

组织氧分压结合颅内压监测在急性重型颅脑损伤合并多发伤目标治疗的应用及预后分析

李国平¹, 杨林¹, 符江², 李之令³
(凉山彝族自治州第二人民医院, 1. 急诊外科; 2. 骨科; 3. 普外科, 四川 凉山 615000)

【摘要】目的: 分析脑组织氧分压(PbtO₂)结合颅内压(ICP)监测在急性重型颅脑损伤(sTBI)合并多发伤目标治疗的应用及其与预后的关联。**方法:** 选取 78 例 sTBI 合并多发伤患者为研究对象, 按照治疗方法的不同分为对照组(接受 ICP 监测治疗, $n=39$)和观察组(接受 ICP 联合 PbtO₂ 监测治疗, $n=39$)。比较两组脑相关参数, 并分析患者预后。**结果:** 观察组 7 d 内 ICP、颅内高压占比、甘露醇使用总量均低于对照组, 脑灌注压高于对照组 ($P<0.05$); 观察组预后良好占比、6 个月累计生存率均高于对照组 ($P<0.05$); 观察组 PbtO₂ 值与格拉斯哥预后评分正相关 ($P<0.05$)。**结论:** PbtO₂ 结合 ICP 监测下在 sTBI 合并多发伤治疗中具有显著价值, 可较好反映患者脑部缺氧缺血状态, 对患者短期预后具有改善作用。

【关键词】 重型颅脑损伤合并多发伤; 脑组织氧分压; 颅内压; 生存期; 相关性
【中图分类号】 R651 **【文献标志码】** A

Application and prognosis of brain tissue oxygenation combined with intracranial pressure monitoring in treat-to-target for acute severe traumatic brain injury with multiple injuries

LI Guo-ping¹, YANG Lin¹, FU Jiang², LI Zhi-ling³
(1. Department of Emergency Surgery; 2. Department of Orthopaedics; 3. Department of General Surgery, the Second People's Hospital of Liangshan Prefecture, Liangshan 615000, Sichuan, China)

【Abstract】Objective: To analyze the application and prognosis of brain tissue oxygenation (PbtO₂) combined with intracranial pressure (ICP) monitoring in treat-to-target for acute severe traumatic brain injury (sTBI) with multiple injuries. **Methods:** A total of 78 patients with sTBI and multiple injuries were selected. They were divided into the control group (receiving ICP monitoring, $n=39$) and the observation group (receiving ICP combined with PbtO₂ monitoring, $n=39$) according to different treatment methods. The brain-related parameters were compared between the two groups, and the prognosis was evaluated. **Results:** The average ICP within 7 days, proportion of patients with intracranial hypertension, and total dosage of mannitol in the observation group were lower than those in the control group, while the average cerebral perfusion pressure was higher than that in the control group ($P<0.05$). The proportion of patients with good prognosis and 6-month accumulative survival rate in the observation group were higher than those in the control group ($P<0.05$). The average PbtO₂ was positively correlated with glasgow outcome score in the observation group ($P<0.05$). **Conclusion:** PbtO₂ combined with ICP monitoring is of high value in the treatment of sTBI with multiple injuries. It can well reflect the status of cerebral hypoxia and ischemia in patients and improve the short-term prognosis.

【Key words】 Severe traumatic brain injury with multiple injuries; Brain tissue oxygenation; Intracranial pressure; Survival time; Correlation

急性重型颅脑损伤(severe traumatic brain injury, sTBI)属于神经外科临床常见的危重病症, 其病理生理过程涉及多因素相互作用, 现已成为创伤患者致残及致死的重要诱因^[1]。sTBI 通常伴有颅内压(intracranial pressure, ICP)升高、脑灌注不足等表现, 或继发性脑缺血缺氧, 进一步加剧患者神经功能损伤^[2]。合并多发伤的 sTBI 患者, 在全身性的影响下, 存在低血压、缺氧及炎症反应, 对患者机体造成进一步损伤, 不利于临床治疗并显著增加预后不良风险^[3]。随医疗水平以及治疗手段的进步,

临床治疗 sTBI 合并多发伤的方式也有所改进,但其高致残率和致死率依然严峻。依据现行临床指南,建议通过动态监测 ICP 并调控脑灌注压(cerebral perfusion pressure, CPP),以指导 sTBI 患者的治疗决策,减少患者脑卒中风险^[4]。但 ICP 监测无法准确反映脑组织氧合状态,对脑组织缺氧程度无法准确评估,因此存在一定局限性。近年来,局部脑组织氧分压(brain tissue oxygenation, PbtO₂)监测技术的引入,为脑氧供需平衡的实时评估提供了新途径^[5]。研究^[6]表明,PbtO₂ 监测可早期识别脑缺氧事件,且其数值与患者预后相关。然而,目前国内外指南对 PbtO₂ 的干预及具体治疗策略仍缺乏明确共识,尤其是在合并多发伤的患者中,如何通过多模态监测优化目标导向治疗尚需深入探索。本研究聚焦于评估 PbtO₂ 联合 ICP 监测技术在 sTBI 合并多发伤患者精准治疗中的临床价值,通过系统分析该监测方案对治疗策略优化及患者预后的影响。

表 1 两组患者一般资料比较[n(%), $\bar{x}\pm s$]

组别	年龄(岁)	性别		损伤原因			多发伤				
		男	女	交通事故	坠落	击打伤	颌面部	胸部	腹部	骨盆四肢	体表
观察组(n=39)	45.69±8.26	29(74.36)	10(25.64)	22(56.41)	6(15.38)	11(28.21)	31(79.49)	27(69.23)	11(28.21)	33(84.62)	10(25.64)
对照组(n=39)	45.93±8.33	30(76.92)	9(23.08)	21(53.85)	8(20.51)	10(25.64)	28(71.79)	26(66.67)	12(30.77)	32(82.05)	11(28.21)
χ^2/t 值	0.128	0.070		0.357			0.626	0.059	0.062	0.092	0.065
P 值	0.899	0.792		0.837			0.429	0.808	0.804	0.761	0.799

1.2 方法

两组患者入院后立即监测生命体征,气管插管并给予机械通气,控制患者血糖、体温等体征。对照组(ICP 监测):在上述基础上,保持患者头部抬高仰卧位,针对躁动患者予以镇痛镇静干预;采用光纤式颅内压监测设备动态评估 ICP 变化,同步监测血浆渗透压水平,并联合 0.25 g/kg 剂量甘露醇静脉泵入进行脱水降压治疗,1 次/d,剂量依据患者 ICP 水平进行调节;实施控制性过度通气策略,将动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO₂)调控至 30~35 mmHg;同步通过体温管理措施,维持核心体温≤37.5℃;对于 ICP 超过 40 mmHg 患者,在实施降颅压治疗后需进行 CT 复查以评估效果;有手术指征的患者执行血肿清除术或减压术。治疗目标:维持 ICP<20 mmHg, CPP>60 mmHg。观察组(PbtO₂ 结合 ICP 监测):在对照组基础上,使用 LICOX-II 型脑氧监测系统,经颅骨钻孔后分离硬脑膜,依次置入导丝及导管鞘,最终将探头固定于占位病变对侧脑实质内(开颅术后需即刻完成置入),待监测数据稳定后记录参数。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取凉山彝族自治州第二人民医院 2023 年 1 月至 2024 年 6 月收治的 78 例 sTBI 合并多发伤患者为研究对象,按照不同治疗方案分为对照组和观察组,每组各 39 例。纳入标准:(1)符合 sTBI 诊断标准^[7],经 CT 检查确诊合并多发伤;(2)年龄>18 岁;(3)伤后 6 h 内入院;(4)格拉斯哥昏迷评分(glasgow coma score, GCS)≤8 分;(5)患者和(或)家属知情同意。排除标准:(1)合并恶性肿瘤者;(2)合并严重脑血管病者;(3)颅脑感染者;(4)合并心肝肾等脏器功能不全;(5)失访或中途退出研究者。本研究经凉山彝族自治州第二人民医院医学伦理委员会审批。两组患者一般资料比较,差异均无统计学意义(P>0.05)。见表 1。

期间若患者存在局部脑缺氧(PbtO₂≤20 mmHg),而 ICP<20 mmHg,则使患者吸入 100%纯氧 5 min 进行氧冲击治疗,观察 PbtO₂,依据其水平逐渐减少氧流量。当探头定位正确但 PbtO₂ 仍未升高时,需结合中心静脉压评估容量状态,完善血红蛋白等检测,必要时予补液或输血支持;同时根据血气分析参数优化机械通气方案。若 ICP 升高和局部大脑缺氧,侧重维持 PbtO₂ 正常化,而 ICP 持续升高,则可采用手术治疗。

1.3 观察指标

(1)监测参数:统计两组患者监测 7 d 内的 ICP 值、颅内高压(ICP>20 mmHg)例数、CPP 值以及脑缺血(CPP<60 mmHg)例数。(2)血气指标:采用血气分析仪监测患者 7 d 内 PaCO₂ 以及动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen, PaO₂)。(3)脱水药物剂量:比较两组患者期间甘露醇使用总量。(4)观察组 PbtO₂ 监测参数:统计观察组 7 d 内 PbtO₂ 水平,持续 PbtO₂<20 mmHg 例数。(5)预后:采用格拉斯哥预后评分(glasgow outcome score, GOS)评估患者 6 个月预后。GOS 评分:良

好、中度残疾、重度残疾、植物生存及死亡依次计分 5~1 分。GOS>3 分即为预后良好。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 25.0 软件进行数据分析。计数资料以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较行独立样本 χ^2 检验;计量资料以 $(\bar{x}\pm s)$ 表示,组间比较行独立样本 t 检验;生存分析采用 Kaplan-Merier 分析,行 Log-rank 检验;PbtO₂与预后的相关性采用 Pearson 相关性分析。 $P<0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者监测参数比较

观察组患者 7 d 内 ICP、颅内高压占比均低于对照组, CPP 高于对照组($P>0.05$),两组患者脑缺血占比比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 2。

表 2 两组患者监测参数比较 $[n(\%), \bar{x}\pm s]$				
组别	ICP(mmHg)	颅内高压	CPP(mmHg)	脑缺血
观察组($n=39$)	15.32±3.41	2(5.13)	78.87±9.79	0(0.00)
对照组($n=39$)	17.37±4.02	8(20.51)	70.32±9.16	2(5.13)
χ^2/t 值	2.429	4.129	3.983	0.513
P 值	0.018	0.042	<0.001	0.474

2.2 两组患者 7 d 内血气指标比较

观察组患者 7 d 内 PaO₂ 高于对照组($P<0.05$);两组患者 PaCO₂ 水平无统计学差异($P>0.05$)。见表 3。

表 3 两组患者 7 d 内血气指标比较 $(\bar{x}\pm s, \text{mmHg})$		
组别	PaO ₂	PaCO ₂
观察组($n=39$)	227.35±52.61	32.63±4.82
对照组($n=39$)	184.25±42.77	32.47±5.16
t 值	3.970	0.142
P 值	<0.001	0.888

2.3 两组患者甘露醇使用量比较

观察组患者甘露醇使用总量为 $(135.74\pm 20.35)\text{g}$,低于对照组的 $(159.28\pm 25.66)\text{g}$ ($t=4.489, P<0.001$)。

2.4 两组患者预后比较

经 6 个月随访,观察组患者 GOS 评分>3 分患者 25 例,占比 64.10%;对照组 GOS 评分>3 分患者 16 例,占比 41.03%。观察组预后良好占比高于对照组($\chi^2=4.165, P=0.041$)。Kaplan-Merier 分析显示,观察组累计生存率为 76.9%,高于对照组的 66.7%($\chi^2=4.532, P<0.05$)。见图 1。

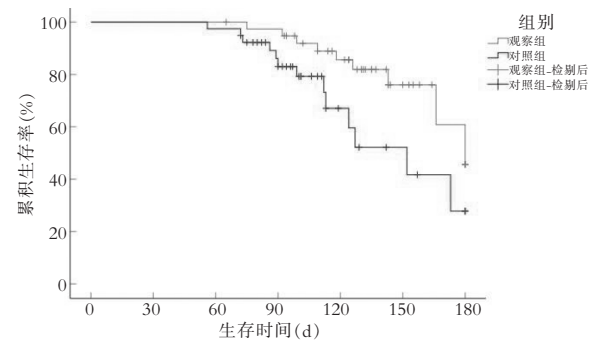


图 1 两组患者 Kaplan-Merier 生存曲线

2.5 PbtO₂ 与 sTBI 合并多发伤患者预后的相关性分析

Pearson 相关性分析显示,观察组患者 PbtO₂ 值与 GOS 评分正相关($r=0.569, P<0.05$)。见图 2。

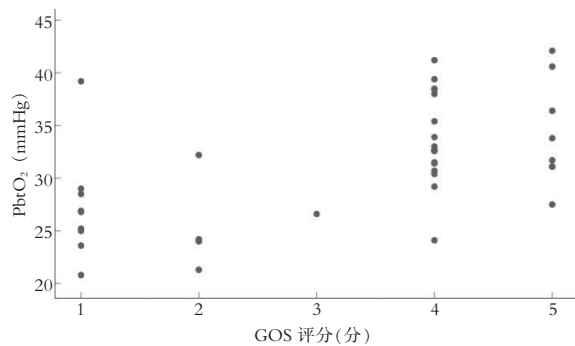


图 2 PbtO₂ 与 sTBI 合并多发伤患者 GOS 评分散点图

3 讨论

轻度颅脑损伤患者通常预后较好,而 sTBI 患者病情危重,在伴有胸腹部、盆骨等部位多发伤的情况下,加重患者病情,使患者具有更高的致死风险^[8]。sTBI 合并多发伤患者临床表现多为休克、低氧血症及生理功能严重紊乱等,需及时治疗^[9]。

sTBI 合并多发伤患者常因颅内血肿或水肿导致颅内压升高,损害脑血流自主调节功能,进而引发脑缺血缺氧,这一病理机制是创伤相关死亡的重要诱因之一^[10]。ICP 的动态监测可直观评估颅内压力波动,结合 CPP 调控策略,有助于减少脑组织缺血风险。而资料^[11]显示,部分经由 ICP 监测的患者在监测过程中 ICP、CPP 参数正常,但患者仍存在脑缺血缺氧症状。因此,ICP 监测仅仅能反映颅内容积平衡,对脑血流及脑代谢的反馈效果有限。一项研究^[12]表明,在脑缺氧、代谢紊乱及脑梗死的发展过程中,氧气扩散效率的影响可能比 ICP 异常更为关键,其潜在机制或涉及细胞缺氧状态及微循环灌注障碍等因素,与 ICP 的关联性相对更弱。PbtO₂ 反映氧分子在跨越毛细血管扩散阻力后,经弥散途

径到达线粒体时物理溶解氧的分压值,其数值可表征细胞氧供应与氧消耗之间的动态平衡状态^[13]。脑组织氧供的核心调控因素为动脉血氧浓度与脑血流量的协同作用,而氧需求主要受中枢神经系统代谢活性调控。PbtO₂ 能敏感直接反映脑组织供血、供氧情况,监测中可通过调节 ICP、CPP、镇静、增加氧合指数等途径来进行控制,对患者神经细胞氧代谢具有恢复作用,减少相应心脏并发症^[14]。

本研究显示,相较于单独采用 ICP 监测指导治疗,在 PbtO₂ 结合 ICP 监测指导治疗下,sTBI 合并多发伤患者 7 d 内 ICP、颅内高压占比更低,且 CPP 更高,这一结果与以往的研究结果相符;分析其可能原因,患者脑组织损伤时,颅内血肿通过机械压迫和血肿分解产物的生化毒性双重机制损害脑组织,占位效应直接压迫微血管,减少血液灌注和氧输送,诱发缺血缺氧;同时,血红蛋白降解产物通过氧化应激和炎症反应加剧血脑屏障破坏,促进血管源性水肿扩展。这种水肿不仅扩大缺血半暗带,还与升高的 ICP 形成“缺血-水肿-颅高压”恶性循环^[15]。基于 PbtO₂ 联合 ICP 的监测,可早期捕捉脑氧代谢失衡,如 PbtO₂<20 mmHg,并通过调节脑氧耗、输注红细胞改善氧输送、优化渗透治疗等途径减少代谢危机;此外维持脑氧供需平衡可减轻线粒体功能障碍和细胞毒性水肿,而稳定 CPP 则增强脑血流自主调节能力,从而协同抑制继发性损伤进展,最终实现 ICP 的有效控制与神经功能保护^[16]。

本研究发现,在 PbtO₂ 结合 ICP 监测指导治疗下,相比于单独 ICP 监测指导治疗,sTBI 合并多发伤患者 7 d 内 PaO₂ 更高,甘露醇使用总量更低。这一结果提示,在联合监测指导下,患者氧合状态改善更优且可减少甘露醇依赖,表明患者 ICP 控制更良好。原因在于:一方面,PbtO₂ 的动态监测可直接指导氧疗策略,包括调整通气参数或优化血容量,针对性提升 PaO₂ 以保障脑组织氧供,避免传统单一 ICP 监测的被动干预模式;另外早期纠正脑缺氧可阻断细胞毒性水肿和血管源性水肿的恶性循环,通过稳定脑血流自主调节能力降低颅内高压风险,从而减少渗透治疗的总体需求^[17]。PbtO₂ 与 ICP 的这一协同作用凸显了联合监测在优化脑氧代谢管理与个体化治疗决策中的重要作用。

本研究对患者预后情况进行分析发现,PbtO₂ 结合 ICP 监测指导治疗下患者具有更高的预后良好率以及累计生存率;究其原因,可能是 PbtO₂ 联合 ICP 监测通过早预警、精干预的协同效应改善 sTBI 合并多发伤患者的预后。PbtO₂ 实时反馈脑氧代谢状态,使临床能够早期纠正缺氧,如优化通

气、输注红细胞等途径,减少不可逆神经元损伤并保留神经功能修复潜力;此外联合数据可精准识别 ICP 升高的病理生理机制,规避甘露醇过量导致的肾损伤等并发症,同时通过稳定 CPP 和氧供需平衡降低全身感染、多器官功能障碍风险。上述措施共同减轻了继发性损伤的累积效应,在降低急性期死亡率的基础上,提高了 6 个月生存率以及神经功能恢复质量。通过对观察组 PbtO₂ 水平及 GOS 评分的相关性分析显示,两者存在正相关。较高水平的 PbtO₂ 通过保障线粒体能量代谢,减少乳酸介导的细胞毒性水肿和神经元凋亡,从而保留更多可修复的神经组织;同时,基于 PbtO₂ 的实时监测可早期识别并纠正缺氧事件,抑制继发性损伤扩散^[18]。此外,充足的氧供维持了损伤周边半暗带区的代谢活性,为神经突触重塑和胶质细胞介导的修复提供微环境基础,并允许早期康复干预以激活神经可塑性,最终体现为 GOS 评分中意识状态、运动功能及社会参与度的全面提升^[19]。上述结果也进一步提示 PbtO₂ 监测在 sTBI 合并多发伤患者指导治疗中的重要地位。

综上,PbtO₂ 结合 ICP 监测目标治疗 sTBI 合并多发伤患者,可良好反映患者治疗过程中脑部缺血、缺氧情况,对患者治疗方案进行指导,改善患者预后,同时依据监测结果可对患者预后进行预测评估,进一步优化医疗干预效率。

参考文献

[1] 陈贵平,李敏,田志华,等. CT 影像学预测重型颅脑损伤患者相关指数的临床研究[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志,2025,23(2):19-21.

[2] 任杰,朱飞奇. 重型颅脑损伤合并多发伤患者早期死亡的决策树模型研究[J]. 中国急救医学,2022,42(4):343-346.

[3] 王晨清,王昱,杜祥飞,等. 多元刺激性干预对重症颅脑损伤患者促醒作用及神经功能和并发症的影响[J]. 川北医学院学报,2024,39(11):1580-1584.

[4] 周芬,管义祥. 损伤控制理论应用于重型颅脑损伤合并多发伤患者救治中的效果分析[J]. 重庆医学,2022,51(2):357-360.

[5] 王忠,张瑞剑,韩志桐,等. 持续颅内压及脑组织氧分压监测在重度颅脑损伤患者标准大骨瓣减压术及显微水肿清除术后的应用[J]. 中国综合临床,2022,38(1):68-73.

[6] Shen Y, Wen D, Liang Z, et al. Brain tissue oxygen partial pressure monitoring and prognosis of patients with traumatic brain injury: a meta-analysis[J]. Neurosurgical Review,2024,47(1):222.

[7] 中华医学会神经外科学分会,中国神经外科重症管理协作组. 中国神经外科重症管理专家共识(2020 版)[J]. 中华医学杂志,2020,100(19):1443-1458.

[8] 王明,李放,杨波. 重型颅脑损伤血清 EZH2 和 DKK1 变化及其临床意义[J]. 中华实验外科杂志,2023,40(6):1156-1159.

[9] Gao Y, Duan J, Ji H, et al. Levels of S100 calcium binding pro-

tein B (S100B), neuron-specific enolase (NSE), and cyclophilin A (CypA) in the serum of patients with severe craniocerebral injury and multiple injuries combined with delirium transferred from the ICU and their prognostic value[J]. *Annals of Palliative Medicine*, 2021, 10(3): 3371—3378.

[10] Mostert CQB, Singh RD, Gerritsen M, *et al.* Long-term outcome after severe traumatic brain injury: a systematic literature review [J]. *Acta Neurochirurgica*, 2022, 164 (3): 599—613.

[11] McNamara R, Meka S, Anstey J, *et al.* Development of traumatic brain injury associated intracranial hypertension prediction algorithms: a narrative review[J]. *Journal of Neurotrauma*, 2023, 40(5—6): 416—434.

[12] Zhang C, Zhou L, Zhang K, *et al.* Brain tissue oxygen pressure combined with intracranial pressure monitoring may improve clinical outcomes for patients with severe traumatic brain injury: a systemic review and meta-analysis[J]. *PeerJ*, 2024, 12: e18086.

[13] Marini CP, Stoller C, McNelis J, *et al.* Correlation of brain flow variables and metabolic crisis: a prospective study in patients with severe traumatic brain injury[J]. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 2022, 48(1): 537—544.

[14] Hoffman H, Abi-Aad K, Bunch KM, *et al.* Outcomes associat-

ed with brain tissue oxygen monitoring in patients with severe traumatic brain injury undergoing intracranial pressure monitoring[J]. *Journal of Neurosurgery*, 2021, 135(6): 1799—1806.

[15] Xu C, Zheng R, Zhou L, *et al.* Alteration in ventral tegmental area and default mode network interplay and prediction of Coma recovery in patients with sTBI[J]. *Heliyon*, 2023, 9(4): e15279.

[16] Gensler R, Lilian S, Spiegel R, *et al.* Airway pressure release ventilation to salvage brain oxygenation in severe traumatic brain injury[J]. *BMJ Case Reports*, 2024, 17(11): e261565.

[17] Bernard F, Barsan W, Diaz-Arrastia R, *et al.* Brain oxygen optimization in severe traumatic brain injury (BOOST-3): a multi-centre, randomised, blinded-endpoint, comparative effectiveness study of brain tissue oxygen and intracranial pressure monitoring versus intracranial pressure alone[J]. *BMJ Open*, 2022, 12(3): e060188.

[18] 王忠, 张瑞剑, 韩志桐, 等. 持续颅内压及脑组织氧分压监测在重度颅脑损伤患者治疗中的应用[J]. *中华危重病急救医学*, 2021, 33(4): 449—454.

[19] 梁云衡, 卓胜华, 羊良旺, 等. 颅内压监测和脑氧监测在颅脑损伤中应用的研究进展[J]. *中国临床神经外科杂志*, 2024, 29(1): 54—57.

(收稿日期: 2025—04—03 修回日期: 2025—05—23)