

# 超声评估膈肌在临床麻醉中的应用进展

高宇晨 崔旭蕾 王越夫 黄宇光

膈肌是重要的呼吸肌,肺总吸气量的 75% 由膈肌负担,膈肌受损会妨害通气和氧气输送<sup>[1-2]</sup>。膈肌还有其他功能,例如增加腹内压帮助排尿、排便、呕吐,在食管裂孔处施加压力而预防胃-食管反流<sup>[2]</sup>。膈肌功能不全是呼吸困难、术后肺部并发症的常见病因,上腹部手术、创伤、肿瘤、机械通气、慢性肺部疾病、肌间沟神经阻滞等均会导致膈肌功能不全<sup>[3]</sup>。观察和测量膈肌的运动对于膈肌功能的评估十分重要,传统评估膈肌功能的方法有胸部 X 线片、直立位荧光透视、MRI、膈肌肌电图、肺功能实验和测量跨膈压力等<sup>[4]</sup>。超声图像评估膈肌相较荧光透视和肌电图可以提供更多有用的信息,如膈肌的形态、活动度及收缩功能等<sup>[5]</sup>。

## 超声评估方法

Haber 等<sup>[6]</sup>首次提出采用 M 型超声或 B 型超声评估膈肌功能,此后超声的应用越来越多。患者的体位影响膈肌的位置和活动,相同潮气量平卧位时膈肌移动度最大<sup>[7]</sup>。有研究证实,超声于患者平卧位评估膈肌功能时具有可重复性高、左右两侧及整体差异小等优势<sup>[8]</sup>,膈肌无力在平卧位时更容易被发现,严重膈肌无力的患者不能耐受平卧位,这些患者通常采用 45° 半卧位。目前,超声评估膈肌功能包括膈肌运动幅度及收缩幅度。

**B 型超声** 患者平卧位,将 7~18 MHz 高频超声探头垂直肋骨长轴放置于腋前线第 7~9 肋间隙,可以获得相应的矢状图像。B 型超声提供膈肌的二维图像,膈肌在超声图像上显示为两条高回声线(腹膜和胸膜)之间的低回声膈肌,位于肋间肌深层(图 1),测量两条高回声线之间的距离即为膈肌厚度,通常测量 3 张不同图像的膈肌厚度取平均值。为了确保膈肌厚度测量的准确性,要求超声束与膈肌成角 90°,膈肌下部厚于膈肌上部,测量厚度时应先确立标准肋间隙再进行测量。静息时膈肌厚度的平均值为 0.34 cm(变化范围 0.12~1.18 cm)与 BMI 成正相关<sup>[9]</sup>。膈肌距体表的深度因人而异,深度的平均值为 1.9 cm(变化范围 0.8~5.0 cm)<sup>[10]</sup>。患者深呼吸时,肺下移会掩盖膈肌,因此正确选择肋间隙和指导患者慢慢呼吸对观察膈肌十分重要。B 型超声下观察患者膈肌收缩程度,测量膈肌厚度及膈肌厚度比率[(吸气时膈肌厚度-呼气时膈肌厚度)/吸气时膈肌厚度×

100%],测量患者呼气末膈肌厚度,均可以帮助鉴别膈肌萎缩。

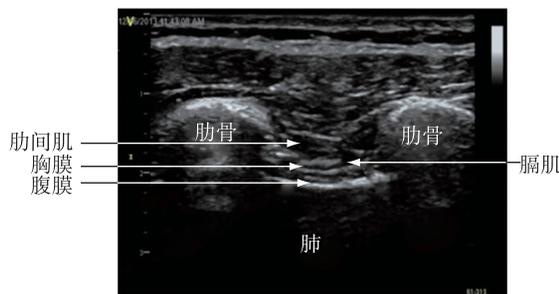


图 1 肋间隙膈肌超声显像<sup>[11]</sup>

**M 型超声** M 型超声借助肋骨下、剑突下、肋间隙等径路可以观察膈肌运动。患者平卧位时,低频凸阵探头放置于锁骨中线及腋前线肋骨下水平,超声探头向内侧、头侧、背侧移动使膈肌后 1/3 显像,M 型超声能提供膈肌的运动模式,可量化膈肌的正常和异常运动,容易发现膈肌的矛盾运动。平静呼吸和用力呼吸时,膈肌头尾向的移动在超声图像中显示为正弦波形(图 2)。值得注意的是,不同部位膈肌运动幅度不同,检查时应先用 B 型超声选择运动幅度最大的膈肌,再转用 M 型超声测量,M 型超声测量移动度时应保持探头位置不变。患者坐位时,将超声探头放置于肋骨下后侧区域,可以从矢状面评估膈顶<sup>[12]</sup>。剑突下路径常用于患儿,可同时观察左右半膈的运动。左右侧膈肌移动度均可用 M 型超声进行评估。

**ABCDE 法** ABCDE 法使操作者更容易用 B 型超声评估膈肌。首先将 10~15 MHz 高频探头放置于乳头下腋前线(anterior axillary line)水平,观察到两肋骨之间可辨识的标志例如呼吸(breathing)时膈肌上方的胸膜运动,将超声探头沿腋前线向尾端(caudal)下移至能看到膈肌(diaphragm)增厚,并依此进行评估(evaluation)(图 3)。计算膈肌厚度比率,可以反映膈肌做功。

ABCDE 法有以下几个特点:(1)呼吸运动时胸膜下缘向尾端移动;(2)胸膜在膈肌上方滑动,帮助区分膈肌和肋间肌;(3)随着探头向尾端移动,可以在胸膜边缘的下方观察并测量膈肌厚度;(4)呼吸运动时膈肌不再隐藏于胸膜下,使操作者在患者呼吸运动时更容易观察到膈肌<sup>[13]</sup>,ABCDE 法左右侧均可观察膈肌运动<sup>[14]</sup>。

## 超声评估膈肌在临床麻醉中的应用

超声不仅可以作为诊断工具,也可用于指导临床操作,

DOI: 10.12089/jca.2019.06.019  
 基金项目:北京协和医学院青年教师培养项目(2014zlgc0726)  
 作者单位:100037 中国医学科学院北京协和医院麻醉科(高宇晨、崔旭蕾、黄宇光);中国医学科学院阜外医院麻醉科(王越夫)  
 通信作者:崔旭蕾,Email: cui.xulei@aliyun.com

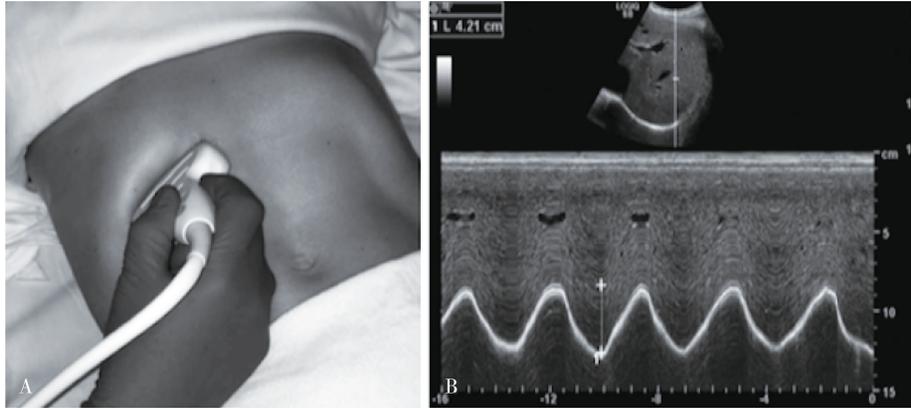


图 2 M 型超声评估膈肌时探头位置及超声图<sup>[6]</sup>

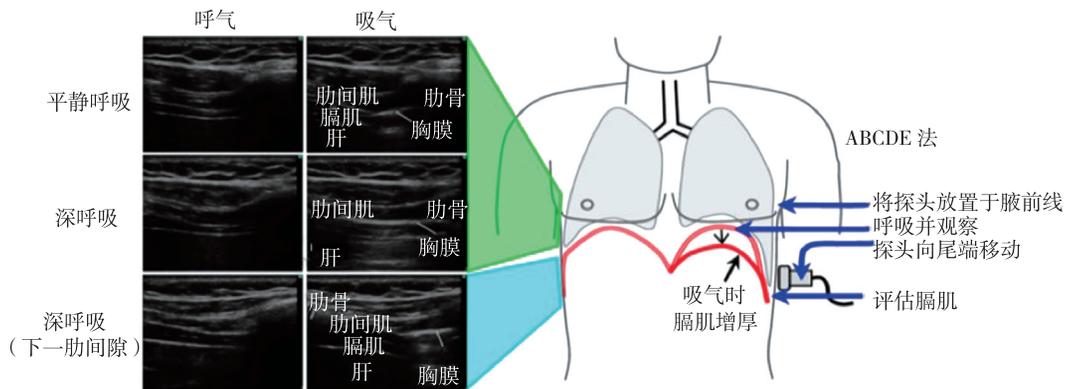


图 3 ABCDE 法操作及超声图像<sup>[13]</sup>

例如膈肌心电图检查时,在超声引导下插入电极可以减少气胸的发生<sup>[15]</sup>。膈肌麻痹、器官肿大、腹部肿物等情况均可造成膈肌抬高,超声可以帮助鉴别。近年来,超声用于慢性疾病的评估,如神经肌肉疾病、呼吸系统疾病等。超声可以提供脊髓侧索硬化和脑卒中患者通气功能障碍的相关信息,可用于评估危重患者的膈肌功能。

**诊断膈肌功能不全** 膈肌功能不全表现为膈肌麻痹或膈肌无力,胸片中膈肌抬高是诊断膈肌功能不全的首要线索。膈肌功能不全的部分患者可发生膈肌萎缩、变薄<sup>[2]</sup>。正常的膈肌随着呼吸运动向下移动,左半膈的活动度轻微大于右半膈,但左右半膈的移动度几乎相等。单侧膈肌麻痹可引起矛盾运动。B 型超声和 M 型超声用于评估膈肌运动的方向,测量膈肌移动度,评估膈肌无力的恢复程度,且单侧或双侧膈肌功能不全均可由超声诊断。ABCDE 法测量并计算膈肌厚度比率,正常人该比率在 28%~96%,而膈肌麻痹的人比率在-35%~5%<sup>[16]</sup>。

**诊断及预防肌间沟及锁骨上臂丛神经阻滞所致膈肌瘫痪** 由于臂丛神经和膈神经解剖位置相近,大部分患者行臂丛神经阻滞时会影响膈神经功能,其影响可能是短暂的,也可能是膈肌瘫痪所导致的呼吸系统疾病,影响患者生活质量并增加肺部感染的患病率<sup>[17]</sup>。肌间沟神经阻滞所致膈肌瘫痪

发生率为 92%,锁骨上神经阻滞所致膈肌瘫痪发生率为 65%,超声能及时地发现膈肌不正常运动,对早期诊断和治疗有重要意义<sup>[22]</sup>。研究表明,超声引导下肌间沟神经阻滞时,采用低剂量(5 ml)、低浓度局麻药注入臂丛神经旁 4 mm 左右可降低膈神经阻滞发生率<sup>[23]</sup>。

**预测上腹部手术后的肺功能障碍** 上腹部手术如肝叶切除术或腹腔镜胆囊切除术,术后肺功能障碍会增加术后肺部并发症的风险,包括限制呼吸生理(肺活量和功能残气量的降低)、低氧血症、增加呼吸做功等<sup>[24-26]</sup>。膈肌功能不全是术后肺部并发症的主要原因,超声下测量膈肌吸气时活动幅度有助于早期发现肺功能障碍,改善患者预后。

**预测机械通气患者的拔管时机** 超声下测量膈肌厚度可用于评估及监测机械通气患者膈肌萎缩及膈肌不活动。Goligher 等<sup>[27]</sup>提出,吸气时膈肌厚度反映部分辅助机械通气支持的患者的吸气做功,可预测患者能否成功脱机拔管。吸气时膈肌收缩导致脏器下移,脏器下移>1.1 cm 是预测拔管的敏感指标,M 型超声结合 B 型超声评估可能提高结果的敏感性和特异性<sup>[1]</sup>。Flevari 等<sup>[28]</sup>测量 M 型超声中膈肌移动度,可作为辅助工具预测患者困难拔管,左侧膈肌移动度<7 mm、右侧<10 mm 则提示困难拔管。拔管失败的患者 ICU 停留时间延长,并发症发生率高,增加患者经济负担,因

此膈肌超声评估具有重要临床意义。

**诊断小儿心脏手术后膈神经损伤** 小儿先天性心脏病外科手术常造成膈肌异常运动,发病率为 0.3%~12.8%,常继发于 Norwood 术、Blalock-Taussig 分流术、法洛四联症根治术、动脉转位术<sup>[29]</sup>。随着膈肌运动异常发病率日益升高,早期诊断、及时治疗对于此类患者预后十分重要。患者平卧位时超声探头放置于剑突下区域可同时观察双侧膈肌,或将探头头端指向腋窝放置于腋后线水平对比左右两侧膈肌运动情况。

单侧膈肌运动分为以下 4 类:(1)正常运动,吸气时 M 型超声中膈肌移动度>4 mm 并且左右两侧膈肌移动度差异<50%;(2)运动功能减退,M 型超声中运动幅度<4 mm 且左右两侧膈肌移动度差异>50%;(3)运动不能,膈肌不运动且 M 型超声中显示为直线;(4)矛盾运动,吸气时膈肌向远离超声探头方向运动。膈肌运动功能减退通常不会造成严重的临床症状,因此正常运动和运动功能减退为阴性结果,运动不能及矛盾运动为阳性结果<sup>[29]</sup>。Tsui 等<sup>[30]</sup>报道 ABCDE 法扫描膈肌是一种简单、快速的患儿膈肌评估方法。

#### 传统超声评估方法及 ABCDE 法的优势和局限性

**传统方法的优势** 以往评估膈肌功能采用胸部 X 线片、直立位荧光透视和 MRI 等,需要将患者转运至检查室进行评估,限制了其在危重患者中的使用。MRI 诊断准确率高,但由于价格昂贵限制了其在临床的应用。超声可实时监测患者膈肌功能,床旁操作无需转运患者,且其价格合理,目前临床上主要用于监测膈肌功能、诊断膈肌的病理改变。超声在发现膈肌功能不全、量化呼吸做功、检测机械通气患者膈肌萎缩等方面准确度高<sup>[31]</sup>。小儿及青少年患者膈肌评估时倾向于超声,其他检查方法有暴露射线的危险<sup>[4]</sup>。超声既可对膈肌进行形态学评估又能功能评估,M 型超声结合 B 型超声能更客观地评估膈肌运动。

**传统方法的局限性** 传统 M 型超声和 B 型超声能床旁实时观察膈肌和肺的活动度,但是这两种方法有一些限制:(1)其结果的准确性和可重复性依赖于操作者的技术与经验;(2)超声成像花费时间长,Testa 等<sup>[2]</sup>研究记录超声扫描膈肌所需的时间,经验丰富的超声检查者用肋骨下前区径路辨认右侧膈肌平均需要 10 min 左右,无经验的超声检查者平均需要 17 min;(3)脾作为声学窗较小等使左侧膈肌成像受限,即使是经验丰富的超声检查者采用肝脾声学窗的路径仍需要很长时间;(4)受超声束深度的影响,肥胖患者膈肌的超声成像不清楚<sup>[25]</sup>;(5)胃肠内容物及肺部气体会干扰膈肌的超声成像。

**ABCDE 法的优势** 寻找肝脾声学窗通常很困难,限制许多临床医师应用超声评估膈肌,ABCDE 法无需声学窗,通过肋间隙寻找呼吸时的胸膜运动便可观察到膈肌,呼吸时膈肌厚度增加代表膈肌收缩,对比双侧膈肌活动度及测量膈肌厚度比率,便可早期确诊膈肌功能不全。ABCDE 法能帮助临床医师学习使用超声快速辨认膈肌并进行临床诊断及监

测,研究表明该方法成功率高。Khurana 等<sup>[18]</sup>研究了 BMI 对成功率的影响,当 BMI<30 kg/m<sup>2</sup>时,右侧膈肌成功率为 100%,左侧成功率为 97%;当 BMI>30 kg/m<sup>2</sup>时,右侧膈肌成功率为 94%,左侧成功率为 97%。ABCDE 法用腋前线和乳头等简单的体表标志来指导操作,滑动超声探头来寻找胸膜与膈肌交界处。ABCDE 法的学习曲线表明,操作成功率不随操作数量的增加而升高,操作所需时间随操作数量增加无明显变化,说明初学者容易掌握 ABCDE 法<sup>[18]</sup>。ABCDE 法观察膈肌的成功率与患者 BMI 及左右侧无明显关系,且在超声引导下辨认膈肌的时间短。

**ABCDE 法的局限性** ABCDE 法仍有一些方面需要完善:(1)测量膈肌移动度方面只能主观对比双侧变化,没有将膈肌移动度量化的;(2)该方法仅限于有自主呼吸的患者,对于机械通气患者尚缺少研究;(3)不能确定同侧胸膜运动是由同侧膈肌收缩或运动产生,因为对侧肺和膈肌的矛盾运动可能会造成同侧胸膜运动。

#### 小 结

超声是一种无创、实用、简单、可重复性高的膈肌评估方法。麻醉科医师掌握超声评估膈肌方法对围术期管理和患者预后至关重要。ABCDE 法可以帮助麻醉科医师更快定位膈肌位置,观察膈肌运动,M 型超声可量化膈肌运动,更客观地进行评估。目前还没有文献对比 ABCDE 法与传统超声方法的有效性在评估膈肌方面的准确性和特异性,仍需更深入的研究。

#### 参 考 文 献

- [1] Boon AJ, O'Gorman C. Ultrasound in the assessment of respiration. *J Clin Neurophysiol*, 2016, 33(2): 112-119.
- [2] Testa A, Soldati G, Giannuzzi R, et al. Ultrasound M-mode assessment of diaphragmatic kinetics by anterior transverse scanning in healthy subjects. *Ultrasound Med Biol*, 2011, 37(1): 44-52.
- [3] Khanna N. Dysfunction of the diaphragm: imaging as a diagnostic tool. *Curr Opin Pulm Med*, 2013, 19(4): 394-398.
- [4] Nason LK, Walker CM, McNeeley MF, et al. Imaging of the diaphragm: anatomy and function. *Radiographics*, 2012, 32(2): E51-E70.
- [5] Sferazza Papa GF, Pellegrino GM, Di Marco F, et al. A review of the ultrasound assessment of diaphragmatic function in clinical practice. *Respiration*, 2016, 91(5): 403-411.
- [6] Naik LY, Sondekoppam RV, Jenkin Tsui J, et al. An ultrasound-guided ABCDE approach with a sniff test to evaluate diaphragmatic function without acoustic windows. *Can J Anaesth*, 2016, 63(10): 1199-1200.
- [7] Houston JG, Angus RM, Cowan MD, et al. Ultrasound assessment of normal hemidiaphragmatic movement: relation to inspiratory volume. *Thorax*, 1994, 49(5): 500-503.
- [8] Roberts HC. Imaging the diaphragm. *Thorac Surg Clin*, 2009, 19(4): 431-450.
- [9] Orde SR, Boon AJ, Firth DG, et al. Diaphragm assessment by

- two dimensional speckle tracking imaging in normal subjects. *BMC Anesthesiol*, 2016, 16(1): 43.
- [10] Haber K, Asher M, Freimanis AK. Echographic evaluation of diaphragmatic motion in intra-abdominal diseases. *Radiology*, 1975, 114(1): 141-144.
- [11] Cohen E, Mier A, Heywood P, et al. Excursion-volume relation of the right hemidiaphragm measured by ultrasonography and respiratory airflow measurements. *Thorax*, 1994, 49(9): 885-889.
- [12] Houston JG, Fleet M, McMillan N, et al. Ultrasonic assessment of hemidiaphragmatic movement; an indirect method of evaluating mediastinal invasion in non-small cell lung cancer. *Br J Radiol*, 1995, 68(811): 695-699.
- [13] Houston JG, Morris AD, Howie CA, et al. Technical report; quantitative assessment of diaphragmatic movement--a reproducible method using ultrasound. *Clin Radiol*, 1992, 46(6): 405-407.
- [14] Boon AJ, Harper CJ, Ghahfarokhi LS, et al. Two-dimensional ultrasound imaging of the diaphragm; quantitative values in normal subjects. *Muscle Nerve*, 2013, 47(6): 884-889.
- [15] Harper CJ, Shahgholi L, Cieslak K, et al. Variability in diaphragm motion during normal breathing, assessed with B-mode ultrasound. *J Orthop and Sports Phys Ther*, 2013, 43(12): 927-931.
- [16] Fedullo AJ, Lerner RM, Gibson J, et al. Sonographic measurement of diaphragmatic motion after coronary artery bypass surgery. *Chest*, 1992, 102(6): 1683-1686.
- [17] Tsui JJ, Tsui BC. A novel systematic ABC approach to diaphragmatic evaluation (ABCDE). *Can J Anaesth*, 2016, 63(5): 636-637.
- [18] Khurana J, Gartner SC, Naik L, et al. Ultrasound identification of diaphragm by novices using ABCDE technique. *Reg Anesth Pain Med*, 2018, 43(2): 161-165.
- [19] Gottesman E, McCool FD. Ultrasound evaluation of the paralyzed diaphragm. *Am J Respir Crit Care Med*, 1997, 155(5): 1570-1574.
- [20] Vivier E, Mekontso Dessap A, Dimassi S, et al. Diaphragm ultrasonography to estimate the work of breathing during non-invasive ventilation. *Intensive Care Med*, 2012, 38(5): 796-803.
- [21] Kaufman MR, Elkwood AI, Rose MI, et al. Surgical treatment of permanent diaphragm paralysis after interscalene nerve block for shoulder surgery. *Anesthesiology*, 2013, 119(2): 484-487.
- [22] Kim BG, Han JU, Song JH, et al. A comparison of ultrasound-guided interscalene and supraclavicular blocks for post-operative analgesia after shoulder surgery. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2017, 61(4): 427-435.
- [23] Tran DQ, Elgueta MF, Aliste J, et al. Diaphragm-sparing nerve blocks for shoulder surgery. *Reg Anesth Pain Med*, 2017, 42(1): 32-38.
- [24] Wu A, Drummond GB. Respiratory muscle activity and respiratory obstruction after abdominal surgery. *Br J Anaesth*, 2006, 96(4): 510-515.
- [25] Kim SH, Na S, Choi JS, et al. An evaluation of diaphragmatic movement by M-mode sonography as a predictor of pulmonary dysfunction after upper abdominal surgery. *Anesth Analg*, 2010, 110(5): 1349-1354.
- [26] Latimer RG, Dickman M, Day WC, et al. Ventilatory patterns and pulmonary complications after upper abdominal surgery determined by preoperative and postoperative computerized spirometry and blood gas analysis. *Am J Surg*, 1971, 122(5): 622-632.
- [27] Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, et al. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity. *Intensive Care Med*, 2015, 41(4): 642-649.
- [28] Flevari A, Lignos M, Konstantonis D, et al. Diaphragmatic ultrasonography as an adjunct predictor tool of weaning success in patients with difficult and prolonged weaning. *Minerva Anesthesiol*, 2016, 82(11): 1149-1157.
- [29] Sanchez de Toledo J, Munoz R, Landsittel D, et al. Diagnosis of abnormal diaphragm motion after cardiothoracic surgery: ultrasound performed by a cardiac intensivist vs. fluoroscopy. *Congenit Heart Dis*, 2010, 5(6): 565-572.
- [30] Tsui BC, Tsui J. ABC Diaphragmatic evaluation for neonates. *Paediatr Anaesth*, 2016, 26(7): 768-769.
- [31] Zambon M, Greco M, Bocchino S, et al. Assessment of diaphragmatic dysfunction in the critically ill patient with ultrasound; a systematic review. *Intensive Care Med*, 2017, 43(1): 29-38.

(收稿日期:2018-05-30)