

早期肺部超声评分对急性脑出血术后患者发生低氧血症的预测价值

程家浩 刘正东 韩宇

安徽医科大学附属六安医院重症医学科, 六安 237005

通信作者: 韩宇, Email: hanyu18075082716@163.com

【摘要】 目的 探讨术后第 1 天肺部超声评分(LUS)对急性脑出血术后患者发生低氧血症的预测价值。**方法** 采用回顾性病例对照研究方法,选择 2022 年 1 月至 2024 年 8 月安徽医科大学附属六安医院重症医学科收治的急性脑出血术后患者作为研究对象。收集患者的基线资料及关键治疗变量[包括术后 3 d 内甘露醇及呋塞米的累积剂量、甘露醇使用天数以及术后第 1 天累积液体平衡、机械通气潮气量和呼气末正压(PEEP)];于患者术后第 1 天进行肺部超声检查(12 分区法),计算 LUS 评分。根据术后 7 d 内氧合指数($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$)是否 $< 300 \text{ mmHg}$ ($1 \text{ mmHg}=0.133 \text{ kPa}$) 将患者分为低氧血症组和非低氧血症组,比较两组间上述指标的差异。通过多因素 Logistic 逐步回归分析明确 LUS 评分对低氧血症的独立预测价值,并绘制受试者工作特征曲线(ROC 曲线)评估其预测效能。**结果** 共纳入 108 例急性脑出血术后患者,其中低氧血症组 37 例,非低氧血症组 71 例。低氧血症组体质量指数(BMI)、序贯器官衰竭评分(SOFA)、全肺及前外侧 LUS 评分均高于非低氧血症组(均 $P<0.05$)。两组患者术后早期关键治疗变量差异均无统计学意义(均 $P>0.05$),表明治疗差异对研究结果的混杂影响有限。多因素 Logistic 回归分析显示,校正 SOFA 评分后,全肺 LUS 评分仍是术后低氧血症的独立预测因素[优势比(OR)=1.827, 95% 置信区间(95% CI)为 1.444~2.311, $P<0.001$]。ROC 曲线显示,全肺及前外侧 LUS 评分预测术后低氧血症的曲线下面积(AUC)=0.902(95% CI 为 0.836~0.968),最佳截断值为 14.5 分,敏感度为 86.50%,特异度为 87.30%,阴性预测值达 92.54%;前外侧 LUS 评分亦具有良好的预测价值(AUC =0.855)。相关性分析显示,前外侧 LUS 评分与全肺 LUS 评分呈中度正相关($r=0.870$, $P<0.001$);Bland-Altman 一致性分析提示,两者存在系统性偏差(6.213),95% 一致性界限为 1.272~11.150 分。**结论** 术后第 1 天 LUS 评分对急性脑出血术后患者发生低氧血症具有较高的预测价值,前外侧简化评分方案可作为床旁快速筛查工具,对早期识别高危患者和指导临床干预具有重要意义。

【关键词】 肺部超声;急性脑出血;术后低氧血症;预测模型;床旁筛查

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250718-00391

Predictive value of early Lung Ultrasound Score for the development of hypoxemia in postoperative patients with acute intracerebral hemorrhage

Cheng Jiahao, Liu Zhengdong, Han Yu

Department of Critical Care Medicine, Lu'an Hospital of Anhui Medical University, Lu'an 237005, China

Corresponding author: Han Yu, Email: hanyu18075082716@163.com

【Abstract】 Objective To investigate the predictive value of the Lung Ultrasound Score (LUS) on postoperative day 1 for the development of hypoxemia in patients after surgery for acute intracerebral hemorrhage. **Methods** A retrospective case-control study was conducted. Postoperative patients with acute intracerebral hemorrhage admitted to the department of critical care medicine, Lu'an Hospital of Anhui Medical University, from January 2022 to August 2024 were enrolled. Baseline characteristics and key therapeutic variables [including the cumulative doses of mannitol and furosemide within 3 days after surgery, duration of mannitol use, cumulative fluid balance on postoperative day 1, tidal volume during mechanical ventilation, and positive end-expiratory pressure (PEEP)] were collected. Lung ultrasound examination was performed on postoperative day 1 using the 12-zone method, and the LUS score was calculated. According to whether the oxygenation index ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) within 7 days after surgery was $< 300 \text{ mmHg}$ ($1 \text{ mmHg}=0.133 \text{ kPa}$), patients were divided into the hypoxemia group and the non-hypoxemia group. Differences in the above variables between the two groups were compared. Multivariate Logistic regression analyses were performed to determine the independent predictive value of LUS for hypoxemia, and receiver operator characteristic curve (ROC curve) was constructed to evaluate its predictive performance. **Results** A total of 108 postoperative patients with acute intracerebral hemorrhage were included, of whom 37 were in the hypoxemia group and 71 in the non-hypoxemia group. Body mass index, Sequential Organ Failure Assessment (SOFA), total lung LUS score, and anterolateral LUS score were significantly higher in the hypoxemia group than in the non-hypoxemia group (all $P<0.05$). There were no statistically significant differences in key early postoperative therapeutic parameters between the two groups (all $P>0.05$), indicating that the confounding effect of therapeutic differences on the study results was limited. Multivariate Logistic regression analysis showed that after adjustment for SOFA score, the total lung LUS score remained an independent predictor of postoperative hypoxemia [odds

ratio (OR)=1.827, 95% confidence interval (95%CI) was 1.444–2.311, $P<0.001$]. ROC curve analysis demonstrated that the area under the curve (AUC) for total lung and anterolateral LUS scores in predicting postoperative hypoxemia was 0.902 (95%CI was 0.836–0.968). At the optimal cut-off value of 14.5 points, the sensitivity was 86.50%, specificity was 87.30%, and the negative predictive value reached 92.54%. The anterolateral LUS score also demonstrated good predictive performance (AUC=0.855). Correlation analysis revealed a moderate positive correlation between the anterolateral LUS score and the total lung LUS score ($r=0.870$, $P<0.001$). Bland-Altman analysis indicated a systematic bias between the two methods (6.213), with 95% limits of agreement ranging from 1.272 to 11.150 points. **Conclusions** The LUS score on postoperative day 1 has high predictive value for hypoxemia in patients after surgery for acute intracerebral hemorrhage. The simplified anterolateral scoring scheme may serve as a rapid bedside screening tool and is of great significance for early identification of high-risk patients and guidance of clinical interventions.

【Key words】 Lung ultrasound; Acute intracerebral hemorrhage; Postoperative hypoxemia; Predictive model; Bedside screening

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250718-00391

脑出血是神经外科常见的急危重症,具有高致残率和高病死率^[1-2]。尽管手术可有效清除血肿并降低颅内压,但术后患者常因意识障碍、长期卧床及机械通气等因素并发肺部感染、肺不张或急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS),进而导致低氧血症[动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen, PaO₂)<60 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)]。有研究表明,35%~50%的脑出血术后患者会发生低氧血症,严重者可诱发继发性脑缺氧损伤,增加多器官功能衰竭风险及院内病死率^[3]。目前低氧血症的监测主要依赖血气分析、胸部 X 线及 CT 检查等,但这些方法各有局限性。因此,亟须一种无创、床旁、可动态评估的监测手段。肺部超声评分(Lung Ultrasound Score, LUS)近年来被证实对肺水肿、肺炎及 ARDS 等病变具有高度敏感性和特异性^[4-6]。基于分区评分法的 LUS 评分通过识别 B 线、胸膜线异常及实变等征象,可客观量化肺部病理改变程度。本研究探讨术后早期(第 1 天) LUS 评分对低氧血症的预测价值,旨在为未来动态监测研究提供初步依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象:采用回顾性病例对照研究方法,选择 2022 年 1 月至 2024 年 8 月安徽医科大学附属六安医院重症医学科收治的急性脑出血术后患者。

1.1.1 纳入标准:① 年龄≥18 岁;② 行急性脑出血手术;③ 术后转入重症监护病房(intensive care unit, ICU)治疗。

1.1.2 排除标准:① 术后 24 h 内氧合指数(oxygenation index, PaO₂/FiO₂)<300 mmHg;② 术后 7 d 内非计划二次手术;③ 创伤性脑出血;④ 术后 7 d 内死亡或放弃治疗。

1.1.3 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,经医院伦理委员会批准(审批号:2025LLKS-KY-027)。

1.2 资料收集

1.2.1 一般资料:记录患者年龄、性别、体质量指数(body mass index, BMI)、吸烟史、基础疾病、脑出血部位、手术方式、急性生理学与慢性健康状况评分 II (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II, APACHE II)、序贯器官衰竭评分(Sequential Organ Failure Assessment, SOFA)。

1.2.2 肺部超声检查:采用 GE-Vanugo 便携超声仪,由经过重症超声培训的医师于患者术后第 1 天完成单时间点肺部超声检查。患者取仰卧位,高频线阵探头(5~10 MHz)扫描前胸壁,低频凸阵探头(2~5 MHz)扫描侧胸及背部,以腋前线、腋后线将每侧肺分为前部、外侧、后部 3 个区域(共 12 分区)。根据通气模式评分,正常通气评 0 分、中度通气减少评 1 分、重度通气减少评 2 分、肺实变评 3 分,总分 0~36 分(图 1)^[7]。前外侧 LUS 评分仅评估前部和外侧区域,总分 0~24 分。影像资料由 2 名高年资医师盲法分析。

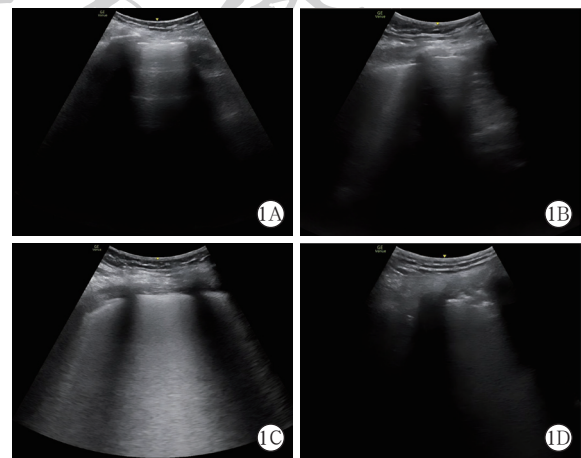


图 1 肺部超声通气模式影像 正常通气(A)存在肺滑动征,伴 A 线或孤立 B 线<2 条(评 0 分);中度通气减少(B)为多发、分散的 B 线(每个肋间隙≥3 条;评 1 分);重度通气减少(C)为多发融合的 B 线,可伴或不伴胸膜下实变(评 2 分);肺实变(D)为组织样回声,可伴或不伴支气管充气征(评 3 分)

1.2.3 治疗方案与关键治疗变量记录: 所有患者均接受神经重症团队的标准治疗,包括控制颅内压与血压、肺保护性通气、适度液体管理及并发症预防。为评估治疗的一致性,提取与低氧血症可能相关的关键治疗变量进行组间比较,包括术后 3 d 内甘露醇及呋塞米的累积剂量、甘露醇使用天数以及术后第 1 天累积液体平衡、机械通气潮气量和呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)。

1.3 低氧血症定义及研究分组: 根据欧洲麻醉学会(European Society of Anaesthesiology, ESA)/欧洲重症监护医学会(European Society of Intensive Care Medicine, ESICM)指南^[8], PaO₂/FiO₂<300 mmHg 持续 30 min 定义为低氧血症。通过回顾临床记录,排除因明显气道分泌物阻塞、镇静药物过量等可即时纠正因素导致的短暂性血氧下降。根据术后 7 d 内是否发生低氧血症将患者分为低氧血症组和非低氧血症组。

1.4 统计学方法: 应用 SPSS 22.0 和 GraphPad Prism 8.02 软件进行统计分析。计量资料经正态性检验后,正态分布者以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 *t* 检验;非正态分布者以中位数(四分位数)[*M*(*Q*₁, *Q*₃)]表示,组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。将两组间差异有统计学意义的指标纳入多因素二元 Logistic 回归分析,采用后退似然比法进行变量筛选,以明确 LUS 评分的独立预测价值。绘制受试者工作特征曲线

(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线),计算曲线下面积(area under the curve, AUC)评估 LUS 评分的预测效能。本研究为回顾性观察性设计,在获得主要预测指标(全肺 LUS 评分)的效能后,使用 GPower 3.1 软件进行事后把握度分析,评估统计的可靠性。

2 结果

2.1 患者基线资料: 研究期间共筛选患者 198 例,经排除后最终纳入 108 例患者(图 2),其中低氧血症组 37 例[中位低氧血症发生时间 2(1, 3) d],非低氧血症组 71 例。两组患者的性别、年龄、吸烟史、基础疾病、主要手术方式和 APACHE II 评分差异均无统计学意义(均 *P*>0.05);低氧血症组 BMI、SOFA 评分、全肺及前外侧 LUS 评分均高于非低氧血症组(均 *P*<0.05;表 1)。

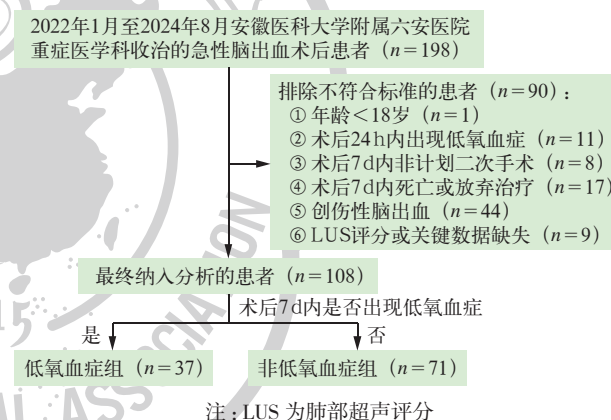


图 2 早期 LUS 评分对脑出血术后患者发生低氧血症的预测价值研究的患者纳入流程

表 1 有无低氧血症两组急性脑出血术后患者的临床资料比较

指标	低氧血症组 (37 例)	非低氧血症组 (71 例)	统计 量值	<i>P</i> 值	指标	低氧血症组 (37 例)	非低氧血症组 (71 例)	统计 量值	<i>P</i> 值
性别[例(%)]			$\chi^2=0.003$	0.958	小脑出血	6(16)	4(6)		
男性	20(54)	38(54)			蛛网膜下腔出血	9(24)	17(24)		
女性	17(46)	33(46)			脑室出血	2(5)	2(3)		
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	60.6 ± 9.9	61.2 ± 13.6	<i>t</i> = -0.217	0.829	主要手术方式[例(%)]			$\chi^2=1.525$	0.877
BMI(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	25.7 ± 3.7	23.9 ± 2.6	<i>t</i> = 2.511	0.015	脑内血肿清除术	20(54)	39(55)		
吸烟史[例(%)]	13(35)	28(39)	$\chi^2=0.191$	0.662	脑室引流术	7(19)	17(24)		
基础疾病[例(%)]					动脉瘤夹闭术	5(14)	7(10)		
高血压	14(38)	30(42)	$\chi^2=0.196$	0.658	经导管颅内动脉瘤 栓塞术	5(14)	7(10)		
糖尿病	9(24)	19(27)	$\chi^2=0.075$	0.784	血管畸形切除术	0(0)	1(1.4)		
COPD	3(8)	4(6)	$\chi^2=0.689$	0.451	LUS 评分[分, <i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃)]				
冠心病	5(14)	7(10)	$\chi^2=0.748$	0.392	全肺 LUS 评分	17.0(15.5, 19.0)	11.0(8.0, 13.0)	<i>Z</i> = -7.553	<0.001
脑出血部位[例(%)]			$\chi^2=6.352$	0.379	前外侧 LUS 评分	9.0(7.0, 12.0)	4.0(5.0, 7.0)	<i>Z</i> = -6.150	<0.001
基底节出血	8(22)	24(34)			APACHE II 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)	18.1 ± 5.5	19.1 ± 5.0	<i>t</i> = -0.996	0.322
丘脑出血	5(14)	13(18)			SOFA 评分(分, $\bar{x} \pm s$)	8.9 ± 3.1	7.4 ± 2.7	<i>t</i> = 2.806	0.006
脑叶出血	5(14)	5(7)							
脑干出血	2(5)	6(8)							

注: BMI 为体质质量指数, COPD 为慢性阻塞性肺疾病, LUS 为肺部超声评分, APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II, SOFA 为序贯器官衰竭评分

表 2 有无低氧血症两组急性脑出血术后患者的术后早期关键治疗参数比较

组别	例数 (例)	术后 3 d 内甘露醇累积剂量 [g, M(Q ₁ , Q ₃)]	甘露醇使用天数 [d, M(Q ₁ , Q ₃)]	术后 3 d 内呋塞米累积剂量 [mg, M(Q ₁ , Q ₃)]	术后第 1 天累积液体平衡 (mL, $\bar{x} \pm s$)	术后第 1 天机械通气潮气量 [mL, M(Q ₁ , Q ₃)]	术后第 1 天 PEEP [cmH ₂ O, M(Q ₁ , Q ₃)]
低氧血症组	37	200.0(177.5, 237.5)	10.0(8.5, 12.0)	60(20, 80)	-314.6±813.2	6.8(6.3, 7.2)	5.0(5.0, 5.0)
非低氧血症组	71	225.0(180.0, 225.0)	9.0(7.0, 11.0)	40(20, 80)	-244.7±587.6	6.6(6.0, 7.1)	5.0(5.0, 5.0)
统计量值		Z=-0.709	Z=-1.836	Z=-0.651	t=-0.512	Z=-0.614	Z=-0.594
P 值		0.479	0.066	0.515	0.609	0.539	0.553

注: PEEP 为呼气末正压; 1 cmH₂O=0.098 kPa

2.2 术后治疗方案比较(表 2): 两组患者术后早期治疗方案遵循相同原则, 脱水剂、利尿剂、液体平衡及通气参数等关键治疗参数差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$), 表明治疗差异对研究结果的混杂影响有限。

2.3 LUS 评分的独立预测价值: 将两组间差异有统计学意义的指标(BMI、SOFA 评分、全肺 LUS 评分)纳入多因素 Logistic 逐步回归模型, 采用后退似然比法进行变量筛选。结果显示, 校正 SOFA 评分后, 全肺 LUS 评分仍是术后低氧血症的独立预测因素($P < 0.05$; 表 3)。

表 3 急性脑出血术后患者发生低氧血症的多因素 Logistic 回归分析

指标	β 值	s_e	χ^2 值	OR 值	95%CI	P 值
全肺 LUS 评分	0.603	0.120	25.238	1.827	1.444 ~ 2.311	0.000
SOFA 评分	0.302	0.121	6.250	1.353	1.067 ~ 1.714	0.012

注: LUS 为肺部超声评分, SOFA 为序贯器官衰竭评分, OR 为优势比, 95%CI 为 95% 置信区间

2.4 全肺及前外侧 LUS 评分的预测效能: 低氧血症组全肺及前外侧 LUS 评分均高于非低氧血症组(均 $P < 0.05$; 图 3)。ROC 曲线显示(表 4; 图 4), 全肺及前外侧 LUS 评分预测急性脑出血术后患者发生低氧血症的 AUC 均较高, 最佳截断值分别为 14.5 分和 7.5 分。根据最佳截断值分组, 结果提示, 全肺 LUS 评分 > 14.5 分或前外侧 LUS 评分 > 7.5 分时, 评分越高, 患者发生低氧血症的概率越高(图 5)。

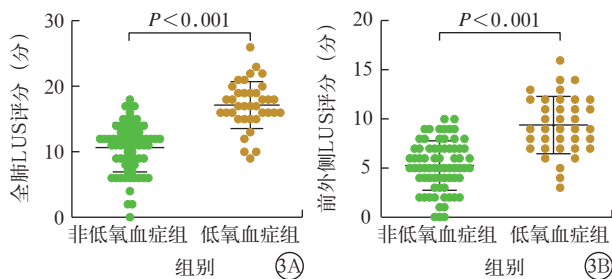


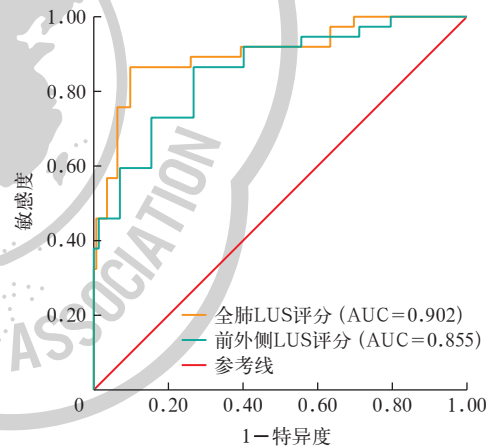
图 3 有无低氧血症两组急性脑出血术后患者术后第 1 天全肺(A)和前外侧(B)LUS 评分比较

表 4 全肺和前外侧 LUS 评分对急性脑出血术后患者发生低氧血症的预测效能

指标	AUC	95%CI	P 值	敏感度 (%)	特异度 (%)
全肺 LUS 评分	0.902	0.836 ~ 0.968	< 0.001	86.50	87.30
前外侧 LUS 评分	0.855	0.779 ~ 0.930	< 0.001	72.97	80.28

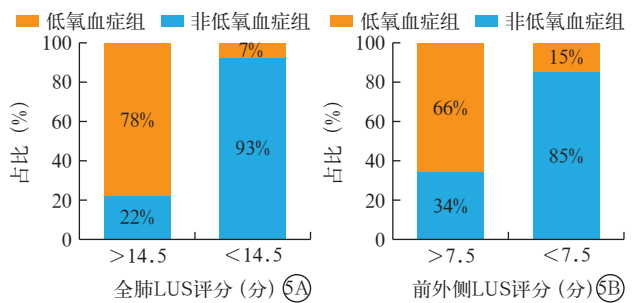
指标	最佳截断值	阳性预测值 (%)	阴性预测值 (%)
全肺 LUS 评分	14.5	78.05	92.54
前外侧 LUS 评分	7.5	65.85	85.07

注: LUS 为肺部超声评分, AUC 为曲线下面积, 95%CI 为 95% 置信区间



注: LUS 为肺部超声评分, ROC 曲线为受试者工作特征曲线, AUC 为曲线下面积

图 4 全肺和前外侧 LUS 评分预测急性脑出血术后患者术后 7 d 内发生低氧血症的 ROC 曲线



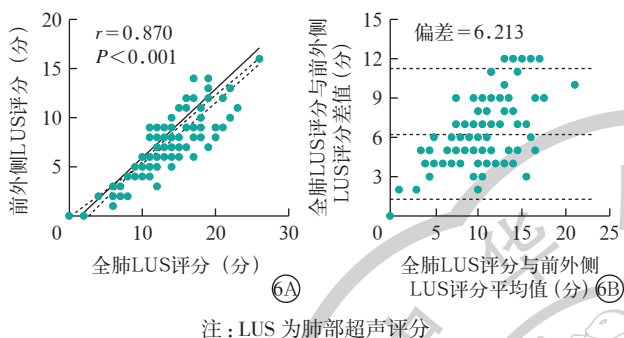
注: LUS 为肺部超声评分

图 5 不同全肺(A)和前外侧(B)LUS 评分亚组急性脑出血术后患者发生低氧血症情况

2.5 事后把握度分析: 在当前样本量下, 针对全肺 LUS 评分的预测效能(AUC=0.902), 统计把握度 $>$

99%,支持“全肺 LUS 评分是术后低氧血症的独立预测因素”结论的统计稳健性。

2.6 前外侧 LUS 评分的简化价值(图 6):相关性分析显示,前外侧 LUS 评分与全肺 LUS 评分呈中度正相关($r=0.870$, $P<0.001$); Bland-Altman 一致性分析提示,两者存在系统性偏差(6.213),95% 一致性界限为 1.272 ~ 11.150 分。



注: LUS 为肺部超声评分
图 6 急性脑出血术后患者术后第 1 天全肺 LUS 评分与前外侧 LUS 评分相关性分析的经典相关图(A)和 Bland-Altman 图(B)

3 讨论

本研究显示,术后第 1 天的全肺 LUS 评分对脑出血术后患者发生低氧血症具有较高的预测价值,前外侧 LUS 评分也展现出良好的预测效能;多因素分析证实,在校正 SOFA 评分后,全肺 LUS 评分仍是术后低氧血症的独立预测因素,该发现为临床快速筛查提供了可靠工具。

本研究中脑出血患者术后 7 d 内低氧血症发生率达 34.25%,中位发生时间(术后 2 d)早于一般全麻术后肺部并发症的高发期(术后 7 ~ 10 d)^[9-11],提示该类患者呼吸功能恶化更早。多因素分析中 SOFA 评分具有统计学意义,提示全身器官功能障碍的严重程度与低氧血症风险相关,这符合危重患者病理生理的复杂性。然而,LUS 评分的独立性及其较高的优势比(odds ratio, OR),凸显了早期直接评估肺部状态在神经重症管理中的独特价值。不同手术类型的低氧血症发生率存在差异,例如,颅脑损伤术后 10 d 低氧血症发生率为 15.6%^[12],而腹部大手术后 10 d 低氧血症发生率为 18.1%^[13],这可能与脑出血特有的神经源性肺水肿(neurogenic pulmonary edema, NPE)机制相关。NPE 常因颅内压急剧升高,引发交感神经过度激活,导致肺血管通透性增加和静水压升高,进而引发急性肺水肿。本研究中,低氧血症组 LUS 评分高于非低氧血症组,且发生时间更早,与 NPE 急性发作时相符。肺部超声通过动态

监测 B 线与肺实变范围,能够敏感量化肺水肿严重程度^[14]。

肺部超声已广泛应用于呼吸系统疾病的评估^[15-17]。本研究进一步验证了 LUS 评分对术后呼吸结局的预测效能:术后 24 h 被视为肺部并发症的关键窗口期^[18],全肺 LUS 评分在此阶段升高与低氧血症风险增加显著相关。这一发现与 Boussier 等^[13]在腹部手术中的结论一致。有研究显示,颅脑损伤患者术后第 1 天 LUS 评分虽能预警肺部并发症^[12],但其预测效能随时间减弱,原因可能包括早期干预措施等。类似地, Szabó 等^[18]发现非重症患者术后 24 h LUS 评分具有独立预测价值[OR=2.64, 95% 置信区间(95% confidence interval, 95% CI)为 1.56 ~ 4.50],这提示持续升高的 LUS 评分可能作为临床预警标志。值得注意的是,采用术后第 1 天的单次评分预测 7 d 内事件存在时间窗局限,但本研究低氧血症中位发生时间紧邻评估点,且肺部超声所捕捉的早期肺水肿是后续呼吸功能恶化的核心病理基础,为早期预测提供了依据。

与同类研究比较^[12],本研究中全肺 LUS 评分表现出较好的预测效能。这种差异可能源于脑出血患者特有的 NPE 机制^[19],促使肺部超声通过 B 线能更早捕捉间质水肿^[20]。本模型中,LUS 评分为 14.5 分时阴性预测值达 92.54%,说明该截断值可有效用于排除低氧血症风险。与荆建敏等^[21]提出的肺部超声截断值(>11.5 分预测肺部并发症)及 Boussier 等^[13]标准(>12 分预警腹部手术肺部并发症)相比,本研究确定的截断值(14.5 分)更接近中度/重度肺水肿的诊断阈值(>15 分)^[22],这提示脑出血患者的低氧血症可能伴随更显著的肺水肿病理改变,为神经重症特异性干预时机的选择提供了参考。未来研究可探索基于此阈值的干预策略,例如当 LUS 评分>14.5 分时,考虑立即评估并优化肺保护性通气策略、启动目标导向的利尿治疗,以降低肺水肿负荷,并加强肺部理疗。

前外侧 LUS 评分展现了临床简化应用的潜力。本研究结果显示,其预测效能虽略低于全肺 LUS 评分,但仍具有较高的诊断准确性,提示前外侧区域的肺部病变已包含大部分与低氧血症相关的核心病理信息。两者间的中度正相关性进一步说明前外侧 LUS 评分与全肺 LUS 评分在反映病理生理改变趋势上具有一致性,支持其作为简化评估工具的可行性。这一结论也得到了多项研究的验证: Boussier

等^[13]在腹部手术患者中发现简化前外侧 LUS 评分与全肺 LUS 评分的预测效能无显著差异;在 ARDS 诊断中,前外侧 LUS 评分也表现出与全肺 LUS 评分相近的诊断效能,且评分为 5 分时阴性预测值高达 96.0%^[23],这与本研究的阴性预测优势(85.07%)共同说明了其筛查的可靠性。不过,Bland-Altman 分析显示的系统性偏差及较宽的一致性界限提示,后部区域重力依赖性病变在简化评分中可能未被充分评估。对此,可考虑实施分层管理策略:对前外侧 LUS 评分 ≤ 7.5 分者可考虑优先排除风险,而对 > 7.5 分者则补充靶向后部扫描,以构建“快速筛查-精准评估”的动态监测方案。

本研究存在一定的局限性。首先,单中心回顾性设计可能引入选择偏倚,并限制结论的外推性;尽管事后把握度分析支持主要结论的统计稳健性,但样本量仍不足以进行深入的亚组分析。其次,采用术后第 1 天的单时间点 LUS 评分来预测长达 7 d 的低氧血症事件,存在时间窗不匹配的固有局限,未来需通过动态监测明确其预测效能的演变轨迹。此外,回顾性研究未能完全控制所有治疗细节及潜在混杂因素,且未对不同脑出血部位进行分层分析,这些因素可能对结果的解读产生影响。

综上所述,本研究证实,术后第 1 天全肺 LUS 评分对脑出血术后患者发生低氧血症具有较高的预测价值,前外侧 LUS 评分可作为简化床旁筛查工具。这一无创、动态的监测手段为早期识别高危患者、优化呼吸管理策略提供了循证依据,具有显著的临床应用潜力。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 程家浩: 酝酿和设计实验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、起草文章、统计分析;刘正东: 行政、技术或材料支持,指导,支持性贡献;韩宇: 酝酿和设计实验,对文章的知识性内容作批评性审阅,行政、技术或材料支持,指导,支持性贡献

参考文献

- [1] GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019[J]. *Lancet Neurol*, 2021, 20(10): 795–820. DOI: 10.1016/S1474-4422(21)00252-0.
- [2] American Heart Association/American Stroke Association. 2022 Guideline for the management of patients with spontaneous intracerebral hemorrhage: a guideline from the American Heart Association/American Stroke Association[J]. *Stroke*, 2022, 53(7): e282–e361. DOI: 10.1161/STR.0000000000000407.
- [3] Goldstein JN, Gilson AJ. Critical care management of acute intracerebral hemorrhage[J]. *Curr Treat Options Neurol*, 2011, 13(2): 204–216. DOI: 10.1007/s11940-010-0109-2.
- [4] 潘鑫,赵炳联,陈倩. 肺部超声检查参数联合血清 N 末端脑钠肽前体对急性呼吸窘迫综合征患者肺水肿程度的预测价值[J]. *实用心脑血管病杂志*, 2024, 32(1): 76–79. DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2024.00.009.
- [5] COVID U. S. P. Registry Team. Lung ultrasound score predicts outcomes in COVID-19 patients admitted to the emergency department[J]. *Ann Intensive Care*, 2021, 11(1): 6. DOI: 10.1186/s13613-020-00799-w.
- [6] DARTS Consortium Members. Lung ultrasound prediction model for acute respiratory distress syndrome: a multicenter prospective observational study[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2023, 207(12): 1591–1601. DOI: 10.1164/rccm.202210-18820C.
- [7] Mongodi S, De Luca D, Colombo A, et al. Quantitative lung ultrasound: technical aspects and clinical applications[J]. *Anesthesiology*, 2021, 134(6): 949–965. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003757.
- [8] Guideline Contributors. Noninvasive respiratory support in the hypoxaemic peri-operative/periprocedural patient: a joint ESA/ESICM guideline[J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46(4): 697–713. DOI: 10.1007/s00134-020-05948-0.
- [9] Malcolm TL, Knezevic NN, Zouki CC, et al. Pulmonary complications after hip and knee arthroplasty in the United States, 2004–2014[J]. *Anesth Analg*, 2020, 130(4): 917–924. DOI: 10.1213/ANE.0000000000004265.
- [10] Fernandez-Bustamante A, Frenzl G, Sprung J, et al. Postoperative pulmonary complications, early mortality, and hospital stay following noncardiothoracic surgery: a multicenter study by the perioperative research network investigators[J]. *JAMA Surg*, 2017, 152(2): 157–166. DOI: 10.1001/jamasurg.2016.4065.
- [11] Sharma R, Shultz SR, Robinson MJ, et al. Infections after a traumatic brain injury: the complex interplay between the immune and neurological systems[J]. *Brain Behav Immun*, 2019, 79: 63–74. DOI: 10.1016/j.bbi.2019.04.034.
- [12] 李晨光,陈晓鸣,屠伟峰,等. 肺部超声评分在颅脑损伤患者术后肺部并发症的预测价值[J]. *临床麻醉学杂志*, 2025, 41(1): 46–50. DOI: 10.12089/jca.2025.01.009.
- [13] Boussier J, Lemasle A, Hantala N, et al. Lung ultrasound score on postoperative day 1 is predictive of the occurrence of pulmonary complications after major abdominal surgery: a multicenter prospective observational study[J]. *Anesthesiology*, 2024, 140(3): 417–429. DOI: 10.1097/ALN.0000000000004855.
- [14] Gargani L, Lionetti V, Di Cristofano C, et al. Early detection of acute lung injury uncoupled to hypoxemia in pigs using ultrasound lung comets[J]. *Crit Care Med*, 2007, 35(12): 2769–2774. DOI: 10.1097/01.CCM.00000287525.03140.3F.
- [15] 李婕,朱金源,刘勤富,等. 肺部超声在 VAP 诊断与病情评估中的应用价值研究[J]. *中华危重病急救医学*, 2021, 33(6): 702–707. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200824-00589.
- [16] 顾彩虹,任华建,管增滢,等. 肺部超声评分与累积液体平衡相关性及其对腹腔感染患者拔管结局的预测价值[J]. *中华急诊医学杂志*, 2023, 32(2): 247–252. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2023.02.021.
- [17] Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, et al. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2011, 183(3): 341–347. DOI: 10.1164/rccm.201003-03690C.
- [18] Szabó M, Bozó A, Darvas K, et al. The role of ultrasonographic lung aeration score in the prediction of postoperative pulmonary complications: an observational study[J]. *BMC Anesthesiol*, 2021, 21(1): 19. DOI: 10.1186/s12871-021-01236-6.
- [19] Balofsky A, George J, Papadakos P. *Neuropulmonology*[J]. *Handb Clin Neurol*, 2017, 140: 33–48. DOI: 10.1016/B978-0-444-63600-3.00003-9.
- [20] He YP, Xu XX, Wang CH, et al. Prognostic value of the early lung ultrasound B-line score for postoperative pulmonary insufficiency in patients undergoing thoracic surgery: an observational study[J]. *Eur J Med Res*, 2023, 28(1): 160. DOI: 10.1186/s40001-023-01117-3.
- [21] 荆建敏,张玮玮,方志强,等. 床旁肺部超声对胃癌根治术患者术后肺部并发症的预测价值[J]. *中华麻醉学杂志*, 2023, 43(8): 937–941. DOI: 10.3760/cma.j.cn131073.20230426.00808.
- [22] Liu J. Lung Ultrasonography does not distinguish between interstitial and alveolar pulmonary edema[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2024, 14(3): 324. DOI: 10.3390/diagnostics14030324.
- [23] Lung Ultrasound Consortium. The diagnostic accuracy for ARDS of global versus regional lung ultrasound scores: a post hoc analysis of an observational study in invasively ventilated ICU patients[J]. *Intensive Care Med Exp*, 2019, 7(Suppl 1): 44. DOI: 10.1186/s40635-019-0241-6.

(收稿日期: 2025-07-18)

(本文编辑: 张耘菲)