

## 临床研究

DOI: 10.13406/j.cnki.cyxh.002832

## 超声面积测量法与移动度测量法评估膈肌功能的比较

柳文娟, 韩铭欣, 陈云秋, 宋 维, 潘萌萌, 焦光宇

(中国医科大学附属盛京医院呼吸与危重症医学科, 沈阳 110004)

**【摘要】目的:**比较超声面积测量法与移动度测量法评估膈肌收缩功能的准确性,得到测量膈肌收缩功能的新方法。**方法:**选取 2019 年 5 月至 2020 年 4 月中国医科大学附属盛京医院的健康志愿者 78 例,收集并获取其一般信息。利用床旁超声分别测量平静呼吸及深呼吸时膈肌的移动度及平静呼吸及深呼吸过程中胸腔侧面积变化,以肺功能的深吸气量(inspiratory capacity, IC)为评价标准,采用 Spearman 相关性检验比较 2 种方法与 IC 的相关性。**结果:**2 种测量结果表明年龄、体质指数及性别均无统计学差异。平静呼吸过程中胸腔侧面积变化与 IC 的相关性( $r=0.486, P=0.000$ )及平静呼吸过程中膈肌移动度与 IC 相关性( $r=0.245, P=0.031$ ),深呼吸过程中胸腔侧面积变化与 IC 的相关性( $r=0.424, P=0.000$ )及深呼吸过程中膈肌移动度与 IC 的相关性( $r=0.285, P=0.012$ )均具有统计学差异,深呼吸及平静呼吸时面积测量法与 IC 的相关系数均高于移动度测量法(平静呼吸面积差值>平静呼吸移动度,深呼吸面积差值>深呼吸移动度),且  $P$  值明显小于移动度测量法(平静呼吸面积差值<平静呼吸移动度,深呼吸面积差值<深呼吸移动度)。**结论:**面积测量法比移动度测量法更能反映膈肌收缩功能,面积测量法与移动度测量法、膈肌增厚率相结合评估膈肌收缩力更加准确。

**【关键词】**膈;超声;新方法**【中图分类号】**R445.1;R565**【文献标志码】**A**【收稿日期】**2020-12-04

## Comparison of ultrasonic area method with excursion method to assess diaphragmatic function

Liu Wenjuan, Han Mingxin, Chen Yunqiu, Song Wei, Pan Mengmeng, Jiao Guangyu

(Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Shengjing Hospital of China Medical University)

**【Abstract】Objective:** To explore a new method to measure the diaphragmatic contraction function by comparing the accuracy of the ultrasonic area method with excursion method. **Methods:** Seventy-eight healthy volunteers from Shengjing Hospital of China Medical University from May 2019 to April 2020 were selected in this study, and their general information was collected. Bedside ultrasound was used to measure the movement of the diaphragm and the change of the thoracic area during quiet breathing and deep breathing. Taking the deep inspiratory capacity (IC) of lung function as the evaluation standard, Spearman correlation test was used to compare the correlation between the two methods and IC. **Results:** There was no statistical difference in age, BMI and gender between the two measurement methods. There were significant differences in the correlation between the change of thoracic area and IC during quiet breathing( $r=0.486, P=0.000$ ) and the correlation between the change of diaphragmatic movement and IC during quiet breathing( $r=0.245, P=0.031$ ), and there were also statistical differences in the correlation between thoracic area and IC during quiet breathing( $r=0.424, P=0.000$ ) and between diaphragmatic movement and IC during deep breathing( $r=0.285, P=0.012$ ). The correlation between the change of thoracic area and IC measured by ultrasonic area method was stronger than that measured by excursion method (the quiet breathing area difference > the quiet breathing diaphragmatic movement, the deep breathing area difference > the deep breathing diaphragmatic movement), and the  $P$  value was significantly lower than that of the excursion method (the quiet breathing area difference < the quiet breathing diaphragmatic movement, and the deep breathing area difference < the deep breathing diaphragmatic movement). **Conclusion:** The area method is superior to the excursion method in the evaluation of diaphragmatic contraction function, and it's more accurate to evaluate diaphragmatic contraction function combined with excursion method and diaphragmatic thickening rate.

**【Key words】**diaphragm; ultrasound; new method

作者介绍: 柳文娟, Email: liuwenjuanjiayou@163.com,

研究方向: 膈肌功能障碍诊断及机制研究。

通信作者: 焦光宇, Email: jiaogy@sj-hospital.org。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 81170068); 辽宁省重点

研发攻关资助项目(编号: 2017225009); 沈阳市科技计划资

助项目(编号: 202054021)。

优先出版: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.r.20210513.2144.070.html>

(2021-05-17)

膈肌是位于胸腔与腹腔之间呈穹窿形的扁薄阔肌,其周围为肌纤维,中央为腱膜,作为一个机械屏障保持胸腔与腹腔之间的压力梯度<sup>[1]</sup>。膈肌的运动是呼吸产生的主要原动力,承担 70%~80%的通气需要<sup>[2]</sup>。许多因素都可累及膈肌导致膈肌功能障碍,如脓毒症<sup>[3]</sup>、神经肌肉疾病、机械通气<sup>[4]</sup>、麻醉及上腹部手术<sup>[5]</sup>、各种肺部疾患<sup>[6]</sup>等。既往评价膈肌的方法有很多,如 X 线透视检查、动态磁共振、测定跨膈压等,但都存在辐射、需要转运患者、无法适用于重症患者、有创伤等不足。超声可快速准确地评估膈肌功能,可床旁进行,无创且没有电离辐射风险,且有研究证明超声测量膈肌移动度可重复性较高<sup>[7]</sup>。现有超声评价膈肌的主要测量指标为膈肌移动度、膈肌增厚分数,移动度测量法仅能反映膈肌某一点的移动度。膈肌不同部位的移动度不同,中后部的移动度大于前部<sup>[8]</sup>,所以此方法准确性有待提高。故 Skaarup SH 等<sup>[9]</sup>提出一种新方法,即面积测量法,以呼吸过程中胸腔侧面积的变化来反映膈肌收缩力。本研究致力于以深吸气体量为评价标准,比较面积测量法和移动度测量法哪个更能反映膈肌收缩力。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验对象及分组

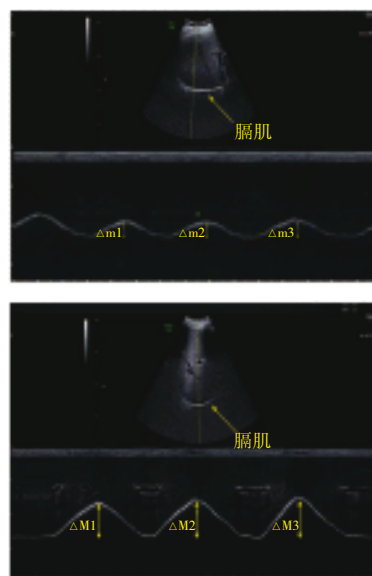
选取 2019 年 5 月至 2020 年 4 月中国医科大学附属盛京医院的健康志愿者 78 例,收集并获取其一般信息:年龄 41.00 (26.00~56.25) 岁、体质指数 (body mass index, BMI) 23.56 (21.54~25.46) kg/m<sup>2</sup>、膈肌增厚分数 0.64 (0.40~0.95)、性别 (男性 33 例,女性 45 例),按年龄分组:≤26 岁、27~50 岁、≥51 岁;按 BMI 分组:≤23.9 kg/m<sup>2</sup>、>23.9 kg/m<sup>2</sup>;将性别分组:男性、女性。排除标准:年龄<14 岁;具有心肺疾病者;神经肌肉疾病者;严重感染者;妊娠、肿瘤者;麻醉及上腹部手术者;不能配合超声及肺功能检查者。经本院伦理委员会批准 (批号:2019PS624K),获得受试者或直系亲属知情同意。

### 1.2 实验方法

采用开立便携式 X5 超声彩色多普勒诊断仪,由专业超声医师用面积测量法及移动度测量法分别对每名志愿者进行膈肌测量,同时由专业肺功能医师采用 Spirolab III 肺功能测定仪测定每名受试者的深吸气体量。测量的顺序采用随机交叉设计,顺序由抽签决定,抽到序号为奇数的先采用面积测量法再采用移动度测量法;抽到序号为偶数的先采用移动度测量法再采用面积测量法;肺功能测量在超声测量之后,2 种超声测量方法之间及超声测量与肺功能测量之间间隔 2 h 以上,超声测量医师与肺功能测量医师之间采取双盲设计。

1.2.1 膈肌移动度测量 受试者取仰卧位,选用频率 2.0~

5.0 MHz 的低频凸阵探头置于右锁骨中线与右腋前线之间的肋缘区域,使超声束与膈肌后部垂直,以肝脏为观测窗,直接观察膈肌的运动,并将超声采样线定位在膈肌上,转换为 M 模式,记录膈肌随时间变化产生的纵向移动,量化膈肌的移动幅度,评估膈肌随时间变化的特定位置,并可以评估膈肌产生的位移及速度,留取平静呼吸过程及深呼吸过程的膈肌移动度 (图 1)。过程中保持探头位置及角度不变,测量 3 次取平均值。



注:Δm 指平静呼吸膈肌移动度;ΔM 指深呼吸膈肌移动度;是曲线最高点至基线水平的垂直距离

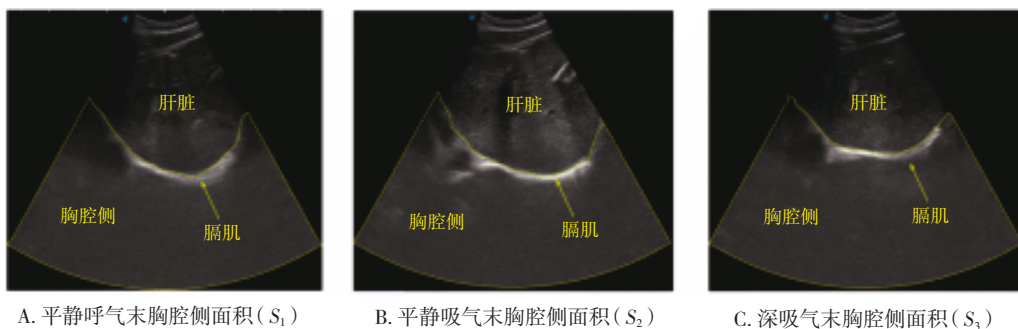
图 1 膈肌移动度的测量

1.2.2 膈肌超声面积法的测量 受试者取仰卧位,选用频率 2.0~5.0 MHz 的低频凸阵探头,将探头置于右锁骨中线与右腋前线之间的肋缘区域,使超声束与膈肌后部垂直,吸气时膈肌迎向探头,呼气时膈肌远离探头,以肝脏为观测窗,充分暴露膈肌,直接观察膈肌的运动,分别留取平静吸气末、平静呼气末及深吸气体末的图像,过程中必须保持探头的位置及角度不变,膈肌肝脏侧为腹腔,对侧为胸腔,沿着膈肌画出胸腔侧的面积 (图 2),应用超声内置的测量包测量面积,后分别计算平静呼气末和平静吸气末的胸腔侧面积差值即平静呼吸面积差值、平静呼气末和深吸气体末的胸腔侧面积差值即深呼吸面积差值,测量 3 次取平均值。

1.2.3 深吸气体量的测量 采用 Spirolab III 肺功能测定仪,准备好仪器,使受试者含住咬嘴,平静呼吸 4 次,后让受试者用力、快速吸饱气,立即开始快速用力呼气,最后深吸一口气后让受试者离开咬嘴并计算检查结果。

### 1.3 统计学处理

采用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析。服从正态分布的计量资料用均数 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示,不服从正态分布的计量资料用  $M_d(P_{25}, P_{75})$  表示,计数资料用  $n(\%)$  描述。服从正态分布的计量资料两样本均数比较采用独立样本  $t$  检验,3 个或 3 个以上样本均数比较采用单因素方差分析;不服从正态分布的计量资料比较采用非参数检验,两样本比较采用



注:胸腔侧黄线圈出的范围即为胸腔侧面积( $S$ );平静呼吸过程中胸腔侧面积变化= $S_2-S_1$  深呼吸过程中胸腔侧面积变化= $S_3-S_1$

图2 胸腔侧面积变化的测量

Mann-Whitney  $U$  检验,3 个或 3 个以上独立样本比较采用 Kruskal-Wallis  $H$  检验;相关分析采用 Spearman 相关系数。检验水准  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 年龄、BMI、性别对膈肌收缩功能的影响

对 78 名受试者的测量结果进行统计分析,2 种测量方法所得年龄 41.00 (26.00~56.25) 岁、BMI 23.56 (21.54~25.46)  $\text{kg}/\text{m}^2$ 、性别(其中男性 33 例,女性 45 例)差异均无统计学意义(表 1)。

表 1 2 种测量方法下年龄、BMI、性别对膈肌收缩功能的影响

指标	深呼吸移动度	平静呼吸移动度	深呼吸面积差值	平静呼吸面积差值
年龄/岁	$F=0.246$ $P=0.783$	$H=0.411$ $P=0.814$	$F=1.669$ $P=0.195$	$H=5.115$ $P=0.077$
BMI/( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )	$t=1.404$ $P=0.165$	$z=-0.286$ $P=0.775$	$t=-0.119$ $P=0.906$	$z=-0.281$ $P=0.779$
女性	$t=1.965$ $P=0.053$	$z=-1.684$ $P=0.092$	$t=-0.852$ $P=0.397$	$z=-1.057$ $P=0.291$
男性				

### 2.2 比较面积测量法与移动度测量法与 IC 的相关性

利用 Spearman 相关检验进行相关性分析,结果见表 2。2 种测量方法测得的结果均与深吸气量具有相关性;平静呼吸过程中胸腔侧面积变化与 IC 的相关性( $r_s=0.486, P=0.000$ )及平静呼吸过程中膈肌移动度与 IC 相关性( $r_s=0.245, P=0.031$ ),深呼吸过程中胸腔侧面积变化与 IC 的相关性( $r_s=0.424, P=0.000$ )及深呼吸过程中膈肌移动度与 IC 的相关性( $r_s=0.285, P=0.012$ )均具有统计学差异,深呼吸及平静呼吸时面积测量法与 IC 的相关系数均高于移动度测量法(平静呼吸面积差值>平静呼吸移动度,深呼吸面积差值>深呼吸移动度),且  $P$  值明显小于移动度测量法(平静呼吸面积差值<平静呼吸移动度,深呼吸面积差值<深呼吸移动度)。说明平静呼吸及深呼吸过程中胸腔侧面积变化与 IC 的相关性明显强于移动度,且  $P$  值明显小于移动度测量法。即呼吸过程中移动度的变化及胸腔侧面积变化均能反映膈肌收缩功能,但面积测量法更准确。

表 2 面积测量法与移动度测量法测得结果与 IC 的相关性

指标	例数	数值	$r_s$	$P$ 值
深呼吸移动度/mm	78	$42.65 \pm 15.60$	0.285	0.012
平静呼吸移动度/mm	78	$13.25 (9.72, 17.37)$	0.245	0.031
深呼吸面积差值/ $\text{cm}^2$	78	$49.04 \pm 21.91$	0.424	0.000
平静呼吸面积差值/ $\text{cm}^2$	78	$15.72 (9.34, 27.51)$	0.486	0.000

## 3 讨论

本研究证明面积测量法与 IC 的相关性高于移动度测量法,且面积测量法的  $P$  值更小,因此得出面积测量法可评估膈肌收缩力,且面积测量法比移动度测量法更能反映膈肌收缩功能,将面积法与移动度测量法、膈肌增厚率相结合评估膈肌收缩力更加准确,更能准确反映膈肌收缩功能。

膈肌作为最重要的呼吸肌,对其功能的评估具有重要意义。现有多种评估方法:①X 线透视检查可显示膈肌无力一侧的膈肌抬高,但相对不敏感,不能预测正常运动<sup>[10-11]</sup>;②动态磁共振成像可以定量评估膈肌运动偏移、同步性和速度,但成本高、过多依赖操作人员的操作技术、需要转运患者并断开患者的辅助通气设备,不适用于危重患者的检查<sup>[12-13]</sup>;③食管或胃传感器测量跨膈压可用于诊断双侧膈肌麻痹,此操作为侵入性的,但其结果受肺容量影响<sup>[14]</sup>;④膈肌肌电图诊断膈肌麻痹具有较高的敏感性和特异性,可在机械通气情况下进行,但脂肪、水肿等会影响结果<sup>[15-16]</sup>;⑤肺功能也可反映膈肌功能,但此项检查需要患者有较高的配合度,不适用于重症患者及机械通气患者。超声可快速准确地评估膈肌功能,可床旁进行,无创且没有电离辐射风险,因此床旁超声评估膈肌功能得到了广泛关注。

现有的超声测量膈肌收缩功能的主要指标是移动度,其反映膈肌收缩力准确性有待提高。可能



因为移动度测量法将超声采样线定位在膈肌上,后转为 M 模式,记录采样线与膈肌相交点的膈肌运动情况并将其量化,而膈肌不是单一的功能实体,可分为功能不同的肋膈肌和脚膈肌<sup>[16]</sup>,它们在发育、解剖和功能上均有很大差别。肋膈肌和脚膈肌在呼吸过程中的作用不同,移动幅度不同,故移动度测量法仅仅用某一点的运动来评估膈肌收缩功能,准确性有待提高。

面积测量法反映膈肌收缩力的机制在于以膈肌为分界线,以肝脏为声学窗测量右侧膈肌,则肝脏侧为腹腔,另一侧为胸腔,膈肌及肋间外肌收缩使胸腔负压增大,气体进入肺内,胸腔体积增大,产生吸气过程<sup>[17]</sup>。在此过程中,膈肌占吸气动力的 70%~80%<sup>[2]</sup>,之后膈肌及肋间外肌舒张胸腔面积缩小,空气排出体外,胸腔体积缩小即为呼气过程。呼气相与吸气相胸廓内体积变化的 70%~80%是由膈肌收缩产生,从而反映膈肌收缩力的大小。面积测量法可测量超声可视范围内胸腔侧的面积,侧面反映胸腔的体积。此法选择呼气相与吸气相面积的差值为测量指标,2 次面积测量过程中保持探头的位置及角度不动,则此差值仅仅反映呼吸过程中胸廓体积的改变,即反映膈肌收缩功能。此法从“面”的角度反映膈肌收缩力,而移动度测量法是从“点”的角度反映膈肌收缩力,故面积测量法更准确。

本研究中所有受试者均取仰卧位,仰卧位可减少腹部脏器对膈肌活动的影响,整体变异性小,重复性好<sup>[18]</sup>。以深吸气量为评价标准,是因为膈肌为最主要的吸气肌,深吸气量可反映膈肌功能。但肺功能检查需要患者用力呼吸配合,应用受限,术后、重症、机械通气等患者均不能进行此项检查。本研究结果证明平静呼吸移动度及平静呼吸面积差值均可反映膈肌收缩力,且平静呼吸面积差值与 IC 的相关性高于其余 3 个指标与 IC 的相关性,即平静呼吸面积差值更能反映膈肌收缩功能,故在临床上应用范围更广。本研究选择的受试对象为健康志愿者,课题组目前正在利用超声面积测量法及移动度测量法对患有肺部疾病的患者进行进一步研究:评估慢性阻塞性肺疾病、脓毒症等患者的膈肌收缩功能以及预测机械通气患者撤机中的作用,现收集的数据尚不足以统计分析,后续将进一步收集数据论证本研究方法在患者膈肌评估中的作用。另外,本实验为单中心研究,后续将扩大样本量进行多中心研究,以评估试验的可重复性。

## 参 考 文 献

- [1] Tuinman PR, Jonkman AH, Dres M, et al. Respiratory muscle ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications in ICU and ED patients: a narrative review[J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46(4): 594–605.
- [2] Boon AJ, O’Gorman C. Ultrasound in the assessment of respiration[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2016, 33(2): 112–119.
- [3] Le Dinh M, Carreira S, Obert J, et al. Prolonged mechanical ventilation worsens Sepsis-induced diaphragmatic dysfunction in the rat[J]. *PLoS One*, 2018, 13(8): e0200429.
- [4] Goligher EC, Dres M, Fan E, et al. Mechanical ventilation-induced diaphragm atrophy strongly impacts clinical outcomes[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2018, 197(2): 204–213.
- [5] 王 玉, 王晓曼, 贾立群. 床旁超声诊断婴儿先天性心脏病术后膈神经麻痹[J]. *中华超声影像学杂志*, 2018, 27(8): 666–669.
- [6] Marchioni A, Castaniere I, Tonelli R, et al. Ultrasound-assessed diaphragmatic impairment is a predictor of outcomes in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease undergoing noninvasive ventilation[J]. *Crit Care*, 2018, 22(1): 109.
- [7] 何 伟, 许 媛. 3 种超声方法测量膈肌运动的比较研究[J]. *中华危重病急救医学*, 2014, 26(12): 914–916.
- [8] Harris RS, Giovannetti M, Kim BK. Normal ventilatory movement of the right hemidiaphragm studied by ultrasonography and pneumotachography[J]. *Radiology*, 1983, 146(1): 141–144.
- [9] Skaarup SH, Løkke A, Laursen CB. The area method: a new method for ultrasound assessment of diaphragmatic movement[J]. *Crit Ultrasound J*, 2018, 10(1): 15.
- [10] Abbey-Mensah GN, Waite S, Reede D, et al. Diaphragm appearance: a clue to the diagnosis of pulmonary and extrapulmonary pathology[J]. *Curr Probl Diagn Radiol*, 2017, 46(1): 47–62.
- [11] Boon AJ, Sekiguchi H, Harper CJ, et al. Sensitivity and specificity of diagnostic ultrasound in the diagnosis of phrenic neuropathy[J]. *Neurology*, 2014, 83(14): 1264–1270.
- [12] Chavhan GB, Babyn PS, Cohen RA, et al. Multimodality imaging of the pediatric diaphragm: anatomy and pathologic conditions[J]. *Radiographics*, 2010, 30(7): 1797–1817.
- [13] Cicero G, Mazziotti S, Blandino A, et al. Magnetic resonance imaging of the diaphragm: from normal to pathologic findings[J]. *J Clin Imaging Sci*, 2020, 10: 1.
- [14] 刘智达, 邱志辉, 谭康新, 等. 食管膈肌肌电和跨膈肌压评估人体呼吸中枢驱动的敏感度[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2013, 36(7): 493–496.
- [15] Luo YM, Harris ML, Lyall RA, et al. Assessment of diaphragm paralysis with oesophageal electromyography and unilateral magnetic phrenic nerve stimulation[J]. *Eur Respir J*, 2000, 15(3): 596–599.
- [16] de Vries H, Jonkman A, Shi ZH, et al. Assessing breathing effort in mechanical ventilation: physiology and clinical implications[J]. *Ann Transl Med*, 2018, 6(19): 387.
- [17] Troyer AD, Wilson TA. Action of the diaphragm on the rib cage[J]. *J Appl Physiol* (1985), 2016, 121(2): 391–400.
- [18] Sarwal A, Walker FO, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm[J]. *Muscle Nerve*, 2013, 47(3): 319–329.

(责任编辑:唐秋姗)