

·临床研究·

超声在膈肌功能评估中的信度研究*

肖灵君¹ 孙文静¹ 班乐鑫¹ 廖学宜¹ 燕铁斌¹ 薛晶晶^{1,2}

摘要

目的:分析超声用于膈肌功能评估的一致性及可重复性。

方法:采用PA12A型便携式彩色多普勒超声诊断系统。记录60例健康受试者平静呼吸和深呼吸时的膈肌数据,包括平静呼吸和深呼吸时的膈肌移动度、平静呼气和平静吸气时的膈肌厚度、最大呼气和最大吸气时的膈肌厚度,对以上指标的测试内信度、测试者间信度和重测信度分别进行分析。

结果:测试内信度:平静呼吸时膈肌移动度、深呼吸时膈肌移动度、平静呼气时膈肌厚度、平静吸气时膈肌厚度、最大呼气时膈肌厚度和最大吸气时膈肌厚度的组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)值分别为0.99、0.99、0.99、0.99、0.99、0.99;测试者间信度方面6个指标的ICC值分别为0.84、0.80、0.82、0.82、0.83、0.77;重测信度:6个指标的相对信度ICC值分别为0.98、0.86、0.98、0.97、0.94、0.86;绝对信度6个指标的测量标准误(standard error of measurement, SEM)分别为0.09、0.39、0.01、0.02、0.02、0.03,SEM%分别为5.23%、8.40%、5.38%、5.7%、8.17%、8.77%,最小真正改变量(minimal detectable change, MDC)分别为0.26、1.08、0.03、0.04、0.04、0.09,MDC%分别为14.48%、23.28%、14.9%、15.8%、22.64%、24.31%;Bland-Altman图形分析显示无系统性误差。

结论:超声在膈肌功能评估中具有良好信度。

关键词 超声;膈肌;信度

中图分类号:R493 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2024)-01-0076-06

Reliability of ultrasound in the assessment of diaphragm function/XIAO Lingjun, SUN Wenjing, BAN Lexin, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2024, 39(1): 76—81

Abstract

Objective: To analyze the consistency and repeatability of ultrasonography in diaphragm function evaluation.

Method: Sixty healthy subjects participated in the present study, using a PA12A portable color doppler ultrasound diagnostic system. The diaphragm data were recorded during calm breathing and deep breathing, including diaphragm muscle mobility during calm breathing and deep breathing, diaphragmatic thickness during calm exhalation and calm inspiration, and diaphragmatic thickness during deep exhalation and deep inspiration. The intra-test reliability, inter-tester reliability and retest reliability of the above indexes were analyzed respectively.

Result: For intra-test reliability, the intra-class correlation coefficient (ICC) values for diaphragm muscle mobility during calm breathing, diaphragm muscle mobility during deep breathing, diaphragmatic thickness during calm exhalation, diaphragmatic thickness during calm inspiration, diaphragmatic thickness during maximal exhalation and diaphragmatic thickness during maximal inspiration were 0.99, 0.99, 0.99, 0.99, 0.99 and 0.99, respectively. The ICC values for the six indicators were 0.84, 0.80, 0.82, 0.82, 0.83, and 0.77 for inter-tester reliability. For retest reliability, the ICC values for the six indicators were 0.98, 0.86, 0.98, 0.97, 0.94, and 0.86 for relative reliability. The standard error of measurement (SEM) for the absolute reliability of the six indicators were 0.09, 0.39, 0.01, 0.02, 0.02, 0.03, SEM% were 5.23%, 8.40%, 5.38%, 5.7%,

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2024.01.011

*基金项目:中山大学孙逸仙纪念医院临床研究培育项目(SYS-Q-201704)

1 中山大学孙逸仙纪念医院康复医学科,广东省广州市,510120; 2 通讯作者

第一作者简介:肖灵君,女,主管治疗师;收稿日期:2022-06-03

8.17%, 8.77%, and the minimal detectable change (MDC) were 0.25, 1.08, 0.03, 0.04, 0.04, 0.09, and MDC% were 14.49%, 23.28%, 14.9%, 15.8%, 22.64%, 24.31%, respectively. Bland-Altman graphical analysis showed no systematic errors.

Conclusion: Ultrasound has good reliability in diaphragm function evaluation and can provide objective evidence in clinical application.

Author's address Department of Rehabilitation Medicine, Sun Yat-sen Memorial Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510120

Key word ultrasound; diaphragm; the reliability

膈肌是最重要的呼吸肌之一,负担了所有呼吸肌中65%—70%的功能,吸气过程中90%的通气由其承担^[1-2]。因此,膈肌运动对呼吸运动有很重要的影响,膈肌功能障碍会影响肺的通气功能。临床上膈肌功能障碍发生的原因有很多,如创伤、手术、纵隔肿块,神经疾病和肌肉病等任何会导致膈肌舒缩功能障碍的疾病^[3]。因此,对膈肌功能进行准确、及时和便捷的评估对临床诊断、治疗具有重要价值,对于患者住院时间、生存质量,以及社会负担等社会因素也有重要意义。使用超声对膈肌运动可以直接进行检测,同时准确性较高,特异性高也是超声用于呼吸运动评价的另一特点^[4]。使用超声进行膈肌功能评价可以对膈肌功能障碍进行诊断,对其功能恢复状况也能及时监测,为临床治疗和结局预测提供客观依据^[5]。本研究采用超声检测健康受试者呼吸活动时的膈肌功能状况,分析超声在膈肌功能评估中的信度,为超声在膈肌功能评价的临床应用中提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

随机选取60例健康受试者。纳入标准:①18—24岁的健康人(不限性别)。②无心血管疾病、肺部疾病和其他慢性病。③心脏听诊、心电图检测无异常;血压正常。④近4周无呼吸道感染及相关疾病。排除标准:有吸烟史、药物滥用史、不符合测试要求或未能完成完整两次膈肌超声测量者^[6]。研究目的与研究方案在测量前均已告知受试者,所有受试者均签署知情同意书。60例受试者中男16例,女44例,平均年龄为 (22.13 ± 0.92) 岁,身高 (162.4 ± 7.53) cm,体重 (51.4 ± 6.947) kg。

1.2 实验方法

1.2.1 仪器及参数:应用便携式彩色多普勒超声诊断系统,型号:PA12A(北京智影技术有限公司),配置频率为5.0—10.0MHz线阵探头和频率为2.0—5.0MHz凸阵探头,探头重量<250g,阵元数为128。

1.2.2 探头放置及数据保留:①膈肌移动度:患者取坐位,应用凸阵探头(频率2.0—5.0MHz),放置于右侧锁骨中线与右侧肋缘交界处,探头标志朝向外下方,探头向头端倾斜以更好地定位膈肌。定位后切换为M模式,将取样线置于膈顶,分别记录平静呼吸和深呼吸时膈肌的活动度(图1),平静呼吸和深呼吸各记录三个完整的呼吸周期^[7]。②膈肌厚度:体位同上,应用线阵探头(频率5.0—10.0MHz),采用B型线阵探头放置于受试者右侧腋前线与第8—9肋间或第7肋至第8肋间的交点,探头沿肋间隙放置。在1—3cm深度时可见三层结缔组织的膈肌图像,由两侧高回声区和中间混合型回声区组成,其中高回声区由胸膜层和腹膜层组成,中间混合型回声区包含无回声膈肌组织及高回声的筋膜。膈肌是两条白线中的灰色部分(图2)。分别测量并记录平静呼气末、平静吸气末、最大呼气末、最大吸气末的膈

图1 膈肌移动度超声图像

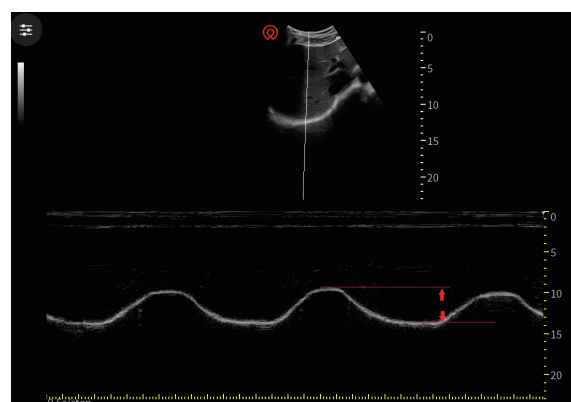
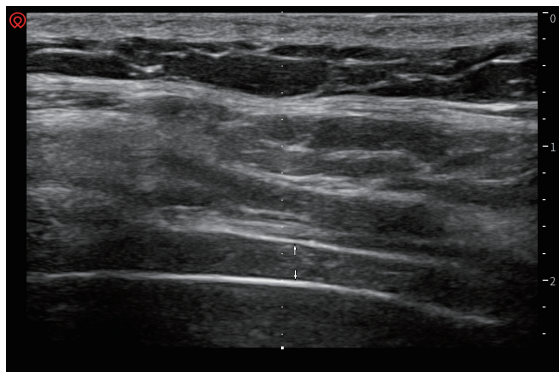


图2 膈肌厚度超声图像



肌图像,分别测量3次取平均值^[8-9]。

1.2.3 检查方法:①测试前,受试者端坐体位,嘱其尽量放松,检查者介绍测试流程以便受试者更好配合。②测试膈肌移动度时:将耦合剂涂在超声探头上,探头置于受试者右侧的肋下。应用M模式,根据受试者的体型,选择深度20—30cm。嘱受试者在超声探测时配合进行平静呼吸和深呼吸。③测试膈肌厚度时:将耦合剂涂在超声探头上将线阵探头放置于右侧的腋前线与第8—9肋间的交叉点。应用B模式,深度设置为4—5cm。旋转探头,使其沿肋骨走行。嘱受试者配合进行平静呼吸和深呼吸。

1.2.4 分析指标:①平静呼吸时膈肌移动度:受试者平静呼吸时,超声M模式记录并截图三个完整的呼吸周期,测量膈肌移动最低点(呼气时)至最高点(吸气时)的距离,取三个数值的平均值。②深呼吸时膈肌移动度:受试者深呼吸时,超声M模式记录并截图三个完整的呼吸周期,测量膈肌移动最低点(呼气时)至最高点(吸气时)的距离,取三个数值的平均值。③平静呼气时膈肌厚度:受试者平静呼气末时,超声B模式记录膈肌厚度,测量三处直线距离取平均值。④平静吸气时膈肌厚度:受试者平静吸气末时,超声B模式记录膈肌厚度,测量三处直线距离取平均值。⑤最大呼气时膈肌厚度:受试者最大呼气末时,超声B模式记录膈肌厚度,测量三处直线距离取平均值。⑥最大吸气时膈肌厚度:受试者最大吸气末时,超声B模式记录膈肌厚度,测量三处直线距离取平均值。

1.3 信度检测

由同一位研究者完成超声检查过程,两位参加过培训并掌握超声图像分析方法的研究者对数据进行分析。信度检测由测试者内部信度、测试者间信度和重测信度构成。测试者内部信度:研究者A在24小时内对60例受试者第一次评估的超声检查图像进行2次数据测量,并分析两次测量数据的一致性;测试者间信度:两名研究者A和B分别独立完成60例受试者呼吸动作的膈肌超声数据的测量,两位研究者在整个测量过程不作任何沟通;重测信度:首次测试完成后,研究者A在间隔24小时后再随机选取其中17个受试者进行第二次膈肌超声测试和数据测量,两次测试的体位、流程均相同。

1.4 统计学分析

采用均数±标准差表示符合正态分布的膈肌测量结果。测试者内部信度和测试者间信度使用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)进行分析;重测信度由绝对信度和相对信度组成。相对信度采用组内相关系数检测,绝对信度使用测量标准误(standard error of measurement, SEM和SEM%)^[10]和最小真正改变量(minimal detectable change, MDC和MDC%)检测^[11]。绝对信度方面, $SEM = SD \times \sqrt{1 - ICC}$, (SD为两次测试平均值的标准差), $SEM\% = (SEM / \text{mean}) \times 100$, mean为构成两次测试的平均值; $MDC = 1.96 \times \sqrt{2} \times SEM$, $MDC\% = (MDC / \text{mean}) \times 100$,使用统计软件Medcalc进行Bland-Altman图形分析,同时使用配对t检验检测两次评估结果间的差异^[11],分析判断系统性误差。Bland-Altman图中标记计算出的95%置信区间(limit of agreement, LOA)。本研究采用统计软件SPSS16.0分析。设定 $P < 0.05$ 差异具有显著性意义。

2 结果

2.1 测试者内部信度

首次评估60例受试者两次超声测量中平静呼吸时膈肌移动度、深呼吸时膈肌移动度、平静呼气时膈肌厚度、平静吸气时膈肌厚度、最大呼气时膈肌厚度和最大吸气时膈肌厚度的ICC值介于0.99—1.00,结果见表1。

2.2 测试者间信度

对60例受试者的超声膈肌数据进行测量者间

一致性分析,平静呼吸时膈肌移动度、深呼吸时膈肌移动度、平静呼气时膈肌厚度、平静吸气时膈肌厚度、最大呼气时膈肌厚度和最大吸气时膈肌厚度的ICC值介于0.77—0.84,结果见表1。

2.3 重测信度

分析60例受试者前后两次超声评估的数据的

重测信度,结果见表2。相对信度方面,膈肌移动度(平静呼吸时、深呼吸时)、膈肌厚度(平静呼气时、平静吸气时、最大呼气时、最大吸气时)的ICC值介于0.86—0.98;绝对信度:6个指标的SEM、SEM%介于0.01—0.39、5.23%—8.77%,MDC、MDC%值介于0.03—1.08、14.48%—24.31%。

表1 受试者6个超声指标的测试者内部信度及测试者间信度

超声指标	测试者内部信度				测试者间信度			
	第1次	第2次	ICC	95%置信区间	研究者A	研究者B	ICC	95%置信区间
平静呼吸时膈肌移动度(cm)	1.75±0.60	1.76±0.61	0.99	0.98—1.00	1.72±0.61	1.91±0.69	0.84	0.73—0.91
深呼吸时膈肌移动度(cm)	4.39±0.97	4.39±0.99	0.99	0.98—1.00	4.48±0.96	4.79±1.06	0.80	0.71—0.89
平静呼气时膈肌厚度(mm)	0.20±0.07	0.20±0.07	0.99	0.98—1.00	0.20±0.07	0.19±0.07	0.82	0.70—0.90
平静吸气时膈肌厚度(mm)	0.26±0.08	0.26±0.08	0.99	0.99—1.00	0.25±0.08	0.27±0.09	0.82	0.73—0.89
最大呼气时膈肌厚度(mm)	0.20±0.09	0.21±0.08	0.99	0.99—1.00	0.20±0.08	0.19±0.08	0.83	0.71—0.90
最大吸气时膈肌厚度(mm)	0.38±0.10	0.37±0.10	0.99	0.99—1.00	0.36±0.10	0.40±0.10	0.77	0.70—0.87

注:ICC:intra-class correlation coefficient

表2 受试者6个超声指标重测信度的相对信度及绝对信度

超声指标	测试结果		相对信度		绝对信度				
	第一次	第二次	ICC	95%置信区间	SEM	SEM%	MDC	MDC%	$\bar{d}$
平静呼吸时膈肌移动度(cm)	1.74±0.63	1.82±0.69	0.98	0.94—1.00	0.09	5.23	0.26	14.48	-0.08
深呼吸时膈肌移动度(cm)	4.46±0.95	4.80±1.13	0.86	0.72—0.95	0.39	8.40	1.08	23.28	-0.35
平静呼气时膈肌厚度(mm)	0.21±0.07	0.20±0.08	0.98	0.94—1.00	0.01	5.38	0.03	14.90	0.01
平静吸气时膈肌厚度(mm)	0.27±0.09	0.28±0.08	0.97	0.91—0.99	0.02	5.70	0.04	15.80	-0.01
最大呼气时膈肌厚度(mm)	0.19±0.06	0.20±0.06	0.94	0.81—0.98	0.02	8.17	0.04	22.64	0.01
最大吸气时膈肌厚度(mm)	0.35±0.09	0.40±0.08	0.86	0.75—0.95	0.03	8.77	0.09	24.31	-0.05

注:ICC:组内相关系数(intra-class correlation coefficient);SEM:测量标准误(standard error of measurement);SEM%:测量标准误百分比值;MDC:最小真正改变量(minimal detectable change);MDC%:最小真正改变量百分比值,为两次评估绝对误差的平均值

2.4 平均值系统性变化

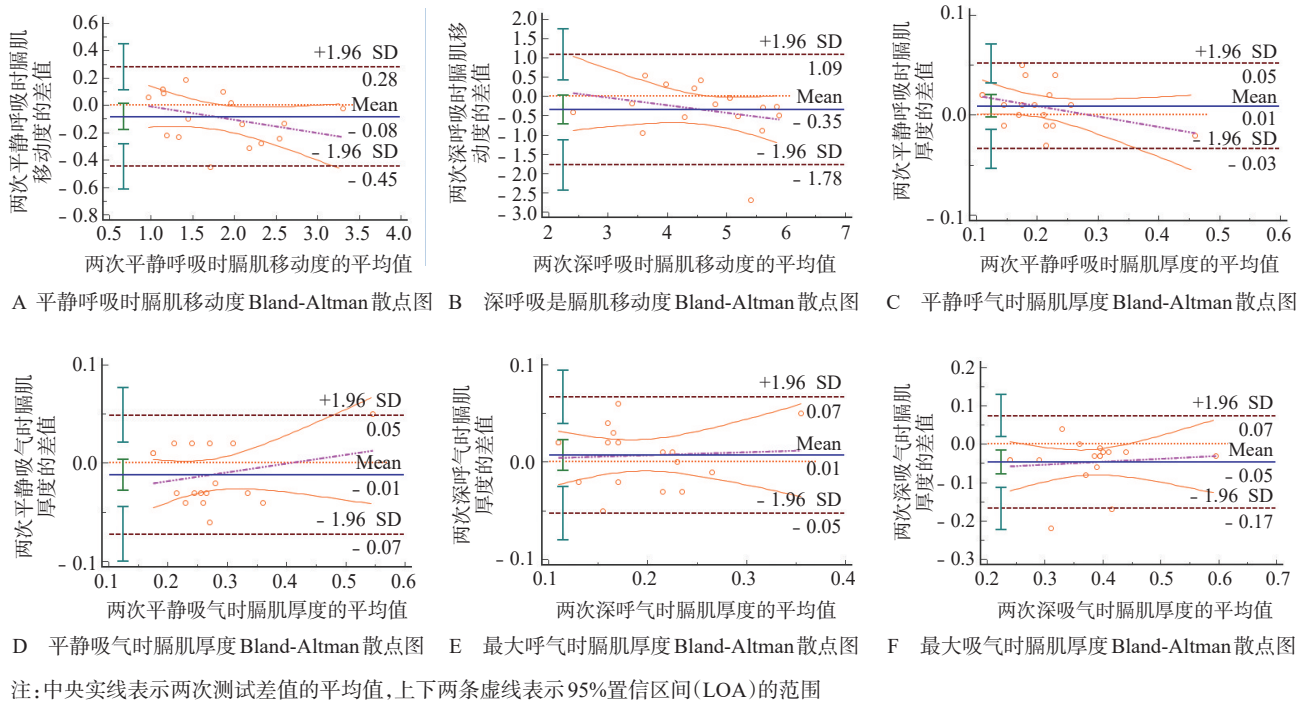
Bland-Altman 图形分析显示两次膈肌功能检测结果,平静呼吸膈肌移动度、深呼吸膈肌移动度、平静呼气膈肌厚度、平静吸气膈肌厚度、最大呼气膈肌厚度、最大吸气膈肌厚度的误差平均值和LOA值分别为-0.08cm和-0.45—0.28cm;-0.35cm和-1.78—1.09cm;0.01mm和-0.03—0.05mm;-0.01mm和-0.07—0.05mm;0.01mm和-0.05—0.07mm以及-0.05mm和-0.17—0.07mm;两次膈肌功能检测结果的平均差异值的分布均显示不存在系统误差(图3);采用配对 t 检验对平静呼吸时膈肌移动度、深呼吸时膈肌移动度、平静呼气时膈肌厚度、平静吸气时膈肌厚度、最大呼气时膈肌厚度和最大吸气时膈肌厚度的两次测量结果检验显示差异均无显著性意义($P>0.05$)。

3 讨论

随着人口老龄化状况日益加剧及医疗技术的飞

速发展,目前越来越多研究者意识到肺康复的重要性,肺康复在临床普及越来越广,治疗前后的准确评估越来越受关注。膈肌功能由两部分组成,分别为功能学和结构,功能学又包含跨膈压、最大吸气压及最大呼气压。临床上常用侵入性方法进行膈肌功能学的测量,该方法需要测试者较好的配合,且易受镇静药物影响,因此在临床应用中具有一定局限性。而采用CT、MRI等方法检测膈肌状态时,测试者需要在特定的检查室进行检测,且可能存在辐射风险,对检查者的技术水平要求也较高,因此在应用中也受到一定限制。研究表明使用超声检查膈肌安全无创,对膈肌运动可随时监测,可重复性较好,在临床中应用越来越广^[12-13]。同时,也有相关研究表明膈肌超声检测在重症肺炎患者的膈肌功能障碍检查中具有较高的准确性^[14-15],但仍需进一步进行信度检测以确保检查的准确性,本研究采用超声评估膈肌功能并进行定性和定量分析,以判断膈肌超声检查的信度。

图3 Bland-Altman 散点图检测超声评估膈肌功能两次测试结果的一致性



信度反映相同条件下进行重复测定的结果的近似程度^[16]。组内相关系数 >0.75 表示具有极好信度, $0.40—0.75$ 表示信度中等到较好, <0.40 表示信度极差^[16]。本研究测试内信度要求受试者每一次超声检测进行两次膈肌图像数据测量, 平静呼吸时膈肌移动度、深呼吸时膈肌移动度、平静呼气时膈肌厚度、平静吸气时膈肌厚度、最大呼气时膈肌厚度和最大吸气时膈肌厚度在两次测量中组内相关系数均 >0.75 , 表示测试者内部信度极好; 同时表示每次超声测量膈肌的6个指标是稳定的, 变异性不大。本研究由两位测试者对第一次评估的超声测量数据进行分析, 平静呼吸时膈肌移动度、深呼吸时膈肌移动度、平静呼气时膈肌厚度、平静吸气时膈肌厚度、最大呼气时膈肌厚度和最大吸气时膈肌厚度的 ICC 值介于 $0.77—0.84$ 测试者间信度显示良好, 证明在临床评估中, 当不同的测试者使用同样方法对膈肌超声数据进行分析时, 结果较稳定, 测试者间一致性好。

重测信度用来对重复检测结果的稳定性进行验证, 包括相对信度和绝对信度两个方面^[17—18]。本研究对受试者前后共进行两次膈肌超声评估, 膈肌数据的6个指标组内相关系数显示测量结果一致性

高, 重测信度极佳。组内相关系数虽然可以对重复测量数据之间的变异性进行检测, 但其结果对重复两次测量的误差量无法显示, 其显示的仅是一组测试数据的一致性及相关性^[19]。因此, 为使其信度检测结果更严谨, 本研究选取相对信度与绝对信度进行检测, 为临床评估提供了实用性依据。本研究中的膈肌移动度(平静呼吸时、深呼吸时)、膈肌厚度(平静呼气时、平静吸气时、最大呼气时、最大吸气时)的测量标准误分别为 $0.09, 0.39, 0.01, 0.02, 0.02, 0.03$, 最小变化量分别为 $0.26, 1.08, 0.03, 0.04, 0.04, 0.09$, 当一个受试者或一组前后两次测试值的变化量小于 MDC 值时认为是由测量误差所致的, 反之则认为是临床意义上的改变^[16]。通常认为, SEM% 小于 15% 或 MDC% 小于 30% 在可接受范围内, 本研究中 SEM% 值(分别为 $5.23\%—8.77\%$)与 MDC% 值($14.48\%—24.31\%$)均在可接受范围, 且 Bland-Altman 图形分析显示两次膈肌功能检测结果的平均差异值无系统性误差, 提示超声可作为膈肌功能检测的方法。

在膈肌超声临床应用和研究中, 目前大多数文献建议的膈肌移动度的检测程序为超声 M 模式记

录2个或3个完整的呼吸周期,截图并测量取平均值;膈肌厚度的检测程序为超声B模式记录膈肌厚度,截图并测量2处或3处直线距离取平均值^[7-8,19]。本研究结果亦显示在超声检测膈肌功能过程中进行3次超声测量膈肌数据具有较好稳定性,测量的次数太少可能导致结果误差,次数过多亦会导致受试者呼吸疲劳进而影响数据的准确性。

本研究的不足之处在于研究过程中仅检测了膈肌超声在健康受试者中的信度,且未能采用其他膈肌检测技术进行相关性研究,但类似的相关性研究已有报道^[20-22]。Dong等^[21]的研究证明,超声对膈肌功能评估的结果和传统射线检查具有相当高的一致性,可在临床上使用超声进行膈肌功能的评估。在Wallbridge等^[22]的研究中,膈肌超声的评估结果也被证明与CT及肺量计测量结果相关,可在临床评估中使用。本研究后续将对各种膈肌功能障碍的患者进行进一步的研究,分析超声在不同疾病患者膈肌评估中的准确性。

综上所述,超声检查在膈肌功能评估中具有良好的信度,其结果是精准量化和客观的,可用做膈肌功能评估和疗效评估的手段。采用标准的操作方法和操作流程能够确保膈肌超声检查的准确性和可重复性。

参考文献

- [1] Vetrugno L, Guadagnin GM, Barbariol F, et al. Ultrasound imaging for diaphragm dysfunction: a narrative literature review[J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*, 2019, 33(9): 2525—2536.
- [2] Laghi FA, Saad M, Shaikh H. Ultrasound and non-ultrasound imaging techniques in the assessment of diaphragmatic dysfunction[J]. *BMC Pulm Med*, 2021, 21(1):85.
- [3] 刘霜纯,刘亚康,熊丽芳,等. 反馈式呼吸电刺激训练对肺癌术后患者膈肌运动和肺功能的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2018, 33(6):630—635.
- [4] 姚叶林,陈康,陶金好,等. 超声引导下对撤机失败儿童进行膈肌手法干预的疗效观察[J]. *中国康复医学杂志*, 2020, 35(7):813—819.
- [5] 徐晓婷,刘玲. 床边超声对机械通气患者膈肌功能评估的研究进展[J/OL]. *中华重症医学电子杂志*, 2018, 4(2):190—194.
- [6] 肖灵君,廖美新,黄粉燕,等. 便携式肺功能测试仪在健康成人肺功能检查中的信度研究[J]. *中国康复*, 2020, 35(2): 99—103.
- [7] 陈进敏,陆远强. 危重症患者膈肌功能障碍的超声评估研究[J]. *中华危重症医学杂志(电子版)*, 2020, 13(6):466—470.
- [8] Sferrazza Papa GF, Pellegrino GM, Di Marco F, et al. A review of the ultrasound assessment of diaphragmatic function in clinical practice[J]. *Respiration*, 2016, 91(5):403—411.
- [9] Cardenas LZ, Santana PV, Caruso P, et al. Diaphragmatic ultrasound correlates with inspiratory muscle strength and pulmonary function in healthy subjects[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2018, 44(4):786—793.
- [10] Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM[J]. *J Strength Cond Res*, 2005, 19(1):231—240.
- [11] Gerke O. Reporting standards for a Bland-Altman agreement analysis: A review of methodological reviews[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2020, 10(5):334.
- [12] 马瑛,叶熊,胡利华,等. 超声测量膈肌运动诊断慢性阻塞性肺疾病[J]. *中国医学影像技术*, 2018, 34(1):64—67.
- [13] 王飞飞,朱晓萍,马少林. 超声评估膈肌结构和功能[J]. *中华危重病急救医学*, 2017, 29(3):276—280.
- [14] Gürün Kaya A, Verdi EB, Süslü SN, et al. Can diaphragm excursion predict prognosis in patients with severe pneumonia[J]? *Tuberk Toraks*, 2021, 69(4):510—519.
- [15] Gorbunkov SD, Varlamov VV, Gichkin AY, et al. Ultrasonic assessment of diaphragm condition of the patients, who passed the selection for lung volume reduction surgery. *Vestn Khir Im I I Grek*, 2015, 174(5):13—17.
- [16] Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research[J]. *J Chiropr Med*, 2016, 15(2):155—163.
- [17] Cunningham CN, Jenkins LC, Chang WJ, et al. Relative and absolute reliability of somatosensory evoked potentials in response to non-noxious electrical stimulation of the paraspinal muscles in healthy participants at an interval of 3-months[J]. *Int J Neurosci*, 2023, 133(1):103—109.
- [18] Nazarova M, Novikov P, Ivanina E, et al. Mapping of multiple muscles with transcranial magnetic stimulation: absolute and relative test-retest reliability[J]. *Hum Brain Mapp*, 2021, 42(8):2508—2528.
- [19] 肖灵君,薛晶晶,燕铁斌,等. 表面肌电图在吞咽功能评估中的信度研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2014, 29(12):1155—1158.
- [20] 沈惠英,朱新秀,陈琪,等. 不同检查方法评估COPD患者膈肌运动状态的比较[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2019, 30(10):698—702.
- [21] Noh DK, Lee JJ, You JH. Diaphragm breathing movement measurement using ultrasound and radiographic imaging: a concurrent validity[J]. *Bio-medical materials and engineering*, 2014, 24(1):947—952.
- [22] Wallbridge P, Parry SM, Das S, et al. Parasternal intercostal muscle ultrasound in chronic obstructive pulmonary disease correlates with spirometric severity[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1):15274.