

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.02.009

膈肌超声指标对 ICU-AW 早期诊断价值的临床验证

王若熹, 韩利红

(洛阳市中心医院 呼吸重症监护室, 河南洛阳 471000)

【摘要】目的 探讨膈肌超声指标对重症监护病房获得性衰弱(intensive care unit-acquired weakness, ICU-AW)早期诊断价值的临床验证。**方法** 选取2023年1月至2025年1月洛阳市中心医院收治的100例ICU-AW患者纳入研究组,另选取同院同期100例健康体检者纳入对照组,所有受试者均进行超声膈肌评估,对比超声膈肌相关参数差异,并分析其对ICU-AW的临床诊断效果。**结果** 研究组呼气末膈肌厚度(diaphragm thickness at end expiration, DTee)、吸气末膈肌厚度(diaphragm thickness at end inspiration, DTei)、膈肌增厚率(diaphragm thickening fraction, DTF)水平均显著低于对照组(均 $P < 0.05$)。多因素 Logistic 回归分析显示,DTee、DTei 及 DTF 均是 ICU-AW 的保护因素(均 $P < 0.05$);受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线显示,DTee、DTei 及 DTF 诊断 ICU-AW 的曲线下面积(area under the curve, AUC)分别为0.969、0.902及0.902,具有较好的诊断效能。**结论** 膈肌超声参数DTee、DTei及DTF在ICU-AW的早期诊断中具有较高的临床价值,可作为敏感的生物学指标用于疾病早期识别。

【关键词】 膈肌超声;重症监护病房获得性衰弱;诊断价值**【中图分类号】** R459.7**【文献标志码】** A

文章编号: 1674-1242 (2026) 02-0040-05

Clinical validation of diaphragmatic ultrasound indicators for early diagnosis of intensive care unit-acquired weakness

WANG Ruoxi, HAN Lihong

(Respiratory Intensive Care Unit, Luoyang Central Hospital, Luoyang 471000, Henan, China)

【Abstract】Objective To investigate the clinical validation of diaphragmatic ultrasound indicators for early diagnosis of intensive care unit-acquired weakness (ICU-AW). **Methods** A total of 100 ICU-AW patients admitted to Luoyang Central Hospital from January 2023 to January 2025 were selected as the study group, and another 100 healthy individuals undergoing physical examinations during the same period were selected as the control group. All subjects underwent ultrasonographic diaphragmatic assessment. Differences in ultrasound-derived diaphragmatic parameters were compared between the two groups, and their clinical diagnostic efficacy for ICU-AW was analyzed. **Results** The levels of diaphragm thickness at end expiration (DTee), diaphragm thickness at end inspiration (DTei) and diaphragm thickness at end inspiration (DTei) in the study group were lower than those in the control group (all $P < 0.05$). Multivariate Logistic regression analysis showed that DTee, DTei, and DTF were protective factors for ICU-AW (all $P < 0.05$). The receiver operator characteristic (ROC) curve results showed that the area under the curve (AUC) of DTee, DTei, and DTF for diagnosing ICU-AW were 0.969, 0.902, and 0.902, respectively, indicating good diagnostic efficacy. **Conclusion** Diaphragmatic ultrasound parameters DTee, DTei, and DTF have high clinical value in the early diagnosis of ICU-AW and can serve as sensitive biological indicators for early identification of the disease.

【Key words】 Diaphragmatic ultrasound; Intensive care unit-acquired weakness; Diagnostic value

重症监护病房获得性衰弱(intensive care unit-acquired weakness, ICU-AW)是危重症患者常见且严重的并发症之一^[1],主要表现为全身肌无力,可显著降低脱机成功率,延长住院时间,并增加远期病死

率^[2]。目前,ICU-AW的诊断主要依赖临床肌力评估,但常因患者意识障碍、镇静或配合困难等导致诊断延迟或受限,早期识别与干预不足。因此,寻找客观、无创、可床旁操作的早期生物学指标成为改善

收稿日期: 2025-08-08。

基金项目: 河南省医学科技攻关计划联合共建项目(LHGJ20220948)。

作者简介: 王若熹, 主治医师, 研究方向: 重症监护病房获得性衰弱的早期诊断。E-mail: w17637921916@163.com。

ICU-AW 管理的关键。膈肌属于呼吸核心肌群,对全身性炎症^[3]、代谢紊乱^[4]等致病因素高度敏感,被视为反映危重症患者早期神经肌肉功能的窗口。近年来,膈肌超声凭借简便、实时、可重复等优势,已广泛应用于评估膈肌结构与功能,其中膈肌厚度、增厚分数、活动度等指标在预测脱机结局中的价值已获验证^[5-6]。然而,这些指标能否更早识别 ICU-AW 的发生风险,目前尚缺乏高质量临床证据。本研究旨在通过前瞻性临床观察,验证膈肌超声动态指标对 ICU-AW 的早期诊断价值,为建立 ICU-AW 早期预警提供实证依据。本研究创新点在于:聚焦膈肌超声动态指标[呼气末膈肌厚度(diaphragm thickness at end expiration, DTee)、吸气末膈肌厚度(diaphragm thickness at end inspiration, DTei)、膈肌增厚率(diaphragm thickening fraction, DTF)]的临床应用,突破传统诊断依赖主观配合的局限,验证其对 ICU-AW 的早期诊断效能,弥补当前膈肌超声指标用于 ICU-AW 早期预警的研究空白。

1 资料及方法

1.1 研究对象

选取2023年1月至2025年1月洛阳市中心医院呼吸重症监护病房(respiratory intensive care unit, RICU)收治的100例ICU-AW患者纳入研究组,并选取同院同期健康体检且符合条件的100例志愿者纳入对照组,所有受试者均进行超声膈肌评估。研究组:男62例,女38例;年龄22~72岁,平均(56.42±3.85)岁。对照组:男65例,女35例;年龄20~75岁,平均(57.19±3.96)岁。两组患者一般资料比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。研究组纳入标准:①符合ICU-AW诊断标准^[7],即入住ICU后出现全身性肌无力,经英国医学研究委员会(Medical Research Council, MRC)肌力评分 ≤ 48 分,且排除其他神经肌肉疾病所致肌无力;②年龄18~80岁;③入住ICU时间 ≥ 48 h;④意识清楚或经镇静评估可配合检查。排除标准:①合并严重神经肌肉疾病,如肌萎缩侧索硬化、重症肌无力等;②胸廓畸形或膈肌手术史;③超声检查部位皮肤破损或感染;④严重肝肾功能衰竭、恶性肿瘤终末期患者。对照组志愿者无基础神经肌肉疾病、心肺疾病及近期感染史。本研究经洛阳市中心医院伦理委员会审批(批件号:LWLL-2024-09-05-03)。样本量计算:基于预实验结果,以

DTee为主要观测指标,设定 $\alpha = 0.05$ (双侧),检验效能 $(1 - \beta) = 0.90$,两组DTee差值为0.5 mm,标准差为0.4 mm,通过PASS 15.0软件计算,每组所需样本量为89例,考虑10%脱落率,最终确定每组纳入100例,样本量充足。

1.2 膈肌超声评估方法

所有受试者均由同一名具有5年以上超声操作经验的医师完成检查。仪器为深圳迈瑞生物医疗电子公司(Mindray)M9床旁超声诊断仪,配凸阵探头SPS-1S,频率3.5 MHz;同步使用迈瑞T8多参数心电监护仪。取合适体位,清晰显示膈肌二维图像后,于平静呼吸状态下测量以下参数:DTee、DTei、DTF, $DTF = (DTei - DTee) / DTee$,连续测量3个呼吸周期取平均值。

1.3 统计学方法

采用SPSS 26.0统计软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验。使用多因素Logistic回归分析超声膈肌相关参数与ICU-AW的关系,汇报比值比(odds ratio, OR)和95%置信区间(95% confidence interval, 95%CI),并使用受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线分析超声膈肌相关参数对ICU-AW的诊断效能,计算各指标的曲线下面积(area under the curve, AUC)、最佳截断值、敏感度及特异度,其中最佳截断值依据约登指数(Youden指数 = 敏感度 + 特异度 - 1)最大原则确定。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组膈肌超声相关参数比较

研究组DTee、DTei、DTF水平均显著低于对照组(均 $P < 0.05$)(表1)。

表1 两组超声膈肌相关参数比较($\bar{x} \pm s$)

组别	DTee (mm)	DTei (mm)	DTF (%)
研究组 ($n = 100$)	1.51±0.37	2.16±0.42	19.27±3.26
对照组 ($n = 100$)	2.52±0.41	2.97±0.46	25.83±3.74
t	17.109	13.004	13.222
P	< 0.001	< 0.001	< 0.001

注:DTee:呼气末膈肌厚度;DTei:吸气末膈肌厚度;DTF:膈肌增厚率。

2.2 多因素 Logistic 回归分析 DTee、DTei 及 DTF 与 ICU-AW 的关系

多因素 Logistic 回归分析结果显示,DTee、DTei 及 DTF 均是 ICU-AW 的保护因素($P < 0.05$)(表2)。

2.3 DTee、DTei 及 DTF 对 ICU-AW 的诊断效能

绘制 ROC 曲线结果显示,DTee、DTei 及 DTF 诊断 ICU-AW 的 AUC 值分别为 0.969、0.902 及 0.902,

具有较好的诊断效能。根据约登指数最大原则确定各指标的最佳截断值:DTee 的最佳截断值为 1.92 mm, 敏感度为 91.0%, 特异度为 94.0%;DTei 的最佳截断值为 2.53 mm, 敏感度为 85.0%, 特异度为 82.0%;DTF 的最佳截断值为 22.15%, 敏感度为 86.0%, 特异度为 80.0%(表3、图1)。

表2 多因素 Logistic 回归分析 DTee、DTei 及 DTF 与 ICU-AW 的关系

因素	回归系数	S.E.	Wald χ^2	P	OR	95%CI
DTee	-5.677	1.391	16.651	<0.001	0.003	0.000 ~ 0.052
DTei	-3.433	1.089	9.943	0.002	0.032	0.004 ~ 0.273
DTF	-0.499	0.141	12.478	<0.001	0.607	0.461 ~ 0.801
常量	30.985	6.075	26.015	<0.001	0.003	—

注:DTee:呼气末膈肌厚度;DTei:吸气末膈肌厚度;DTF:膈肌增厚率;ICU-AW:重症监护病房获得性衰弱;OR:比值比;95%CI:95%置信区间。

表3 DTee、DTei 及 DTF 对 ICU-AW 的诊断效能

因素	AUC	标准误	P	95%CI	最佳截断值	敏感度 (%)	特异度 (%)
DTee	0.969	0.0108	<0.001	0.934 ~ 0.988	1.92 mm	91.00	94.00
DTei	0.902	0.0212	<0.001	0.852 ~ 0.939	2.53 mm	85.00	82.00
DTF	0.902	0.0211	<0.001	0.852 ~ 0.939	22.15%	86.02	80.00

注:DTee:呼气末膈肌厚度;DTei:吸气末膈肌厚度;DTF:膈肌增厚率;ICU-AW:重症监护病房获得性衰弱;AUC:曲线下面积;95%CI:95%置信区间。

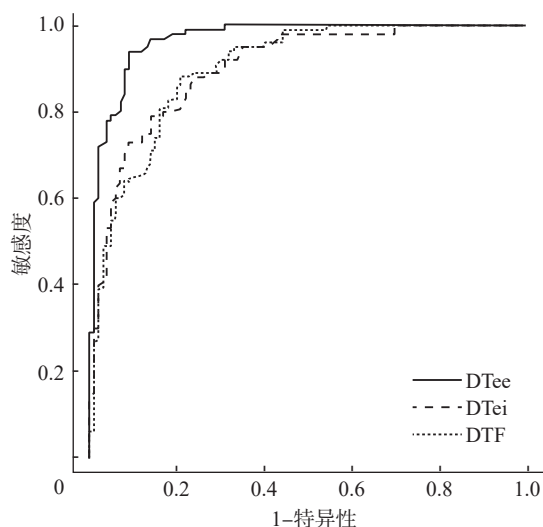


图1 DTee、DTei 及 DTF 诊断 ICU-AW 的 ROC 曲线

注:DTee:呼气末膈肌厚度;DTei:吸气末膈肌厚度;DTF:膈肌增厚率;ICU-AW:重症监护病房获得性衰弱;ROC:受试者操作特征。

3 讨论

ICU-AW 是临床常见的危重症并发症^[8],主要表现为肢体肌无力,在接受机械通气的患者中具有较高的发病率,可显著延长机械通气时间及住院时间,

是导致 ICU 患者脱机困难、功能残疾甚至死亡的关键因素^[9],不仅严重影响患者近期康复,还对其长期生存率和生活质量构成威胁^[10]。由于 ICU-AW 起病隐匿,临床表现易被原发病或镇静状态掩盖,早期识别与诊断一直是临床难点。传统 MRC 肌力评分依赖患者主观配合,在意识障碍或谵妄患者中应用受限,易致诊断延迟。因此,寻找客观、定量、可床旁实时操作的早期评估工具至关重要。膈肌是呼吸系统核心动力肌,也是受 ICU-AW 影响的首要肌群,其功能评估是早期预警的重要突破口^[11]。膈肌超声具有无创、无痛、无辐射等优点,能准确反映膈肌功能状态,DTF、DTee 及 DTei 等指标可动态量化膈肌收缩功能与形态学变化,对实现 ICU-AW 超早期预警、指导精准康复及改善预后具有重要价值。

本研究显示,研究组 DTee、DTei 及 DTF 水平均显著低于对照组,与宋云婷等^[13]研究结果一致,提示膈肌收缩功能降低可能是 ICU-AW 发生发展的重要病理生理基础。DTee 反映膈肌收缩时的增厚能力,其降低意味着膈肌纤维缩短与增厚能力减弱,有效做功减少;DTei 为膈肌形态学指标,其降低提示膈肌萎缩或结构损伤,影响收缩潜力,可进一步加重呼吸

功能障碍;DTF下降则提示膈肌形态结构萎缩或功能损害。上述指标异常可在肢体肌力明显下降等典型ICU-AW表现出现之前捕捉到膈肌功能的早期损害,为临床提供重要预警信息。

膈肌是呼吸运动的关键动力肌,其功能状态直接影响撤机过程与整体康复。当DTee、DTei降低及DTF下降时,膈肌收缩效率与耐力明显下降,患者脱离呼吸机难以维持有效自主呼吸,机械通气时间延长又进一步加重膈肌废用性萎缩,形成恶性循环,增加ICU-AW发生风险。本研究结果显示,DTee、DTei及DTF均为ICU-AW的保护因素,与赵浩天等^[14]研究一致。其机制可能与以下方面有关:第一,DTee反映膈肌静息状态下的基础结构,其降低提示肌纤维萎缩或肌节减少,整体收缩力减弱。从肌纤维代谢角度,DTee与肌纤维合成呈正相关,与分解呈负相关。ICU-AW的核心病理改变为危重症肌萎缩,主要经泛素-蛋白酶体通路(ubiquitin-proteasome pathway,UPP)介导肌蛋白降解。危重症状态下,机体应激激活UPP通路,泛素连接酶[如肌肉萎缩盒F蛋白(muscle atrophy F-box protein,MAFbx)、肌肉环指蛋白1(muscle RING finger protein 1,MuRF1)]表达上调,促进肌动蛋白、肌球蛋白等结构蛋白泛素化并被蛋白酶体降解,导致肌纤维萎缩、DTee降低;而较高的DTee水平提示膈肌肌纤维合成代谢占优,可抑制UPP通路过度激活,减少肌蛋白降解,从而降低ICU-AW的发生风险。研究表明,DTee与肌肉质量呈正相关,较高的DTee水平有助于减少肌肉分解代谢,从而降低ICU-AW的发生风险^[15]。此外,能量代谢活跃可能促进线粒体功能改善,增强氧化供能能力,延缓肌萎缩。第二,DTei反映能量消耗效率,其升高提示能量利用优化。ICU患者普遍存在胰岛素抵抗和代谢紊乱,DTei水平较高可能表明细胞对营养底物利用效率提升,减少代谢废物堆积所致肌肉损伤;同时,DTei升高可通过抑制UPP关键酶活性减少肌纤维降解,促进肌卫星细胞增殖分化,加速肌纤维修复与合成,维持膈肌结构完整性。此外,DTei与炎症因子水平呈负相关^[16],其升高可能通过抑制核转录因子- κ B(Nuclear factor kappa B,NF- κ B)等炎症通路减轻肌肉组织炎症损伤。反之,DTei降低时UPP过度激活,肌蛋白降解加速,膈肌萎缩明显,ICU-AW风险升高。第三,DTF下降可能提示呼吸

功能不全或肺纤维化等肺部疾病风险^[17],低氧血症和慢性炎症进一步影响膈肌及全身肌肉的能量代谢与结构完整性,形成多系统交互作用,共同参与ICU-AW的病理过程。DTF作为反映膈肌收缩功能的核心指标,其下降与膈肌肌纤维收缩能力减弱密切相关,而UPP介导的肌蛋白降解直接导致肌纤维收缩力下降;同时低DTF状态下膈肌做功效率降低,进一步加重肌萎缩,形成“肌萎缩-收缩功能下降-肌萎缩加重”的恶性循环,而较高的DTF可维持膈肌正常收缩功能,减少废用性萎缩,降低ICU-AW风险。

ROC曲线分析显示,DTee、DTei及DTF诊断ICU-AW的AUC值分别为0.969、0.902及0.902,三者均具有较高诊断效能,其中DTee的AUC最高,诊断效能最优;DTei与DTF的AUC一致,二者诊断效能相近。DTee截断值为1.92 mm时,敏感度达91.0%、特异度达94.0%,在所有指标中诊断准确性最高,可作为ICU-AW临床筛查的首选超声指标。DTei和DTF的截断值分别为2.53 mm和22.15%,低于该值时ICU-AW发生风险显著增加。上述结果与同类研究具有较好的一致性:宋云婷等^[13]发现ICU-AW患者膈肌厚度及增厚分数显著低于非ICU-AW患者,与本研究DTee、DTF降低的结果一致;赵浩天等^[14]证实膈肌超声参数是ICU-AW的独立保护因素,支持本研究多因素回归分析结论。与既往研究多聚焦于膈肌超声对脱机结局的预测价值^[5-6]不同,本研究首次将膈肌超声指标前移至ICU-AW早期诊断阶段,并提供了量化截断值(DTee < 1.92 mm、DTF < 22.15%),这是对现有文献的重要补充。与庄月娥等^[18]采用常规康复护理相比,本研究进一步证实基于超声指标指导的精准神经肌肉电刺激干预在降低ICU-AW发生率方面具有更优效果,可能与本研究干预启动更早、靶向性更强有关。

综上,膈肌超声参数DTee、DTei及DTF在ICU-AW早期诊断中具有较高临床价值,可作为敏感的生物医学指标用于疾病早期识别。然而,本研究仍存在于一定局限性:一是样本量相对较小且为单中心研究,结果外推性有限;二是未纳入机械通气模式、镇静药物种类及剂量等潜在混杂因素,上述因素可能通过影响膈肌功能而干扰ICU-AW的发生发展及结果准确性;三是未对膈肌超声指标的动态变化规律进行长期追踪,难以明确指标变化与ICU-AW病情进展

的关联。未来可从以下方面改进:扩大样本量并开展多中心联合研究,以提高结果外推性;严格控制机械通气模式、镇静方案等混杂因素,通过分层分析或多因素校正减少其干扰;增加长期随访,动态监测膈肌超声指标变化,结合患者预后进一步明确其临床应用价值;同时可探索膈肌超声指标与其他生物标志物的联合应用,以提高ICU-AW早期诊断的准确性及干预的针对性,为改善ICU患者生存质量和预后提供更坚实的依据。

参考文献

- [1] 周嘉欣,朱婧怡,颜美琼,等.重症监护室患者ICU获得性衰弱风险预测模型的系统评价和Meta分析[J].护士进修杂志,2025,40(12):1333-1341.
- [2] 康曼曼,魏志杰,杨峰.预见性干预在预防机械通气肿瘤患者重症监护室获得性衰弱的效果[J].肿瘤基础与临床,2024,37(4):461-464.
- [3] 徐琛,刘苗苗,余会,等.针刺疗法联合穴位贴敷对急性呼吸衰竭机械通气患者血气分析指标、膈肌功能及炎症免疫指标的影响[J].现代生物医学进展,2023,23(19):3793-3796,3762.
- [4] 王美娜,顾岩.体外膈肌电刺激在呼吸衰竭治疗中的研究进展[J].内蒙古医科大学学报,2023,45(3):314-319.
- [5] 许宁,韩丽娜,花然亮,等.超声膈肌功能评估联合呼吸系统功能评分对呼吸衰竭患者脱机效果的预测作用[J].医学综述,2023,29(9):1838-1842.
- [6] 韦卫琴,胡晓纯,房东海,等.基于膈肌超声心脏参数血气指标构建重症肺炎脱机拔管失败的nomogram预测模型[J].河北医学,2024,30(9):1519-1525.
- [7] 孙瑞祥,江海娇,汪君,等.机械通气ICU获得性衰弱患者早期运动康复的最佳证据总结[J].中华危重病急救医学,2024,36(7):745-752.
- [8] 韩斌如,李秋萍,王涵,等.重症监护室获得性衰弱风险因素评估表的构建[J].护理研究,2023,37(3):422-427.
- [9] 李璐,王洪霞,俞立强,等.重症监护病房获得性肌无力研究进展[J].实用临床医药杂志,2023,27(3):134-139.
- [10] 林青青,王曼,林瑜.脓毒症幸存者ICU获得性衰弱现状、影响因素及其对生活质量的影响[J].浙江医学,2025,47(13):1384-1388,1393.
- [11] 齐华隆,杨春艳,冯玉华,等.慢性阻塞性肺疾病膈肌疲劳之中医论治[J].河南中医,2021,41(7):990-993.
- [12] 牛丽,吴丹,李婉,等.膈肌超声检查参数联合炎症因子对ARDS机械通气患者撤机结局的预测价值[J].医学影像学杂志,2025,35(8):78-82.
- [13] 宋云婷,石惠姗,谭通.膈肌超声参数对ICU呼吸机依赖患者预后及生活质量的评估效果[J].临床和实验医学杂志,2024,23(8):879-882.
- [14] 赵浩天,王晓娜,刘元琳,等.基于组织多普勒成像校正膈肌超声参数评估无创机械通气呼吸困难患者膈肌功能[J].中国医学影像技术,2024,40(10):1567-1571.
- [15] 宗娜娜,陈义,吴小玲.超声评价老年肌肉减少症与膈肌厚度及呼吸功能相关性研究[J].生物医学工程与临床,2024,28(3):343-347.
- [16] 何霞.卒中患者瘫侧膈肌超声,电生理变化及其与血清学的相关性研究[D].昆明医科大学,2020.
- [17] 左凌云,陈晓阳.超声评估膈肌功能联合超声心动图预测机械通气患者撤机的价值[J].中国临床研究,2023,36(8):1223-1227.
- [18] 庄月娥,黄玲,蔡晶晶,等.早期神经肌肉电刺激联合自制康复床上座椅疗法对机械通气ICU获得性衰弱患者的应用效果[J].中国医学物理学杂志,2023,40(2):220-225.