

电阻抗成像指导机械通气患者撤机的研究进展

刘芙蓉¹ 郭凤梅²

¹东南大学附属中大医院重症医学科,江苏南京 210009; ²宜春学院医学院,江西宜春 336000
通信作者:郭凤梅, Email: 13813841261@139.com

【摘要】 机械通气患者撤机失败是重要的临床问题,传统评估患者能否撤机的方法不能满足临床成功撤机的需要。寻找更有效的撤机指标以确定最佳撤机时机,对改善撤机结局、降低患者病死率有重要的临床价值。电阻抗成像(EIT)作为一种新的呼吸功能评估方法逐步应用于临床,其导向的呼吸功能评估可能为指导机械通气患者成功撤机开辟新的途径。本文通过综述 EIT 指导机械通气患者撤机的研究进展,以期对机械通气患者呼吸机的成功撤离提供新的判断方法及理论依据。

【关键词】 机械通气; 撤机; 电阻抗成像

基金项目:江苏省卫生厅科研基金(H201432)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.02.025

Research progress of weaning from mechanical ventilation guided by electrical impedance tomography

Liu Fuxiang¹, Guo Fengmei²

¹Department of Critical Care Medicine, Zhongda Hospital, Southeast University, Nanjing 210009, Jiangsu, China; ²School of Medicine, Yichun University, Yichun 336000, Jiangxi, China

Corresponding author: Guo Fengmei, Email: 13813841261@139.com

【Abstract】 Weaning failure from mechanical ventilation is an important clinical problem, the traditional methods of assessing whether patients can be weaned from mechanical ventilation or not cannot meet the clinical needs. Finding more effective weaning indicators to determine the optimal timing of weaning has important clinical value for improving the outcome of weaning and reducing the mortality of patients. As a new method of assessing respiratory function of patients, electrical impedance tomography (EIT) is gradually applied to the clinic, and its guided assessment of respiratory function may open a new way for directing successful weaning. This article reviews the progress of EIT in ventilation weaning, in order to provide a new judgment method and theoretical basis for the successful weaning.

【Key words】 Mechanical ventilation; Weaning; Electrical impedance tomography

Fund program: Medical Scientific Research Foundation of Jiangsu Province of China (H201432)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.02.025

机械通气是呼吸衰竭患者的重要支持手段,而机械通气可能带来气压伤,破坏上呼吸道保护机制。有研究表明,不必要地延长机械通气时间可增加患者病死率^[1-2]。因此,当患者原发病得到控制、整体病情改善,及时撤机非常重要。目前临床上最常用的指导撤机的方法为自主呼吸试验(SBT),但有研究表明,SBT通过的患者中仍有3%~19%因撤机失败而被迫再插管^[3]。因此,探讨新的评估机械通气患者能否成功撤机的方法显得尤为重要。随着研究的不断深入,电阻抗成像(EIT)作为一种新的呼吸功能评估方法逐步应用于临床,现就 EIT 指导机械通气患者撤机的研究进展进行综述,以期对机械通气患者成功撤机提供新的方法。

1 撤机及撤机失败的定义

撤机是机械通气患者逐渐降低机械通气支持水平,自主呼吸和自主呼吸做功逐渐增加,最终脱离呼吸机的过程。目前临床上最常用的撤机程序为:筛查—SBT—气道通畅性及自洁能力评估,全部通过后方可撤机。撤机失败通常指 SBT 失败或者撤机拔管后 48 h 内使用无创或有创通气^[4]。

2 气道和肺功能障碍是撤机失败的重要原因

撤机过程是对患者全身的挑战,因此,导致撤机失败的原因涉及多个方面。有研究者用“ABCDE”来总结撤机

失败的五大原因^[5],分别为:气道和肺功能障碍(airway and lung dysfunction, A)、中枢神经系统功能障碍(brain dysfunction, B)、心功能不全(cardiac dysfunction, C)、膈肌功能障碍(diaphragm dysfunction, D)、内分泌功能及代谢障碍(endocrine and metabolic dysfunction, E)。

“ABCDE”五大原因中的任何一种都可导致撤机失败,尤其气道和肺功能障碍导致的撤机失败最为常见,约占62%^[6]。气管、支气管痉挛以及异物、痰液堵塞气道均可导致患者气道阻力增加,一方面易导致肺泡通气不足;另一方面可增加呼吸负荷和呼吸肌做功,增加氧耗,从而易引起氧供需失衡而导致撤机失败。气管、支气管痉挛常见于哮喘、慢性阻塞性肺疾病(COPD)患者;痰液堵塞常见于肺部感染、重症肺炎患者。肺功能障碍主要表现为呼吸系统顺应性下降,而呼吸系统顺应性包括肺顺应性及胸廓顺应性。急性呼吸窘迫综合征(ARDS)、肺炎可引起肺泡塌陷、肺水肿,导致肺顺应性明显下降。而胸廓畸形、胸腔积液、腹腔高压综合征等则使胸廓扩张受限、胸廓顺应性下降。若肺或胸廓的顺应性未得到显著改善而撤机,则有可能因呼吸氧耗增加、氧供不足而导致撤机失败^[7]。因此,客观评估气道和肺功能是避免撤机失败的重要方面。

3 传统的撤机试验

如何确定机械通气患者最佳撤机时机以成功撤机、减少撤机失败是临床上面临的难题。由于导致机械通气患者撤机失败最常见的原因气道和肺功能障碍,因此,撤机前准确评估患者气道和肺功能是否达到撤机条件尤为重要。目前最常用的评估方法有呼吸浅快指数(f/V_T)及 SBT。

3.1 f/V_T : f/V_T 为呼吸频率与潮气量的比值,是评价患者呼吸功能的传统指标。Yang 和 Tobin^[8] 通过 T 管试验发现,以 T 管通气 1 min、 $f/V_T \leq 105$ 次 \cdot min⁻¹ \cdot L⁻¹ 为撤机界值,其敏感度高达 97%,特异度为 64%,阳性预测值为 78%,阴性预测值为 95%,并于 1991 年首次提出 f/V_T 作为撤机的预测指标。但随着认识的深入,越来越多研究表明,用 f/V_T 预测撤机可受到多种因素的影响。有研究显示,36 例患者 SBT 采用压力支持通气(PSV)及持续气道正压通气(CPAP)模式时 $f/V_T \leq 105$ 次 \cdot min⁻¹ \cdot L⁻¹;而 T 管模式时,其中 13 例患者 $f/V_T > 105$ 次 \cdot min⁻¹ \cdot L⁻¹,提示 f/V_T 受呼吸机设置的影响^[9]。此外,脓毒症、发热、仰卧位、紧张等均会增加患者呼吸频率从而影响 f/V_T 作为撤机指标的特异度。更有研究显示,SBT 时 $f/V_T \geq 105$ 次 \cdot min⁻¹ \cdot L⁻¹ 的患者撤机失败发生率与对照组相比差异并无统计学意义^[10]。因此, f/V_T 指导撤机存在不足与局限。

3.2 SBT: SBT 是继 f/V_T 之后提出并被临床上广泛使用的评估撤机的方法。30 min SBT 试验过程中,当出现以下任意一项时提示患者尚未达到撤机标准:呼吸频率 ≥ 35 次/min;脉搏血氧饱和度(SpO_2) ≤ 0.90 ;脉搏 > 140 次/min 或 SBT 前后改变率 $> 20\%$;收缩压 > 180 mmHg 或 < 90 mmHg(1 mmHg = 0.133 kPa);烦躁、大汗或焦虑; $f/V_T > 105$ 次 \cdot min⁻¹ \cdot L⁻¹。尽管 SBT 临床使用广泛,但有研究显示,SBT 通过的患者中仍然有 3% ~ 19% 因撤机失败而被迫再插管^[3],这可能与 SBT 时间短或 SBT 不能准确反映患者气道和肺功能情况,因而不能客观评估呼吸肌对自主呼吸负荷的耐力有关。因此,SBT 用于评估机械通气患者的撤机仍然存在缺陷。可见,临床治疗中亟需探讨新的撤机指标以指导机械通气的成功撤离。

4 EIT 及其指导撤机的进展

随着研究的不断深入,越来越多指导撤机的新指标被不断提出。从评估气道和肺功能的角度,有研究者提出利用 EIT 预测延迟脱机患者 SBT 失败的可能性^[11],提示 EIT 可能为机械通气患者指导撤机开辟新的途径。

4.1 EIT 的原理及特征: EIT 通过测量肺电阻抗的大小来反映肺内气体分布的动态变化。基本原理:基于电学传感器提取肺组织电特性(主要为阻抗)的分布信息,以电信号为载体进行数据传输和处理,并采用适当的图像重构算法,对肺组织电特性参数空间分布进行重建,从而能够动态监测和反映随着呼吸运动肺内气体的分布及其动态变化。具体为通过配置于人体体表的一组阵列电极(共 16 个电极置于胸部第 5 肋间隙水平),施加一定频率的低幅值交变电流(安全电流小于 5 mA),并通过扫描阵列电极获取一组电压数据,提取肺组织的电阻抗信息,经采集及处理后送至重构计算机

进行图像重建,最终在屏幕上再现肺的断层二维/三维气体分布图像,阻抗值大小与肺内含气量有密切关系^[12]。因此,EIT 可以动态、实时监测肺内气体分布情况。相比 CT 而言,EIT 检查更便捷、无辐射,可动态连续监测。另外,EIT 可利用监测的数据计算呼气末肺电阻抗(EELI)、肺局部通气延迟(RVD)、肺内气体分布不均一性指数(GI)等定量反映肺内气体分布的指标。可见,EIT 可能成为评估呼吸功能的一项重要工具。

4.2 EIT 的作用: EIT 作为实时动态监测肺内气体分布的一门技术,作用十分广泛:① 直观反映肺泡塌陷及过度膨胀的肺组织,EIT 图像不仅可清晰显示肺通气不足和肺泡塌陷,还可显示肺过度通气^[13]。② 通过肺复张或者体位改变前后肺内气体分布的变化确定潜在的可复张肺组织的容积及其分布,有研究显示,ARDS 患者可复张肺组织的容积达到 11% ~ 47%^[14]。③ 可比较不同肺复张方法对肺顺应性及平台压的影响^[15]。④ 可测定肺泡局部闭合及开放的压力,有研究显示损伤肺组织肺泡开放压力明显增高^[16]。⑤ 以肺内气体分布均匀性为标准滴定 ARDS 患者最佳呼气末正压(PEEP)^[17]。⑥ 无创性评估心脏、胸腔内大血管及肺的血流动力学,直接和动态量化局部血液含量的变化^[18],并且可通过精确计算主动脉的每搏变异度对容量反应性进行预测^[19]。⑦ 通过对比观察机械通气条件变化前后肺内气体分布定性及定量变化、结合力学特征等的改变,指导机械通气患者撤机。有研究显示,当 $\log GI > 40$,患者 SBT 失败的可能性大^[11]。因此,EIT 作用广泛,是集肺超声、肺 CT、肺力学测定等多项功能为一体的一门新技术。近年,EIT 指导撤机的研究逐渐开展,可能成为指导撤机更有效的方法。

4.3 EIT 指导撤机

4.3.1 EIT 准确连续监测肺功能: EIT 图像可直观清晰反映肺通气情况,连续监测所得数据可准确反映肺功能变化情况。由 EIT 监测可知,正常肺组织和病变肺组织肺内气体分布差异显著。从 EIT 图像可观察到,健康者两肺呈蓝色,提示通气良好均一;而 ARDS 患者由于肺内气体分布不均一,部分肺泡为黑色表示不透气,部分为白色表示过度通气,正常通气肺泡则呈蓝色。有研究者将不同 PEEP 下肺 EIT 图像与 CT 图像进行比较,结果显示两者肺通气情况完全相符^[20]。Zhao 等^[21] 利用 EIT 记录 18 例 ARDS 患者及 8 例健康者持续低流量通气下 PEEP 从 0 开始逐步增加至潮气量达 2 L 或气道峰压达 35 cmH₂O(1 cmH₂O = 0.098 kPa) 的整个过程,通过所得数据计算出 ARDS 患者 GI 较健康者明显增高,提示 EIT 所得数据能够定量反映肺功能。

此外,EIT 肺功能图像及数据均可连续监测,目前尚未提出存在时间限制。除外因患者胸部第 5 肋间隙皮肤被敷料等类似物覆盖或破损而影响数据采集外,很少受其他因素影响。因此,EIT 在肺功能评估上较 SBT 及 f/V_T 更直观且准确。

4.3.2 EIT 指导撤机: EIT 用于肺功能评估简便、准确、无辐射且可动态连续监测,因此,EIT 可用于评估机械通气患者

撤机过程中肺功能变化,从而有助于指导撤机。Bickenbach等^[11]利用EIT测定31例延迟脱机患者SBT前15 min(PSV模式)、SBT过程中的后15 min(T管模式)、SBT结束后15 min(PSV模式)肺通气情况,计算相关指标,并以SBT失败与否为观察终点,结果显示,当 $\log GI > 40$,患者SBT失败的可能性大,其敏感度为85%,特异度为50%,提示EIT对撤机困难患者明确最佳撤机时机具有一定的指导价值。这一结果在Zhao等^[22]的研究中也得到了证实,该研究中采用EIT记录了30例患者SBT的整个过程(2 h),采用自动导管补偿(ATC)或CPAP模式,将所得图像及数据在吸气过程中腹侧和背侧区域的气体分布分为4种模式,其中肺内气体分布相对均一时吸气过程的气体分布模式显示为两侧区域通气先交叉后逐步平行变均匀,被称为经典模式,结果显示,13例经典模式通气的患者中只有1例撤机失败,其余17例非经典模式通气患者中有8例撤机失败,提示吸气过程中肺内气体分布情况与撤机结局相关。因此,EIT可能对机械通气患者撤机时机的判断提供新的依据。

此外,有研究显示,当患者吸气努力过强时,气体由非重力依赖区转移至重力依赖区即出现隐秘的呼吸摆动而加重肺的损伤^[23],此种现象可以被EIT早期识别^[18]。可见,EIT可以早期识别撤机过程中患者是否出现过强的吸气努力,从而可能指导撤机。更有研究显示,EIT可以测量血管外肺水含量,为客观评估肺水肿严重程度提供依据^[24],推测其通过监测血管外肺水也可能为撤机时机的判断提供参考。Sun等^[25]报道了1例中度ARDS患者的病例报告,其通过评估患者慢流速通气时的整体和区域压力-容积曲线(PV曲线)、EIT监测的通气图和慢流速通气波形发现,EIT所得的区域PV曲线可能是证明气道陷闭的一种有效方法,进一步为气道评估提供了一种新方法,为机械通气患者撤机提供了新的可能参考指标。因此,EIT可能作为临床上机械通气患者指导撤机的更有效指标。

综上,EIT作为一种新的肺内气体分布监测技术,不仅可直观呈现肺内气体分布的动态图像,更为肺功能的评估提供定量参考指标,动态、连续监测撤机过程中肺功能的变化情况,可能对临床上撤机时机的判断提供一定指导价值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Esteban A, Anzueto A, Frutos F, et al. Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-day international study [J]. *JAMA*, 2002, 287 (3): 345-355. DOI: 10.1001/jama.287.3.345.
- [2] Peñuelas Ó, Thille AW, Esteban A. Discontinuation of ventilatory support: new solutions to old dilemmas [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2015, 21 (1): 74-81. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000169.
- [3] Boles JM, Bion J, Connors A, et al. Weaning from mechanical ventilation [J]. *Eur Respir J*, 2007, 29 (5): 1033-1056. DOI: 10.1183/09031936.00010206.
- [4] Doorduyn J, van der Hoeven JG, Heunks LM. The differential diagnosis for failure to wean from mechanical ventilation [J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2016, 29 (2): 150-157. DOI: 10.1097/ACO.0000000000000297.
- [5] Heunks LM, van der Hoeven JG. Clinical review: the ABC of weaning failure: a structured approach [J]. *Crit Care*, 2010, 14 (6): 245. DOI: 10.1186/cc9296.

- [6] Vassilakopoulos T, Roussos C, Zakynthinos S. Weaning from mechanical ventilation [J]. *J Crit Care*, 1999, 14 (1): 39-62. DOI: 10.1016/S0883-9441(99)90007-2.
- [7] Schultz MJ. Weaning from mechanical ventilation: stay poised between load and strength [J]. *Anesthesiology*, 2010, 113 (2): 273-275. DOI: 10.1097/ALN.0b013e3181e81074.
- [8] Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation [J]. *N Engl J Med*, 1991, 324 (21): 1445-1450. DOI: 10.1056/NEJM199105233242101.
- [9] El-Khatib MF, Zeineldine SM, Jamaledine GW. Effect of pressure support ventilation and positive end expiratory pressure on the rapid shallow breathing index in intensive care unit patients [J]. *Intensive Care Med*, 2008, 34 (3): 505-510. DOI: 10.1007/s00134-007-0939-x.
- [10] Teixeira C, Zimmermann Teixeira PJ, Hohr JA, et al. Serial measurements of f/VT can predict extubation failure in patients with f/VT < or = 105? [J]. *J Crit Care*, 2008, 23 (4): 572-576. DOI: 10.1016/j.jcrc.2007.12.011.
- [11] Bickenbach J, Czaplak M, Polier M, et al. Electrical impedance tomography for predicting failure of spontaneous breathing trials in patients with prolonged weaning [J]. *Crit Care*, 2017, 21 (1): 177. DOI: 10.1186/s13054-017-1758-2.
- [12] Henderson RP, Webster JG. An impedance camera for spatially specific measurements of the thorax [J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 1978, 25 (3): 250-254. DOI: 10.1109/TBME.1978.326329.
- [13] Stankiewicz-Rudnicki M, Gaszyński T, Gaszyński W. Assessment of regional ventilation in acute respiratory distress syndrome by electrical impedance tomography [J]. *Anaesthesiol Intensive Ther*, 2015, 47 (1): 77-81. DOI: 10.5603/AIT.2015.0007.
- [14] Lowhagen K, Lindgren S, Odenstedt H, et al. A new non-radiological method to assess potential lung recruitability: a pilot study in ALI patients [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2011, 55 (2): 165-174. DOI: 10.1111/j.1399-6576.2010.02331.x.
- [15] Lowhagen K, Lindgren S, Odenstedt H, et al. Prolonged moderate pressure recruitment manoeuvre results in lower optimal positive end-expiratory pressure and plateau pressure [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2011, 55 (2): 175-184. DOI: 10.1111/j.1399-6576.2010.02366.x.
- [16] Pulletz S, Adler A, Kott M, et al. Regional lung opening and closing pressures in patients with acute lung injury [J]. *J Crit Care*, 2012, 27 (3): 323. e11-18. DOI: 10.1016/j.jcrc.2011.09.002.
- [17] Zhao Z, Steinmann D, Frerichs I, et al. PEEP titration guided by ventilation homogeneity: a feasibility study using electrical impedance tomography [J]. *Crit Care*, 2010, 14 (1): R8. DOI: 10.1186/cc8860.
- [18] Mauri T, Mercat A, Grasselli G. What's new in electrical impedance tomography [J/OL]. *Intensive Care Med*, 2018 [2018-11-02]. [published online ahead of print October 4, 2018]. DOI: 10.1007/s00134-018-5398-z.
- [19] Trepte CJ, Phillips C, Solà J, et al. Electrical impedance tomography for non-invasive assessment of stroke volume variation in health and experimental lung injury [J]. *Br J Anaesth*, 2017, 118 (1): 68-76. DOI: 10.1093/bja/aew341.
- [20] Muders T, Luepschen H, Putensen C. Impedance tomography as a new monitoring technique [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2010, 16 (3): 269-275. DOI: 10.1097/MCC.0b013e3283390cbf.
- [21] Zhao Z, Pulletz S, Frerichs I, et al. The EIT-based global inhomogeneity index is highly correlated with regional lung opening in patients with acute respiratory distress syndrome [J]. *BMC Res Notes*, 2014, 7: 82. DOI: 10.1186/1756-0500-7-82.
- [22] Zhao Z, Peng SY, Chang MY, et al. Spontaneous breathing trials after prolonged mechanical ventilation monitored by electrical impedance tomography: an observational study [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2017, 61 (9): 1166-1175. DOI: 10.1111/aas.12959.
- [23] Yoshida T, Torsani V, Gomes S, et al. Spontaneous effort causes occult pendelluft during mechanical ventilation [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 188 (12): 1420-1427. DOI: 10.1164/rccm.201303-0539OC.
- [24] Trepte CJ, Phillips CR, Solà J, et al. Electrical impedance tomography (EIT) for quantification of pulmonary edema in acute lung injury [J]. *Crit Care*, 2016, 20: 18. DOI: 10.1186/s13054-015-1173-5.
- [25] Sun XM, Chen GQ, Zhou YM, et al. Airway closure could be confirmed by electrical impedance tomography [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2018, 197 (1): 138-141. DOI: 10.1164/rccm.201706-1155LE.