , 胸腔穿刺前早期吸气压更高 , 导致 W<sub>v</sub> 更高 (面积更大) , 而 C<sub>dyn,rs</sub> 不变。

0.003 L。呼吸系统的有效静态顺应性 (C<sub>st,rs</sub>) 计算: V<sub>T</sub> / (P<sub>plat</sub>-PEEP<sub>PEEPi</sub>)。呼吸系统的动态顺应性 (C<sub>dyn,rs</sub>) 计算: V<sub>T</sub> / (P<sub>peak</sub>-PEEP)。吸气做功是通过开始吸气至吸气末的压力 / 时间曲线的数字整合计算而得 , 并以 J / L 表示。图 2 显示用于计算吸气做功的代表性曲线 (2 号患者)。

混合呼出气 P<sub>CO<sub>2</sub></sub> 由与呼吸机出气口相连的二氧化碳分析仪远端混合室 (Pryon SC-300 ; Pryon Corporation ; Menomonee Falls , WI) 测定。在同时测定混合呼出气 P<sub>CO<sub>2</sub></sub> 和动脉血气分析前进行 30 min 基础通气 [ 呼吸机参数设置由经治医师确定 , V<sub>T</sub> 中位数为 500 mL (范围为 400 ~ 650 mL) ; 呼吸频率中位数为 12 次 / min (范围为 10 ~ 17 次 / min) ; F<sub>IO<sub>2</sub></sub> 中位数为 0.5 (范围为 0.35 ~ 0.7) ] , 以使混合室内气体浓度稳定。计算肺泡 - 动脉血氧分压差 [ P(A-a)O<sub>2</sub> ] , 设定呼吸交换商为 0.8。死腔 (V<sub>D</sub>) / V<sub>T</sub> 的比值计算方法为: (P<sub>aCO<sub>2</sub></sub>- 混合呼出气 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>) / P<sub>aCO<sub>2</sub></sub>。混合呼出气 P<sub>CO<sub>2</sub></sub> 要对回路顺应性和气体压缩补偿进行校正: P<sub>CO<sub>2</sub></sub> = 混合呼出气 P<sub>CO<sub>2</sub></sub> [ V<sub>T</sub> + (P<sub>peak</sub>-PEEP) Cc ] / V<sub>T</sub><sup>[9]</sup>。

#### 统计学分析

胸腔穿刺前后的正态分布数据比较使用配对 t 检

表1 患者特征<sup>(1)</sup>

患者编号 / 性别 / 年龄	体重 / kg	身高 / cm	诊 断	胸水部位, 抽取胸水量 / mL	胸水特征
1 / 男性 / 50岁	64	170	CHF, AIDS, 肺炎	右, 1 750	渗出液
2 / 女性 / 35岁	59	173	硬化症, AIDS, 肺炎	左, 1 050	漏出液
3 / 男性 / 85岁	83	180	CHF	右, 2 000	漏出液
4 / 女性 / 75岁	82	165	脓毒症, 纵隔炎	左, 1 950	渗出液
5 / 女性 / 90岁	46	142	ARF, 肺炎	右, 1 200	漏出液
6 / 男性 / 93岁	66	183	吸入性肺炎	右, 1 950	渗出液
7 / 女性 / 82岁	75	157	CHF, COPD	7a, 左, 1 100 7b, 右, 800	漏出液 漏出液
8 / 女性 / 84岁	45	150	脓毒症, CHF	右, 800	渗出液
均值	66.1	164		1 495	
均值标准误	4.7	4.6		153	

<sup>(1)</sup> CHF为充血性心力衰竭; ARF为急性肾功能衰竭。

验; 正态分布数据的组间比较采用  $t$  检验; 非正态分布数据的比较采用 Wilcoxon 符号秩和检验。  $P < 0.05$  示有统计学意义。用以下假设计算统计学效力: Cst, rs: 与基线均值相比改变 20%; Rmax, rs: 与基线均值相比改变 20%; Cdyn,rs: 与基线均值相比改变 10%; P(A-a)O<sub>2</sub>: 与基线均值相差 36 mm Hg。以上假设是以常规床旁测定过程中压力改变大约 3 cm H<sub>2</sub>O 为基础, 如果仔细测定, 该压力改变是可以辨别的。P(A-a)O<sub>2</sub> 选择 36 mm Hg 是因为该值

与 FiO<sub>2</sub> 改变 0.05 时相对应, 该 FiO<sub>2</sub> 改变在临床实践中通常是最小增减值。对于 V<sub>D</sub>/V<sub>T</sub>, 人为采用 0.1 改变, 是因为该改变可以显著影响轻微的容量需求。用 SPSS 统计软件包进行统计分析 (Sigma Stat 2.0; Chicago, IL)。

## 结 果

本研究共纳入 8 例患者。1 例患者在研究持续时间内经历了双侧胸腔穿刺, 因此进行了 2 次研究, 这 2 次胸腔穿刺在表 1 中分别以 7a 和 7b 表示。患者的临床特征、胸腔穿刺部位、胸水量和抽出的胸水特征见表 1。表 2 显示在类似呼吸力学测定条件下所获得的呼吸频率、V<sub>T</sub> 和恒定流速的均值。平均 P<sub>peak</sub>、P<sub>plat</sub>、C<sub>dyn,rs</sub> 和总 PEEP 没有明显改变。平均 P<sub>liq</sub> 下降具有统计学意义 ( $P = 0.008$ )。

图 3 显示抽胸水时呼气末的 P<sub>liq</sub>。5 号患者因为技术原因测量值为负数, 因此暂停抽胸水前 P<sub>liq</sub> 的测定。这样, 在抽出 750 mL 胸水后最后一次测得的 P<sub>liq</sub> 值为 1 cm H<sub>2</sub>O, 此后很容易又抽出了 450 mL 胸水。在对 P<sub>liq</sub> 总体变化进行统计学分析时视该例患者的最后一次 P<sub>liq</sub> 值为缺失值。

表2 胸腔穿刺前后呼吸力学变化

参 数	胸腔穿刺前均值 (均值标准误)	胸腔穿刺后均值 (均值标准误)	P 值
呼吸频率 / 次 · min <sup>-1</sup>	7.1 (0.39)	7.1 (0.39)	1.0 <sup>(1)</sup>
V <sub>T</sub> / mL	557 (14.1)	561 (14.6)	0.478 <sup>(1)</sup>
流速 / L · s <sup>-1</sup>	1.15 (0.014)	1.14 (0.012)	0.159 <sup>(1)</sup>
P <sub>peak</sub> / cm H <sub>2</sub> O	43.8 (4.56)	40.8 (3.52)	0.08 <sup>(1)</sup>
P <sub>plat</sub> / cm H <sub>2</sub> O	20.0 (2.99)	17.8 (1.86)	0.186 <sup>(1)</sup>
C <sub>dyn,rs</sub> / mL · cm H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup>	14.5 (1.77)	15.2 (1.66)	0.124 <sup>(1)</sup>
总 PEEP / cm H <sub>2</sub> O	5.4	2.9	0.125 <sup>(2)</sup>
P <sub>liq</sub> / cm H <sub>2</sub> O	11.1	-6.6	0.008 <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> 配对  $t$  检验; <sup>(2)</sup> Wilcoxon 符号秩和检验。

图4显示  $\pm 5\%$  基础值范围内的 $V_T$ 输入参数和吸气流速。呼吸机做功 ( $W_v$ ) 均值差的95%CI没有跨越0, 并且明显低于基础值。  $C_{dyn,rs}$  的均值差有改善,  $C_{st,rs}$  均值差则提示对吸气时气道压有不良影响,  $R_{max,rs}$  的均值差没有明显改变。  $C_{dyn,rs}$ 、 $C_{st,rs}$  和  $R_{max,rs}$  的平均差值都在  $\pm 5\%$  基础值范围内。  $C_{st,rs}$  和  $R_{max,rs}$  均值差的95%CI在常规床旁测定值  $\pm 20\%$  范围内。

胸腔弹性计算结果如下: 首次抽出500 mL胸水时胸腔弹性 ( $Est_{pl,0.5}$ ) 为11.2 cm H<sub>2</sub>O (均数标准误为2.3), 整个胸腔穿刺过程平均胸腔弹性 ( $Est_{pl}$ ) 为12.7 cm H<sub>2</sub>O (均数标准误为1.7)。4号患者的  $Est_{pl,0.5}$  为27.2 cm H<sub>2</sub>O,  $Est_{pl}$  为16.7 cm H<sub>2</sub>O, 这是由于首次抽出250 mL胸水后  $P_{liq}$  下降不成比例。在抽出250 ~ 1250 mL胸水期间计算出的胸腔弹性为9.5 cm H<sub>2</sub>O。

表3显示呼吸力学资料。  $R_{max,rs}$ 、 $R_{init,rs}$ 、 $\Delta R_{rs}$  或  $C_{st,rs}$  的改变没有统计学意义。 如果存在  $PEEP_i$ , 则胸腔穿刺后下降, 但该改变没有统计学意义 ( $P = 0.125$ )。 胸腔穿刺后,  $W_v$  均值在被动吸气期间显著下降 ( $P = 0.011$ )。 表4显示气体交换数据。  $PaO_2$ 、 $P(A-a)O_2$ 、 $PaO_2 / FIO_2$  或  $V_D / V_T$  没有明显改变。 统计学效力计算结果如下: 与基础值

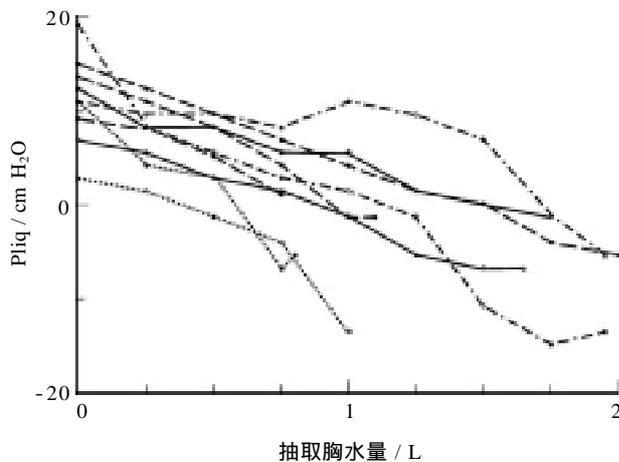


图3 Pliq与抽取胸水量的关系

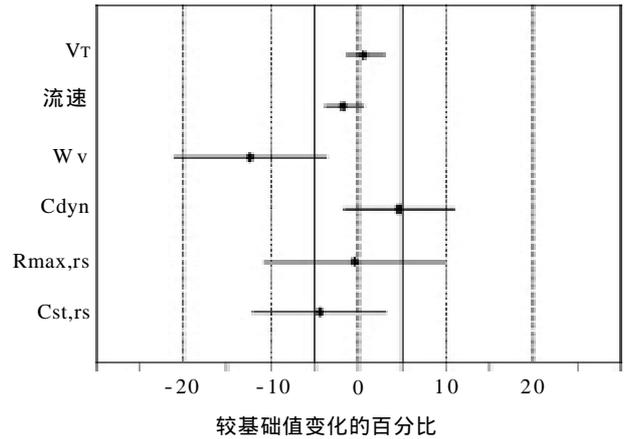


图4 胸腔穿刺后呼吸力学参数测值较基础值变化的百分比

坐标线内的水平线表示均值差的95%CI, 菱形坐标点表示平均差值。 所有值以占胸腔穿刺前基线均值的百分比表示。

相比,  $C_{dyn,rs}$  改变10%的统计学效力为0.893 ( $\beta = 0.107$ ); 与基础值相比,  $C_{st,rs}$  改变20%的统计学效力为0.99 ( $\beta = 0.01$ ); 与基础值相比,  $R_{max,rs}$  改变20%的统计学效力为0.967 ( $\beta = 0.033$ );  $P(A-a)O_2$  与基础值相差36 mm Hg的统计学效力为0.956 ( $\beta = 0.044$ );  $V_D / V_T$  改变0.1的统计学效力为0.985 ( $\beta = 0.015$ )。

## 讨论

接受机械通气的患者常常合并胸腔积液<sup>[10]</sup>。在超声引导下对这些患者进行胸腔穿刺是安全的<sup>[11-13]</sup>。我们研究了机械通气患者胸腔穿刺大量抽取胸水对易于床旁测定的呼吸生理学指标的影响。

### 气体交换

胸腔穿刺术对气体交换没有明显的影响。在  $FIO_2$  相同的情况下, 胸腔穿刺前后  $PaO_2$  和  $P(A-a)O_2$  均没有显著变化。在恒定分钟通气量和二氧化碳呼出恒定的情况下,  $PaCO_2$  也没有显著变化。胸腔穿刺后  $V_D / V_T$  变化也不明显。必须指出的是, 我们在研究过程没有使用肺复张策略, 因为这会影响

表3 胸腔穿刺前后的呼吸力学

患者编号	Rmax,rs / cm H <sub>2</sub> O · L <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup>		Rinit,rs / cm H <sub>2</sub> O · L <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup>		ΔRrs / cm H <sub>2</sub> O · L <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup>		Cst,rs / mL · cm H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup>		PEEPi / PEEP / (cm H <sub>2</sub> O)		Wv / J · L <sup>-1</sup>	
	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后
	1	14.7	14.0	11.2	8.7	3.5	5.3	33.3	31.5	6 / 0	0 / 0	3.97
2	10.2	10.0	8.5	8.0	1.7	1.9	50.1	47.9	0 / 0	0 / 0	2.64	2.45
3	8.0	8.8	5.4	5.3	2.6	3.6	37.6	34.0	0 / 5	0 / 5	2.35	2.33
4	14.6	14.8	9.1	9.0	5.5	5.8	22.0	24.5	4 / 5	1 / 5	3.66	3.01
5	7.9	8.4	5.2	5.8	2.7	2.5	39.1	34.3	1 / 0	1 / 0	2.47	2.54
6	10.4	8.8	6.8	6.4	3.6	2.4	66.3	61.9	0 / 0	0 / 0	2.20	1.98
7a	23.3	26.3	15.6	17.6	7.6	8.8	34.8	40.9	15 / 0	10 / 0	5.06	4.49
7b	27.9	29.6	18.6	19.5	9.2	10.1	37.4	37.1	12 / 0	3 / 0	4.74	3.91
8	22.3	18.1	15.0	12.8	7.3	5.3	53.6	45.8	1 / 0	1 / 0	3.65	3.34
均值	15.5	15.4	10.6	10.3	4.9	5.1	41.6	39.8	4.3 / 1.1	1.8 / 1.1	3.42	2.99
均值标准误	2.4	2.6	1.6	1.7	0.9	1.0	4.4	3.7			0.35	0.27
P 值	0.93 <sup>(1)</sup>		0.57 <sup>(1)</sup>		0.61 <sup>(1)</sup>		0.22 <sup>(1)</sup>		0.125 <sup>(2)</sup> / 1.0 <sup>(1)</sup>		0.011 <sup>(1)</sup>	

<sup>(1)</sup> 配对 *t* 检验；<sup>(2)</sup> Wilcoxon 符号秩和检验，无统计学意义 (*P* = 0.125)。

### 结果。

在胸腔引流对机械通气患者气体交换影响的研究中，只有1项研究<sup>[14]</sup>发现体内氧合差的患者在接受胸腔引流后氧合情况得到显著改善。胸腔穿刺对自主呼吸患者气体交换的影响已有研究。Brandstetter等<sup>[15]</sup>报道胸腔穿刺后PaO<sub>2</sub>下降。其他研究有报道胸腔穿刺后PaO<sub>2</sub>升高和P(A-a)O<sub>2</sub>下降<sup>[16, 17]</sup>，有报道胸腔穿刺后PaO<sub>2</sub>升高而P(A-a)O<sub>2</sub>不变<sup>[2]</sup>，或没有观察到氧合情况的变化<sup>[18, 19]</sup>。Perpina等<sup>[17]</sup>和Agusti等<sup>[19]</sup>研究发现胸腔穿刺不影响自主呼吸患者的V<sub>D</sub> / V<sub>T</sub>。

### 胸腔穿刺和Pliq

据文献 [ 20, 21 ] 报道，Est,pl，0.5和Est,pl的均值处于胸腔弹性的低限。如图3所示，并没有出现提示胸腔受限的Pliq快速下降，我们相信没有出现肺扩张受限。

### 顺应性

Cst,rs的基线均值下降，发现胸腔穿刺后没有

显著改变。Cst,rs是很容易在床旁测定的用于评估呼吸弹性阻力的参数。我们测定时十分小心，包括：测定气道开放时的气流和压力；测定容量恒定的8个呼吸周期的均值；用体温、压力和饱和度校正容量；并校正气阀关闭及导管顺应性等因素。图4显示每次测定的V<sub>T</sub>和吸气流速都成功控制在5%以内。

胸腔穿刺后Cst,rs不升高很可能与本研究中胸水的抽出量有关。已有研究显示，在一个机械通气的犬模型中，只有当注入胸腔内的盐水 > 30 mL/kg时，胸腔的顺应性、弹性才随胸腔内注入盐水量增加而增加<sup>[22]</sup>，这明显高于本研究中患者所抽出的胸水量。我们认为人类的呼吸系统在Cst,rs下降前可以容纳相当大量的胸水。一项关于胸腔穿刺后Cst,rs明显上升的个案报道<sup>[23]</sup>论述了大量胸水的影响。

有意思的是，我们的研究结果显示胸腔穿刺后Cst,rs有下降趋势，这可能因新近肺充气顺应性差引起肺顺应性下降所致，或因胸腔穿刺引起胸壁僵硬所致。我们推测胸腔穿刺后膈肌顶形状复原(这很容

易通过超声检查发现),提示患者仰卧位时腹部器官的重量引起膈肌张力增加,这些张力传送到胸廓,导致镇静和肌松状态下患者胸壁僵硬。

### 阻力

胸腔穿刺对  $R_{max,rs}$  的影响最小。本研究中大部分患者吸气阻力的基础值显著升高。我们的结果显示这些参数异常并未随着胸腔穿刺而有改善,因此不可能是由于胸水的出现而引起。由于我们研究的患者存在顺应性异常,本质上呼吸系统阻力增加很可能是由于合并症而非胸水引起。

$R_{max,rs}$  是易于床旁测定的指标 ( $P_{peak}-P_{plat}$  / 恒定吸气流速  $]$ ; 用恒定吸气流速阻断法测定时其是一个吸气期指标。我们的研究结果与 Pati 等<sup>[3]</sup> 的结果一致,他们也发现自主呼吸患者胸腔穿刺后吸气阻力没有改变。如在犬模型中所示,只有在相对大量盐水注入胸腔后阻力才开始显著上升<sup>[22]</sup>。

$R_{max,rs}$  是总体有效阻力,可以分为两个部分。 $R_{init,rs}$  代表欧姆阻力,  $\Delta R_{rs}$  代表弹性阻力。 $R_{init,rs}$  或  $\Delta R_{rs}$  均没有统计学意义上的显著改变。

表 4 胸腔穿刺前后的气体交换

患者编号	$PaO_2$ / mm Hg		$P(A-a)O_2$ / mm Hg		$V_D / V_T$	
	前	后	前	后	前	后
1	101	92	224	234	0.41	0.31
2	78	105	251	199	0.49	0.48
3	81	117	401	359	0.38	0.48
4	170	146	159	187	0.39	0.37
5	81	84	129	121	0.50	0.57
6	103	115	365	343	0.57	0.65
7a	71	75	143	149	0.55	0.54
7b	88	85	138	138	0.55	0.61
8	92	97	227	229	0.48	0.48
均值	96	102	226	217	0.48	0.50
均值标准误	9.9	7.3	33.2	28.4	0.024	0.037
$P$ 值	0.37 <sup>(1)</sup>		0.34 <sup>(1)</sup>		0.35 <sup>(1)</sup>	

<sup>(1)</sup> 配对  $t$  检验。

### $C_{dyn,rs}$ 和 $W_v$

胸腔穿刺后  $C_{dyn,rs}$  没有显著改变,而  $W_v$  则明显下降。 $C_{dyn,rs}$  与  $W_v$  在恒定流量充气的理想系统(如容量依赖性吸气阻力和线型弹性特征的系统)的变化是平行的。 $C_{dyn,rs}$  可以反映静态顺应性、弹性阻力、欧姆阻力以及以  $PEEP_i$  形式预加系统的负荷。其限制性在于是恒定流量下的吸气末测量值。 $W_v$  在获得恒定流量前需要压力来加快吸气流速,因此易受惯性改变的影响;其也会受可能存在的非线性阻力和顺应性的影响。 $W_v$  比  $C_{dyn,rs}$  更能准确代表吸气阻力,但该指标不易于在床旁测得。图 2 显示 2 号患者胸腔穿刺前后的压力 / 容量曲线,  $W_v$  在相同峰压但吸气早期压力更高情况下更高。

$W_v$  最大降幅见于  $PEEP_i$  下降的患者。我们只能推测在易感患者如 COPD 患者,胸水出现导致肺容量下降,进而导致气道实质范围减少,从而导致气道萎陷增加<sup>[24]</sup>。抽胸水也可以通过降低与液体量相关的惯性影响而降低呼吸阻抗。

### 本研究的局限性

本研究的局限性主要与以下因素有关:研究人群、患者处于镇静和肌松状态、抽出的胸水量、测定的参数以及胸腔穿刺后参数的测定只是在胸腔穿刺完成后立即进行。我们的研究结果主要提示肺和胸腔在各自的静态压力 / 容量曲线下以线性时间间隔进行胸腔穿刺所导致的容量改变,离开静态机制参数几乎没有改变。因此我们的研究结果不一定能应用于胸腔容量过大的患者,如肺气肿和高水平  $PEEP_i$  或大量胸腔积液患者。有必要在这些条件下进一步研究胸腔穿刺的影响,尤其是我们的结果提示呼气阻力似乎受肺容量改变的影响。胸腔穿刺对气体交换参数的影响可能延时,我们不排除胸腔穿刺结束后早些时候的气体交换功能与胸腔穿刺刚结束时相比会出现有临床意义的改善。

### 临床意义

临床医师可以常规获得  $R_{max,rs}$ 、 $C_{st,rs}$ 、

Cdyn,rs、PEEPi以及来源于动脉血气分析的气体交换参数。床旁ICU医师了解本研究中所描述的治疗性胸腔穿刺抽胸水量并不影响这些参数非常重要。治疗性胸腔穿刺术可以使有症状的自主呼吸患者呼吸困难得到缓解，因此可以凭经验认为出现胸腔积液将促成呼吸机依赖；然而，很难估计胸腔积液在呼吸机依赖中所起的作用。由于呼吸肌功能障碍或动态过度充气导致呼吸功能受损，因此降低胸腔穿刺后的W<sub>v</sub>可能很重要。尽管W<sub>v</sub>不等同于患者自主呼吸所做的功，但W<sub>v</sub>下降可以降低患者自主呼吸时的做功<sup>[25]</sup>；也可预期胸腔穿刺可以处理由于胸腔积液而导致的呼吸泵几何学不利因素。该影响可使呼吸做功更有效，如用相似的力气可以获得更大的做功<sup>[26]</sup>。我们认为，胸腔穿刺对呼吸功能障碍患者的好处远远不限于本研究中所发现的W<sub>v</sub>下降。床旁易于测定的呼吸功能指标没有改善并未使临床医师对机械通气患者进行治疗性胸腔穿刺术的积极性受挫，因为这些指标对于复杂的生理学评估是有限的。

(覃雪军 译 施焕中 校)

## 参考文献

1 Chang-Ting L, et al. Panminerva Med 1991;33:86-92

- 2 Brown NE, et al. Chest 1978;74:540-542
- 3 Pati AR, et al. Ind J Chest Dis Allied Sci 1983;25:120-126
- 4 Light RW, et al. Am Rev Respir Dis 1986;133:658-661
- 5 Bates JHT, et al. J Crit Care 1991;6:227-238
- 6 Behrakis PK, et al. J Appl Physiol 1983;55:1085-1092
- 7 Kochi T, et al. J Appl Physiol 1988;64:2636-2646
- 8 Lit LM, et al. Respir Care 2004;49:1022-1028
- 9 Forbat AF, et al. Anesth Analg 1980;59:488-493
- 10 Mattison LE, et al. Chest 1997;111:1018-1023
- 11 Godwin JE, et al. Ann Intern Med 1990;98:1130-1132
- 12 Mayo PH, et al. Chest 2004;125:1059-1062
- 13 Lichtenstein D, et al. Intensive Care Med 1999;25:955-958
- 14 Talmor M, et al. Surgery 1998;123:137-143
- 15 Brandstetter RD, et al. JAMA 1979;242:1060-1061
- 16 Wang JS, et al. Chest 1995;107:1610-1614
- 17 Perpina M, et al. Thorax 1983;38:747-750
- 18 Karetzky MS, et al. Respiration 1978;36:96-103
- 19 Agusti AGN, et al. Am J Respir Crit Care Med 1997;156:1205-1209
- 20 Light RW, et al. Am Rev Respir Dis 1980;121:799-804
- 21 Lan R-S, et al. Ann Intern Med 1997;126:768-774
- 22 Dechman G, et al. Eur Respir J 1993;6:219-224
- 23 Yaylali YT, et al. South Med J 1997;90:1156-1158
- 24 Pride NB, et al. Lung mechanics in disease. In: Macklem PT, et al, eds. Handbook of physiology. Bethesda, MD: American Physiological Society, 1986;659-692
- 25 Marini JJ, et al. Am Rev Respir Dis 1986;134:902-909
- 26 Estenne M, et al. Am J Med 1983;74:813-819

【英文原件请参阅 *CHEST 2006;130:1354-1361*】