

P/V 曲线

目录

1	Global and regional assessment of sustained inflation pressure-volume curves in patients with acute respiratory distress syndrome (全球和地区性评估急性呼吸窘迫综合征患者的控制性膨胀压力 - 容量曲线)	4
2	A new automated method versus continuous positive airway pressure method for measuring pressure-volume curves in patients with acute lung injury (比较自动测量急性肺损伤病人压力-容量曲线的新方法与持续气道正压法)	5
3	Recruitability of the lung estimated by the pressure volume curve hysteresis in ARDS patients (通过压力-容量曲线容量滞后评估 ARDS 病人肺的可复张性)	6
4	Inspiratory vs. expiratory pressure-volume curves to set end-expiratory pressure in acute lung injury (设置急性肺损伤病人呼气末压力的吸气与呼气压力-容量曲线)	7
5	A scanographic assessment of pulmonary morphology in acute lung injury. Significance of the lower inflection point detected on the lung pressure-volume curve (对急性肺损伤病人肺组织形态的扫描图像评估。在肺压力-容量曲线上检测到低位拐点的意义)	8
6	Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome (保护性通气策略对急性呼吸窘迫综合征病人死亡率的影响)	9
7	Total respiratory pressure-volume curves in the adult respiratory distress syndrome (成人急性呼吸窘迫综合征病人的总呼吸压力-容量曲线)	10
8	Measurement of alveolar derecruitment in patients with acute lung injury: computerized tomography versus pressure-volume curve (急性肺损伤病人肺泡塌陷的测量: CT 与压力-容量曲线)	11
9	A high positive end-expiratory pressure, low tidal volume ventilatory strategy improves outcome in persistent acute respiratory distress syndrome: a randomized, controlled trial (高呼气末正压及低潮气量通气策略可改善持久急性呼吸窘迫综合征病人的疗效: 一项随机对照试验)	11
10	Pressure-volume curve variations after a recruitment manoeuvre in acute lung injury/ARDS patients: implications for the understanding of the inflection points of the curve (急性肺损伤/ARDS 病人肺复张操作后压力-容量曲线的变化: 了解曲线拐点的意义)	12
11	Tomographic study of the inflection points of the pressure-volume curve in acute lung injury (对急性肺损伤压力-容量曲线拐点的断层扫描研究)	12
12	Early patterns of static pressure-volume loops in ARDS and their relations with PEEP-induced recruitment (ARDS 病人静态压力-容量环图的早期模式及其与 PEEP 诱发性肺复张的关系)	13

13	Alveolar derecruitment at decremental positive end-expiratory pressure levels in acute lung injury: comparison with the lower inflection point, oxygenation, and compliance (急性肺损伤病人在呼气末正压水平递减的肺泡塌陷: 比较低位拐点、氧合状态与顺应性)	13
14	Best compliance during a decremental, but not incremental, positive end-expiratory pressure trial is related to open-lung positive end-expiratory pressure: a mathematical model of acute respiratory distress syndrome lungs (在递减而非递增呼气末正压试验期间的最佳顺应性与开放肺呼气末正压相关: 一个急性呼吸窘迫综合征病人肺的数学模型)	14
15	The pressure-volume curve is greatly modified by recruitment. A mathematical model of ARDS lungs (压力-容量曲线因肺复张而产生很大改变: 一个 ARDS 病人肺的数学模型。)	15
16	Impact of positive end-expiratory pressure on chest wall and lung pressure-volume curve in acute respiratory failure (呼气末正压对急性呼吸衰竭病人胸壁及肺压力-容量曲线的影响)	16
17	Pressure-volume curves with and without muscle paralysis in acute respiratory distress syndrome (急性呼吸窘迫综合征病人在有无肌肉麻痹情况下的压力-容量曲线)	17
18	Temporal change, reproducibility, and interobserver variability in pressure-volume curves in adults with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome (成人急性肺损伤和急性呼吸窘迫综合征病人压力-容量曲线的时间变化、可重现性及观察者间的变异性)	18
19	An objective analysis of the pressure-volume curve in the acute respiratory distress syndrome (对急性呼吸窘迫综合征病人压力-容量曲线的客观分析)	19
20	Pressure-volume curves and compliance in acute lung injury: evidence of recruitment above the lower inflection point (急性肺损伤病人的压力-容量曲线及顺应性: 低位拐点以上的肺复张证据)	19
21	Generation of a single pulmonary pressure-volume curve does not durably affect oxygenation in patients with acute respiratory distress syndrome (单一肺压力-容量曲线的生成不会持久影响急性呼吸窘迫综合征病人的氧合状态)	20
22	Adjusting positive end-expiratory pressure and tidal volume in acute respiratory distress syndrome according to the pressure-volume curve (按照压力-容量曲线调整急性呼吸窘迫综合征病人的呼气末正压及潮气量)	20
23	The upper inflection point of the pressure-volume curve. Influence of methodology and of different modes of ventilation (压力-容量曲线的高位拐点。方法及不同通气模式的影响)	21

24	Safety of pressure-volume curve measurement in acute lung injury and ARDS using a syringe technique (急性肺损伤及 ARDS 病人使用注射器技术测量压力-容量曲线的安全性) ...	21
25	A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve (肺压力-容量曲线的一个综合公式)	22
26	A sigmoid model of the static volume-pressure curve of human lung (人肺静态容量-压力曲线的一个 S 形模型)	22
	Additional files (其它文献)	23
27	Static pressure-volume curves of the respiratory system: were they just a passing fad? (呼吸系统的静态压力-容量曲线只是昙花一现吗?)	23
28	Monitoring of pulmonary mechanics in acute respiratory distress syndrome to titrate therapy (监测急性呼吸窘迫综合征病人的肺力学以进行滴定治疗)	23
29	Pressure/volume curves and lung computed tomography in acute respiratory distress syndrome (急性呼吸窘迫综合征病人的压力-容量曲线及肺 CT)	23
30	Lung hysteresis: a morphological view (肺容量滞后: 一种形态现象)	24
31	Reinterpreting the pressure-volume curve in patients with acute respiratory distress syndrome (重新解读急性呼吸窘迫综合征病人的压力-容量曲线)	25

Global and regional assessment of sustained inflation pressure-volume curves in patients with acute respiratory distress syndrome (全球和地区性评估急性呼吸窘迫综合征患者的控制性膨胀压力 - 容量曲线)

Becher T, Rostalski P, Kott M, Adler A, Schädler D, Weiler N, Frerichs I
Physiol Meas. 2017 Jun;38(6):1132-1144
PMID 28339394, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28339394>

实验设计	回顾性研究
病人	30 名 ARDS 病人
目的	通过电阻抗成像 (EIT) 数据, 可将压力 - 容量曲线图中不同临床相关点 (低位拐点、中位拐点和高位拐点) 的未复张肺的数量量化, 以此可描述正在进行的肺复张。
主要结果	EIT 数据分析发现在低位拐点未复张肺的比例更高, 中位拐点处未复张肺占比较小, 而在高位拐点没有未复张肺。
结论	肺复张出现在上、下拐点之间。

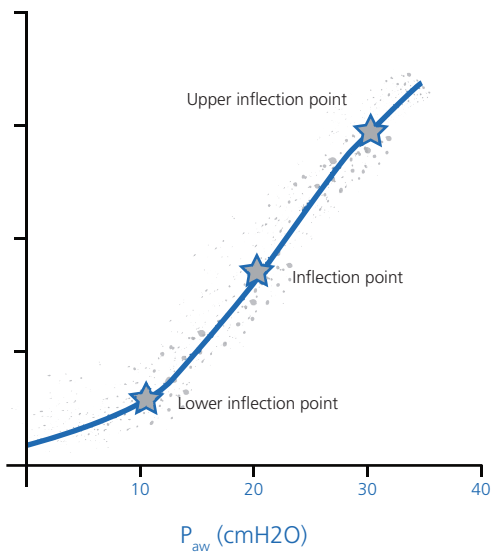


图 1: 压力 - 容量曲线图中吸气肢在 0 到 40 cmH₂O 之间显示低位拐点、中位拐点和高位拐点

A new automated method versus continuous positive airway pressure method for measuring pressure-volume curves in patients with acute lung injury (比较自动测量急性肺损伤病人压力-容量曲线的新方法与持续气道正压法)

Piacentini E, Wysocki M, Blanch L

Intensive Care Med. 2009 Mar;35(3):565-70

PMID 18853137, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18853137>

实验设计 前瞻性比较干预研究

病人 10 名 ALI (急性肺损伤) /ARDS (急性呼吸窘迫综合征) 病人

目的 比较通过 Hamilton Medical 哈美顿医疗公司呼吸机获得的 PV 曲线 (P/V 工具) 与通过气道压从 0 递增至 35 cmH₂O 获得的曲线

主要结果 PV 曲线在两种测量方法之间存在较好的相关性, 组内相关系数 > 0.75。LIP (低位拐点)、UIP (高位拐点) 及 PMC (最大曲率拐点) 显示了方法间的良好相关性, 组内相关系数分别为 0.98 (0.92, 0.99)、0.92 (0.69, 0.98) 和 0.97 (0.86, 0.98)。LIP 的 Bland-Altman 偏差及一致极限 (0.51 ± 0.95 cmH₂O; -1.36 - 2.38 cmH₂O), UIP 的 (0.53 ± 1.52 cmH₂O; -2.44 - 3.50 cmH₂O) 及 PMC 的 (-0.62 ± 0.89 cmH₂O; -2.35 - 1.12 cmH₂O) 在临床上可接受。未发现不利影响。

结论 P/V 工具与跟踪呼吸系统静态 PV 曲线的 CPAP 法相同

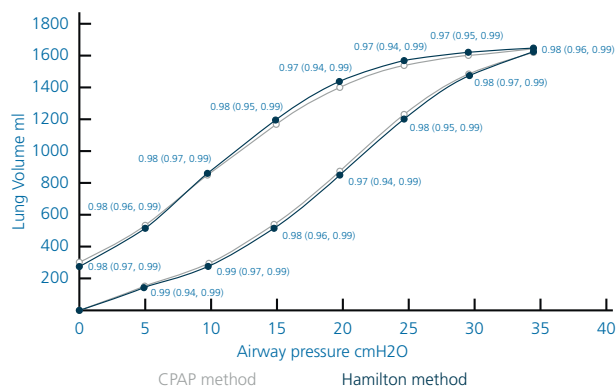


图 2: 比较 P/V 工具与 CPAP 法; 将两个 PV 曲线叠加

Recruitability of the lung estimated by the pressure volume curve hysteresis in ARDS patients (通过压力-容量曲线容量滞后评估 ARDS 病人肺的可复张性)

Demory D, Arnal JM, Wysocki M, Donati S, Granier I, Corno G, Durand-Gasselín J
Intensive Care Med. 2008 Nov;34(11):2019-25
PMID 18575846, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18575846>

实验设计 前瞻性干预研究

病人 26 名 ARDS 病人

目的 通过准静态 PV 曲线的容量滞后评估潜在肺的可复张性

主要结果 线性正相关见于容量滞后 (计算为 PV 曲线肢封闭区域的比值, 从 0 至 40 cmH₂O, 除以预测体重) 与肺复张容量 (通过要将压力维持在 40 cmH₂O 10 秒所需的流量积分除以预测体重测得); 以及在吸气肢测得的线性 Crs (呼吸系统顺应性) 与肺复张容量。

结论 PV 曲线容量滞后可在临床上用于评估肺复张可能性

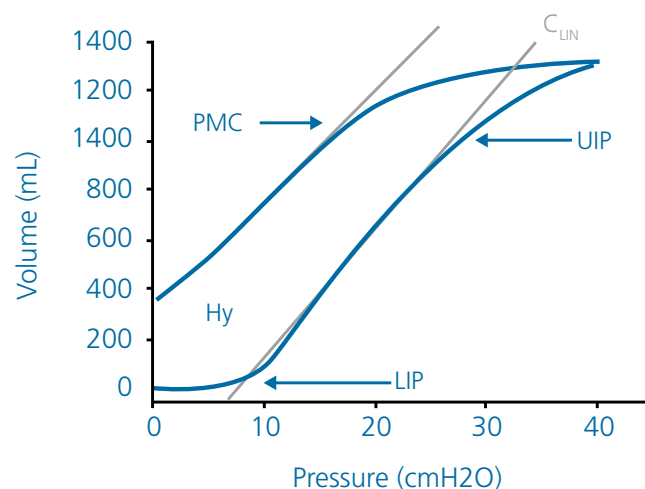


图 3: LIP、UIP、PMC、C_{dyn} 及容量滞后示例

Inspiratory vs. expiratory pressure-volume curves to set end-expiratory pressure in acute lung injury (设置急性肺损伤病人呼气末压力的吸气与呼气压力-容量曲线)

Albaiceta GM, Luyando LH, Parra D, Menendez R, Calvo J, Pedreira PR, Taboada F
Intensive Care Med. 2005 Oct;31(10):1370-8
PMID 16091965, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16091965>

实验设计 前瞻性干预研究

病人 8 名 ALI (急性肺损伤) 病人 VC (容量控制模式) Vt (潮气量) 6 ml/kg

目的 研究两个 PEEP 水平 (低位拐点以上 2 cmH₂O 及等于 PV 曲线的最大曲率拐点) 对气体交换、呼吸力学和肺充气的影响

主要结果 LIP (低位拐点) 以上 2 cmH₂O 的 PEEP 为 15.5 ± 3.1 cmH₂O, 等于 PMC (最大曲率拐点) 的 PEEP 为 23.5 ± 4.1 cmH₂O。按照 PMC 确定的 PEEP 与氧合状态改善、正常充气肺容量增加、非充气肺容量减少及更大的肺泡稳定性相关。PaCO₂、气道压、过度充气的肺容量也出现增加。

结论 按照 PMC 确定的 PEEP 使某些肺区复张, 而使其他肺区过度扩张

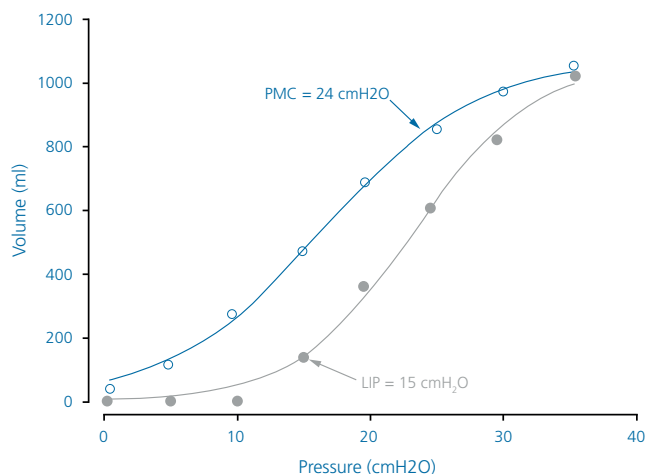


图 4: LIP 及 PMC 示例

A scanographic assessment of pulmonary morphology in acute lung injury. Significance of the lower inflection point detected on the lung pressure-volume curve (对急性肺损伤病人肺组织形态的扫描图像评估。在肺压力-容量曲线上检测到低位拐点的意义)

Vieira SR, Puybasset L, Lu Q, Richecoeur J, Cluzel P, Coriat P, Rouby JJ

Am J Respir Crit Care Med. 1999 May;159(5 Pt 1):1612-23

PMID 10228135, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10228135>

实验设计

前瞻性比较干预研究

病人

ALI (急性肺损伤) 病人: 8 名有 LIP (低位拐点), 6 名无 LIP

目的

按照 PV 曲线上有无 LIP 评估肺组织形态, 并比较 PEEP 的影响。CT 扫描在 ZEEP (零水平 PEEP) 及两个 PEEP 水平进行: PEEP1 = LIP + 2 cmH₂O 及 PEEP2 = LIP + 7 cmH₂O, 或在无 LIP 情况下, PEEP1 = 10 cmH₂O 及 PEEP2 = 15 cmH₂O

主要结果

在 ZEEP, 两组的肺总容量、气体容量及组织容量相似; 相比无 LIP 的病人, 有 LIP 的病人正常充气肺区的百分比更低 ($24 \pm 22\%$ vs $55 \pm 12\%$, $p < 0.05$), 而不良充气肺区的百分比更大 ($40 \pm 12\%$ vs $23 \pm 8\%$, $p < 0.05$)。有 LIP 的病人 Crs (呼吸系统顺应性) 及 CI (肺顺应性) 更低。在两组中, PEEP 都诱导了肺泡复张, 但仅在无 LIP 的病人中与肺过度扩张相关。

结论

PV 曲线上 LIP 的有无与潜在肺复张可能性相关。在无 LIP 的病人中, 正常充气的肺区与非充气肺区共存, 并且不断增加的 PEEP 导致肺过度扩张, 而非附加肺泡复张。在有 LIP 的病人中, 气体和组织在肺内分布更加均匀, 并且不断增加的 PEEP 会导致附加肺泡复张, 而非肺过度扩张。

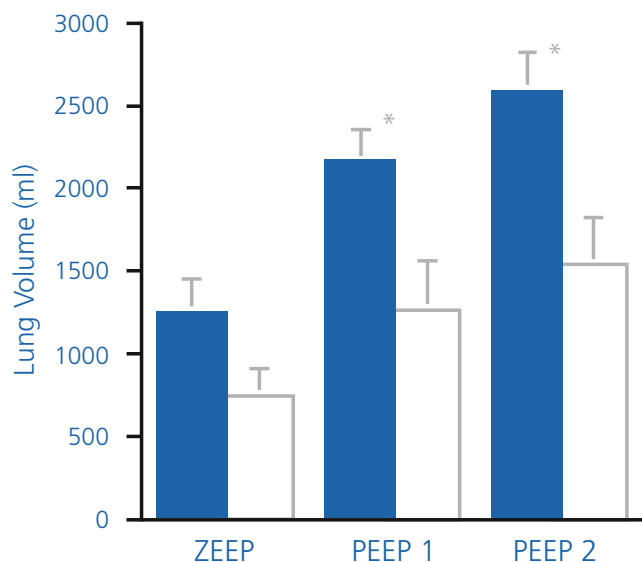


图 5: 有 LIP 的病人比无 LIP 的病人有更多充气组织: 肺密度直方图 肺断层扫描在 ZEEP、PEEP1、PEEP2 进行

Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome (保护性通气策略对急性呼吸窘迫综合征病人死亡率的影响)

Amato MB, Barbas CS, Medeiros DM, Magaldi RB, Schettino GP, Lorenzi-Filho G, Kairalla RA, Deheinzelin D, Munoz C, Oliveira R, Takagaki TY, Carvalho CR

N Engl J Med. 1998 Feb 5;338(6):347-54

PMID 9449727, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9449727>

实验设计 保护性通气与常规通气的多中心随机对照试验

病人 53 名 ARDS 病人

目的 比较结果 保护性通气：静态 PV 曲线上 LIP（低位拐点）以上 2 cmH₂O 的总 PEEP（如果无 LIP，16 cmH₂O），V_t（潮气量）< 6 ml/kg PBW（预测体重），驱动压力 PEEP 以上 < 20 cmH₂O，允许性高碳酸血症，首先使用限制压力的通气模式；常规通气：可接受氧合状态的最低 PEEP，V_t = 12 ml/kg PBW 及正常 PCO₂

主要结果 在 28 天后，保护性通气组的死亡率 = 38%，而常规通气组为 71%。保护性通气组的机械通气撤机率为 66%，而常规通气组为 29%。气压伤率分别为 7% 及 42%，尽管在保护性通气组中使用更高的 PEEP 及平均气道压。

结论 与常规通气相比，保护性策略（包括以 LIP 设置 PEEP）与 28 天生存率改善、机械通气撤机率升高及气压伤率降低相关

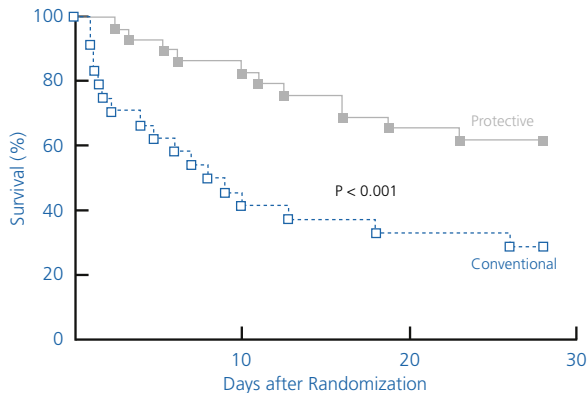


图 6: 相比常规通气, 保护性通气 (包括以 LIP 设置 PEEP) 的生存率更高

Total respiratory pressure-volume curves in the adult respiratory distress syndrome (成人急性呼吸窘迫综合征病人的总呼吸压力-容量曲线)

Matamis D, Lemaire F, Harf A, Brun-Buisson C, Ansquer JC, Atlan G

Chest. 1984 Jul;86(1):58-66

PMID 6734293, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6734293>

实验设计 前瞻性干预研究

病人 19 名 ARDS 病人

目的 评估测量顺应性的数值

主要结果 组 1: 在呼气过程中测得正常 Crs (呼吸系统顺应性), 极少容量滞后, 以及在与接近正常胸部 X 光片一致的吸气肢无拐点, 且即将恢复。组 2: 在呼气过程中 Crs 正常, 容量滞后增加, 与综合征初期一致的地方有一个拐点, 并使胸部 X 光片上的实变肺泡变纯净。组 3: 在呼气过程中 Crs 减少, 以及拐点出现在综合征晚期, 并与混合肺泡和间质性实变一致。组 4: 在呼气过程中 Crs 减少, 无容量滞后增加, 无拐点与 ARDS 晚期一致, 且胸部 X 光片上有一个主要间质型。

结论 PV 曲线与 ARDS 分期相关。在正常肺或早期出现极少容量滞后并无 LIP (低位拐点)。初期容量滞后增加并出现 LIP。在水肿期间容量滞后是指重大的明确 LIP。在间质期间无容量滞后、无拐点。

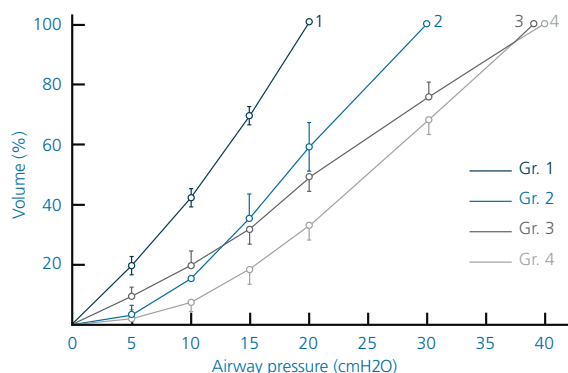


图 7: 每组吸气肢示例 组 1: 无 LIP 组 2: 有一个 LIP 组 3: 有一个 LIP 组 4: 无 LIP, Crs 减少

Measurement of alveolar derecruitment in patients with acute lung injury: computerized tomography versus pressure-volume curve (急性肺损伤病人肺泡塌陷的测量: CT 与压力-容量曲线)

Lu Q, Constantin JM, Nieszkowska A, Elman M, Vieira S, Rouby JJ
Crit Care. 2006 Jun;10(3):R95
PMID 16792793, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16792793>

实验设计	前瞻性干预研究
病人	19 名 ALI (急性肺损伤) /ARDS (急性呼吸窘迫综合征) 病人
目的	比较通过 PV 曲线评估的 PEEP 诱导性肺塌陷与在去除 PEEP 后评估肺泡塌陷的 CT 扫描法
主要结果	通过 CT 法与 PV 曲线法测得的 PEEP 15 cmH ₂ O 及 ZEEP (零水平PEEP) 间的肺泡塌陷不相同 (分别为 373 ±250 及 345 ±208 ml (p = 0.14))。这两个方法的测量结果紧密相关 (R = 0.82, p < 0.0001)。根据 Bland-Altman 法, 与通过 CT 法和 PV 曲线法测得的平均塌陷容量相比, 通过 PV 曲线法测得的塌陷容量在 -158 和 130 ml 之间的极限值的偏差为 -14 ml。
结论	通过 CT 扫描与 PV 曲线测得的肺泡塌陷紧密相关, 但有很大的置信区间。

A high positive end-expiratory pressure, low tidal volume ventilatory strategy improves outcome in persistent acute respiratory distress syndrome: a randomized, controlled trial (高呼气末正压及低潮气量通气策略可改善持久急性呼吸窘迫综合征病人的疗效: 一项随机对照试验)

Villar J, Kacmarek RM, Pérez-Méndez L, Aguirre-Jaime A
Crit Care Med. 2006 May;34(5):1311-8
PMID 16557151, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16557151>

实验设计	多中心随机对照试验: 标准通气与以 LIP (低位拐点) 设置的低 V _t /PEEP 通气
病人	103 名 ARDS 病人
目的	比较标准通气的结果: V _t = 9-11 ml/kg PBW, PEEP ≥ 5 cmH ₂ O, FiO ₂ 至 SpO ₂ > 90%, PO ₂ = 70-100 mmHg 以 LIP 设置的低 V _t /PEEP 通气: V _t = 5-8 ml/kg, PEEP = LIP + 2 cmH ₂ O, FiO ₂ 至 SpO ₂ > 90%, PO ₂ = 70-100 mmHg
主要结果	ICU 死亡率 (53.3% vs 32%)、医院死亡率 (55.5% vs 34%) 及 28 天撤机天数 (6.02 ±7.95 vs 10.90 ±9.45) 都支持以 LIP 设置的低 V _t /PEEP 通气。
结论	采用设置在 UIP (高位拐点) 以上的 PEEP 的机械通气策略与低 V _t 对疗效产生有利影响

Pressure-volume curve variations after a recruitment manoeuvre in acute lung injury/ARDS patients: implications for the understanding of the inflection points of the curve (急性肺损伤/ARDS 病人肺复张操作后压力-容量曲线的变化: 了解曲线拐点的意义)

Pestaña D, Hernández-Gancedo C, Royo C, Pérez-Chrzanowska H, Criado A
Eur J Anaesthesiol. 2005 Mar;22(3):175-80
PMID 15852989, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15852989>

实验设计	前瞻性干预研究
病人	35 名手术后 ALI (急性肺损伤) /ARDS (急性呼吸窘迫综合征) 病人
目的	研究肺复张操作 (RM) 后 PV 曲线的变化: 2 个 PV 曲线通过 RM 分开 (40 cmH2O)
主要结果	73 例手术。LIP (低位拐点) 和 PMC (最大曲率拐点) 在 RM (肺复张操作) 后未改变。在 RM 之前 UIP (高位拐点) 见于 18 个曲线, 并在 RM 之后消失于 9 例手术。
结论	UIP 取决于以前的肺复张

Tomographic study of the inflection points of the pressure-volume curve in acute lung injury (对急性肺损伤压力-容量曲线拐点的断层扫描研究)

Albaiceta GM, Taboada F, Parra D, Luyando LH, Calvo J, Menendez R, Otero J
Am J Respir Crit Care Med. 2004 Nov 15;170(10):1066-72
PMID 15317670, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15317670>

实验设计	前瞻性干预研究
病人	7 名肺源性 ARDS 病人和 5 名非肺源性 ARDS 病人
目的	评估在不同拐点通过 CT 扫描测得的肺实质改变
主要结果	正常充气肺区及复张增加 (非充气肺区减少) 在吸气过程中是平行和持续的。充气缺失及肺塌陷仅在压力低于呼气肢上的 PMC (最大曲率拐点) 时显著。与 LIP (低位拐点) 相比, 这个点与更高的正常充气组织量和更低的非充气组织量相关。肺源性或非肺源性肺损伤病人在该拐点的充气相似。
结论	本研究支持使用呼气肢及 PV 曲线的 PMC 作为 PEEP 水平, 以实现“肺保护性通气”的两个目标: 通气中最高的正常充气组织量及呼气末过程中最低的塌陷。

Early patterns of static pressure-volume loops in ARDS and their relations with PEEP-induced recruitment (ARDS 病人静态压力-容量环图的早期模式及其与 PEEP 诱发性肺复张的关系)

Vieillard-Baron A, Prin S, Chergui K, Page B, Beauchet A, Jardin F
Intensive Care Med. 2003 Nov;29(11):1929-35
PMID 12923622, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12923622>

实验设计	前瞻性干预研究
病人	54 名 ARDS 病人
目的	通过叠加在 零水平 PEEP 及 PEEP 测得的 PV 曲线评估在恒定弹性压力 20 cmH ₂ O 获得的肺复张
主要结果	2 个不同类型的环图：在 1 型中（38 个病例），吸气肢的特点是有一个由 Crs 改善产生的拐点区；在 2 型中，吸气肢几乎是线性的，Crs 保持低水平（26 ± 9 cmH ₂ O）。使用低 PEEP（6 ± 2 cmH ₂ O）可使 1 型病人肺复张（74 ± 53 ml），其可通过更高的（12 ± 2 cmH ₂ O）PEEP 略微改善（89 ± 54 ml）。在 2 型中，通过 PEEP 产生的肺复张更低（48 ± 26 ml）。
结论	在 Crs 减少的 ARDS 病人中，通过 PEEP 获得的肺复张是有限的。 PEEP 应用可使肺源性 ARDS 病人产生肺复张，其主要是通过低 PEEP 获得的，指通过 ZEEP 测得的“中和” PEEP。

Alveolar derecruitment at decremental positive end-expiratory pressure levels in acute lung injury: comparison with the lower inflection point, oxygenation, and compliance (急性肺损伤病人在呼气末正压水平递减的肺泡塌陷：比较低位拐点、氧合状态与顺应性)

Maggiore SM, Jonson B, Richard JC, Jaber S, Lemaire F, Brochard L
Am J Respir Crit Care Med. 2001 Sep 1;164(5):795-801
PMID 11549535, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11549535>

实验设计	前瞻性干预研究
病人	16 名 ALI（急性肺损伤）病人
目的	通过计算由递减 PEEP 诱发的肺泡塌陷确定肺泡闭合压力
主要结果	肺塌陷见于每个 PEEP 递减；塌陷容量与 LIP（低位拐点）不相关。在 ZEEP（零水平 PEEP）的线性 Crs（呼吸系统顺应性）与在 PEEP 15 cmH ₂ O 的塌陷容量相关。
结论	LIP 以上的 Crs 反应了可复张肺区量。ALI 病人在各种压力下会出现肺泡闭合。LIP 在预测肺泡闭合上作用有限。

Best compliance during a decremental, but not incremental, positive end-expiratory pressure trial is related to open-lung positive end-expiratory pressure: a mathematical model of acute respiratory distress syndrome lungs (在递减而非递增呼气末正压试验期间的最佳顺应性与开放肺呼气末正压相关: 一个急性呼吸窘迫综合征病人肺的数学模型)

Hickling KG

Am J Respir Crit Care Med. 2001 Jan;163(1):69-78

PMID 11208628, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11208628>

实验设计	模拟研究
病人	肺模型
目的	在递增和递减 PEEP 过程中确定最大平均潮气斜率是否见于开放肺 PEEP, 以及这种关系是否随 Vt (潮气量) 和呼吸力学而变化
主要结果	在递增 PEEP 过程中, 提供最大平均潮气 PV 斜率的 PEEP 与开放肺 PEEP 不一致, 并且根据不同的 Vt 及“肺力学”有很大变化。采用低 Vt 的递增 PEEP 不会预防肺泡塌陷。在采用低 Vt 的递减 PEEP 过程中, 最大平均潮气 PV 斜率见于 PEEP = 2-3.5 cmH2O 低于开放肺 PEEP 的情况, 除非闭合压力很高。该最大平均潮气 PV 斜率始终更高, 并且 PV 斜率随 PEEP 的变化在递减 PEEP 过程中变化更大。
结论	采用低 Vt 的递减 PEEP 试验过程中的最大 PV 斜率是确定开放肺 PEEP 的一个有效方法

The pressure-volume curve is greatly modified by recruitment. A mathematical model of ARDS lungs (压力-容量曲线因肺复张而产生很大改变：一个 ARDS 病人肺的数学模型。)

Hickling KG

Am J Respir Crit Care Med. 1998 Jul;158(1):194-202

PMID 9655729, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9655729>

实验设计	模拟研究
病人	肺模型
目的	使用一个 ARDS 病人肺数学模型及模拟重力附加压力，评估改变肺泡阈值开放压力、PEEP 及吸气压对静态 PV 曲线的影响
主要结果	LIP (低位拐点) 受附加压力及阈值开放压力影响，不能准确显示预防呼气末肺塌陷所需的 PEEP。塌陷肺单位重新充气 (肺复张) 在 PV 曲线的线性部分 (LIP 以上) 继续，其在任一容量均有一个斜率大于充气肺泡的总顺应性。由于肺复张减少，降低的 PV 斜率可在 20 - 30 cmH ₂ O 产生 UIP (高位拐点)。由肺泡过度扩张引起的 UIP 会因高阈值开放压力下的肺复张而改变或消失。以恒定的吸气压作为增加的 PEEP 和阈值 (一个开放压力范围 5 - 60 cmH ₂ O)，预防呼气末肺塌陷的 PEEP 可通过 20 cmH ₂ O 以上的最小 PV 斜率、最小容量滞后及在 20 cmH ₂ O 的最大容量进行显示。
结论	PV 曲线完全不能充分预测最佳呼吸机设置。按照 LIP 设置 PEEP 及按照 UIP 设置 P _{plat} 在这个模型中是不准确的

Impact of positive end-expiratory pressure on chest wall and lung pressure-volume curve in acute respiratory failure (呼气末正压对急性呼吸衰竭病人胸壁及肺压力-容量曲线的影响)

Mergoni M, Martelli A, Volpi A, Primavera S, Zuccoli P, Rossi A
Am J Respir Crit Care Med. 1997 Sep;156(3 Pt 1):846-54
PMID 9310003, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9310003>

实验设计 前瞻性干预研究

病人 13 名 ARF (急性呼吸衰竭) 病人

目的 研究胸壁力学是否可以影响总呼吸系统 PV 曲线

主要结果 在 ZEEP (零水平 PEEP) 下, 呼吸系统 PV 曲线上的 LIP (低位拐点) 见于所有病人 (7.5 ± 3.9 cmH₂O); 在 2 名病人中, LIP 仅见于肺 PV 曲线 (8.6 和 8.7 cmH₂O), 然而在 7 名病人中, LIP 仅见于胸壁 PV 曲线 (3.4 ± 1.1 cmH₂O)。在 4 名病人中, LIP 均可见于肺及胸壁 PV 曲线 (分别为 8.5 ± 3.4 及 2.2 ± 1.0 cmH₂O)。LIP 可通过 PEEP 消除。在高水平 PEEP 时, UIP (高位拐点) 出现在呼吸系统及肺 PV 曲线上 (分别为 11.7 ± 4.9 cmH₂O 及 PEEP 以上 8.9 ± 4.2 cmH₂O)

结论 PEEP 下观察到 LIP 消失表明肺部已复张。UIP 出现的压力表明在高水平 PEEP 肺泡过度扩张。

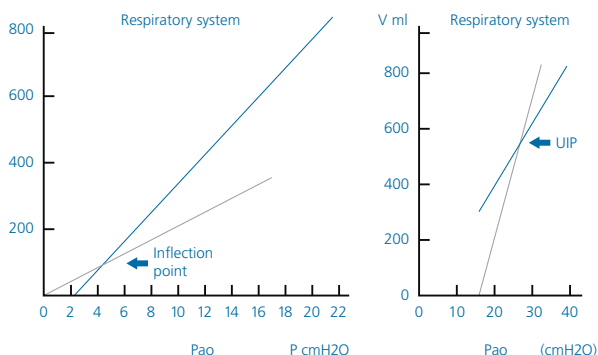


图 8: LIP 及 UIP 示例

Pressure-volume curves with and without muscle paralysis in acute respiratory distress syndrome (急性呼吸窘迫综合征病人在有无肌肉麻痹情况下的压力-容量曲线)

Decailliot F, Demoule A, Maggiore SM, Jonson B, Duvaldestin P, Brochard L
Intensive Care Med. 2006 Sep;32(9):1322-8
PMID 16826390, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16826390>

实验设计	前瞻性随机交叉研究
病人	19 名 ARDS 病人
目的	评估在未接受神经肌肉阻滞剂的深度镇静情况下 PV 曲线测量结果的安全性和可靠性，并与接受神经肌肉阻滞剂情况下的 PV 曲线比较
主要结果	平均线性顺应性在麻痹及窒息镇静情况下没有显著不同。线性顺应性的一致偏差为 $-0.2 \text{ ml/cmH}_2\text{O}$ ，同时 95% CI (置信区间) 偏差为 $-3.5 - 3.0$ 。在 5 名有食道压记录的病人中，窒息镇静与麻痹的胸壁顺应性无区别。胸壁顺应性的一致偏差为 $-0.7 \text{ ml/cmH}_2\text{O}$ ，同时 95% CI 偏差为 $-5.3 - 3.9$ 。麻痹与窒息镇静的平均 LIP (低位拐点) 无区别 (偏差 $-0.3 \text{ cmH}_2\text{O}$ 及 95% CI $-1.0 - 0.4$)，平均 UIP (高位拐点) 也无区别 (偏差 $-0.4 \text{ cmH}_2\text{O}$ 及 95% CI $-1.9 - 1.2$)。8 名病人无麻痹或窒息镇静情况下的 UIP 记录；1 名病人有麻痹情况下的 UIP ($17.2 \text{ cmH}_2\text{O}$)，但无窒息镇静情况下的记录，而 2 名病人有窒息镇静情况下的 UIP，但无麻痹情况下的 (平均 UIP $17.5 \pm 1 \text{ cmH}_2\text{O}$) 记录。在麻痹及窒息镇静情况下 PV 曲线记录之前的平均总 PEEP 无显著区别。
结论	变化水平显示应谨慎使用呼吸肌未麻痹状态下得到的 PV 曲线。相比增加镇静，神经肌肉阻滞剂单一给药与更好的血流动力学状态相关

Temporal change, reproducibility, and interobserver variability in pressure-volume curves in adults with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome (成人急性肺损伤和急性呼吸窘迫综合征病人压力-容量曲线的时间变化、可重现性及观察者间的变异性)

Mehta S, Stewart TE, MacDonald R, Hallett D, Banayan D, Lapinsky S, Slutsky A
Crit Care Med. 2003 Aug;31(8):2118-25
PMID 12973168, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12973168>

实验设计	前瞻性干预研究
病人	11 名 ALI (急性肺损伤) /ARDS (急性呼吸窘迫综合征) 病人
目的	评估根据 PV 曲线测得的 UIP (高位拐点) 及 LIP (低位拐点) 的时间变化, 以及在检测 UIP 及 LIP 时观察者间及同一观察者不同观察时间的变异性
主要结果	根据 ZEEP (零水平PEEP) 生成了 134 个 PV 曲线。LIP 及 UIP 分别见于 90%-94% 及 61%-68% 的曲线。当比较 3 个连续 PV 曲线时, 在 >65% 的曲线中 LIP 及 UIP 都在 3 cmH ₂ O 以内。观察者间变异性的 LIP 及 UIP 组内相关系数为 0.92 及 0.89, 同一观察者不同观察时间变异性的相关系数为 0.90 及 0.88。LIP 的日常变异高达 7 cmH ₂ O, 而 UIP 的高达 5 cmH ₂ O。
结论	PV 曲线是可重现的, 具有良好的 LIP 和 UIP 的手动识别的相关性, 从而避免了单一的时间内多次重复测量

An objective analysis of the pressure-volume curve in the acute respiratory distress syndrome (对急性呼吸窘迫综合征病人压力-容量曲线的客观分析)

Harris RS, Hess DR, Venegas JG

Am J Respir Crit Care Med. 2000 Feb;161(2 Pt 1):432-9

PMID 10673182, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10673182>

实验设计	前瞻性干预研究
病人	18 名 ARDS 病人
目的	评估在准静态 PV 曲线临床评估中观察者间及同一观察者不同观察时间的变异性
主要结果	临床医生定义的 LIP (低位拐点) 极少与通过 S 形曲线拟合定义的最大顺应性增加拐点一致, LIP 在观察者间及同一观察者不同观察时间有很大差异。
结论	根据 PV 曲线计算目标参数对尽量减少观察者间及同一观察者不同观察时间的变异很重要

Pressure-volume curves and compliance in acute lung injury: evidence of recruitment above the lower inflection point (急性肺损伤病人的压力-容量曲线及顺应性: 低位拐点以上的肺复张证据)

Jonson B, Richard JC, Straus C, Mancebo J, Lemaire F, Brochard L

Am J Respir Crit Care Med. 1999 Apr;159(4 Pt 1):1172-8

PMID 10194162, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10194162>

实验设计	前瞻性干预研究
病人	11 名 ALI (急性肺损伤) 病人
目的	通过从 PEEP 至弹性平衡容量延长呼气评估肺复张/塌陷对 PV 曲线形状及 Crs (呼吸系统顺应性) 的影响
主要结果	曲线 I 是在 PEEP = 9.0 ± 2.2 cmH ₂ O 从延长呼气后达到的容量吸气过程中记录的, 而曲线 II 是从 ZEEP (零水平 PEEP) 呼气至弹性平衡容量后记录的。相比曲线 I, 所有病人的曲线 II 都向更低的容量移动。可能由肺塌陷引起的容量移动在 15 cmH ₂ O 为 205 ± 100 ml, 在 30 cmH ₂ O 为 78 ± 93 ml; 在任一压力下, 相比在 PEEP, 在 ZEEP 曲线上的顺应性更高, 在 15 cmH ₂ O 高 10.0 ± 8.7 ml/cmH ₂ O ($p < 0.01$), 在 30 cmH ₂ O 高 5.4 ± 5.5 ml/cmH ₂ O。
结论	在 ALI 病人中, 单一呼气至 ZEEP 可导致肺塌陷。从 ZEEP 吸气过程中高 Crs 显示肺复张发生在 LIP 以上。

Generation of a single pulmonary pressure-volume curve does not durably affect oxygenation in patients with acute respiratory distress syndrome (单一肺压力-容量曲线的生成不会持久影响急性呼吸窘迫综合征病人的氧合状态)

Roch A, Forel JM, Demory D, Arnal JM, Donati S, Gainnier M, Papazian L
Crit Care. 2006 Jun;10(3):R85
PMID 16740174, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16740174>

实验设计	随机交叉研究
病人	17 名 ARDS 病人
目的	研究静态及动态 PV 曲线随时间对气体交换及血流动力学的影响
主要结果	PV 曲线不会显著影响 PaO ₂ 、PaCO ₂ 、平均动脉压及肺力学。在获得动态 PV 曲线后 1 小时, 2 名病人的 PaO ₂ 持续增加超过 20%。在获得静态 PV 曲线后, 2 名病人的 PaO ₂ 降低超过 20%。这 2 名病人在 PV 曲线上有 UIP (高位拐点)。在获得静态 PV 曲线后, 2 名病人的 PaCO ₂ 增加超过 10 mmHg, 并在 15 分钟后返回到基线。1 名病人在获得静态 PV 曲线后不到 5 分钟平均动脉压降低超过 10 mmHg, 而 1 名病人是在获得动态 PV 曲线后出现此种情况。
结论	ARDS 病人的静态及动态 PV 曲线是安全的

Adjusting positive end-expiratory pressure and tidal volume in acute respiratory distress syndrome according to the pressure-volume curve (按照压力-容量曲线调整急性呼吸窘迫综合征病人的呼气末正压及潮气量)

Pestaña D, Hernández-Gancedo C, Royo C, Uña R, Villagrán MJ, Peña N, Criado A
Acta Anaesthesiol Scand. 2003 Mar;47(3):326-34
PMID 12648200, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12648200>

实验设计	前瞻性干预研究
病人	27 名 ALI (急性肺损伤) /ARDS (急性呼吸窘迫综合征) 病人
目的	研究 ARDS 病人 PV 曲线不同拐点的关系。评估其在经验性 PEEP 及 V _t (潮气量) 方面使用后的变化。
主要结果	LIP 见于所有病人, 并且临床医生按照该 LIP 数值更改了 80% 病例的 PEEP。UIP (高位拐点) 见于 16/69 的测量结果, 并且临床医生按照该 UIP 数值更改了 20% 病例的 V _t 。
结论	PV 曲线的准静态测量是一个简单方法, 其易于为调整通气参数进行解读

The upper inflection point of the pressure-volume curve. Influence of methodology and of different modes of ventilation (压力-容量曲线的高位拐点。方法及不同通气模式的影响)

Servillo G, De Robertis E, Maggiore S, Lemaire F, Brochard L, Tufano R
Intensive Care Med. 2002 Jul;28(7):842-9
PMID 12122520, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12122520>

实验设计	前瞻性干预研究
病人	13 名 ARDS 病人
目的	测试 PV 曲线跟踪方法对 UIP (高位拐点) 存在及数值的影响: 动态 PV 曲线允许恒定流速, 而静态 PV 曲线允许流速中断
主要结果	UIP 差异见于两个 Vt 水平的静态及动态状况: Vt 更高的 UIP 更低。
结论	动态及静态方法的结果相似。以前的 Vt 影响 UIP 的压力值, 这表明其依赖于潮气肺泡复张

Safety of pressure-volume curve measurement in acute lung injury and ARDS using a syringe technique (急性肺损伤及 ARDS 病人使用注射器技术测量压力-容量曲线的安全性)

Lee WL, Stewart TE, MacDonald R, Lapinsky S, Banayan D, Hallett D, Mehta S
Chest. 2002 May;121(5):1595-601
PMID 12006449, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12006449>

实验设计	前瞻性干预研究
病人	11 名 ALI (急性肺损伤) /ARDS (急性呼吸窘迫综合征) 病人
目的	评估对 ALI/ARDS 病人频繁测量 PV 曲线的安全性
主要结果	SpO ₂ 在操作之前为 93 ±4%, 在 PV 曲线测量过程中降至 89 ±5%, 然后立即增至 97 ±4%。心率在操作之前为 106 ±22 次/分钟, 之后立即增至 108 ±22 次/分钟。平均动脉压在操作之前为 93 ±15 mmHg, 然后立即增至 100 ±17 mmHg。
结论	大多数病人对 PV 曲线操作耐受良好

A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve (肺压力-容量曲线的一个综合公式)

Venegas JG, Harris RS, Simon BA

J Appl Physiol. 1998 Jan;84(1):389-95

PMID 9451661, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9451661>

实验设计	回顾性比较试验研究
病人	10 名 ARDS 病人; 2 个正常犬肺, 9 个低碳酸血症的肺血管收缩的犬肺; 2 个开放的右胸; 2 个油酸致 ARDS
目的	在各种试验及病理学条件下比较 S 形公式与 PV 曲线
主要结果	公式 $V = a + b[1 - e^{-(P-c)/d}]^{-1}$ 同样适合于正常、ARDS 及肺血管收缩肺的 PV 曲线吸气肢及呼气肢, 平均拟合优度系数为 0.997 ± 0.02 。
结论	此公式提供了一个系统确定 PV 曲线特点以及客观获取生理 (肺活量、最大吸气容量) 及临床 (呼吸系统顺应性、低位拐点、高位拐点、最大曲率拐点) 有效参数的方法

A sigmoid model of the static volume-pressure curve of human lung (人肺静态容量-压力曲线的一个 S 形模型)

Paiva M, Yernault JC, Eerdeweghe PV, Englert M

Respir Physiol. 1975 Apr;23(3):317-23

PMID 1144946, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1144946>

实验设计	前瞻性干预生理研究
病人	20 名健康受试者
目的	关联 PV 曲线的 S 形数学模型与试验数据
主要结果	相比以前使用的指数模型, S 形模型更适合于生理数据
结论	人的 PV 曲线有一个 S 形

Additional files (其它文献)

Static pressure-volume curves of the respiratory system: were they just a passing fad? (呼吸系统的静态压力-容量曲线只是昙花一现吗?)

Albaiceta GM, Blanch L, Lucangelo U

Curr Opin Crit Care. 2008 Feb;14(1):80-6

PMID 18195631, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18195631>

实验设计 论述

结论 解释概念的发展变化及 PV 曲线的使用

Monitoring of pulmonary mechanics in acute respiratory distress syndrome to titrate therapy (监测急性呼吸窘迫综合征病人的肺力学以进行滴定治疗)

Gattinoni L, Eleonora C, Caironi P

Curr Opin Crit Care. 2005 Jun;11(3):252-8

PMID 15928475, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15928475>

实验设计 论述

结论 PV 曲线与 ARDS 病人的关系

Pressure/volume curves and lung computed tomography in acute respiratory distress syndrome (急性呼吸窘迫综合征病人的压力-容量曲线及肺 CT)

Rouby JJ, Lu Q, Vieira S

Eur Respir J Suppl. 2003 Aug;42:27s-36s

PMID 12945998, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12945998>

实验设计 论述

结论 PV 曲线与 CT 扫描的关系

Lung hysteresis: a morphological view (肺容量滞后：一种形态现象)

Escolar JD, Escolar A

Histol Histopathol. 2004 Jan;19(1):159-66

PMID 14702184, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14702184>

实验设计 论述

结论 解释肺容量滞后

Reinterpreting the pressure-volume curve in patients with acute respiratory distress syndrome (重新解读急性呼吸窘迫综合征病人的压力-容量曲线)

Hickling KG

Curr Opin Crit Care. 2002 Feb;8(1):32-8

PMID 12205404, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12205404>

实验设计 论述

结论 阐释 PV 曲线的正确解读
