

膈肌超声评价缺血性脑卒中合并单侧肢体肌力减弱患者膈肌收缩功能的研究

刘奕, 潘红然, 刘元琳, 赵浩天, 李丽*

(河北省人民医院超声科, 河北石家庄 050051)

【摘要】目的 探究缺血性脑卒中(cerebral ischemic stroke, CIS)合并单侧肢体肌力减弱患者膈肌功能。**方法** 选择2023年3月—2025年3月河北省人民医院收治的左侧脑血管病灶的CIS患者50例,根据对双侧肢体Brunnstrom运动分期量表评估,将患者分为CIS肌力减弱亚组(33例)和CIS肌力正常亚组(17例),另选取健康体检者20例作为对照组。使用超声分别于平静呼吸和深吸气时测量膈肌移动度(diaphragm displacement, DD、DD max),以及呼气末期、平静吸气末期和深吸气末期时刻膈肌厚度(end-expiratory of diaphragm thickness, DTee, end-inspiratory of diaphragm thickness, DTei、DTei max),并分别计算膈肌增厚率(diaphragm thickening fraction, DTF、DTF max),膈肌收缩储备功能公式:DD储备值=DD max-DD、DT储备值=DTei max-DTee、DTF储备值=DTF max-DTF。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线及曲线下面积(area under the curve, AUC)评价诊断效能。**结果** 平静呼吸对比,CIS肌力减弱亚组DD低于CIS肌力正常亚组,且DD、DTei、DTF均低于对照组($P<0.05$);CIS肌力正常亚组DTei、DTF均低于对照组($P<0.05$)。深吸气对比,CIS肌力减弱亚组DD max、DTei max、DTF max、DD储备值、DTF储备值均低于CIS肌力正常亚组,且低于对照组($P<0.05$);CIS肌力正常亚组DTei max、DTF max均低于对照组($P<0.05$)。ROC曲线显示:DTF max、DTF储备值的AUC值均 >0.9 ,敏感度分别为76.47%、82.35%,特异度分别为100.00%、96.97%;DD、DD max、DTei max、DD储备值的AUC值介于0.7~0.9之间;DTee、DTei、DTF的AUC值 <0.7 。**结论** 超声对CIS合并肌力减弱患者的膈肌功能有较好的评估价值,采用深吸气模式重点评估膈肌储备收缩功能意义更大。

【关键词】 缺血性卒中;膈肌移动度;膈肌增厚率;储备功能 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2026.03.002

【中图分类号】 R743.3 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1007-3205(2026)03-0255-06

Assessment of diaphragmatic contractile function using ultrasonography in patients with ischemic stroke and unilateral limb weakness

LIU Yi, PAN Hong-ran, LIU Yuan-lin, ZHAO Hao-tian, LI Li*

(Department of Ultrasound, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050051, China)

【Abstract】 Objective To investigate the diaphragmatic function in patients with cerebral ischemic stroke (CIS) complicated by unilateral limb weakness. **Methods** A total of 50 CIS patients with left-sided cerebrovascular lesions treated in Hebei General Hospital from March 2023 to March 2025 were selected. Based on the assessment of bilateral limbs using the Brunnstrom stages of motor recovery, the patients were subdivided into two subgroups, CIS with weakened muscle strength subgroup ($n=33$) and CIS with normal muscle strength subgroup ($n=17$), and 20 healthy physical examinees were selected as the control group. Ultrasound was used to measure diaphragm displacement during quiet breathing (DD) and deep breathing (DD max), as well as diaphragm thickness at end-expiration (DTee), end-inspiration during quiet breathing (DTei), and end-inspiration during deep breathing (DTei max). The diaphragm thickening fraction during quiet breathing (DTF) and deep breathing (DTF max) were calculated accordingly. The diaphragmatic contractile reserve was assessed using the following formulas:

[收稿日期] 2026-01-26

[基金项目] 河北省医学科学研究计划项目(20250309)

[作者简介] 刘奕(1990-),女,河北石家庄人,河北省人民医院主治医师,医学硕士,从事膈肌超声、肺超声及急危重症超声诊断研究。

*通信作者。E-mail: shrmgnk@126.com

DD reserve=DD max-DD, DTei reserve=DTei max-DTei, DTF reserve value=DTF max-DTF. The diagnostic efficacy was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curve and the area under ROC curve (AUC). **Results** For quiet breathing, the DD in CIS with weakened muscle strength subgroup was lower than that in the CIS with normal muscle strength subgroup, and the DD, DTei and DTF were lower than those in the control group ($P<0.05$). The DTei and DTF of the CIS with normal muscle strength subgroup were lower than those in the control group ($P<0.05$). For deep breathing, the DD max, DTei max, DTF max, DD reserve and DTF reserve in the CIS with weakened muscle strength subgroup were lower than those in the CIS with normal muscle strength subgroup and those in the control group ($P<0.05$); the DTei max and DTF max in the CIS with normal muscle strength subgroup were lower than those in the control group ($P<0.05$). The ROC curve showed that the AUC values of DTF max and DTF reserve were >0.9 , the sensitivity were 76.47% and 82.35% respectively, and the specificity were 100.00% and 96.97%, respectively. The AUC values of DD, DD max, DTei max, and DD were between 0.7–0.9, and the AUC values of DTei, DTei, and DTF were <0.7 . **Conclusion** Ultrasound is valuable for assessing diaphragmatic function in CIS patients with weakened muscle strength, and the use of deep breathing to focus on diaphragmatic reserve contractile function is of greater significance.

[Key words] ischemic stroke; diaphragm displacement; diaphragm thickening fraction; reserve function

急性缺血性脑卒中 (cerebral ischemic stroke, CIS) 是最常见的脑卒中类型, 占脑卒中的 69.6%~70.8%^[1-3]。CIS 的 1 年病死率为 14.4%~15.4%, 致残率为 33.4~33.8%^[4]。CIS 是一个或多个供血动脉发生狭窄或闭塞后导致不同程度脑供血不足, 进而引起一侧或双侧肢体骨骼肌麻木、肌力下降甚至瘫痪为主要临床特征^[5]。CIS 患者可合并不同程度的呼吸功能不全^[6], 除了肺部疾病外, 膈肌功能障碍是 CIS 患者呼吸功能障碍的另一个潜在的原因^[7], 其机制包括呼吸中枢损伤、膈神经传导相关机制、患侧胸壁肌张力痉挛和顺应性下降等因素导致^[8]。超声技术通过无创性、实时性、可视化和可重复性操作等优势, 被越来越多的临床专业用于评估膈肌功能^[6-7, 9]。目前膈肌超声指标多采取平静呼吸测量指标, 而在实际临床工作中, CIS 患者膈肌功能发生损伤后, 可能通过潜在的吸气努力等因素导致测量指标出现假性正常化, 导致临床早期呼吸肌功能不全被掩盖^[10]。采用深吸气动作评估膈肌储备收缩功能, 可能对患者膈肌力量评价更为深入。因此, 本研究使用超声评估 CIS 患者膈肌储备收缩功能, 以期临床评估提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2023 年 3 月—2025 年 3 月于河北省人民医院神经内科或康复科住院治疗的 CIS 患者 50 例, 男性 29 例, 女性 21 例, 年龄 32~84 岁, 平均 (59.82±11.99) 岁。选取性别、年龄相匹配的健康体检者 20 名作为对照组, 男性 7 名, 女性 13 名, 年龄 33~74 岁, 平均 (58.85±

11.03) 岁。2 组性别、年龄比较差异无统计学意义 ($P>0.05$), 具有可比性。纳入标准: ①符合《中国各类主要脑血管病诊断要点 2019》中 CIS 诊断标准^[11]; ②存在典型脑血管病史, 经 CT 或 MRI 诊断符合典型 CIS 表现, 病灶为左侧脑血管; ③年龄 ≥ 18 岁。排除标准: ①昏迷、严重认知功能障碍导致无法配合呼吸试验者; ②合并胸腔积液、急性肺水肿、严重的慢性肺部病变等; ③肺部、纵隔或腹部手术史或肿瘤等; ④右侧或双侧脑血管存在病变; ⑤左侧或双侧肢体存在肌力减弱; ⑥3 个月内接受压力控制模式机械通气治疗; ⑦既往膈肌或膈神经损伤病史。本研究超声操作者为 1 名 5 年以上超声经验的主治医师, 图像解读者为操作者及另 1 名 20 年超声经验的主任医师共同完成。超声医师对患者病情不知情。根据 Brunnstrom 运动恢复分期量表对患者双侧肢体评级^[12], 将双侧肢体肌力均 VI 级者纳入 CIS 合并肢体肌力正常组 (CIS 肌力正常亚组, 17 例); 右侧肢体肌力 I~IV 级且左侧肢体肌力为 VI 级者纳入 CIS 合并右侧肢体肌力减弱组 (CIS 肌力减弱亚组, 33 例)。

本研究经医院科研伦理委员会批准 (批准文号: 2025 第 219 号), 超声操作均为常规检查项目范围, 研究对象或家属知情同意。

1.2 仪器与方法 ①膈肌移动度 (diaphragm displacement, DD): 使用 Philips EPIQ7 或 CX50 彩色多普勒超声仪, 1~5 MHz 相控阵探头, 各超声指标均测量 3 次取平均值。患者取平卧位, 于右侧锁骨中线与腋前线之间区域和肋弓边缘交界区获取膈肌声像图。于患者平静呼吸时, 使用 M 模

式测量DD。嘱患者深吸气,测量DD最大值(DD max)(图1A、图1B)。②膈肌厚度(diaphragm thickness, DT):使用3~12 MHz线阵探头,获取右侧腋前线与腋中线位置肝脏表明膈肌声像图,切换M模式,分别测量呼气末期膈肌厚度(end-expiratory of DT, DTee)和平静吸气末期(end-inspiratory of DT, DTei),并计算膈肌增厚分数(diaphragm thickening fraction,

DTF),公式: $DTF = (DTei - DTee) / DTee$ 。嘱患者做最大深吸气动作,测量膈肌最大吸气末厚度(DTei max),并计算膈肌最大增厚分数(DTF max),公式: $DTF \max = (DTei \max - DTee) / DTee$ (图1C、图1D)。③膈肌收缩储备功能的公式:DD储备值=DD max-DD; DTF储备值=DTF max-DTF。

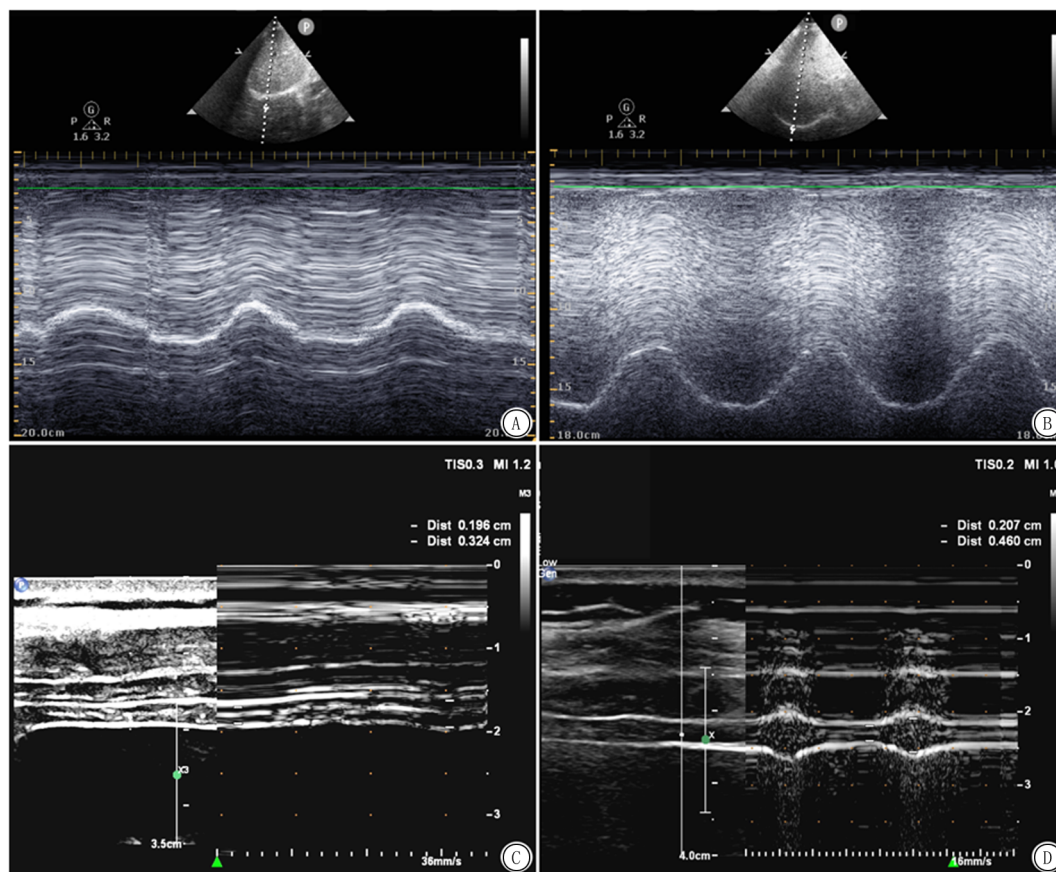


图1 膈肌超声指标测量

A. CIS肌力减弱亚组患者,DD max为31.8 mm,计算DD储备值为19.2 mm;B. CIS肌力正常亚组患者,DD max为51.1 mm,计算DD储备值为39.3 mm;C. CIS肌力减弱亚组患者,M模式测量DTee为1.96 mm,DTei max为3.24 mm,计算DTF max为65.31%;D. 健康对照组,DTee为2.07 mm,DTei max为4.60 mm,DTF max为122.22%

Figure 1 Measurement of diaphragmatic ultrasound parameters

1.3 统计学方法 应用SPSS 21.0统计软件分析数据。符合正态分布的计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,比较采用独立样本 t 检验、单因素方差分析、LSD- t 检验,计数资料以例数(%)表示,比较采用 χ^2 检验;诊断价值采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线及曲线下面积(area under the curve, AUC)。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 3组一般资料比较 CIS肌力减弱亚组呼吸频

率高于CIS肌力正常亚组和对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$),CIS肌力正常亚组和对照组之间呼吸频率差异无统计学意义($P > 0.05$);3组性别、年龄、体重指数差异无统计学意义($P > 0.05$),见表1。

2.2 2组膈肌超声指标比较 平静呼吸时对比,CIS肌力减弱亚组DD低于CIS肌力正常亚组,且DD、DDTei、DTF均低于对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$);CIS肌力正常亚组DDTei、DTF均低于对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$);余膈肌超声指标差异无统计学意义($P >$

表1 3组一般资料比较
Table1 Comparison of baseline data among the three groups

组别	例数	性别(例数,%)		年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	体重指数 ($\bar{x} \pm s$)	呼吸频率 ($\bar{x} \pm s$, 次/min)
		男性	女性			
CIS肌力减弱亚组	33	21(63.6)	12(36.4)	61.45 $\pm$ 10.69	26.28 $\pm$ 3.75	18.70 $\pm$ 2.08 ^{*‡}
CIS肌力正常亚组	17	8(47.1)	9(52.9)	56.65 $\pm$ 14.01	26.22 $\pm$ 3.28	17.00 $\pm$ 2.78 [*]
对照组	20	7(35.0)	13(65.0)	58.85 $\pm$ 11.03	25.38 $\pm$ 3.56	16.75 $\pm$ 2.10
χ^2/F 值		4.260		1.003	0.430	5.712
P 值		0.119		0.372	0.652	0.005

* P 值 <0.05 与对照组比较 ‡ P 值 <0.05 与CIS肌力正常亚组比较(LSD- t 检验)

0.05)。见表2。

深吸气时对比, CIS肌力减弱亚组DD max、DTei max、DTF max、DD储备值、DTF储备值均低于CIS肌力正常亚组, 且低于对照组, 差异有

统计学意义($P<0.05$); CIS肌力正常亚组DTei max、DTF max均低于对照组, 差异有统计学意义($P<0.05$); 余膈肌超声指标差异无统计学意义($P>0.05$), 见表3。

表2 2组平静呼吸期间超声指标比较
Table2 Comparison of ultrasound parameters during quiet breathing among the three groups

组别	例数	DD(mm)	DTei(mm)	DTei(mm)	DTF(%)
CIS肌力减弱亚组	33	12.62 $\pm$ 3.24 ^{*‡}	1.69 $\pm$ 0.35	1.97 $\pm$ 0.42 [*]	16.70 $\pm$ 7.69 [*]
CIS肌力正常亚组	17	15.35 $\pm$ 3.25	1.66 $\pm$ 0.25	2.00 $\pm$ 0.33 [*]	20.42 $\pm$ 5.97 [*]
对照组	20	14.98 $\pm$ 3.58	1.77 $\pm$ 0.22	2.27 $\pm$ 0.36	28.28 $\pm$ 9.66
F 值		5.042	0.732	4.222	13.262
P 值		0.009	0.485	0.019	<0.001

* P 值 <0.05 与对照组比较 ‡ P 值 <0.05 与CIS肌力正常亚组比较(LSD- t 检验)

表3 2组深吸气期间超声指标比较
Table3 Comparison of ultrasound parameters during deep breathing among the three groups

组别	例数	DD max(mm)	DTei max(mm)	DTF max(%)	DD储备值(mm)	DTF储备值(%)
CIS肌力减弱亚组	33	38.81 $\pm$ 12.51 ^{*‡}	2.41 $\pm$ 0.51 ^{*‡}	43.62 $\pm$ 19.05 ^{*‡}	26.19 $\pm$ 12.28 ^{*‡}	26.92 $\pm$ 14.08 ^{*‡}
CIS肌力正常亚组	17	54.92 $\pm$ 13.70	3.10 $\pm$ 0.63 [*]	86.99 $\pm$ 25.08 [*]	39.58 $\pm$ 13.91	66.57 $\pm$ 26.37
对照组	20	53.93 $\pm$ 11.82	3.62 $\pm$ 0.55	106.71 $\pm$ 32.67	38.95 $\pm$ 10.67	78.43 $\pm$ 34.97
F 值		13.317	31.397	43.521	9.878	31.519
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

* P 值 <0.05 与对照组比较 ‡ P 值 <0.05 与CIS肌力正常亚组比较(LSD- t 检验)

2.3 ROC曲线分析 DTF max、DTF储备值的AUC值均 >0.900 , 敏感度分别为76.47%、82.35%, 特异度分别为100.00%、96.97%; DD、DD max、DTei max、DD储备值的AUC值介于0.700~0.900之间, 敏感度分别为52.94%、94.12%、70.59%、70.59%, 特异度分别为81.82%、60.61%、84.85%、75.76%; DTee、DTei、DTF的AUC值 <0.700 , 见表4、图2。

3 讨论

CIS多数由一个或多个供血动脉发生狭窄、闭塞等原因导致不同程度的脑供血不足^[5, 10]。CIS

最常见的合并症是单侧或双侧肢体偏瘫, 轻者可无症状或肢体发麻、运动或抗阻力能力减弱, 重者可致肢体无法活动并卧床^[13]。除导致四肢骨骼肌运动障碍外, CIS对呼吸中枢的影响可导致膈肌功能障碍, 发生率约51.7%^[14]。膈肌承担吸气肌主要的做功, 其结构萎缩或功能障碍均可导致呼吸困难发生^[10], 严重者需机械通气维持呼吸功能, 可加重膈肌萎缩, 预后不良^[8]。膈肌超声监测并指导治疗是目前热点研究方向^[15]。Liu等^[16]研究显示卒中患者肢体偏瘫侧的膈肌厚度明显低于肢体非受累侧, 表明肢体衰弱和膈肌衰弱可能是同一侧。因此本研究纳入CIS合并右侧肢体衰弱或偏

表4 各超声指标 ROC 分析

Table 4 ROC curves of various ultrasound parameters

指标	截断值	敏感度(%)	特异度(%)	P值	AUC	95%CI
DD(mm)	15.20	52.94	81.82	0.017	0.708	0.555~0.861
DTee(mm)	1.61	70.59	51.52	0.814	0.520	0.345~0.696
DTei(mm)	1.88	70.59	60.61	0.430	0.569	0.397~0.740
DTF(%)	16.72	88.24	63.64	0.042	0.677	0.526~0.828
DD max(mm)	41.05	94.12	60.61	<0.001	0.811	0.695~0.927
DTei max(mm)	2.99	70.59	84.85	<0.001	0.808	0.670~0.947
DTF max(%)	76.32	76.47	100.00	<0.001	0.923	0.826~1.000
DD 储备值(mm)	31.30	70.59	75.76	0.002	0.768	0.634~0.902
DTF 储备值(%)	51.94	82.35	96.97	<0.001	0.913	0.800~1.000

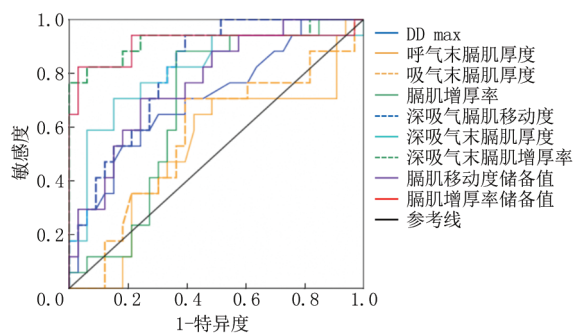


图2 ROC 曲线分析

Figure 2 ROC curves analysis

瘫的患者,另一方面,右侧膈肌超声图像的获取和测量更稳定。

DD反映膈肌运动周期内向腹腔的位移^[17],与呼吸周期内肺组织吸入和排出的潮气量相关。本研究显示,CIS肌力减弱亚组的DD低于CIS肌力正常亚组及对照组($P<0.05$),两亚组间相比,AUC值仅0.708,考虑到CIS肌力减弱组患者在发生膈肌功能障碍后,可能存在潜在的膈肌主动用力及触发浅快呼吸模式,其DD值因混杂了膈肌潜在发力因素,导致测量值高于实际值,因此降低了诊断效能且容易忽视膈肌功能障碍的识别率。本研究设计采用深吸气方式,深度评价膈肌储备收缩功能。研究结果显示,CIS肌力减弱亚组的DD max和DD储备值显著低于CIS肌力正常亚组及对照组,而后二者差异无统计学意义($P>0.05$),与安林林等^[18]研究结果相近。两亚组相比AUC值分别为0.811、0.768,表明CIS肌力减弱患者已出现潜在膈肌收缩功能障碍,且在深吸气时评估其膈肌最大收缩力度及收缩储备功能可显示出深层问题,对评价其膈肌功能的价值更优。

膈肌的厚度和增厚率反映膈肌肌纤维的力量和收缩性能^[19]。多种疾病可影响膈肌功能,如炎症急性期蛋白过度分解、长期机械通气、神经一

肌疾病等多种因素均可导致膈肌结构病变或萎缩,收缩功能下降^[20-23]。本研究显示,平静呼吸时,3组DTee比较差异无统计学意义($P>0.05$),表明CIS短期内并未降低膈肌基线水平的厚度,但在平静吸气时,CIS两亚组之间DTei、DTF比较差异无统计学意义($P>0.05$),但均低于对照组($P<0.05$),与尹爱梅等^[24]研究结果相近。表明平静呼吸时收缩性能已发生减弱,但两亚组间AUC值均低于0.7,诊断效能不高。采用深吸气方式后,CIS肌力减弱亚组的DTei、DTF max、DTF储备值均显著低于对照组($P<0.05$),CIS肌力正常亚组DTei、DTF max低于对照组($P<0.05$),其DTF储备值的均值水平低于对照组,但比较差异无统计学意义($P>0.05$)。两亚组间相比,CIS肌力减弱亚组DTei max、DTF max、DTF储备值均显著低于CIS肌力正常亚组($P<0.05$),且AUC值分别为0.808、0.923、0.913,诊断效能高,表明深吸气时评估膈肌收缩性能的价值较平静呼吸时更高。DD储备值和DTF储备值反映了膈肌收缩储备力量,深度挖掘膈肌潜在功能下降,预警膈肌功能障碍和。Chen等^[25]研究显示,卒中患者的肺和膈肌功能均下降。其中,DTei max、DTF max和DD max均低于健康对照组。然而,2组呼气末期膈肌的基线厚度比较差异无统计学意义,本研究结果与其一致。

本研究存在一定局限性:研究纳入样本量偏少;由于左侧膈肌超声受胃肠气体干扰,清晰图像获取困难,且右侧膈肌较左侧承担更多吸气做功,因此,仅研究左侧脑血管病灶的CIS合并右侧肢体偏瘫患者的右侧膈肌功能,确保研究一致性。因此,本研究对于左侧或双侧偏瘫患者的膈肌评估不具有参考价值。未来应开展大样本研究,对不同位置脑血管病变的CIS患者的双侧膈肌进行评

估,对不同情况开展横断面研究。

综上所述,CIS合并单侧肢体肌力减弱患者较无肢体肌力减弱患者具有更低的膈肌收缩功能,考虑CIS在影响对侧肢体骨骼肌力量的同时也降低了对侧呼吸肌力量。膈肌超声对膈肌功能具有较高的评估价值,尤其采用深吸气模式重点评估膈肌储备收缩功能意义更大。该技术具有广阔的临床应用前景,未来应开展进一步大样本、多中心深入研究。

[参考文献]

- [1] Mousa A, Klompmaker P, Tuinman PR. Setting positive end-expiratory pressure: Lung and diaphragm ultrasound[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2024, 30(1): 53-60.
- [2] Wang W, Jiang B, Sun H, et al. Prevalence, incidence, and mortality of stroke in China: Results from a nationwide population-based survey of 480 687 adults[J]. *Circulation*, 2017, 135(8): 759-771.
- [3] Wang D, Liu J, Liu M, et al. Patterns of stroke between university hospitals and nonuniversity hospitals in mainland China: Prospective multicenter hospital-based registry study[J]. *World Neurosurg*, 2017, 98: 258-265.
- [4] Wang Z, Li J, Wang C, et al. Gender differences in 1-year clinical characteristics and outcomes after stroke: Results from the China National Stroke Registry[J]. *PLoS One*, 2013, 8(2): e56459.
- [5] 崔雪岩, 张金华, 周小琰, 等. 老年脑梗死患者康复护理方案的构建及应用[J]. *中华护理杂志*, 2023, 58(3): 268-275.
- [6] Rochester CL, Mohsenin V. Respiratory complications of stroke[J]. *Semin Respir Crit Care Med*, 2002, 23(3): 248-260.
- [7] Jandt SR, Caballero RM, Junior LA, et al. Correlation between trunk control, respiratory muscle strength and spirometry in patients with stroke: An observational study[J]. *Physiother Res Int*, 2011, 16(4): 218-224.
- [8] 刘西花, 杨玉如, 张伟, 等. 脑卒中患者呼吸肌功能障碍及影响因素分析[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2021, 43(8): 686-689.
- [9] Song Z, Sun Y, Nazari V, et al. Multi-view ultrasound for diaphragm monitoring and cough strength estimation[J]. *Commun Med(Lond)*, 2025, 5(1): 464.
- [10] Li M, Huang Y, Chen H, et al. Relationship between motor dysfunction, the respiratory muscles and pulmonary function in stroke patients with hemiplegia: A retrospective study[J]. *BMC Geriatr*, 2024, 24(1): 59.
- [11] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国各类主要脑血管病诊断要点2019[J]. *中华神经科杂志*, 2019, 52(9): 710-715.
- [12] Mansour O, Sarwat H, Ullah Z, et al. Stage-specific EMG feature optimization for enhanced post-stroke hand gesture recognition[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2025, 23(1): 13.
- [13] 彭斌, 吴波. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南2018[J]. *中华神经科杂志*, 2018, 51(9): 666-682.
- [14] Catalá -Ripoll JV, Monsalve-Naharro JÁ, Hernández-Fernández F. Incidence and predictive factors of diaphragmatic dysfunction in acute stroke[J]. *BMC Neurol*, 2020, 20(1): 79.
- [15] 李丹, 罗姣, 邹余婷, 等. 康复训练联合高压氧治疗急性缺血性脑卒中患者Lovett肌力分级及神经功能损伤的影响[J]. *实用医院临床杂志*, 2020, 17(4): 98-101.
- [16] Liu F, Jones AYM, Tsang RCC, et al. Diaphragm and sternocleidomastoid muscle activity with increasing inspiratory pressure loads in people after stroke[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 5856.
- [17] 王舰尧, 高占成, 王雪, 等. 超声评估慢性阻塞性肺疾病患者膈肌功能与肺功能关联性研究[J]. *中国超声医学杂志*, 2020, 36(12): 1078-1080.
- [18] 安林林, 杨晓, 王修敏. 脑卒中偏瘫患者膈肌功能变化分析[J]. *安徽医学*, 2023, 44(8): 947-951.
- [19] 王晓娜, 赵浩天, 刘元琳, 等. 胸膜肺超声及膈肌功能监测对间质性肺疾病的应用价值[J]. *中国超声医学杂志*, 2023, 39(9): 991-994.
- [20] Portacci A, Iorillo I, Quaranta VN, et al. Diaphragm function in patients with asthma and healthy controls: A cross-sectional study[J]. *Respir Med*, 2025, 239: 108008.
- [21] Poddighe D, Van Hollebeke M, Choudhary YQ, et al. Accuracy of respiratory muscle assessments to predict weaning outcomes: A systematic review and comparative meta-analysis[J]. *Crit Care*, 2024, 28(1): 70.
- [22] Özgül B, Sarı Z, Demirbüken İ, et al. Diaphragm thickness and physical performance in regular smokers and non-smokers: A pilot study[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2025, 45(2): e70003.
- [23] Liu F, Jones AYM, Tsang RCC, et al. Effects of inspiratory muscle training on pulmonary function, diaphragmatic thickness, balance and exercise capacity in people after stroke: A systematic review and meta-analysis[J]. *Disabil Rehabil*, 2025, 47(12): 2981-2996.
- [24] 尹爱梅, 陆晓. 脑卒中患者膈肌功能及肺功能变化的临床研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2023, 38(10): 1366-1371.
- [25] Chen Y, Zhou S, Liao L, et al. Diaphragmatic ultrasound can help evaluate pulmonary dysfunction in patients with stroke[J]. *Front Neurol*, 2023, 14: 1061003.

(本文编辑:何祯)