

应用 EIT 技术监测 ICU 心外科术后患者肺部通气情况及其价值初探

刘文佳, 周润爽, 李尊柱, 苏龙翔, 崔文博, 隆云, 何怀武

中国医学科学院北京协和医院重症医学科, 北京 100730

通信作者: 李尊柱, E-mail: 1967786931@qq.com

【摘要】目的 应用电阻抗断层成像 (electrical impedance tomography, EIT) 技术监测 ICU 心外科术后患者的肺部通气情况, 并分析其在患者术后短期预后预测中的价值。**方法** 回顾性收集北京协和医院重症医学科 2023 年 1 月—11 月收治的心外科术后患者临床资料, 应用 EIT 技术监测患者肺部通气情况, 分析患者 4 个感兴趣区 (region of interest, ROI) 肺通气百分比对患者 ICU 住院时间、呼吸机使用时间和插管时间的影响。**结果** 共 46 例患者纳入本研究, 其中男性 29 例, 女性 17 例, 平均年龄 (58.2±9.5) 岁。手术时长≥5 h 的患者肺平行 ROI 4 区 (背侧) 通气更差 ($P=0.022$)。而 ROI 4 区通气<9% 的患者其氧合指数更低 ($P=0.025$), 呼吸机使用时间 ($P=0.004$)、插管时间 ($P=0.010$)、ICU 住院时间 ($P=0.018$) 均更长。在控制年龄、性别、手术时长和入室急性生理学与慢性健康状况 (acute physiology and chronic health evaluation, APACHE) 评分的影响后, 肺平行 ROI 4 区通气增加是患者术后短期预后的保护性因素 ($OR=0.743$, 95% CI: 0.587~0.941, $P=0.014$)。以 9.5% 为截点, 肺平行 ROI 4 区肺通气百分比预测患者预后差的灵敏度为 85.7%, 特异度为 56.2%, 曲线下面积为 0.752 (95% CI: 0.599~0.905, $P=0.007$)。**结论** 应用 EIT 监测技术, 可观察到 ICU 心外科手术后患者肺部通气情况与手术时长有关, 改善患者肺部 ROI 4 区通气或可提高患者术后短期预后。

【关键词】 心脏手术; ICU; 肺通气; 电阻抗断层成像; 患者预后

【中图分类号】 R654; R459.4 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-9081(2024)03-0573-07

DOI: 10.12290/xhyxzz.2023-0626

Applying the Electrical Impedance Tomography to Assess Lung Regional Ventilation Distribution in ICU Patients After Cardiac Surgery and Exploring Its Preliminary Values

LIU Wenjia, ZHOU Runshi, LI Zunzhu, SU Longxiang, CUI Wenbo, LONG Yun, HE Huaiwu

Department of Critical Care Medicine, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100730, China

Corresponding author: LI Zunzhu, E-mail: 1967786931@qq.com

【Abstract】Objective To apply electrical impedance tomography (EIT) technology to assess the lung regional ventilation distribution in patients admitted to the intensive care unit (ICU) after a cardiac surgery, and to analyze its value of predicting patients' short-term prognosis. **Methods** Data from 46 patients admitted to ICU after a cardiac surgery from January to November 2023 were retrospectively collected. Using EIT, we assessed the lung regional ventilation of four regions of interest (ROI) and analyzed its influence on patients'

基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFC2504505); 中央高水平医院临床科研专项 (2022-PUMCH-B-115); 北京协和医院护理科研课题 (XHHLKY202108)

引用本文: 刘文佳, 周润爽, 李尊柱, 等. 应用 EIT 技术监测 ICU 心外科术后患者肺部通气情况及其价值初探 [J]. 协和医学杂志, 2024, 15 (3): 573-579. doi: 10.12290/xhyxzz.2023-0626.

length of stay in ICU, mechanical ventilation duration and tracheal intubation duration. **Results** A total of 46 patients were selected, including 29 males and 17 females, with an average age of (58.2±9.5) years. The patients who received a cardiac surgery equal to or over 5 hours had worse ventilation in the dorsal region (ROI 4) ($P=0.022$). The patients with worse dorsal region ventilation (ROI 4<9%) had lower oxygenation index ($P=0.025$), longer mechanical ventilation duration ($P=0.004$), longer tracheal intubation duration ($P=0.010$), and longer ICU stay ($P=0.018$). A larger ROI 4 percent was a protective factor for patients' prognosis ($OR=0.743$, 95% CI: 0.587–0.941, $P=0.014$) after controlling for the impact of age, gender, length of surgery and acute physiology and chronic health evaluation (APACHE) score at the admission. With a cutoff value of 9.5%, ROI 4 had 85.7% sensitivity and 56.2% specificity to predict worse prognosis. The area under the curve (AUC) was 0.752 (95% CI: 0.599–0.905, $P=0.007$). **Conclusions** The length of a cardiac surgery influences patients' lung ventilation, which further impacts patients' prognosis. EIT can be used as a bedside tool to assess patients' lung ventilation and inform corresponding clinical interventions to improve patients' prognosis.

【Key words】 cardiac surgery; intensive care unit; lung ventilation; electrical impedance tomography; prognosis

Funding: National Key Research and Development Program of China (2022YFC2504505); National High Level Hospital Clinical Research Funding (2022-PUMCH-B-115); Peking Union Medical College Hospital Nursing Research Project (XHHLKY202108)

Med J PUMCH, 2024,15(3):573–579

心外科手术复杂、时间长、危险性高，术后长时间卧床和气管插管易影响患者的肺部通气。相关研究表明，心外科患者术后易发生肺不张，术后肺部感染风险显著增加^[1-3]。心脏手术中体外循环时间、主动脉阻断时间和机械通气时间是患者术后发生肺不张的危险因素^[4]。长时间体外循环可激活全身炎症反应，引起肺损伤和肺间质水肿^[5]。患者肋间肌和胸骨运动受限，肺泡内分泌物积聚阻塞支气管造成肺不张^[4]，可严重影响患者的氧合，延长机械通气时间和ICU住院时间^[2,6]。

电阻抗断层成像 (electrical impedance tomography, EIT) 技术是一种无创、无辐射、可视化的新型床旁医学成像技术，其通过局部电极对胸腔施加的微弱电流感应呼吸过程中的生物电阻抗变化，利用相应成像算法实现对肺断层通气的实时和动态监测，可及时发现肺区域通气过度或通气不足等情况，为临床干预提供依据和指导^[7-11]。20世纪80年代至今，EIT在国内的应用已越来越广泛^[12]。心外科术后入住ICU的患者需要重症监护，不方便外出做CT等检查，床旁EIT监测更具有临床实用性。有研究显示，应用EIT对冠状动脉旁路移植术后患者的呼气末正压进行滴定，可改善患者的肺部通气情况^[13]。但应用EIT技术对心外科术后患者的肺通气情况进行监测和评估，进而对其预后情况进行评价的研究尚未见报道。本研究回顾性收集2023年1—11月北京协和医院重症医学科收治的心外科术后患者临床资料，观察应用EIT

技术监测患者术后肺部通气的具体指标，并分析肺通气因素对患者短期预后的预测价值，以期为临床诊疗提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为回顾性队列研究，以2023年1—11月北京协和医院重症医学科收治的心外科手术患者为研究对象。纳入标准：(1) 年龄≥18周岁；(2) 因心脏器质性病变于心外科接受手术治疗并于术后入住重症医学科的患者；(3) 在重症医学科1~3 d内应用EIT监测仰卧位肺部通气情况。排除标准：(1) 合并严重感染或其他并发症；(2) EIT监测数据不全或病历资料不完整。

本研究已获得北京协和医院伦理审查委员会批准(审批号：K23C1892)，并豁免患者知情同意。

1.2 EIT监测

患者进入重症医学科后1~3 d内采用EIT仪(设备型号：Dräger Pulmo Vista 500)监测其肺部通气情况。具体方法：根据患者胸围选择合适的EIT电极带，涂抹耦合剂后固定于患者第4~5肋间，将另一电阻对比电极固定于患者腹部。确定16个电极信号良好后，进行数据采集。应用Dräger EIT Data Analysis Tool 6.3和Matlab Runtime 2023对数据图像进行分析。采集的肺部图像划分为4个感兴趣区

(region of interest, ROI), 其中 ROI 1 区和 2 区为非重力依赖区, ROI 3 区和 4 区为重力依赖区。ROI 可按 4 个象限划分, 也可按由腹侧至背侧平行划分 (图 1)。4 个区域通气百分比之和为 100%, 平行 ROI 1 区和 4 区的参考范围为 10%~15%, 平行 ROI 2 区和 3 区的参考范围为 30%~40%^[13-14]。

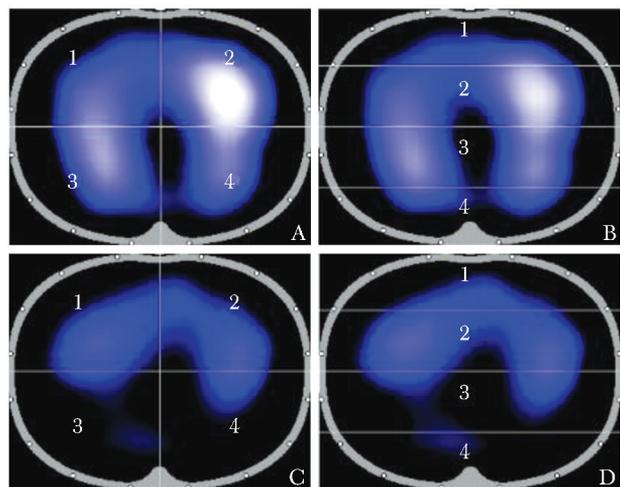


图 1 EIT 监测患者肺部通气分区示意图 (1、2、3、4 分别代表 ROI 1 区、2 区、3 区、4 区)

A. 正常肺四象限通气; B. 异常肺四象限肺通气; C. 正常肺平行四区通气; D. 异常肺平行四区通气

Fig. 1 Lung regional ventilation distribution assessed by EIT (The number 1, 2, 3, 4 represent ROI 1, 2, 3, 4 separately)

A. normal four-quadrant lung ventilation distribution;
B. abnormal four-quadrant lung ventilation distribution;
C. normal parallel lung ventilation distribution;
D. abnormal parallel lung ventilation distribution

EIT (electrical impedance tomography): 电阻抗断层成像; ROI (region of interest): 感兴趣区

1.3 观察指标

从医院电子信息系统获取患者的一般资料, 包括性别、年龄、手术类型、手术时长、入室时间、入室诊断、转出时间、ICU 住院时间、反映患者病情危重程度的急性生理学与慢性健康状况 (acute physiology and chronic health evaluation, APACHE)、血氧饱和度 (saturation of pulse oxygen, SpO₂)、氧合指数 (PaO₂/FiO₂, 动脉血氧分压/吸氧浓度)、呼吸机使用时间、气管插管时间, 以及 EIT 监测下肺部四象限 ROI 1~4 区通气百分比和平行 ROI 1~4 区通气百分比。

研究显示, 手术时长 ≥ 5 h 患者的感染发生风险是手术时长 < 5 h 患者的 3.714 倍^[1], 同时 5 h 也是本研究数据中位数, 故将患者按手术时间 < 5 h 和

≥ 5 h 进行分组, 比较 4 个象限肺部通气情况。然后按平行 ROI 4 区通气百分比的中位数 (9%), 将患者分为 ROI 4 $< 9\%$ 组和 ROI 4 $\geq 9\%$ 组, 比较两组氧合指数、ICU 住院时间、呼吸机使用时间和气管插管时间的差异。另外, 文献显示心脏手术后入住 ICU 超过 5 d 的患者死亡率显著增高^[15], 故将 ICU 住院时间 > 5 d 的患者定义为预后差, 分析影响患者预后的因素。

1.4 样本量估算

受可获得的研究数据的限制, 本研究拟纳入 46 例患者。使用 G * Power 3.1.9.6 计算, 在检验水准 α 为 0.05、检验效能 (1- β) 为 0.8 的条件下, 本研究 *t* 检验和 Mann-Whitney *U* 秩和检验的效应值为 0.87~0.94, 效应水平较高; Logistic 回归分析的实际检验效能为 0.80, 可满足研究需要。

1.5 统计学处理

应用 SPSS 27.0 统计软件进行分析。所有数据均先进行 Kolmogorov-Smirnov 正态分布检验和 Levene 方差齐性检验。符合正态分布的连续变量采用均数 \pm 标准差表示, 符合偏态分布的连续变量采用中位数 (四分位数间距) 表示, 分类变量采用频数 (百分数) 表示。组间比较采用两独立样本 *t* 检验或 Mann-Whitney *U* 秩和检验。性别差异或用卡方检验。采用二元 Logistic 回归分析对影响患者预后的危险因素进行多因素分析, 并采用受试者工作特征 (receiver operating characteristics, ROC) 曲线评价平行 ROI 4 区通气值对患者的预后预测价值, 曲线下面积 (area under the curve, AUC) 越接近于 1 表示预测效果越好。根据约登指数 (Youden's index) 最大值判断最佳截点^[16]。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

共入选符合纳入和排除标准的患者 46 例。其中男性 29 例, 女性 17 例; 年龄 35~74 岁, 平均 (58.2 \pm 9.5) 岁; 入室 APACHE 评分 6~24 分, 平均 (13.1 \pm 3.9) 分; 手术时长 3~12 h, 平均 (5.5 \pm 1.9) h; ICU 住院时间 2~9 d, 平均 (4.6 \pm 1.8) d。心脏手术类型: 冠状动脉旁路移植术 18 例, 瓣膜成形/置换术 19 例, 主动脉替换术 4 例, 肿物切除术 3 例, 室间隔缺损修补术 1 例, 肺动脉内膜剥脱术 1 例。患者一般资料及 EIT 监测下肺部各区域通气情况见表 1。

表 1 46 例患者一般资料

Tab. 1 Demographic characteristics of 46 patients

指标	数值
年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	58.2 \pm 9.5
性别 [n (%)]	
男	29 (63.0)
女	17 (37.0)
入室 APACHE 评分 ($\bar{x}\pm s$, 分)	13.1 \pm 3.9
手术时长 [M (IQR), h]	5.0 (2.0)
SpO ₂ [M (IQR), %]	98.0 (4.0)
氧合指数 ($\bar{x}\pm s$, mm Hg)	259.8 \pm 77.6
肺四象限 ROI (%)	
1 区 [M (IQR)]	29.5 (18.3)
2 区 ($\bar{x}\pm s$)	23.4 \pm 11.1
3 区 ($\bar{x}\pm s$)	26.4 \pm 10.0
4 区 ($\bar{x}\pm s$)	18.3 \pm 8.8
肺平行 ROI (%)	
1 区 [M (IQR)]	10.0 (6.3)
2 区 ($\bar{x}\pm s$)	44.4 \pm 7.2
3 区 [M (IQR)]	36.0 (10.0)
4 区 [M (IQR)]	9.0 (6.3)
ICU 住院时间 [M (IQR), d]	4.5 (3.0)
呼吸机使用时间 [M (IQR), h]	45.0 (46.0)
气管插管时间 [M (IQR), h]	50.5 (54.3)

APACHE (acute physiology and chronic health evaluation): 急性生理学与慢性健康状况; ROI: 同图 1

2.2 手术时长对患者肺部通气的影响

手术时长 < 5 h 的患者 17 例 (37.0%), \geq 5 h 的患者 29 例 (63.0%)。两组患者性别、年龄、APACHE 评分、四象限和平行 ROI 1~3 区肺部通气百分比差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05), 手术时长 \geq 5 h 的患者四象限 ROI 4 区通气百分比 ($t=2.024, P=0.049$) 和平行 ROI 4 区通气百分比

($t=2.372, P=0.022$) 均更差, 差异具有统计学意义 (表 2)。

2.3 ROI 4 区通气情况对患者术后短期预后的影响

ROI 4 区通气 < 9% 和 ROI 4 区通气 \geq 9% 的患者各有 23 例。两组患者的年龄、性别、手术时长、APACHE、SpO₂ 差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。与平行 ROI 4 区肺通气 \geq 9% 的患者相比, 平行 ROI 4 区通气 < 9% 的患者氧合指数更低 ($t=-2.313, P=0.025$), ICU 住院时间更长 ($Z=-2.360, P=0.018$), 呼吸机使用时间更长 ($Z=-2.868, P=0.004$), 气管插管时间更长 ($Z=-2.561, P=0.010$), 详见表 3。

2.4 患者术后短期预后的多因素分析

ICU 住院时间 \leq 5 d 的患者 32 例 (69.6%), 住院时间 > 5 d 的患者 14 例 (30.4%)。预后好的患者呼吸机使用时间 (17.7 h 比 36.7 h, $P<0.001$), 气管插管时间 (17.5 h 比 37.1 h, $P<0.001$) 均更短。多因素 Logistic 回归分析显示, 在控制年龄、性别、手术时长和入室 APACHE 评分的影响后, 肺平行 ROI 4 区通气增加是患者预后的保护因素 ($OR=0.743, 95\% CI: 0.587\sim 0.941, P=0.014$), 见表 4。ROC 曲线分析显示, 可用来判断患者预后的最佳平行 ROI 4 区通气截点值为 9.5%。当患者平行 ROI 4 区通气 \leq 9.5% 时, 预测患者短期预后差的灵敏度为 85.7%, 特异度为 56.2%, AUC 为 0.752 (95% CI: 0.599~0.905, $P=0.007$), 见图 2。

3 讨论

本研究应用 EIT 技术, 监测 46 例心外科手术后入住 ICU 患者的肺部通气情况, 分析手术时长对患者肺部通气的影响, 以及不同区域肺通气对患者预后的影响, 并采用多因素回归分析和 ROC 曲线对患者的

表 2 手术时长对患者术后肺部通气百分比的影响 ($\bar{x}\pm s, \%$)Tab. 2 Impact of the length of surgery on patients' lung regional ventilation ($\bar{x}\pm s, \%$)

肺部通气分区	手术时长 < 5 h ($n=17$)	手术时长 \geq 5 h ($n=29$)	t	P 值
四象限 ROI 1 区	28.0 \pm 10.5	34.1 \pm 10.4	-1.901	0.064
四象限 ROI 2 区	25.2 \pm 11.3	22.4 \pm 11.0	0.814	0.420
四象限 ROI 3 区	25.0 \pm 9.6	27.2 \pm 10.4	-0.703	0.486
四象限 ROI 4 区	21.6 \pm 8.7	16.3 \pm 8.4	2.024	0.049
平行 ROI 1 区	9.3 \pm 3.9	11.9 \pm 5.4	-1.718	0.093
平行 ROI 2 区	44.1 \pm 7.1	44.6 \pm 7.4	-0.225	0.823
平行 ROI 3 区	34.6 \pm 6.8	34.8 \pm 8.3	-0.072	0.943
平行 ROI 4 区	12.1 \pm 5.6	8.7 \pm 4.0	2.372	0.022

ROI: 同图 1

表 3 按平行 ROI 4 区肺部通气分组比较患者预后

Tab. 3 Differences in patients' prognosis of groups divided by ROI 4 ventilation percent

指标	平行 ROI 4 区通气 < 9% (n=23)	平行 ROI 4 区通气 ≥ 9% (n=23)	t/Z/χ ²	P 值
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	58.3 ± 8.2	58.1 ± 10.9	0.061	0.952
性别 [n (%)]				
男	14 (60.9)	15 (65.2)	0.013	0.908
女	9 (39.1)	8 (34.8)		
手术时长 [M (IQR), h]	5.0 (1.5)	5.0 (2.0)	-0.630	0.529
入室 APACHE 评分 ($\bar{x} \pm s$, 分)	12.8 ± 3.1	13.4 ± 4.6	-0.489	0.627
SpO ₂ [M (IQR), %]	98.0 (4.0)	98.0 (3.0)	-0.190	0.849
氧合指数 ($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	234.5 ± 59.9	285.0 ± 85.9	-2.313	0.025
ICU 住院时间 [M (IQR), d]	5.0 (2.0)	4.0 (2.0)	-2.360	0.018
呼吸机使用时间 [M (IQR), h]	63.0 (46.0)	32.0 (23.0)	-2.868	0.004
气管插管时间 [M (IQR), h]	68.0 (55.0)	36.0 (41.0)	-2.561	0.010

ROI: 同图 1

表 4 影响患者预后的多因素 Logistic 回归分析

Tab. 4 Multivariate Logistic regression analysis of risk factors for patients' prognosis

变量	β	SE	Wald	P 值	OR	95% CI
常数	5.091	3.797	1.798	0.180	-	-
平行 ROI 4 区通气	-0.297	0.120	6.088	0.014	0.743	0.587~0.941
年龄	-0.024	0.046	0.268	0.605	0.977	0.893~1.068
性别	-0.447	0.802	0.312	0.577	0.639	0.133~3.076
手术时长	-0.233	0.218	1.141	0.285	0.792	0.516~1.215
入室 APACHE 评分	-0.028	0.108	0.068	0.794	0.972	0.787~1.201

ROI: 同图 1; APACHE: 同表 1

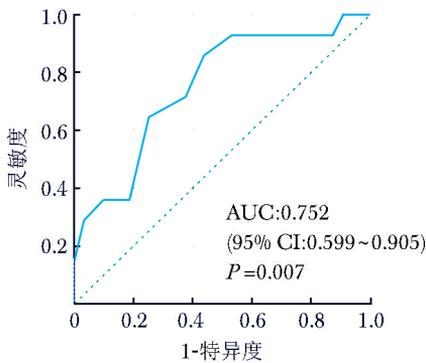


图 2 采用平行 ROI 4 区通气判断患者短期预后的 ROC 曲线

Fig. 2 ROC curve using ROI 4 ventilation percent to predict patients' prognosis

ROC (receiver operating characteristic): 受试者工作特征; AUC (area under the curve): 曲线下面积

短期预后进行预测。结果显示,接受心脏手术时间更长 (≥ 5 h) 的患者,术后入住 ICU 后其受重力影响的肺部区域 (ROI 4 区) 通气更差;而 ROI 4 区通气

更差 (<9%) 的患者,其短期预后也更差,包括呼吸机使用时间、气管插管时间、ICU 住院时间均更长。当患者平行 ROI 4 区通气 $\leq 9.5\%$ 时,预测患者短期预后差的灵敏度为 85.7%, AUC 为 0.752。

EIT 技术在国内的广泛应用始于 2014 年,并于 2019 年 COVID-19 疫情暴发后作为无创床旁肺部监测工具而在临床迅速普及^[12,17]。EIT 主要应用于滴定呼吸机参数 (尤其多见于 ICU 急性呼吸窘迫综合征的患者^[18])、评价肺部治疗效果、监测患者自主呼吸以判断脱机时机、以及在术中和术后评估患者的肺部通气情况等^[12]。患者术后的肺通气监测主要用于及时发现由长期麻醉造成的肺不张等并发症^[19]。然而,目前尚未见研究报道 EIT 监测下的肺通气情况如何对患者的短期预后产生影响。

既往研究已发现手术时间延长是造成心外科手术患者滞留 ICU 天数延长的重要因素之一^[5]。本研究进一步表明,手术时间延长很可能是因为影响了患者的肺部通气进而延长了患者在 ICU 的滞留时间。手

术时间长对平行 ROI 4 区通气影响大,对 ROI 1~3 区影响较小,可能是由于 ROI 4 区为重力依赖区,与患者术中长时间保持平卧位导致背侧肺部长期受压有关。本研究结果显示,ROI 4 区通气更差的患者不仅有更长的 ICU 滞留时间,也有更长的呼吸机使用时间和气管插管时间。既往研究表明,在肺部的 4 个区域中,ROI 4 区通气对早期活动(床旁坐、站立、使用轮椅、原地踏步等)、俯卧位通气、振肺排痰等干预措施更加敏感^[14,20]。因此可采取上述措施促进呼吸功能恢复,提高氧合,加速脱机、拔管,促进患者快速康复。

此外,本研究还通过 ROC 曲线分析确定了预测患者预后的平行 ROI 4 区通气阈值:当 ROI 4 区通气百分比 $\leq 9.5\%$ 时,预测患者短期预后差的灵敏度为 85.7%,特异度为 56.2%,AUC 为 0.752。虽然 Draeger 医疗公司通过临床统计已提供了健康人肺部平行 4 个区域通气百分比的参考范围(ROI 1 区和 4 区:10%~15%,ROI 2 区和 3 区:30%~40%)^[13],但尚未有资料给出评价各个区域通气程度的标准。本文揭示了 ROI 4 区通气对患者预后的预测价值,为平行 ROI 4 区通气的评价标准提供了参考。

心脏手术属于大型手术,手术复杂程度高、危险性大,入住 ICU 后病情需要重点监测。EIT 操作简单、直观便捷,能够在床旁使用并能快速成像,可辅助医护人员对患者的肺通气情况作出即时评估和判断,筛选出有更高预后不良风险的患者,从而进行针对性的重点干预,在节约医疗资源和人力成本的同时提高医疗护理质量。

本研究仍存在一定局限性。首先,样本量偏少,部分患者因术后胸前有伤口敷料,安放 EIT 绑带易对伤口造成污染,考虑到患者安全,未对其进行 EIT 监测。其次,EIT 虽然便捷有效,但仅起到初步评估患者肺通气的作用,影响心脏术后患者预后的因素众多,除肺通气外,患者的术前合并症(如高血压、肾功能不全等)和心功能分级、术中体外循环时间和抗凝情况、术后血流动力学稳定性和并发症等均可能成为重要因素^[21-22]。未来应开展大样本前瞻性研究,以平衡此类因素可能导致的偏倚,进一步证实肺通气对患者预后的预测价值。

综上,应用 EIT 对心外科术后入住 ICU 的患者进行床旁监测可帮助医护人员及时评估和发现患者肺部各区域的通气情况,为进一步采取相应的临床护理干预措施提供了参考。ROI 4 区百分比是反映接受长时间手术的久卧患者肺部通气情况的良好指标,且灵敏

度较高。临床可根据患者的手术时长和肺部通气情况采取相应的干预措施,以改善患者预后。

作者贡献:刘文佳负责数据整理、统计分析及初稿撰写;周润爽、崔文博负责文章构思与数据挖掘;李尊柱负责课题立项、论文选题设计及数据收集;苏龙翔负责提供论文撰写意见与方法指导;隆云、何怀武负责整体质量控制与论文修订。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 邵明鑫. 心外科病人术后医院感染现状及影响因素分析 [D]. 青岛: 青岛大学, 2022.
Shao M X. Analysis of nosocomial infection in cardiac surgery and its influencing factors [D]. Qingdao: Qingdao University, 2022.
- [2] Dennie C, Gee Y Y, Oikonomou A, et al. Clinical correlation of early atelectasis after bilateral internal thoracic artery harvest for coronary artery bypass grafting [J]. *Heart Lung Circ*, 2016, 25 (6): 620-625.
- [3] 韦婷元. 胸心外科术后肺不张和肺部感染的临床护理观察 [J]. *世界最新医学信息文摘*, 2019, 19 (53): 366.
Wei T Y. Clinical nursing observation of postoperative atelectasis and pulmonary infection in thoracic and cardiac surgery [J]. *World Latest Med Inf*, 2019, 19 (53): 366.
- [4] 王维, 赵卓. 517 例瓣膜置换术后发生肺不张的危险因素分析 [J]. *临床外科杂志*, 2006, 14 (11): 730-731.
Wang W, Zhao Z. Clinical complications analysis of atelectasis after cardiac valve replacement [J]. *J Clin Surg*, 2006, 14 (11): 730-731.
- [5] 刘富荣, 孟树萍, 王晓航, 等. 术前术中情况对成人心外科术后 ICU 滞留天数的影响 [J]. *河南医学研究*, 2019, 28 (12): 2147-2150.
Liu F R, Meng S P, Wang X H, et al. The impact of preoperative and intraoperative conditions on the number of ICU stay days after adult cardiac surgery [J]. *Henan Med Res*, 2019, 28 (12): 2147-2150.
- [6] Zarri M, Paryad E, Khanghah A G, et al. Predictors of length of stay in intensive care unit after coronary artery bypass grafting: development a risk scoring system [J]. *Braz J Cardiovasc Surg*, 2021, 36 (1): 57-63.
- [7] 王浩, 姜宏英, 李伊, 等. 电阻抗断层成像技术在呼吸康复中的应用 [J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2023, 46 (7): 714-719.
Wang H, Jiang H Y, Li Y, et al. Application of electrical impedance tomography in pulmonary rehabilitation [J].

- Chin J Tuberc Respir Dis, 2023, 46 (7): 714-719.
- [8] 杨庆云, 胡兴硕, 解立新. ICU 可视化动态评估心肺功能新技术: 电阻抗断层成像 [J]. 国际呼吸杂志, 2023, 43 (1): 15-20.
Yang Q Y, Hu X S, Xie L X. A new technology for visual dynamic assessment of cardiopulmonary function in ICU: electrical impedance tomography [J]. Int J Respir, 2023, 43 (1): 15-20.
- [9] 中国卫生信息与健康医疗大数据学会重症医学分会标准委员会, 北京肿瘤学会重症医学专业委员会, 中国重症肺电阻抗工作组. 肺电阻抗成像技术在重症呼吸管理中的临床应用中国专家共识 [J]. 中华医学杂志, 2022, 102 (9): 615-628.
China Health Information and Healthcare Big Data Society Critical Care Medicine Branch Standards Committee, Beijing Cancer Society Critical Care Medicine Professional Committee, China Severe Pulmonary Electrical Impedance Working Group. Chinese expert consensus on the clinical application of pulmonary electrical impedance imaging technology in severe respiratory management [J]. Natl Med J China, 2022, 102 (9): 615-628.
- [10] Frerichs I, Amato M B P, Van Kaam A H, et al. Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations: consensus statement of the TRanslational EIT developmeNt stuDy group [J]. Thorax, 2017, 72 (1): 83-93.
- [11] Vasques F, Sanderson B, Barrett N A, et al. Monitoring of regional lung ventilation using electrical impedance tomography [J]. Minerva Anesthesiol, 2019, 85 (11): 1231-1241.
- [12] Zhao Z Q, Fu F, Frerichs I. Thoracic electrical impedance tomography in Chinese hospitals: a review of clinical research and daily applications [J]. Physiol Meas, 2020, 41 (4): 04TR01.
- [13] 王颖骅, 潘雁, 杨敏. 电阻抗成像技术在不停跳冠脉旁路移植术后肺复张中的临床应用 [J]. 上海交通大学学报 (医学版), 2018, 38 (6): 653-657.
Wang Y H, Pan Y, Yang M. Application of electrical impedance tomography for postoperative lung recruitment in patients undergoing off pump coronary artery bypass grafting surgery [J]. J Shanghai Jiaotong Univ (Med Sci), 2018, 38 (6): 653-657.
- [14] 周润爽, 隆云, 李尊柱, 等. EIT 监测 ARDS 脱机困难患者早期活动过程中肺部通气变化 [J]. 中华重症医学电子杂志, 2021, 7 (4): 319-325.
Zhou R S, Long Y, Li Z Z, et al. Study on monitoring lung ventilation during early mobilization in ARDS patients with difficulty of weaning from mechanical ventilation based on electrical impedance tomography technology [J]. Chin J Crit Care Intensive Care Med Electron Ed, 2021, 7 (4): 319-325.
- [15] Shah V, Ahuja A, Kumar A, et al. Outcomes of prolonged ICU stay for patients undergoing cardiac surgery in Australia and New Zealand [J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2022, 36 (12): 4313-4319.
- [16] Fluss R, Faraggi D, Reiser B. Estimation of the youden index and its associated cutoff point [J]. Biom J, 2005, 47 (4): 458-472.
- [17] Li Z, Qin S J, Chen C, et al. Emerging trends and hot spots of electrical impedance tomography applications in clinical lung monitoring [J]. Front Med (Lausanne), 2021, 8: 813640.
- [18] Bachmann M C, Morais C, Bugedo G, et al. Electrical impedance tomography in acute respiratory distress syndrome [J]. Crit Care, 2018, 22 (1): 263.
- [19] Spinelli E, Mauri T, Fogagnolo A, et al. Electrical impedance tomography in perioperative medicine: careful respiratory monitoring for tailored interventions [J]. BMC Anesthesiol, 2019, 19 (1): 140.
- [20] Yuan S Y, Chi Y, Long Y, et al. Effect of position change from the bed to a wheelchair on the regional ventilation distribution assessed by electrical impedance tomography in patients with respiratory failure [J]. Front Med (Lausanne), 2021, 8: 744958.
- [21] 石宇, 陆树洋, 马文锐, 等. 单中心 130 例再次心脏瓣膜手术病因及围术期风险因素分析 [J]. 复旦学报 (医学版), 2020, 47 (5): 694-699.
Shi Y, Lu S Y, Ma W R, et al. Causes and perioperative risks of 130 cardiac valve reoperations: a contemporary single-center analysis [J]. Fudan Univ J Med Sci, 2020, 47 (5): 694-699.
- [22] 王浩, 刘志刚, 王伟, 等. 二尖瓣狭窄患者外科术后早期预后影响因素 [J]. 吉林医学, 2023, 44 (9): 2413-2418.
Wang H, Liu Z G, Wang W, et al. Factors influencing early postoperative prognosis in patients with mitral stenosis after surgery [J]. Jilin Med J, 2023, 44 (9): 2413-2418.

(收稿: 2023-12-16 录用: 2024-01-18 在线: 2024-04-15)

(本文编辑: 李娜)