

颅脑损伤患者术后颅内感染的危险因素分析及预防措施

赵海宏, 黄 斌

重庆医科大学附属第二医院重症医学科, 重庆

收稿日期: 2025年9月23日; 录用日期: 2025年10月16日; 发布日期: 2025年10月23日

摘 要

颅内感染是颅脑损伤术后严重的并发症, 致残率与死亡率高。本文系统综述颅脑损伤术后颅内感染的危险因素及阐明其病理生理机制, 包括年龄、低GCS评分、低蛋白血症、高血糖、手术时间 ≥ 4 小时、多次手术、后颅窝手术、开放性损伤、脑脊液漏及留置引流管等, 并提出相应的防控策略。文中进一步讨论了现有研究的局限性、临床面临的挑战以及未来研究方向, 旨在为临床早期识别高危患者及提高颅内感染患者的预后提供理论依据。

关键词

颅内感染, 颅脑手术, 危险因素, 颅脑损伤

Risk Factors Analysis and Preventive Measures of Postoperative Intracranial Infection in Patients with Craniocerebral Injury

Haihong Zhao, Bin Huang

Department of Critical Care Medicine, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: September 23, 2025; accepted: October 16, 2025; published: October 23, 2025

Abstract

Intracranial infection is a serious complication after craniocerebral injury, with high morbidity and mortality. This article systematically reviews the risk factors of intracranial infection after cranio-

cerebral injury and elucidates its pathophysiological mechanism, including age, low GCS score, hypoproteinemia, hyperglycemia, operation time ≥ 4 hours, multiple operations, posterior fossa surgery, open injury, cerebrospinal fluid leakage and indwelling drainage tube, and proposes corresponding prevention and control strategies. This article further discusses the limitations of existing research, clinical challenges and future research directions, aiming to provide a theoretical basis for early identification of high-risk patients and improving the prognosis of patients with intracranial infection.

Keywords

Intracranial Infection, Brain Surgery, Risk Factors, Craniocerebral Injury

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

颅脑损伤是神经外科常见的疾病类型, 多因外界暴力作用于头部所致。手术作为临床上治疗颅脑损伤的主要手段, 虽然可以清除颅内血肿、稳定颅内压、保护脑组织, 但因各种原因容易诱发颅内感染[1]。颅脑损伤术后 3~7 d 为颅内感染的高发时间, 一旦继发颅内感染, 随着感染的进展, 可导致脑积水、癫痫发作甚至脑疝等严重并发症, 增加治疗难度, 严重影响患者的预后[2] [3]。由于血脑屏障的存在, 许多抗菌药物难以在颅内达到有效浓度, 使得颅内感染的治疗尤为棘手, 因此预防显得至关重要[4]。近年来已有大量研究识别出诸多危险因素, 本文将在整合现有文献的基础上总结颅脑损伤患者术后颅内感染的危险因素及探讨其病理生理机制, 提出精准防控策略, 并对当前证据的局限性、临床应用的难点以及未来研究方向进行讨论, 为临床早期识别高危患者及提高颅内感染患者的预后提供参考。

2. 危险因素

2.1. 患者自身因素

2.1.1. 年龄

文献显示: 年龄是颅脑损伤术后发生颅内感染的危险因素, 其易感性显著增高[5] [6]。其机制主要包括: (1) 随着年龄的增长, 机体的免疫系统会全面减退, 它影响先天免疫及适应性免疫, 导致人体对病原体的反应变得迟钝且低效。(2) 老年患者往往合并多种高血压、糖尿病等多种基础疾病, 且存在退行性改变, 包括细胞衰老、线粒体功能减退、黏膜屏障功能下降等, 这些变化使得老年人的生理功能整体下降, 更难以抵抗病原菌的侵袭[7]。

2.1.2. GCS 评分

GCS 评分是一种能客观评价脑功能和意识水平的工具, 评分越低提示患者病情越危重, 预后越差。张海军等的研究指出, 术前 GCS 评分 ≤ 8 分为颅脑损伤患者术后发生颅内感染的危险因素[8]。大脑作为全身免疫和生理功能的高级调节器, 严重脑损伤导致的中枢调控失效是继发颅内感染的始动环节。与正常人相比, 重度昏迷患者的脑组织生理代谢水平明显升高, 脑耗氧量大而脑灌注不足, 并伴有脑水肿等并发症进一步加重了脑损伤程度, 影响神经修复功能, 使患者局部抵御能力下降[9]。此外, 由于重度昏迷患者长期卧床、无法自主饮食等原因, 致使患者发生营养风险及全身免疫功能下降, 进而增加颅脑损

伤患者术后并发颅内感染的概率[10]。

2.1.3. 低蛋白血症

患者的血清白蛋白水平与严重创伤性颅脑损伤术后发生颅内感染紧密相关[11]。血清白蛋白是反映机体营养状态与炎症水平的重要指标,影响抗体合成与内皮屏障功能。当颅脑损伤患者合并低蛋白血症时,一方面削弱免疫防御、降低清道夫能力,另一方面通过放大炎症反应及影响生理屏障功能极大地增加了颅脑损伤患者术后发生颅内感染的风险[12]。它既是患者生理储备耗竭的标志,也是推动颅内感染恶性进程的主要因素。肖玉平等人的研究提出术前白蛋白 $< 35 \text{ g/L}$ 是重型颅脑损伤术后发生颅内感染的危险因素[13]。

2.1.4. 血糖

Chen 等人的大型回顾性队列研究显示,合并糖尿病的患者术后发生颅内感染的风险显著增加[14]。颅脑外伤及手术刺激会进一步引起患者机体的应激反应和内分泌紊乱,导致患者在围手术期血糖往往控制欠佳。高血糖不仅为细菌提供了良好的生存条件,更通过抑制中性粒细胞的趋化和吞噬杀伤功能、损伤血管内皮细胞、降低组织修复和再生功能等多方面机制影响机体防御能力,从而增加颅内感染的风险[15],感染会进一步加重应激和炎症反应使血糖更难以控制,形成促进颅内感染的恶性循环。

2.2. 手术相关因素

2.2.1. 手术时间

神经外科某些疑难手术往往精细且复杂,使其手术时间进一步延长,而长期术野暴露会增加与外界的接触时间,进而增加颅内感染发生的机率。此外,术中长期时间牵拉、剥离脑组织会损伤正常脑细胞,严重削弱了局部组织的防御能力,通过一系列复杂的级联反应显著提升颅内感染风险[16]。Han 等人的一项系统评价与 Meta 分析明确指出了手术时间与神经外科手术部位感染之间的剂量 - 反应关系,手术时间 ≥ 4 小时是风险显著增加的拐点[17]。Wang 等人的病例对照研究也证实了这一点[18]。

2.2.2. 手术次数

李玉伟等人的研究指出,手术次数 > 1 次是重型颅脑损伤患者术后并发颅内感染的独立危险因素[19],对于短期内的再次手术,其风险尤为突出。多次手术不仅使医源性暴露累积使得脑组织与外界接触时间延长,更通过反复施加生理应激使头皮、硬脑膜等解剖屏障进行性破坏,导致不可逆性损伤,影响机体的免疫防御及愈合能力[20]。

2.2.3. 手术部位

后颅窝区域包括脑干、小脑、第四脑室等重要结构,由于后颅窝部位的空间狭小且深在,视野暴露相对困难,手术时间也相应延长,其术后并发颅内感染的风险显著高于幕上手术。此外,后颅窝手术由于需要打开颅骨和脑膜,缝合不佳易导致脑脊液漏等相关并发症,增加术后颅内感染的发生率[21]。Liu 等人的系统综述明确将后颅窝手术列为中枢神经系统感染的重要危险因素[22]。

2.3. 与外界相通因素

2.3.1. 开放性颅脑损伤

有研究显示:开放性颅脑损伤为颅脑损伤患者术后颅内感染的危险因素[23][24]。中枢神经系统的多重防御保护屏障包括头皮、颅骨、脑膜、血脑屏障等结构,因此一般情况下少见病原菌的侵袭。但对于开放性颅脑损伤的患者,其颅脑的多重防御屏障结构受损而呈开放性,病原体可直接侵入脑组织进而引起颅内感染。其次,患者颅脑伤口处往往已存在严重污染,在清创不彻底的情况下残留的碎骨片、异物

等亦会成为感染源, 进而增加颅内感染的风险。

2.3.2. 脑脊液漏

Lin 等的研究指出, 脑脊液漏是创伤性脑损伤后出现颅内感染的独立危险因素[25]。术后脑脊液漏的发生原因主要是与颅底骨折、伤口缝合不严密、切口裂开、机体营养状态低下等相关。脑脊液漏打破了中枢神经系统的密闭无菌状态, 建立了一个颅内外相连的异常通道, 外界病原菌可直接逆行进入颅内空间引发颅内感染[26]。一旦发生颅内感染, 炎症反应又会引起组织水肿和颅内高压, 进而加重脑脊液漏[27], 感染与漏液的恶性循环使颅内感染迁延难愈。

2.3.3. 脑脊液引流

留置引流管会使脑组织与外界环境相通, 为病原菌随引流液侵入颅内提供了条件, 使颅内感染的概率显著增加[28]。荟萃分析表明, 引流相关感染的风险与置管时间呈正相关[29], 张丹梅等的研究将脑室引流时间 ≥ 3 天作为术后颅内感染的危险因素[30]。此外, 部分患者在拔除引流管后可继发引流口漏, 也会增加颅内感染的发生率。

3. 预防措施及管理策略

3.1. 全面风险评估与优化患者状态

患者自身的生理状态是颅内感染的基础易感因素, 围术期需全程管理优化机体状态, 可通过脏器功能监测、营养支持及合并症控制三方面入手。围术期全面评估心、肺、肾、肝等重要脏器的功能, 针对合并有高血压、糖尿病等基础疾病的患者, 尽可能在术前积极优化以确保患者机体处于稳定期; 术后延续基础病治疗。术后早期给予肠内营养支持, 同时定期监测血清白蛋白、前白蛋白等指标[31], 通过积极的营养干预, 改善患者的营养-免疫状态, 是从根本上降低颅内感染风险的长效策略。

3.2. 优化手术流程及规范手术操作

手术操作是颅内感染的关键诱发环节, 需通过优化手术流程、强化术中操作规范, 从源头降低感染风险。术前需充分评估影像学资料, 优化手术入路, 力求首次手术的彻底性和有效性, 最大限度避免因病情判断不足导致的二次手术。术中需严格执行无菌操作, 操作轻柔, 精细止血, 避免过度牵拉, 减少组织坏死和异物存留; 同时需加强团队配合, 力争将手术时间控制在 4 小时以内, 可预防性使用抗生素降低颅内感染的风险。针对后颅窝、经鼻蝶等高风险手术, 术前可通过影像学检查明确后颅窝结构与邻近血管的关系, 制定个体化手术入路, 减少术中对正常组织的损伤; 术中对脑膜缺损者采用人工硬脑膜修补, 确保缝合处无张力; 关闭颅骨时可采用水密性缝合技术减少骨性缺损导致的脑脊液漏。

3.3. 阻断外界通道

颅脑与外界相通是病原体侵入的直接途径, 需通过阻断相通通道、加强护理干预实现感染防控。针对开放性损伤的防御屏障破坏问题, 需通过及时、彻底地清创减少病原体残留; 同时可使用甘露醇、呋塞米等脱水剂降低颅内压以及给予高蛋白、高热量营养促进周围组织修复。围术期若发现脑脊液漏, 可取头高位($30^{\circ}\sim 45^{\circ}$), 且在漏口处用无菌纱布覆盖, 禁止堵塞或冲洗; 对持续漏液超过 7 天者可采用腰大池引流[27]。对于留置引流管的患者, 一方面要重视脑脊液引流管的无菌护理操作, 同时也需定期更换引流管, 病情允许时可尽早拔除引流管, 通过缩短留置时间降低感染概率[32]。

4. 讨论与小结

颅内感染是颅脑损伤患者术后的一种严重并发症, 可影响患者的预后。研究显示, 颅脑损伤患者术

后颅内感染的发生与多种危险因素密切相关, 涉及免疫抑制、屏障破坏、手术创伤等多重病理生理途径。通过荟萃分析及大样本研究可较客观地评估各因素的影响力。但目前多数研究为单中心回顾性设计, 存在选择偏倚与混杂因素干扰。不同研究中危险因素的界定标准的不统一也导致结果异质性较大。此外, 多数文献未对病原菌类型、耐药性进行分层分析, 限制了精准防控策略的制定。尽管已有部分风险预测模型, 但其在外部队列中的验证仍不足。因此, 临床中如何将多项因素整合为可操作的评估工具并实现个体化感染预防是当前面临的挑战。未来应开展多中心前瞻性队列研究, 整合临床指标与生物标志物构建动态风险预测工具, 实现对高危患者的精准识别和早期干预。

参考文献

- [1] Chughtai, K.A., Nemer, O.P., Kessler, A.T. and Bhatt, A.A. (2019) Post-Operative Complications of Craniotomy and Craniectomy. *Emergency Radiology*, **26**, 99-107. <https://doi.org/10.1007/s10140-018-1647-2>
- [2] 程扬, 叶新新, 马蒙, 等. 颅脑手术后颅内感染的防治研究进展[J]. 中国医刊, 2019, 54(12): 1301-1304.
- [3] 孙书光, 麻来峰. 颅脑外伤后继发颅内感染相关因素分析[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2017, 20(5): 70-72.
- [4] 王琪, 郭春英, 刘振元, 等. 重症颅脑损伤合并颅内感染患者病原菌分布及预后相关因素分析[J]. 中国消毒学杂志, 2021, 38(9): 692-695.
- [5] 巩泽远. 重型颅脑损伤术后颅内感染因素的回顾分析及干预建议[J]. 现代诊断与治疗, 2019, 30(9): 1487-1489.
- [6] 王昆鹏, 王维兴, 杨婕, 等. 国内颅脑损伤术后颅内感染危险因素的 Meta 分析[J]. 河北医学, 2018, 24(9): 1527-1532.
- [7] 张立, 钱晓波, 叶经纬, 等. 重型颅脑损伤患者术后继发颅内感染的危险因素及血清 PCT、CRP 的预测价值[J]. 热带医学杂志, 2020, 20(12): 1577-1580+1592.
- [8] 张海军, 薛长理, 闫妍, 等. 重型颅脑损伤患者开颅术后颅内感染危险因素分析[J]. 中国烧伤创疡杂志, 2021, 33(6): 401-404.
- [9] 王军华, 雷清桃, 赵建平. 颅脑手术患者颅内感染的危险因素分析[J]. 中华医院感染学杂志, 2014, 24(20): 5094-5096.
- [10] 尹淼. 创伤性颅脑损伤患者术后并发颅内感染的影响因素分析[J]. 黑龙江医学, 2023, 47(18): 2199-2201+2206.
- [11] Lu, G., Liu, Y., Huang, Y., Ding, J., Zeng, Q., Zhao, L., et al. (2023) Prediction Model of Central Nervous System Infections in Patients with Severe Traumatic Brain Injury after Craniotomy. *Journal of Hospital Infection*, **136**, 90-99. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2023.04.004>
- [12] Soeters, P.B., Wolfe, R.R. and Shenkin, A. (2019) Hypoalbuminemia: Pathogenesis and Clinical Significance. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, **43**, 181-193. <https://doi.org/10.1002/jpen.1451>
- [13] 肖玉平, 孙典典, 史今盛, 等. 重型颅脑损伤术后颅内感染、病原菌分布及其危险因素调查[J]. 中国病原生物学杂志, 2025, 20(5): 602-605.
- [14] Chen, C., Zhang, B., Yu, S., Sun, F., Ruan, Q., Zhang, W., et al. (2014) The Incidence and Risk Factors of Meningitis after Major Craniotomy in China: A Retrospective Cohort Study. *PLOS ONE*, **9**, e101961. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101961>
- [15] Moura, J., Madureira, P., Leal, E.C., Fonseca, A.C. and Carvalho, E. (2019) Immune Aging in Diabetes and Its Implications in Wound Healing. *Clinical Immunology*, **200**, 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.clim.2019.02.002>
- [16] 曾掌, 宋微微. 颅脑损伤患者术后继发颅内感染的危险因素与防控措施分析[J]. 抗感染药学, 2023, 20(9): 956-959.
- [17] Han, C., Song, Q., Ren, Y., Luo, J., Jiang, X. and Hu, D. (2019) Dose-Response Association of Operative Time and Surgical Site Infection in Neurosurgery Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Infection Control*, **47**, 1393-1396. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2019.05.025>
- [18] Wang, L.Y., Cao, X.H., Shi, L.K., et al. (2020) Risk Factors for Intracranial Infection after Craniotomy: A Case-Control Study. *Brain and Behavior*, **10**, e01658. <https://doi.org/10.1002/brb3.1658>
- [19] 李玉伟, 雷燕妮, 陈必耀, 等. 闭合性重度颅脑损伤患者开颅术后颅内感染相关因素分析及对策[J]. 临床神经外科杂志, 2015, 12(4): 253-255.
- [20] 宋伟正, 王鹏, 程书文, 等. 颅脑损伤术后颅内感染相关因素分析[J]. 四川医学, 2019, 40(11): 1093-1095.

- [21] Krishnan, S.S., Nigam, P., Manuel, A. and Vasudevan, M.C. (2019) Bone Sandwich Closure Technique for Posterior Fossa Craniectomy. *Journal of Neurological Surgery Part B: Skull Base*, **81**, 8-14. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1678602>
- [22] Liu, Y., Liu, J., Wu, X. and Jiang, E. (2024) Risk Factors for Central Nervous System Infections after Craniotomy. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, **17**, 3637-3648. <https://doi.org/10.2147/jmdh.s476125>
- [23] 孙留涛, 胡远征. 重型颅脑损伤术后颅内感染的危险因素分析[J]. 中国烧伤创疡杂志, 2022, 34(5): 344-347.
- [24] 宋超强, 赵保钢, 孙智宏. 探讨引发颅脑损伤术后并发颅内感染的高危因素及预后预测研究[J]. 中国临床医生杂志, 2023, 51(4): 465-468.
- [25] Lin, C., Zhao, X. and Sun, H. (2015) Analysis on the Risk Factors of Intracranial Infection Secondary to Traumatic Brain Injury. *Chinese Journal of Traumatology*, **18**, 81-83. <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2014.10.007>
- [26] Yao, J. and Liu, D. (2019) Logistic Regression Analysis of Risk Factors for Intracranial Infection after Multiple Traumatic Craniotomy and Preventive Measures. *Journal of Craniofacial Surgery*, **30**, 1946-1948. <https://doi.org/10.1097/scs.0000000000004972>
- [27] Liao, K.H., Wang, J.Y., Lin, H.W., et al. (2016) Risk of Death in Patients with Post-Traumatic Cerebrospinal Fluid Leakage—Analysis of 1773 Cases. *Journal of the Chinese Medical Association*, **79**, 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.jcma.2015.10.002>
- [28] Kourbeti, I.S., Vakis, A.F., Ziakas, P., Karabetsos, D., Potolidis, E., Christou, S., et al. (2015) Infections in Patients Undergoing Craniotomy: Risk Factors Associated with Post-Craniotomy Meningitis. *Journal of Neurosurgery*, **122**, 1113-1119. <https://doi.org/10.3171/2014.8.jns132557>
- [29] Ramanan, M., Lipman, J., Shorr, A. and Shankar, A. (2015) A Meta-Analysis of Ventriculostomy-Associated Cerebrospinal Fluid Infections. *BMC Infectious Diseases*, **15**, Article No. 3. <https://doi.org/10.1186/s12879-014-0712-z>
- [30] 张丹梅, 袁丽, 朱琪. 开颅手术后颅内感染风险预测模型构建及效果评价[J]. 中国感染控制杂志, 2022, 21(5): 439-446.
- [31] Lew, C.C.H., Yandell, R., Fraser, R.J.L., Chua, A.P., Chong, M.F.F. and Miller, M. (2017) Association between Malnutrition and Clinical Outcomes in the Intensive Care Unit: A Systematic Review. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, **41**, 744-758. <https://doi.org/10.1177/0148607115625638>
- [32] 张小燕, 张培华, 胡成旺, 等. 创伤性颅脑损伤患者颅内感染影响因素分析及干预措施[J]. 中华医院感染学杂志, 2018, 28(23): 3594-3597.