

辅助通气时应用食道测压管的气囊压力-容积曲线校正食道压的可行性研究

孙秀梅 陈光强 杨燕琳 周建新

首都医科大学附属北京天坛医院重症医学科, 北京 100070

通信作者: 周建新, Email: zhoujx.cn@icloud.com

【摘要】 **目的** 评价在辅助通气时应用食道测压管的气囊压力-容积曲线(P-V曲线)校正食道压(Pes)的可行性。**方法** 采用前瞻性研究方法,选择2017年6月至2019年1月首都医科大学附属北京天坛医院重症医学科收治的术后进行气管插管压力支持通气、呼吸相对平稳且需要进行Pes监测的患者作为研究对象。应用气囊几何容积相对较小(2.8 mL)的食道测压管进行Pes监测。①对食道测压管进行气囊注气试验,即以0.5 mL为间隔向气囊内注气直至2.5 mL,记录呼气末和吸气末测得的Pes,并分别描记呼气末和吸气末的气囊P-V曲线。确定呼气末气囊P-V曲线中呈线性相关的中间段(即中间线性段),该中间线性段的注气容积范围即为气囊合理工作容积(V_{work}),其斜率即为食道壁弹性(Ees),呼气末与吸气末Pes出现最大差异时的气囊容积即为气囊最佳工作容积(V_{best}),Ees与 V_{best} 的乘积即为向气囊内注气时导致食道壁产生的弹性回缩力。为减少食道壁对Pes监测的影响,校正Pes为在 V_{best} 条件下监测的Pes与食道壁弹性回缩力的差值。分析在 V_{best} 条件下获得的校正Pes与在其他 V_{work} 条件下获得的校正Pes的一致性。②为方便临床应用,进一步提出一种校正Pes的简单方法。基于所有患者的 V_{work} 均为0.5~1.5 mL,通过计算气囊注气容积分别为0.5 mL和1.5 mL时测得的呼吸末Pes差值与气囊注气容积为1.0 mL时的比值来预估Ees,并通过该简单方法计算的Ees来校正气囊注气容积为0.5~1.5 mL时的Pes。分析该简单方法与上述标准方法获得的校正Pes之间的一致性。**结果** 共纳入30例患者,所有吸气末和呼气末的气囊P-V曲线均存在中间线性段,当气囊处于 V_{work} 条件下监测的Pes被校正后不再随气囊注气容积的增加而增加,并与在 V_{best} 条件下获得的校正Pes具有良好的一致性,差异的均值和95%可信区间(95%CI)为-0.02(-1.50~1.50) cmH₂O(1 cmH₂O=0.098 kPa);同时,应用简单方法计算的Ees和相应的校正Pes与应用标准方法获得的Ees和校正Pes均具有良好的一致性,差异的均值和95%CI分别为-0.2(-1.0~0.6) cmH₂O/mL和0.2(-1.1~1.4) cmH₂O。**结论** 在辅助通气条件下,应用几何容积相对较小的食道测压管进行Pes监测,并通过气囊P-V曲线校正Pes的方法具有可适用性。为方便临床应用,可采用简单方法,即通过监测食道测压管气囊注气容积分别为0.5、1.0和1.5 mL时的Pes来预估Ees,从而获得校正Pes。

【关键词】 食道压; 食道壁弹性; 校正; 辅助通气

基金项目:北京市科技计划项目(Z161100000116081)

临床试验注册:美国临床试验数据库, NCT02976844

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200413-00282

Feasibility of using esophageal balloon pressure-volume curve to calibrate esophageal pressure during assisted mechanical ventilation

Sun Xiumei, Chen Guangqiang, Yang Yanlin, Zhou Jianxin

Department of Critical Care Medicine, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100070, China

Corresponding author: Zhou Jianxin, Email: zhoujx.cn@icloud.com

【Abstract】 **Objective** To evaluate the feasibility of esophageal pressure (Pes) calibration by the esophageal balloon pressure-volume (P-V) curve during assisted mechanical ventilation. **Methods** A prospective study was conducted. The postoperative patients admitted to intensive care unit of Beijing Tiantan Hospital Affiliated to Capital Medical University from June 2017 to January 2019 who needed pressure support ventilation by tracheal intubation and Pes monitoring with stable breath were enrolled. The Pes monitoring was performed by the esophageal balloon with a small geometric volume (2.8 mL). ① Balloon volume tests of esophageal balloon were performed by inflating intermittently 0.5 mL increments up to 2.5 mL, the end-expiratory and end-inspiratory Pes were recorded to obtain end-expiratory and end-inspiratory P-V curves. The intermediate section in end-expiratory P-V curve that showed linear correlation was identified (as intermediate linear section), whose volume range was balloon working volume (V_{work}) and slope was esophageal wall elastance (Ees), the balloon volume with the largest difference between end-expiratory and end-inspiratory Pes was the best balloon volume (V_{best}), and the product of Ees and V_{best} was esophageal wall recoil pressure reacting to balloon filling. To minimize the effect of esophageal wall on Pes, the calibrated Pes was the difference of Pes and esophageal wall recoil pressure. The consistency of calibrated Pes obtained by balloon volume at V_{best} and other V_{work} were analyzed. ② For the convenience of clinical application, a simplified method was introduced to calibrate Pes. Based on all V_{work} of patients located in 0.5-1.5 mL, the difference of end-expiratory Pes between balloon volume at 0.5 mL and 1.5 mL divided by 1.0 mL was used to estimate Ees, and the Pes among 0.5-1.5 mL was calibrated by Ees obtained by the simple method. The consistency of calibrated Pes obtained by the simple method and standard method were observed.

Results Totally 30 patients were enrolled, all end-expiratory and end-inspiratory P-V curves existed the intermediate linear section, the calibrated Pes at V_{work} did not increase with the balloon being inflated and had a good consistency with the calibrated Pes at V_{best} , mean difference and 95% confidence interval (95%CI) was $-0.02 (-1.50-1.50)$ cmH₂O (1 cmH₂O = 0.098 kPa). The Ees and calibrated Pes estimated by the simple method had a good agreement with the standard method, mean difference and 95%CI was $-0.2 (-1.0-0.6)$ cmH₂O/mL and $0.2 (-1.1-1.4)$ cmH₂O, respectively.

Conclusions During assisted mechanical ventilation, the use of a small geometric volume esophageal balloon to monitor Pes and balloon P-V curve to calibrate Pes is feasible. The simple method can be used for simplifying clinical application, that's only by monitoring Pes at balloon volume at 0.5, 1.0 and 1.5 mL to evaluate the Ees and calibrate Pes.

【Key words】 Esophageal pressure; Esophageal elastance; Calibration; Assisted mechanical ventilation

Fund program: Beijing Municipal Science and Technology Project of China (Z161100000116081)

Trial Registration: Clinical Trials, NCT02976844

DOI: 10.3760/ema.j.cn121430-20200413-00282

食道压(Pes)测量是临床上预测胸腔压的最常用方法^[1-2]。近年来,通过Pes指导急性呼吸窘迫综合征(ARDS)患者肺保护性通气逐渐引起关注^[3-7]。Pes测量的准确性与食道测压管的放置位置、气囊注气容积和气囊外周环境,如食道壁弹性(Ees)等有关^[8-10]。既往研究提示,可通过对食道测压管的气囊进行注气试验以获得气囊合理工作容积(V_{work})和Ees,从而提高Pes的准确性,即以一定的间隔向气囊内注气并描绘气囊的压力-容积曲线(P-V曲线),曲线中间段均呈直线相关,该容积范围内气囊本身产生的弹性回缩力基本可以忽略,被定义为气囊的工作容积^[11-14];P-V曲线中呈线性相关中间段(即中间线性段)的斜率也被证明等同于Ees^[11-12]。通过计算气囊工作容积导致食道壁产生的弹性回缩力(即气囊容积与Ees的乘积)能够校正监测的Pes。研究证明,校正的Pes能够避免气囊和Ees对Pes准确性的影响,使通过Pes衍生的呼吸力学参数更加可靠^[11-12]。目前多项观察校正Pes适用性的研究,无论是实验室模拟还是临床研究,均在控制通气条件下进行^[11-14]。然而,辅助通气条件下,如压力支持通气时,患者自主呼吸的保留导致呼吸肌与呼吸机产生交互作用,因此,单次呼吸时肺容积和肌肉压力的变化可能会对通过气囊P-V曲线校正的Pes造成一定影响。有研究显示,气囊几何容积较大的食道测压管适用于在压力支持通气条件下的Pes校正,能够获得可靠的Pes^[15]。本研究旨在观察气囊几何体积相对较小的食道测压管,在辅助通气条件下,利用气囊P-V曲线校正Pes的适用性,同时寻找一种相对简单的Pes校正方法以方便临床应用。

1 对象与方法

1.1 研究对象:采用前瞻性研究方法,选择2017年6月至2019年1月本院重症医学科收治的术后通过气管插管进行压力支持通气、呼吸相对平稳且需要进行Pes监测的患者作为研究对象;排除年龄<

18周岁、具有食道测压管放置禁忌证(如食道静脉曲张及食道、胃部或肺部手术史)和胸腔封闭不全(如支气管胸膜瘘、气胸、纵隔气肿及胸腔引流等)患者。

1.2 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,经医院医学伦理委员会审批(审批号:KY-2016-11-22),并在美国临床试验数据库进行了临床注册(注册号:NCT02976844)。在研究前,向患者或其法定代理人详细解释研究方法、研究目的和可能出现的不良反应并获得知情同意。压力支持通气模式的参数由临床医生设置,且研究期间不更改呼吸机参数。

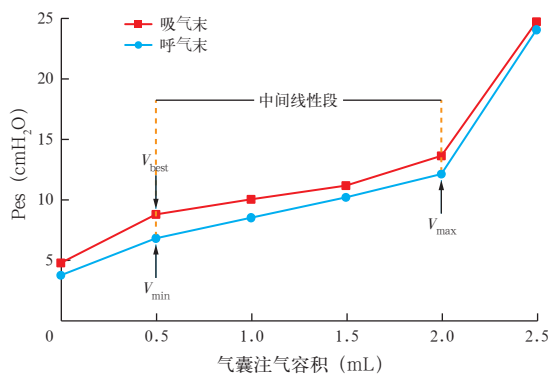
1.3 研究器材:Pes监测导管(型号:LOT 177405,美国CooperSurgical公司),长度为85 cm,气囊材质为聚乙烯,直径为5 Fr,几何体积为2.8 mL^[14],说明书推荐最佳气囊注气容积为1.0 mL。研究期间,使用KT100D-2型压力传感器[意大利Kleis公司,测量范围: $-100 \sim 100$ cmH₂O(1 cmH₂O=0.098 kPa),采样频率:200 Hz]进行压力监测^[16],压力传感器通过长度约80 cm的线路与信号转换器相连,采用配套软件(ICU Lab 2.5)进行数据分析。将流量传感器(美国Vitalograph Inc公司)和另一个压力传感器放置在呼吸机“Y型”管路与患者气管导管之间,监测气体流速和气道压(Paw)。

1.4 研究流程:研究期间,将患者床头抬高30°,用10%利多卡因对鼻腔进行表面麻醉后,通过鼻腔放置食道测压管至距鼻尖约55 cm,通过三通将食道测压管连接至压力传感器,注入推荐容积1.0 mL,持续监测Pes。连续轻按患者腹部,如果观察到Pes波形出现“锯齿样”震颤,则提示气囊位于胃腔内^[7]。随后,将气囊慢慢退回食道,通过Baydur阻断试验判断食道测压管是否位于正确位置(约食道中下2/3处),即在呼气末进行气道阻断,诱导患者出现自主吸气努力,此时Paw和Pes均下降,计算Paw与Pes变化值的比值,如果比值为0.8~1.2,则认为食道测

压管已处于正确的位置^[17]。确定食道测压管放置位置正确后进行气囊注气试验,以获得食道测压管的P-V曲线。首先打开三通,向食道测压管内注气3 mL,随即抽出气囊内所有气体,保持三通与大气相通并稳定3 min后关闭三通,以对食道测压管气囊的初始容积进行标准化。使用1 mL注射器(型号:LOT JM00B25,南京润泽流体公司),以0.5 mL为间隔逐渐向食道测压管内注气直至2.5 mL,每个注气容积下稳定5 min,持续监测Pes。

1.5 研究数据采集及分析:采集压力和流速数据进行离线分析,以流速为零确定每次呼吸的吸气末和呼气末,测量每个注气容积稳定最后1 min时吸气末和呼气末的Pes,并计算平均值。

以气囊注气容积为横坐标,呼气末和吸气末Pes为纵坐标,描计呼气末和吸气末的气囊P-V曲线(图1)。根据文献报道的方法计算Ees和 V_{work} ^[10-11]。通过目测确定呼气末气囊P-V曲线的中间线性段,该中间线性段对应的注气容积范围即为 V_{work} ,其下限和上限分别为气囊最小工作容积(V_{min})及气囊最大工作容积(V_{max}),呼气末与吸气末Pes出现最大差异时的气囊容积为气囊最佳工作容积(V_{best});通过最小二乘法计算中间线性段的斜率即为预估的Ees,食道壁弹性回缩力= $Ees \times V_{best}$ ^[11]。根据文献报道的方法^[11-12],校正Pes为 V_{best} 条件下监测的Pes与食道壁弹性回缩力的差值,以减少食道壁对Pes监测的影响。同时,采取同样的方法计算在其他 V_{work} 条件下监测的Pes对应的校正Pes。



注:通过目测确定呼气末食道测压管的气囊P-V曲线中呈线性相关的中间段(即中间线性段),该中间线性段对应的容积范围即为气囊合理工作容积(V_{work}),其下限和上限分别为气囊最小工作容积(V_{min})及气囊最大工作容积(V_{max}),呼气末与吸气末Pes出现最大差异时的气囊容积为气囊最佳工作容积(V_{best});通过最小二乘法计算中间线性段的斜率即为预估的食道壁弹性(Ees);1 cmH₂O=0.098 kPa

图1 辅助通气条件下食道测压管的气囊注气容积与吸气末和呼气末Pes的压力-容积曲线(P-V曲线)

观察所有患者的气囊注气试验结果, V_{work} 均位于0.5~1.5 mL范围内。为方便临床应用,我们进一步提出了一种简单方法计算Ees,即通过计算气囊注气容积分别为0.5 mL和1.5 mL时所测量的呼气末Pes的差值与气囊注气容积为1.0 mL时的比值来预测Ees,并通过该简单方法计算的Ees来校正气囊注气容积为0.5~1.5 mL时的Pes。

1.6 统计学方法:采用SPSS 20.0软件对所有数据进行统计分析。正态分布计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,非正态分布计量资料以中位数(四分位数)[$M(Q_L, Q_U)$]表示。应用Bland-Altman法^[18]分析在 V_{best} 条件下测量Pes获得的校正Pes与在其他 V_{work} 条件下校正的Pes,以及采用简单方法计算的Ees和相应的校正Pes与采用标准方法计算的Ees和相应的校正Pes之间的一致性;在Bland-Altman分析的散点图中标注差异的均值及95%可信区间(95%CI)。应用Spearman检验分析 V_{work} 与Pes的相关性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料(表1):本研究共纳入30例患者,机械通气模式均为压力支持模式,压力支持水平为(8 ± 1) cmH₂O,呼气末正压为(5 ± 2) cmH₂O,吸入氧浓度均为0.40;所有患者呼吸相对平稳,呼吸频率为(23 ± 3)次/min,动脉血氧分压为(110 ± 16) mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)。

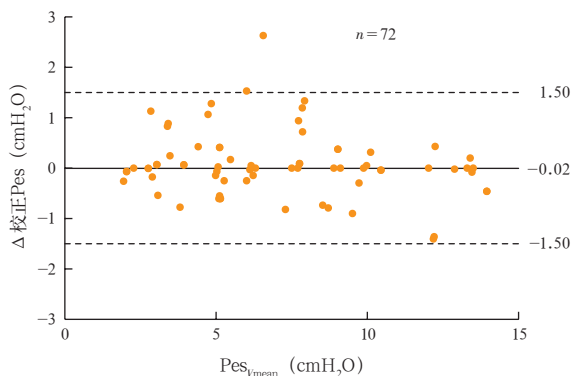
表1 30例术后通过气管插管进行压力支持模式通气且需监测Pes患者的基线资料

指标	数值	指标	数值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	53 ± 16	RR(次/min, $\bar{x} \pm s$)	23 ± 3
性别(男性/女性,例)	10/23	VT(mL, $\bar{x} \pm s$)	463 ± 53
身高(cm, $\bar{x} \pm s$)	162 ± 5	PaO ₂ (mmHg, $\bar{x} \pm s$)	110 ± 16
体重(kg, $\bar{x} \pm s$)	65 ± 6	PaCO ₂ (mmHg, $\bar{x} \pm s$)	37 ± 4
机械通气设置		手术类型(例)	
FiO ₂	0.40	颅脑	16
PEEP(cmH ₂ O, $\bar{x} \pm s$)	5 ± 2	腹部	9
PS(cmH ₂ O, $\bar{x} \pm s$)	8 ± 1	骨科	5

注:Pes为食道压,FiO₂为吸入氧浓度,PEEP为呼气末正压,PS为压力支持水平,RR为呼吸频率,VT为潮气量,PaO₂为动脉血氧分压,PaCO₂为动脉血二氧化碳分压;1 cmH₂O=0.098 kPa,1 mmHg=0.133 kPa

2.2 气囊P-V曲线校正Pes的结果:30例患者吸气末和呼气末的气囊P-V曲线均存在中间线性段。中位 V_{min} 为0.5(0.5, 0.5) mL, V_{max} 为1.5(1.5, 2.0) mL, V_{work} 为1.0(1.0, 1.5) mL, V_{min} 和 V_{max} 与其相应的Pes均无相关性($r_1=0.3, r_2=0.5$,均 $P > 0.05$)。 V_{best} 主要分布在0.5 mL(57.0%)和1.0 mL(43.0%)。

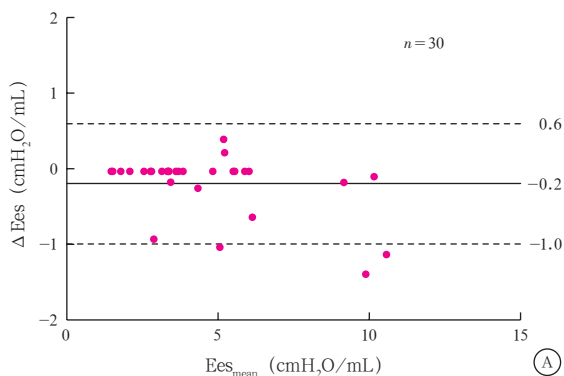
通过计算呼气末气囊 P-V 曲线中间线性段的斜率获得预估的中位 Ees 为 3.8(2.9, 5.5) cmH₂O/mL, 范围为 1.5 ~ 10.1 cmH₂O/mL。通过 V_{best} 估算的食道壁弹性回缩力为 2.7(1.7, 4.4) cmH₂O, 范围为 0.7 ~ 11.1 cmH₂O。气囊处于 V_{work} 条件下监测 Pes 获得的校正 Pes 与气囊处于 V_{best} 条件下获得的校正 Pes 具有良好的一致性, 差异的均值和 95%CI 为 -0.02 (-1.5 ~ 1.5) cmH₂O(图 2)。



注: Δ 校正 Pes = $Pes_{V_{work}} - Pes_{V_{best}}$, $Pes_{V_{mean}} = (Pes_{V_{work}} + Pes_{V_{best}}) / 2$; 式中, $Pes_{V_{work}}$ 为气囊在合理工作容积 (V_{work}) 时获得的校正食道压 (Pes), $Pes_{V_{best}}$ 为气囊在最佳工作容积 (V_{best}) 时获得的校正 Pes; 1 cmH₂O = 0.098 kPa; 实线代表差异的均值, 上、下两条虚线代表 95% 可信区间 (95%CI) 的上限和下限

图 2 辅助通气条件下食道测压管气囊在 V_{best} 与其他 V_{work} 条件下获得的校正 Pes 的一致性

2.3 采用简单方法与采用标准方法获得的校正 Pes 的一致性分析: 采用简单方法计算获得的 Ees (即气囊注气容积分别为 0.5 mL 和 1.5 mL 时监测的 Pes 差值与气囊注气容积为 1.0 mL 时的比值) 与采用标准方法计算获得的 Ees 具有良好的一致性, 差异的均值和 95%CI 为 -0.2 (-1.0 ~ 0.6) cmH₂O/mL; 采用

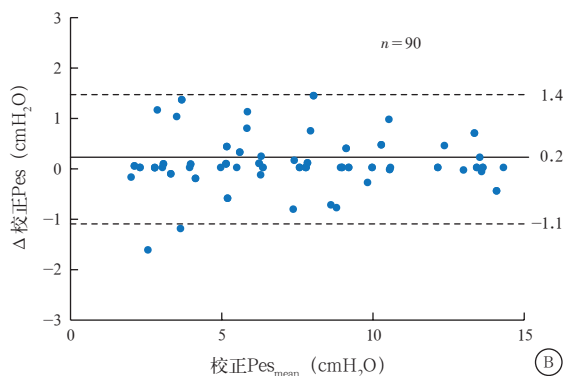


简单方法获得的校正 Pes 与采用标准方法获得的校正 Pes 具有良好的一致性, 差异的均值和 95%CI 为 0.2 (-1.1 ~ 1.4) cmH₂O(图 3)。

3 讨论

本研究表明: ① 在辅助通气条件下, 应用气囊几何容积相对较小的食道测压管可以通过气囊的 P-V 曲线校正 Pes; ② 采用简单方法估算 Ees 和校正的 Pes 与采用标准方法获得的 Ees 和校正 Pes 具有良好的一致性。

Pes 测量是用于评估胸腔压的一种近似无创的方法, 有助于指导呼吸机参数的设定^[1-2]。研究表明, 测量 Pes 的准确性与气囊注气容积有关。如果气囊的注气容积过小, 则不能正确传导外周压力; 反之, 如果气囊注气容积过大, 则会导致气囊本身产生弹性回缩力, 从而明显高估气囊外周压力^[8-9]。此外, 在合理的气囊注气容积范围内, 即使气囊本身产生的弹性回缩力可以忽略不计, 注气的气囊也会导致食道壁产生弹性回缩力, 从而引起 Pes 的绝对值高于真正的胸腔压^[11-12]。既往研究表明, 在控制通气条件下, 多种类型的食道测压管均可以通过校正 Pes 来改善 Pes 监测的可靠性^[11-12]。Pes 的校正主要通过气囊注气试验获得气囊的 P-V 曲线, 观察气囊容积对应的中间线性段以明确食道测压管的合理工作容积, 并计算该中间线性段的斜率以获得 Ees, 进一步通过计算食道壁产生的弹性回缩力以校正 Pes^[11-12]。然而, 压力支持通气也是常用的通气模式之一, 由于患者存在自主呼吸, 呼吸时潮气量会伴随着患者呼吸肌与呼吸机之间的相互作用



注: 采用标准方法计算的食道壁弹性 (Ees) 为气囊压力-容积曲线 (P-V 曲线) 中呈线性相关中间段的斜率, 采用简单方法计算的 Ees 为气囊注气容积分别为 0.5 mL 和 1.5 mL 时测得呼气末食道压 (Pes) 的差值与气囊注气容积为 1.0 mL 时的比值; 采用标准方法获得的校正 Pes 为气囊在最佳工作容积 (V_{best}) 条件下监测的 Pes 与采用标准方法获得的食道壁弹性回缩力的差值, 采用简单方法获得的校正 Pes 为在气囊注气容积为 0.5 mL 和 1.5 mL 时监测的 Pes 与采用简单方法获得的食道壁弹性回缩力的差值; Δ Ees 为 $Ees_{简单方法} - Ees_{标准方法}$, $Ees_{mean} = (Ees_{简单方法} + Ees_{标准方法}) / 2$, Δ 校正 Pes 为 $校正 Pes_{简单方法} - 校正 Pes_{标准方法}$, $校正 Pes_{mean} = (校正 Pes_{简单方法} + 校正 Pes_{标准方法}) / 2$; 1 cmH₂O = 0.098 kPa; 实线代表差异的均值, 上、下两条虚线代表 95% 可信区间 (95%CI) 的上限和下限

图 3 采用标准方法与采用简单方法计算获得的 Ees(A) 和相应的校正 Pes(B) 的一致性

而发生变化。因此,在压力支持通气时患者对呼吸的“主动贡献”使 P_{es} 的校正有待商榷。近期,有研究者报道了针对患者分别进行压力支持通气和控制通气条件下的 P_{es} 校正情况,发现气囊注气试验能够应用于压力支持通气患者,在压力支持通气条件下通过气囊 P-V 曲线获得的 V_{work} 和 E_{es} 与控制通气时无明显差异^[15]。但该研究采用的是几何容积相对较大的食道测压管(Nurivent 导管),其注气容积范围为 0~8 mL,因此气囊的 V_{work} 范围相对较大(6 mL 左右),可以获得多个气囊注气容积条件下监测的 P_{es} 。但几何容积相对较小的食道测压管因为不影响胃管的使用,也常用于临床研究^[19]。因此,本研究旨在观察在压力支持通气模式下,应用几何容积相对较小的食道测压管(即 Copper 导管)校正 P_{es} 的适用性,该导管几何容积是市售食道测压管中最小的。既往体内和体外实验均表明,在控制通气条件下, Copper 食道测压管的气囊 V_{work} 范围仅为 1 mL 左右^[13-14]。

与 Cooper 食道测压管应用于控制通气时的结果一致^[12],本研究将该导管应用于辅助通气也显示,通过气囊注气试验获得的气囊 P-V 曲线均存在中间线性段。通过气囊 P-V 曲线获得的中位 V_{work} 为 1.0(1.0, 1.5) mL, V_{best} 主要分布在 0.5 mL 和 1.0 mL,与说明书推荐的注气容积也比较接近。本研究中并未发现 V_{min} 和 V_{max} 与 P_{es} 有明显相关性,与之前研究结果不同^[11-12],可能与本研究选择的注气容积间隔偏大有关。本研究结果显示,纳入患者的中位 E_{es} 为 3.8(2.9, 5.5) cmH₂O/mL,范围为 1.5~10.1 cmH₂O/mL,与控制通气时预估的 E_{es} 相似[中位 E_{es} 为 3.3(2.5, 4.1) cmH₂O/mL,范围为 1.2~5.8 cmH₂O/mL]^[12]。在自主呼吸条件下, E_{es} 的范围相对较广,可能是自主呼吸条件下患者主动参与呼吸调节所致;而在控制通气下,大部分患者均处于镇静镇痛甚至肌松状态。在本研究中也发现,即使是气囊几何容积相对较小的食道测压管也会导致食道壁产生弹性回缩力,为 2.7(1.7, 4.4) cmH₂O,范围为 0.7~11.1 cmH₂O,这种弹性的存在导致 P_{es} 的绝对值随着气囊容积的增加而逐渐增大,造成 P_{es} 高估胸腔压,从而影响跨肺压的计算,误导临床医师对机械通气参数的设置,对患者产生不利的影响。但校正后的 P_{es} 在 V_{work} 范围内的不同注气容积下无显著差异,成功地避免了食道壁产生的弹性回缩力的影响。因此,我们建议在辅助通气时应用食道测压管进行 P_{es} 监测,应该进行

气囊注气试验计算 E_{es} 并校正 P_{es} 。

此外,气囊注气容积范围为 0.5~1.5 mL 时处于所有患者的气囊 V_{work} 内,因此我们考虑应用 0.5 mL 和 1.5 mL 这两个容积可以更简单地预估 E_{es} ,经一致性分析表明,采用该简单方法与采用标准方法预估的 E_{es} 具有良好的一致性;同时,采用简单方法预测 E_{es} 来校正 P_{es} 与采用标准方法获得的校正 P_{es} 也具有良好的一致性。因此我们进一步建议,为了方便临床应用,当使用 Cooper 导管监测 P_{es} 时,可以通过简单方法校正 P_{es} ,即分别向气囊内注气 0.5、1.0 和 1.5 mL,记录这 3 个容积下的呼气末及吸气末 P_{es} , P_{es} 在吸气末与呼气末出现最大差异的容积可以作为 V_{best} ,使用 0.5 mL 和 1.5 mL 时监测的 P_{es} 差值与 1.0 mL 的比值来简单估算 E_{es} ,并使用 V_{best} 和 E_{es} 的乘积校正 P_{es} ,可以减少气囊本身和食道壁产生的弹性回缩力对 P_{es} 的影响,与之前研究在控制通气条件下应用 Cooper 导管监测 P_{es} 并校正 P_{es} 的结果相似^[12]。但该简单方法是否适用于其他类型的食道测压管仍需要进一步研究。

本研究的局限性主要有以下几点:①考虑辅助通气稳定时间相对较长,我们选择 0.5 mL 作为注气间隔容积,仅观察了 6 个注气容积(即 0、0.5、1.0、1.5、2.0 和 2.5 mL),与既往 Cooper 导管应用于被动通气研究中选择 0.2 mL 作为注气间隔容积相比,所获得的 P_{es} 相对较少,可能会导致预估的 E_{es} 具有一定偏差;②本研究仅纳入术后氧合和呼吸相对平稳的患者,结果能否直接推广至其他患者群体仍需要进一步验证。

4 结 论

在辅助通气条件下,应用气囊几何容积相对较小的食道测压管能够通过气囊注气试验校正 P_{es} 。此外,对于 Cooper 导管,床旁可进一步使用简单方法来预估 E_{es} 并校正 P_{es} ,以获得可靠的 P_{es} 。后续研究需要评估通过气囊 P-V 曲线校正 P_{es} 的方法在其他人群中的适用性。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Mauri T, Yoshida T, Bellani G, et al. Esophageal and transpulmonary pressure in the clinical setting: meaning, usefulness and perspectives [J]. Intensive Care Med, 2016, 42 (9): 1360-1373. DOI: 10.1007/s00134-016-4400-x.
- [2] Akoumianaki E, Maggiore SM, Valenza F, et al. The application of esophageal pressure measurement in patients with respiratory failure [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2014, 189 (5): 520-531. DOI: 10.1164/rccm.201312-2193CI.
- [3] Talmor D, Sarge T, Malhotra A, et al. Mechanical ventilation guided by esophageal pressure in acute lung injury [J]. N Engl J Med, 2008,

- 359 (20): 2095–2104. DOI: 10.1056/NEJMoa0708638.
- [4] Talmor DS, Fessler HE. Are esophageal pressure measurements important in clinical decision-making in mechanically ventilated patients? [J]. *Respir Care*, 2010, 55 (2): 162–172; discussion 172–174. DOI: 10.1007/s12028-009-9274-0.
- [5] Loring SH, O'Donnell CR, Behazin N, et al. Esophageal pressures in acute lung injury: do they represent artifact or useful information about transpulmonary pressure, chest wall mechanics, and lung stress? [J]. *J Appl Physiol* (1985), 2010, 108 (3): 515–522. DOI: 10.1152/jappphysiol.00835.2009.
- [6] 孙芳, 章文豪, 章萍, 等. 食道压法设置呼气末正压在急性 Stanford A 型主动脉夹层术后低氧血症中的应用 [J/OL]. *中华危重症医学杂志 (电子版)*, 2018, 11 (3): 168–173. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-6880.2018.03.005.
- Sun F, Zhang WH, Zhang C, et al. Esophageal pressure-guided ventilation in postoperative hypoxemia patients with acute Stanford type A aortic dissection [J/OL]. *Chin J Crit Care Med (Electronic Edition)*, 2018, 11 (3): 168–173. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-6880.2018.03.005.
- [7] 严姝琪, 张翔宇. 食道压测定在急性呼吸窘迫综合征中的临床研究 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2012, 19 (6): 382–384. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2012.06.026.
- Yan SY, Zhang XY. Clinical study of esophageal pressure measurement in acute respiratory distress syndrome [J]. *Chin J TCM WM Crit Care*, 2012, 19 (6): 382–384. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2012.06.026.
- [8] 孙秀梅, 周建新. 食道压和跨肺压监测 [J]. *中华危重病急救医学*, 2018, 30 (3): 280–283. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.03.018.
- Sun XM, Zhou JX. Esophageal pressure and transpulmonary pressure monitoring [J]. *Chin Crit Care Med*, 2018, 30 (3): 280–283. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.03.018.
- [9] Walterspacher S, Isaak L, Guttman J, et al. Assessing respiratory function depends on mechanical characteristics of balloon catheters [J]. *Respir Care*, 2014, 59 (9): 1345–1352. DOI: 10.4187/respcare.02974.
- [10] Milic-Emili J, Mead J, Turner JM, et al. Improved technique for estimating pleural pressure from esophageal balloons [J]. *J Appl Physiol*, 1964, 19: 207–211. DOI: 10.1152/jappl.1964.19.2.207.
- [11] Mojoli F, Iotti GA, Torriglia F, et al. *In vivo* calibration of esophageal pressure in the mechanically ventilated patient makes measurements reliable [J]. *Crit Care*, 2016, 20: 98. DOI: 10.1186/s13054-016-1278-5.
- [12] Sun XM, Chen GQ, Huang HW, et al. Use of esophageal balloon pressure-volume curve analysis to determine esophageal wall elastance and calibrate raw esophageal pressure: a bench experiment and clinical study [J]. *BMC Anesthesiol*, 2018, 18 (1): 21. DOI: 10.1186/s12871-018-0488-6.
- [13] Mojoli F, Chiumello D, Pozzi M, et al. Esophageal pressure measurements under different conditions of intrathoracic pressure. An *in vitro* study of second generation balloon catheters [J]. *Minerva Anesthesiol*, 2015, 81 (8): 855–864.
- [14] Yang YL, He X, Sun XM, et al. Optimal esophageal balloon volume for accurate estimation of pleural pressure at end-expiration and end-inspiration: an *in vitro* bench experiment [J]. *Intensive Care Med Exp*, 2017, 5 (1): 35. DOI: 10.1186/s40635-017-0148-z.
- [15] Cammarota G, Verdina F, Santangelo E, et al. Oesophageal balloon calibration during pressure support ventilation: a proof of concept study [J/OL]. *J Clin Monit Comput*, 2019 [2020-03-13]. DOI: 10.1007/s10877-019-00436-3. [published online ahead of print December 2, 2019].
- [16] 陈晗, 徐明, 杨燕琳, 等. 注气试验在食道测压管定位中的应用 [J]. *中华危重病急救医学*, 2017, 29 (9): 783–788. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.09.004.
- Chen H, Xu M, Yang YL, et al. Application of injection test in confirming the ideal position of esophageal balloon catheter [J]. *Chin Crit Care Med*, 2017, 29 (9): 783–788. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.09.004.
- [17] Baydur A, Behrakis PK, Zin WA, et al. A simple method for assessing the validity of the esophageal balloon technique [J]. *Am Rev Respir Dis*, 1982, 126 (5): 788–791. DOI: 10.1164/arrd.1982.126.5.788.
- [18] Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement [J]. *Lancet*, 1986, 1 (8476): 307–310. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8).
- [19] Chen L, Chen GQ, Shore K, et al. Implementing a bedside assessment of respiratory mechanics in patients with acute respiratory distress syndrome [J]. *Crit Care*, 2017, 21 (1): 84. DOI: 10.1186/s13054-017-1671-8.

(收稿日期: 2020-04-13)

• 科研新闻速递 •

肺栓塞临床概率联合 D-二聚体水平诊断肺栓塞： 一项前瞻性研究

回顾性分析表明,当患者为低肺栓塞临床概率(C-PTP)且 D-二聚体水平 <1.0 mg/L 时,或患者为中 C-PTP 且 D-二聚体水平 <0.5 mg/L 时,即可排除肺栓塞。为验证这一结果的准确性,有学者进行了一项前瞻性研究,招募了 2 017 例参与者,并采用上述标准的两个指标进行肺栓塞评估,且无需进一步检查;不符合上述标准的其他患者则接受胸部成像检查进行排查(通常是 CT 肺血管造影)。未诊断出肺栓塞的患者不进行抗凝治疗。所有患者均进行为期 3 个月的随访,检查是否有静脉血栓栓塞。结果显示:2 017 例入组并接受评估的患者中,有 149 例(7.4%)在初步诊断检查中即发现肺栓塞。1 285 例低 C-PTP 且 D-二聚体水平 <1.0 mg/L 患者及 40 例中 C-PTP 且 D-二聚体水平 <0.5 mg/L 患者中,随访期间均无一例发生静脉血栓栓塞[95% 可信区间(95%CI)为 0.00%~0.29%]。1 285 例低 C-PTP 且 D-二聚体水平 <1.0 mg/L 患者中有 315 例 D-二聚体水平为 0.5~0.9 mg/L (95%CI 为 0.00%~1.20%)。在初步检查中未诊断为肺栓塞且未接受抗凝治疗的 1 863 例患者中(5 例接受抗凝治疗患者被排除),有 1 例患者发生静脉血栓栓塞(0.05%, 95%CI 为 0.01%~0.30%)。采用上述诊断策略可导致 34.3% 的患者需使用胸部成像检查进一步排查肺栓塞;而如果采用低 C-PTP 且 D-二聚体水平 <0.5 mg/L 来排除肺栓塞,则胸部成像检查的使用率为 51.9%(差异为 -17.6%; 95%CI 为 -19.2%~-15.9%)。研究人员据此得出结论:低危患者(低 C-PTP)D-二聚体 <1.0 mg/L 可以作为肺栓塞的排除标准,中危患者(中 C-PTP)D-二聚体 <0.5 mg/L 也可作为肺栓塞排除标准。该结论印证了上述回顾性研究结果,提示将 C-PTP 与 D-二聚体数值结合起来进行诊断将有望大幅减少需进一步行 CT 检查的患者比例,若将这一标准用于临床,将有不少患者可免于进一步的影像学检查。

罗红敏, 编译自《N Engl J Med》, 2019, 381 (22): 2125–2134