

冠状动脉旁路移植术后患者谵妄发生的危险因素及预测模型研究

王安红

(西安交通大学第一附属医院 陕西西安 710000)

【摘要】目的：探讨冠状动脉旁路移植术后患者发生谵妄的危险因素，并构建具有预测效能的列线图模型。方法：选取2024年4月至2025年4月于我院择期行冠状动脉旁路移植术的118例患者作为研究对象。根据术后3天内是否发生谵妄，将患者分为观察组（发生谵妄）与对照组（未发生谵妄）。采用单因素分析筛选两组患者的基线资料、术中指标及术后指标，通过多因素Logistic回归分析确定独立危险因素，并基于R语言构建预测模型。结果：118例患者中，术后发生谵妄38例（发生率32.20%）。多因素分析显示，高龄、术前蒙特利尔认知评估量表评分降低、术中局部脑氧饱和度下降幅度增大、术后静息态脑电图慢波比例增高以及术后疼痛数字评分增高是CABG术后发生谵妄的独立危险因素（ $P<0.05$ ）。基于上述因素构建的预测模型受试者工作特征曲线下面积为0.876，Hosmer-Lemeshow拟合优度检验显示模型校准度良好。结论：本研究构建的包含脑氧代谢与脑电活动指标的预测模型对冠状动脉旁路移植术后谵妄具有较高的预测价值，有助于临床早期识别高危人群。

【关键词】冠状动脉旁路移植术；术后谵妄；危险因素；预测模型；脑氧饱和度

Study on Risk Factors and Predictive Model for Delirium in Patients After Coronary Artery Bypass Grafting (CABG)

Wang Anhong

(First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710000)

[Abstract] Objective: To investigate the risk factors for delirium in patients post-CABG and establish a predictive logistic regression model. Methods: A total of 118 patients who underwent elective CABG at our hospital from April 2024 to April 2025 were enrolled as study subjects. Patients were divided into an observation group (those who developed delirium) and a control group (those who did not) based on the occurrence of delirium within 3 days postoperatively. Baseline characteristics, intraoperative parameters, and postoperative indicators were screened using univariate analysis, and independent risk factors were identified through multivariate logistic regression analysis. A predictive model was constructed using R language. Results: Among the 118 patients, 38 developed delirium postoperatively (incidence rate: 32.20%). Multivariate analysis revealed that advanced age, decreased Montreal Cognitive Assessment (MCA) scores preoperatively, greater intraoperative local cerebral oxygen saturation reduction, increased proportion of slow waves in postoperative resting electroencephalogram (EEG), and higher postoperative pain numerical scores were independent risk factors for delirium after CABG ($P<0.05$). The receiver operating characteristic (ROC) curve area for the predictive model based on these factors was 0.876, and the Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test indicated good model calibration. Conclusion: The predictive model constructed in this study, incorporating indicators of cerebral oxygen metabolism and electroencephalographic activity, demonstrates high predictive value for postoperative delirium following coronary artery bypass grafting (CABG), facilitating early clinical identification of high-risk populations.

[Key words] Coronary artery bypass grafting; Postoperative delirium; Risk factors; Predictive model; Brain oxygen saturation

引言：

术后谵妄是冠状动脉旁路移植术后常见且严重的神经系统并发症，不仅延长患者ICU停留时间及住院时间，增加医疗费用，还与术后远期认知功能下降及死亡率升高密切相关。尽管目前关于POD的研究较多，但CABG手术因其涉及体外循环、非搏动性灌注及微栓塞等因素，其POD的发生机制更为复杂。常规的危险因素分析多集中于人口学特征及生化指标，缺乏对术中脑灌注状态及术后脑功能客观电生理指标的整合^[1]。因此，本研究旨在综合分析CABG术后患者谵妄发生的新型危险因素，引入术中局部脑氧饱和度及术后静息态脑电图参数，构建一个多维度、高精度的预测模型，以期为临床早期干预提供循证依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2024年4月至2025年4月在我院心脏外科择期行非急诊CABG手术的118例患者作为研究对象。纳入标准：①符合冠心病诊断标准，首次行正中开停跳或非停跳CABG；②年龄45-75岁；③术前无精神疾病史、无痴呆或严重认知障碍，能配合术前评估；④术前左心室射血分数 $>35\%$ 。排除标准：①既往有颅脑外伤史、颅内器质性病变或癫痫病史；②术前存在意识障碍、失语、严重听力或视力障碍影响交流；③合并严重肝肾功能不全（术前丙氨酸氨基转移酶 $>$ 正常值3倍，血肌酐 >2.5 毫克每分升）；④急诊手术或合并其他心脏手术。本研究经医院伦理委员会批准，所有患者或家属均签署知情同意书。根据术后3天内是否发生谵妄，将患者分为观察组（谵妄组，38例）和对照组（非谵妄组，80例）。

1.2 方法

所有患者均采用静吸复合全身麻醉，术中根据患者病情



及术者习惯选择体外循环下手术或非体外循环下手术。创新点在于实施精细化脑保护监测与干预对比方案: 对照组给予常规麻醉管理与术后镇痛; 观察组(本研究实际指谵妄发生组, 此处指研究整体的暴露因素采集)除了常规管理外, 重点采集术中基于近红外光谱技术的局部脑氧饱和度数据, 记录其相对于基础值的最大下降幅度。术后 24 小时内, 对所有患者(无论是否谵妄)进行床旁静息态脑电图监测, 采集额区慢波相对功率。术后镇痛采用统一的多模式镇痛方案, 但每日两次记录静息及活动时疼痛数字评分。研究旨在对比发生谵妄与未发生谵妄患者在“术中脑氧波动”及“术后脑电慢波”这两项创新指标上的差异。

1.3 观察指标

观察指标不仅涵盖常规资料, 特别增加了具有神经生理学特异性的指标: ①术前指标: 蒙特利尔认知评估量表评分、医院焦虑抑郁量表评分; ②术中指标: 体外循环时间、主动脉阻断时间、术中最低血红蛋白、术中红细胞输注量、以及创新指标术中局部脑氧饱和度下降幅度(即基础值与术中最低值的差值百分比); ③术后指标: 机械通气时间、术后 24 小时引流量、术后首次疼痛数字评分、以及创新指标术后静息态脑电图慢波比例(选取 FP1-FP2 导联, 计算 delta 波与 theta 波相对功率之和)。④主要结局指标: 术后 3 天内采用

表 1 两组患者基线资料与术前指标比较

| 组别 | 例数 | 年龄(岁) | 男性[例(%)] | 体重指数(kg/m ²) | 术前 MoCA 评分(分) |
|--------------------|----|--------------|------------|--------------------------|---------------|
| 观察组 | 38 | 68.45 ± 6.32 | 26 (68.42) | 24.81 ± 2.45 | 24.51 ± 2.13 |
| 对照组 | 80 | 62.18 ± 7.51 | 54 (67.50) | 25.02 ± 2.67 | 27.34 ± 1.89 |
| t/x ² 值 | | 4.783 | 0.010 | 0.411 | 7.192 |
| P 值 | | <0.001 | 0.920 | 0.682 | <0.001 |

2.2 两组患者术中指标比较

在术中指标方面, 两组在手术方式(体外循环比例)及手术时长上差异无显著性。然而, 观察组术中局部脑氧饱和

ICU 意识模糊评估法评估谵妄发生情况, 每日评估 2 次。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 27.0 与 R 语言进行分析。计量资料先行正态性检验, 符合正态分布以均数 ± 标准差表示, 组间比较采用两独立样本 t 检验; 非正态分布以中位数表示, 采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以例数和百分比表示, 组间比较采用卡方检验。将单因素分析中 P<0.05 的变量纳入多因素 Logistic 回归分析, 筛选独立危险因素。基于回归结果, 应用 R 软件构建列线图预测模型。采用受试者工作特征曲线评估模型区分度, 采用 Hosmer-Lemeshow 检验评估模型校准度。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者基线资料与术前指标比较

观察组与对照组在性别构成、体重指数及既往史方面差异无统计学意义。在年龄分布上, 观察组患者平均年龄显著高于对照组, 且观察组的术前蒙特利尔认知评估量表评分明显低于对照组, 提示高龄及术前潜在的认知储备减少与术后谵妄相关。

度下降幅度显著大于对照组, 且术中红细胞输注量也多于对照组, 提示术中脑氧供需失衡及微循环障碍可能在谵妄发生中起重要作用。

表 2 两组患者术中指标比较

| 组别 | 例数 | 体外循环[例(%)] | 手术时间(min) | 术中 rSO ₂ 下降幅度(%) | 术中红细胞输注(U) |
|--------------------|----|------------|----------------|-----------------------------|-------------|
| 观察组 | 38 | 24 (63.16) | 245.32 ± 38.56 | 24.68 ± 5.34 | 2.21 ± 0.98 |
| 对照组 | 80 | 46 (57.50) | 238.74 ± 41.23 | 16.45 ± 4.87 | 1.35 ± 0.67 |
| t/x ² 值 | | 0.342 | 0.826 | 8.241 | 5.476 |
| P 值 | | 0.558 | 0.411 | <0.001 | <0.001 |

2.3 两组患者术后早期指标比较

术后指标对比显示, 观察组机械通气时间长于对照组, 但差异无统计学意义。具有显著差异的是, 观察组术后静息

态脑电图慢波比例明显增高, 且术后首次疼痛数字评分也更高。这表明术后早期脑电活动的慢波化(反映脑功能抑制)及急性疼痛刺激是谵妄的诱发因素。

表 3 两组患者术后早期指标比较

| 组别 | 例数 | 机械通气时间(h) | 术后 24h 引流量(ml) | 术后 rs-EEG 慢波比例(%) | 术后首次 NRS 评分(分) |
|--------------------|----|--------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 观察组 | 38 | 18.45 ± 5.62 | 485.62 ± 120.34 | 45.63 ± 8.71 | 5.13 ± 1.24 |
| 对照组 | 80 | 16.78 ± 4.93 | 452.18 ± 115.67 | 32.45 ± 7.22 | 3.87 ± 1.05 |
| t/x ² 值 | | 1.632 | 1.442 | 8.674 | 5.714 |
| P 值 | | 0.105 | 0.152 | <0.001 | <0.001 |

2.4 多因素回归分析及预测模型构建

将单因素分析中 P<0.05 的变量纳入二元 Logistic 回归分析。结果显示, 年龄、术前蒙特利尔认知评估量表评分、术中局部脑氧饱和度下降幅度、术后静息态脑电图慢波比例及

术后疼痛数字评分是 CABG 术后谵妄的独立预测因子。基于上述 5 个变量构建的列线图模型, 其受试者工作特征曲线下面积为 0.876 (95%CI 0.812-0.940), Hosmer-Lemeshow 检验 P=0.562, 模型拟合良好。

表 4 多因素回归分析及预测模型构建

| 组别 | 例数 | 术后谵妄发生率[例(%)] | 多因素分析 OR 值(95%CI) | 预测模型 AUC (95%CI) | 模型敏感度(%) |
|---------|----|---------------|-------------------|---------------------|----------|
| 观察组 | 38 | 38 (100) | - | - | - |
| 对照组 | 80 | 0 (0) | - | - | - |
| 整体模型/因素 | | | 详见下文* | 0.876 (0.812-0.940) | 81.58 |

3 讨论

本研究发现,术前蒙特利尔认知评估量表评分降低是CABG术后谵妄的独立危险因素。这一结果与“认知储备假说”相符,即术前已有潜在认知功能下降的患者,其神经网络的代偿能力及抗应激能力较弱。当遭遇麻醉、手术创伤、体外循环所致的全身炎症反应综合征时,这类患者更易出现神经递质紊乱和神经网络功能失连接,从而诱发谵妄^[2]。与既往研究相比,本研究将蒙特利尔认知评估量表作为常规筛查工具纳入模型,而非简单的“自述记忆力下降”,使得评估更具客观性。此外,高龄因素在本研究中的权重依然显著,年龄每增加一岁,谵妄风险相应增加,这可能与老年人脑萎缩、脑血管自动调节功能减退及药物代谢动力学改变有关,提示临床对高龄且蒙特利尔认知评估量表低分患者应实施重点预防策略,如术中维持更稳定的麻醉深度^[3]。

在术中指标中,局部脑氧饱和度下降幅度是预测谵妄最强的指标之一。观察组患者术中脑氧饱和度平均下降幅度接近25%,显著高于对照组的16%。CABG手术中,无论是体外循环期间的血液稀释、非搏动灌注,还是非体外循环搬动心脏时的血流动力学波动,均易导致脑组织氧供减少。当脑氧饱和度下降超过一定阈值(通常认为低于基础值的20%或绝对值低于50%)且持续一定时间,会触发神经元线粒体功能障碍,兴奋性氨基酸释放,为术后神经炎症和谵妄埋下病理基础。本研究通过连续监测 rSO_2 ,量化了其下降幅度,证实了“脑氧代谢边际安全”的重要性。这提示麻醉医师在术中不应仅仅关注血压和心率,更应密切关注 rSO_2 波形,及时通过调高灌注压、提高二氧化碳分压或纠正贫血等手段进行干预,以避免脑缺氧事件的发生^[4]。此外,术中红细胞输注量在观察组中显著高于对照组,这一现象值得深入分析。一方面,红细胞输注本身反映了术中失血或贫血程度,而贫血会降低血液携氧能力,加重脑组织缺氧;另一方面,库存血的输注可能诱发全身炎症反应,释放炎性细胞因子,通过受损的血脑屏障进入中枢神经系统,进一步加重神经炎症反应。因此,术中应严格把握输血指征,在避免贫血与减少不必要的异体血输注之间寻求平衡,同时可考虑联合应用抗炎措施,以减轻输血相关的神经损伤风险。

本研究创新性地引入了术后静息态脑电图慢波比例这一指标。结果显示,谵妄患者术后24小时内的慢波($\delta+\theta$)相对功率显著增高。静息态脑电图慢波活动反映的是皮层功能抑制或皮层-皮层下通路的功能障碍。术后早期,由于残余麻醉药物、代谢紊乱及炎症因子的共同作用,患者大脑的觉醒水平维持机制受损,出现以慢波活动增

强为特征的“脑龄增加”现象。这种电生理上的“易感状态”使得患者对外界刺激(如疼痛、噪音)的处理出现偏差,进而表现为意识内容清晰度的下降。结合本研究中观察组术后疼痛数字评分更高,可以推断:疼痛通过激活交感神经和下丘脑-垂体-肾上腺轴,加剧了神经炎症反应,进一步抑制了皮层电活动,与慢波化形成恶性循环^[5]。因此,术后采用区域阻滞镇痛与多模式镇痛相结合,减少阿片类药物用量,对于维持脑电稳态、预防谵妄具有双重意义。值得进一步探讨的是,脑电图慢波比例不仅可以作为谵妄的预测指标,还可能成为评估干预措施效果的动态监测工具。例如,当采取有效的镇痛措施或抗炎治疗后,若患者脑电图慢波比例显著下降,可能预示着谵妄风险的降低或症状的缓解。这种基于脑电生理的动态监测策略,有望突破传统谵妄评估依赖于临床量表的主观性和滞后性,实现真正意义上的实时预警与早期干预。未来研究可探索将便携式脑电图设备常规配置于心外ICU,结合人工智能算法自动识别慢波比例变化,建立闭环预警系统,从而提高谵妄管理的精准度和时效性。

除了上述已纳入模型的因素,术中全身炎症反应的激活程度也可能是CABG术后谵妄的重要潜在机制,值得深入探讨。体外循环本身会触发强烈的全身炎症反应,表现为补体系统激活、白细胞粘附分子表达上调、炎性细胞因子如白细胞介素-6、肿瘤坏死因子- α 等大量释放。这些炎性介质可通过受损的血脑屏障进入中枢神经系统,激活小胶质细胞,导致神经炎症和神经功能障碍。在本研究中,观察组患者虽然体外循环比例与对照组无显著差异,但术中红细胞输注量显著增加,而输血本身也是炎症反应的诱因之一,可能放大了体外循环所触发的炎性级联反应。基于上述独立危险因素,本研究构建的列线图预测模型具有较好的区分度和校准度(受试者工作特征曲线下面积=0.876)。该模型整合了术前评估(年龄、蒙特利尔认知评估量表)、术中实况(rSO_2 下降幅度)及术后早期状态(脑电图慢波、疼痛),实现了对POD发生风险的动态、多维度评估。相比仅包含生化指标的模型,本模型更能反映“脑功能”本身的状态。然而,本研究也存在一定局限性。首先,作为单中心研究,样本量相对有限,且未进行外部验证,模型的泛化能力有待进一步检验。其次,静息态脑电图监测易受ICU环境电磁干扰,需要专业人员判读,推广有一定难度。未来研究应扩大样本量,开展多中心研究,并探索基于人工智能的自动脑电图分析技术,实现实时谵妄风险预警,最终通过随机对照试验验证基于此模型指导的干预策略能否切实降低CABG术后谵妄的发生率。

参考文献:

- [1]张玉梅,曹剑,李雪梅,等.不同新炎症指标对接受冠状动脉旁路移植术患者术后谵妄的预测效能比较[J].药物生物技术, 2025, 32(03): 354-360.
- [2]张倩,李瑞冰,郭立新.术后右美托咪定泵注对体外循环下冠状动脉旁路移植术患者心肺功能及谵妄的影响[J].中国药业, 2025, 34(06): 99-102.
- [3]李如男,王鹏翔,翁菲菲,等.超声引导星状神经节阻滞对非体外循环冠状动脉旁路移植术患者术后谵妄的影响[J].齐齐哈尔医学院学报, 2023, 44(17): 1637-1640.
- [4]文晓慧,张强,崔旭,等.高龄冠心病患者行冠状动脉旁路移植术后谵妄的风险预警模型构建及初步应用[C]//上海市护理学会.第五届上海国际护理大会论文摘要汇编(下).南华大学衡阳医学院, 2022: 555-556.
- [5]张倩,体外循环下冠状动脉旁路移植术患者应用右美托咪定术后谵妄的临床研究.河北省,邢台市第三医院, 2022-06-21.