

重症脑室出血患者术后血流感染的危险因素分析及预测模型构建

裘五四^{1*}, 滕振飞¹, 杨文杰¹, 陈浩东²

¹杭州师范大学附属医院神经外科, 浙江 杭州

²桐乡第一人民医院神经外科, 浙江 嘉兴

收稿日期: 2026年6月13日; 录用日期: 2026年7月6日; 发布日期: 2026年7月10日

摘要

目的: 分析重症脑室出血(sIVH)患者术后血流感染(BSI)的危险因素, 构建风险预测模型, 为临床早期识别与干预提供参考。方法: 回顾性分析2017年6月~2025年9月于杭州师范大学附属医院接受脑室外引流(EVD)联合有创颅内压监测治疗的137例sIVH患者的临床资料。依据住院期间是否发生血流感染分为感染组(n = 20)和非感染组(n = 117), 采用单因素及多因素Logistic回归分析筛选独立危险因素, 构建预测模型并进行内部验证。结果: 137例sIVH患者中血流感染发生率为14.6%。多因素Logistic回归分析显示, 术前血糖升高(OR = 1.22, 95% CI: 1.01~1.47, P = 0.040)及红细胞计数降低(OR = 0.37, 95% CI: 0.14~0.99, P = 0.049)是血流感染的独立危险因素。为探索不同维度指标的预测价值, 分别构建了基于影像学指标的“核心影像模型”(术后2~5 d ONSD联合术前血糖)和基于常规实验室指标的“实验室模型”(红细胞计数联合术前血糖)。ROC曲线分析显示, 核心影像模型的AUC为0.73 (95% CI: 0.62~0.83), 校准曲线显示模型校准度良好。结论: 术前高血糖及红细胞计数降低是sIVH患者术后血流感染的独立危险因素。基于术后ONSD与术前血糖构建的预测模型对血流感染具有中等强度的风险评估价值, 初步显示可为临床早期识别高危患者提供参考, 但其效能有待多中心、前瞻性研究进一步验证。

关键词

重症脑室出血, 血流感染, 视神经鞘宽度, 危险因素, 预测模型

Analysis of Risk Factors and Construction of a Predictive Model for Postoperative Bloodstream Infection in Patients with Severe Intraventricular Hemorrhage

Wusi Qiu^{1*}, Zhenfei Teng¹, Wenjie Yang¹, Haodong Chen²

*通讯作者。

文章引用: 裘五四, 滕振飞, 杨文杰, 陈浩东. 重症脑室出血患者术后血流感染的危险因素分析及预测模型构建[J]. 亚洲外科手术病例研究, 2026, 14(1): 1-7. DOI: 10.12677/acrs.2026.141001

¹Department of Neurosurgery, The Affiliated Hospital of Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang

²Department of Neurosurgery, Tongxiang First People's Hospital, Jiaxing Zhejiang

Received: June 13, 2026; accepted: July 6, 2026; published: July 10, 2026

Abstract

Objective: To analyze the risk factors for postoperative bloodstream infection (BSI) in patients with severe intraventricular hemorrhage (sIVH), and to establish a risk prediction model for early clinical identification and intervention. **Methods:** Clinical data of 137 sIVH patients who underwent external ventricular drainage (EVD) combined with invasive intracranial pressure monitoring at the Affiliated Hospital of Hangzhou Normal University from June 2017 to September 2025 were retrospectively analyzed. Patients were divided into BSI group (n = 20) and non-BSI group (n = 117) based on the occurrence of BSI during hospitalization. Univariate and multivariate logistic regression analyses were performed to identify independent risk factors. A predictive model was constructed and internally validated. **Results:** The incidence of BSI was 14.6%. Multivariate Logistic regression analysis showed that elevated preoperative blood glucose (OR = 1.22, 95% CI: 1.01~1.47, P = 0.040) and decreased red blood cell count (OR = 0.37, 95% CI: 0.14~0.99, P = 0.049) were independent risk factors for BSI. To explore the predictive value of indicators across different dimensions, two models were developed: a "core imaging model" based on imaging parameters (ONSD at 2~5 days postoperatively combined with preoperative blood glucose levels) and a "lab model" based on conventional laboratory parameters (erythrocyte count combined with preoperative blood glucose levels). ROC curve analysis demonstrated an AUC of 0.73 (95% CI: 0.62~0.83) for the core imaging model, indicating good model calibration. **Conclusion:** Preoperative hyperglycemia and decreased red blood cell count are independent risk factors for postoperative BSI in sIVH patients. The predictive model based on postoperative ONSD and preoperative blood glucose provides moderate risk assessment value for BSI and may preliminarily assist in early identification of high-risk patients, yet its efficacy warrants further validation through multicenter, prospective studies.

Keywords

Severe Intraventricular Hemorrhage, Bloodstream Infection, Optic Nerve Sheath Diameter, Risk Factor, Predictive Model

Copyright © 2026 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

重症脑室出血(severe intraventricular hemorrhage, sIVH)是自发性脑出血中病情最为危重的类型之一, 约占自发性脑出血的 30%~50%, 常表现为全脑室铸型或合并梗阻性脑积水, 急性期病死率较高, 幸存者多遗留不同程度的神经功能缺损[1]。为有效控制颅内压并引流血性脑脊液, 脑室外引流(external ventricular drainage, EVD)联合有创颅内压监测是目前 sIVH 患者救治中的核心干预手段。然而, EVD 作为一种侵入性操作, 其留置时间延长及多次操作等可增加感染风险, 尤其对伴有脑室出血的患者, 更是增加感染的重要因素, 对患者预后产生不利影响[1][2]。除颅内感染外, 住院期间血流感染(bloodstream infection, BSI)同样是神经重症患者的常见并发症, 不仅延长住院时间, 还可能加重全身炎症反应, 增加病死率[3]

[4]。

sIVH 患者术后血流感染的发生与多种因素有关,既包括患者基础代谢状态、免疫功能储备等内源性因素,也涉及侵入性操作频率、住院暴露时间等外源性因素[5]。然而,目前针对 sIVH 这一特定人群血流感染的系统性研究仍相对有限,风险评估模型尚不完善。视神经鞘宽度(optic nerve sheath diameter, ONSD)作为无创颅内压评估指标,近年来受到关注,但其与感染风险之间的关系尚不明确[6][7]。本研究通过回顾性分析 sIVH 患者的临床资料,探讨术后血流感染的危险因素,并尝试构建风险预测模型,以期临床早期方便快捷地识别高危患者、优化感染防控策略提供参考依据。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

收集 2017 年 6 月~2025 年 9 月于杭州师范大学附属医院接受 EVD 联合有创颅内压监测治疗的 sIVH 患者的临床资料。纳入标准:(1) 经头颅 CT 检查明确诊断为 IVH,或脑实质出血破入脑室系统;(2) GCS 评分 ≤ 8 分,或 Graeb 脑室出血评分 ≥ 5 分;(3) 发病至首次头颅 CT 检查时间 ≤ 24 h;(4) 接受 EVD 联合脑室内 ICP 监测治疗。排除标准:(1) 既往存在眼部相关疾病(青光眼、视神经病变、眼外伤、眼部手术史等);(2) 头颅 CT 图像质量不佳,无法准确测量 ONSD;(3) 合并严重肝肾功能衰竭、恶性肿瘤、明显凝血功能障碍或感染性休克等可能独立影响短期临床结局的疾病;(4) 随访资料不完整。最终纳入 137 例患者,其中男性 97 例(70.8%),女性 40 例(29.2%),中位年龄 55 (48, 64)岁。

2.2. 血流感染诊断标准

参照美国 CDC 国家医疗安全网络(NHSN)相关标准,符合以下任一条件者定义为血流感染:(1) 至少 1 次外周血培养阳性(排除常见污染菌),并伴有发热(体温 $> 38^{\circ}\text{C}$)、寒战或低血压等感染相关临床表现;(2) 同一时间段内 2 次及以上血培养分离出相同常见皮肤定植菌,并结合感染相关临床表现[8]。

2.3. 数据收集

收集患者以下资料:(1) 一般资料:年龄、性别、高血压病史、糖尿病病史、抗凝药物使用史及既往脑梗死病史;(2) 临床评估:术前 GCS 评分、术前 NIHSS 评分、术前血糖、血浆白蛋白、C 反应蛋白、血常规;(3) 影像学指标:出血量、出血部位、Graeb 评分、中线移位、术前 ONSD、ETD 及术后[9] ONSD、ETD;(4) 治疗参数:引流管留置时间、总住院时间、腰椎穿刺次数。其中 ONSD 测量在轴位 CT 图像上选取眼球后 3 mm 平面,沿垂直于视神经走行方向测量视神经鞘内缘至内缘的距离;ETD 在同一层面测量眼球颞侧与鼻侧壁外缘之间的水平距离。所有测量由两名经统一培训的影像医师在双盲条件下独立完成,取双侧平均值用于统计分析。

2.4. 统计学分析

采用 SPSS 25.0 统计软件进行数据分析。正态分布连续变量以均数 \pm 标准差表示,非正态分布资料以中位数(四分位距)表示,组间比较采用独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验。计数资料统计采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率法。多因素分析采用 Logistic 回归模型筛选独立危险因素。为避免多重共线性及过度拟合,且考虑到部分变量(如白蛋白、C 反应蛋白)与血糖、红细胞计数存在共线性或临床意义相近,同时受限于样本量(事件数仅 20 例),最终仅将临床意义明确且在多因素分析中稳定的术前血糖和红细胞计数纳入最终模型。采用 Bootstrap 重抽样法(重复 1000 次)进行内部验证,通过校准曲线评价模型预测概率与实际观察结果的一致性。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 血流感染发生情况及单因素分析

137 例 sIVH 患者中, 发生血流感染 20 例(14.6%)。单因素分析显示, 感染组与非感染组在年龄、性别、术前神经功能评分、高血压病史、糖尿病史、脑梗死史、出血量、Graeb 评分及术前 ONSD 等方面差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。两组在术前血糖、血浆白蛋白、C 反应蛋白、红细胞计数、腰穿次数及总住院时间方面差异具有统计学意义(均 $P < 0.05$), 见表 1。

Table 1. Univariate analysis of bloodstream infection

表 1. 血流感染单因素分析

指标	感染组(n = 20)	非感染组(n = 117)	Z/ χ^2 值	P 值
术前血糖(mmol/L)	11.96 (9.36, 16.16)	9.10 (7.60, 11.48)	2.092	0.044
血浆白蛋白(g/L)	37.80 (34.98, 39.38)	40.50 (36.10, 43.60)	2.845	0.004
C 反应蛋白(mg/L)	3.16 (1.96, 14.27)	1.15 (0.65, 2.41)	1.975	0.048
红细胞计数($\times 10^{12}/L$)	4.03 (3.46, 4.51)	4.44 (3.95, 4.82)	2.768	0.008
腰穿次数(次)	2.50 (1.00, 4.75)	1.00 (0.00, 2.00)	2.195	0.032
总住院时间(d)	62.50 (41.75, 98.25)	29.00 (17.00, 60.00)	2.461	0.018

3.2. 多因素 Logistic 回归分析

将单因素分析中 $P < 0.05$ 的变量纳入多因素 Logistic 回归模型, 采用逐步回归法(后退法)进行变量筛选, 结果显示术前血糖升高(OR = 1.22, 95% CI: 1.01~1.47, $P = 0.040$)和红细胞计数降低(OR = 0.37, 95% CI: 0.14~0.99, $P = 0.049$)是 sIVH 患者术后血流感染的独立危险因素, 见表 2。

Table 2. Multivariate Logistic regression analysis for bloodstream infections

表 2. 血流感染多因素 Logistic 回归分析

变量	β	SE	Wald χ^2	P 值	OR	95% CI
术前血糖	0.198	0.096	4.232	0.040	1.22	1.01~1.47
红细胞计数	-0.999	0.509	3.847	0.049	0.37	0.14~0.99

3.3. 预测模型构建与效能评价

为探索不同维度指标(“影像学指标”对“常规实验室指标”)的预测价值, 并考虑到术后 ONSD 虽在单因素分析中未达统计学阈值($P = 0.058$), 但在临床上具有潜在意义, 故分别构建核心影像模型(术后 2~5 d ONSD 联合术前血糖)及实验室模型(红细胞计数联合术前血糖)进行比较分析。ROC 曲线分析显示, 核心影像模型的 AUC 为 0.73 (95% CI: 0.62~0.83), 术后 2~5 d ONSD 在模型中回归系数具有统计学意义($P = 0.035$)。Hosmer-Lemeshow 检验 $P = 0.1067$, 提示模型校准度良好, 见图 1。实验室模型的 AUC 为 0.72 (95% CI: 0.61~0.83), 见表 3、图 1。

Table 3. Comparison of performance for bloodstream infection prediction models

表 3. 血流感染预测模型效能比较

模型	自变量	AUC (95% CI)	变量显著性(P 值)
核心影像模型	术后 ONSD + 术前血糖	0.73 (0.62~0.83)	ONSD: 0.035, 血糖: 0.026
实验室模型	红细胞计数 + 术前血糖	0.72 (0.61~0.83)	红细胞计数: 0.048, 血糖: 0.030

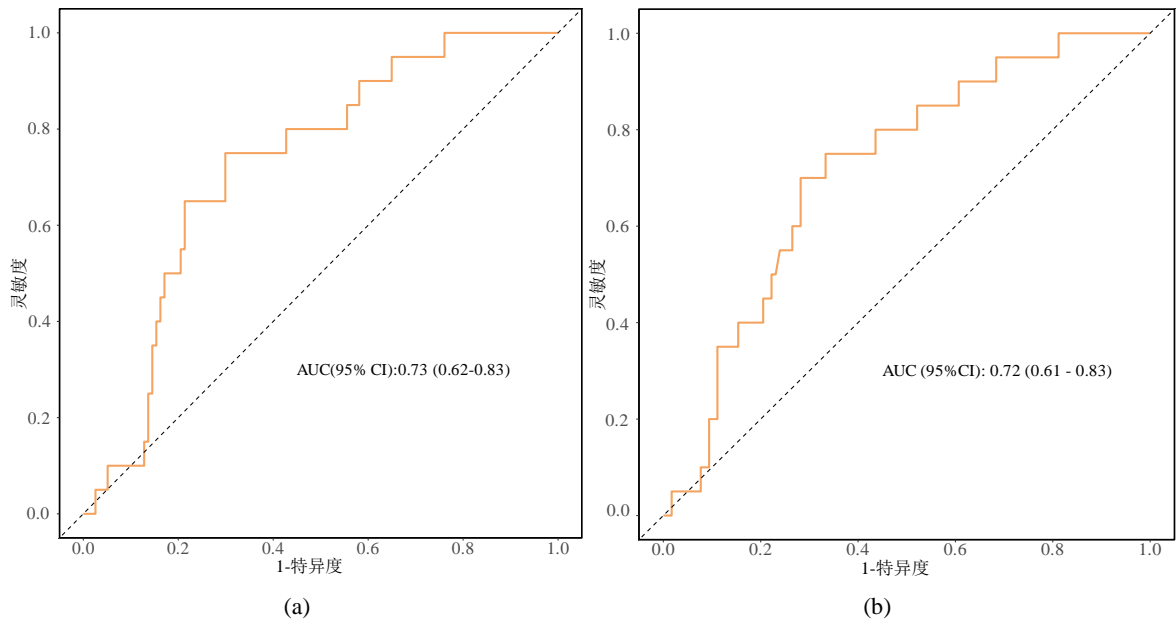


Figure 1. Comparison of ROC curves. (a) ROC curve of the core imaging model; (b) ROC curve of the laboratory model
图 1. 对比 ROC 曲线。(a) 核心影像模型 ROC 曲线；(b) 实验室模型 ROC 曲线

采用 Bootstrap 重抽样法对核心影像模型进行内部验证。校准曲线显示，在较低预测概率区间模型预测概率与实际发生率接近理想校准线；决策曲线分析显示，在 0~0.3 的阈值概率范围内模型净获益高于全干预及全不干预策略。见图 2。

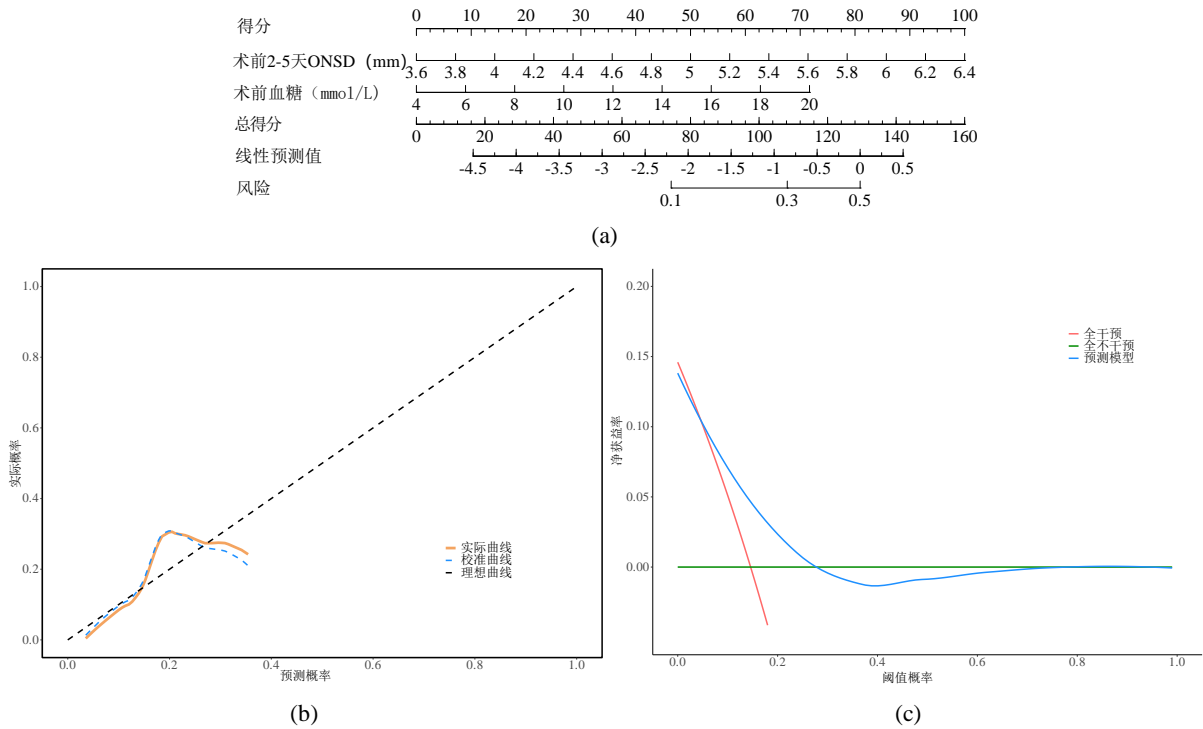


Figure 2. Line chart for predicting the risk of bloodstream infection and its internal validation curves ((a) Line chart, (b) Calibration curve and (c) Decision curve)

图 2. 血流感染风险预测列线图及其内部验证曲线((a) 列线图，(b) 校准曲线与(c) 决策曲线)

4. 讨论

血流感染是 sIVH 患者住院期间常见的并发症之一，不仅延长 ICU 住院时间，还可加重全身炎症反应，增加医疗负担及病死率[4]。本组 sIVH 患者术后血流感染发生率为 14.6%，与既往神经重症患者中报道的感染率基本一致[4] [10]。本研究发现，术前血糖升高及红细胞计数降低是 sIVH 患者术后血流感染的独立危险因素，基于术后 ONSD 与术前血糖构建的预测模型对血流感染显示出中等程度的风险评估价值。

应激性高血糖是急性脑损伤后常见的代谢紊乱表现，可反映机体在严重应激状态下的神经内分泌激活及炎症反应异常。研究表明，应激性高血糖与自发性脑出血患者不良功能预后密切相关[11]。本研究表明，术前血糖升高是血流感染的独立危险因素，其可能机制包括：高血糖状态可损害中性粒细胞的趋化、吞噬及杀菌功能，降低机体清除病原体能力；同时，高血糖可促进炎症因子的释放，加重全身炎症反应，增加感染易感性[12] [13]。因此，对于 sIVH 患者，应重视入院早期血糖监测及合理控制。

红细胞计数降低在本研究中表现为风险增加因素($OR < 1$ ，提示其降低与感染风险升高相关)，这一结果值得深入探讨。从全身感染角度分析，红细胞不仅承担氧气运输功能，其表面表达的补体受体(如 CR1)可参与免疫黏附过程，协助清除循环中的免疫复合物及补体包被颗粒，在全身免疫防御中发挥辅助作用。当红细胞计数降低时，可能提示机体存在贫血状态或生理储备不足，导致组织氧供下降及免疫细胞功能受限，在侵入性操作及医院暴露背景下，此类患者抵御病原体侵袭的能力可能相对下降，从而增加血流感染风险[14]。本研究中红细胞计数在单因素分析中感染组低于非感染组，多因素分析中 $OR < 1$ ，提示红细胞计数降低可能反映机体免疫储备减弱，与感染风险增加相关，而非直接的保护因素。这一结果提示，在 sIVH 患者管理中应关注贫血状态及其对免疫功能的影响。

本研究还发现，ONSD 在核心影像模型中具有统计学意义。ONSD 作为无创颅内压评估指标，其扩张通常反映颅内压升高状态[7] [15]。既往研究表明，中枢神经系统损伤可通过自主神经及神经内分泌通路影响外周免疫反应，持续性颅内压升高可能伴随交感神经系统过度激活，并与免疫细胞功能改变相关。本研究将 ONSD 引入感染预测模型，提示颅内压力状态可能在感染风险调节中发挥一定作用，但仍需前瞻性研究进一步验证。

本研究构建的核心影像模型 AUC 为 0.73，校准曲线及决策曲线分析显示模型在特定阈值范围内具有临床净获益。然而，必须客观指出，AUC 为 0.73 仅代表中等水平的区分能力。作为单中心回顾性研究，该模型属于初步探索性质，在得到外部验证和进一步优化前，其临床应用应持谨慎态度，不建议作为独立决策依据。本研究局限性还包括：首先，作为单中心回顾性研究，样本量有限，可能存在选择偏倚；其次，模型的外部适用性仍需多中心、前瞻性研究验证；此外，本研究未纳入炎症因子、遗传标志物等分子水平指标，难以从微观层面深入探讨感染机制。

5. 结论

综上所述，术前高血糖及红细胞计数降低是 sIVH 患者术后血流感染的独立危险因素。基于术后 ONSD 与术前血糖构建的预测模型对血流感染具有中等程度的风险评估价值，初步显示可为临床早期识别高危患者提供参考，但其区分能力有限，仍需多中心、前瞻性研究进一步验证模型的稳定性与泛化能力，在临床推广前应持审慎态度。

声 明

本研究已通过医院伦理委员会审批(审批号: 2025(E2)-HS-034)，回顾性研究，故不涉及患者知情同意。

基金项目

杭州市卫生健康委科技项目(A20251639)。

参考文献

- [1] Qiu, W., Chen, H., Yang, W. and Chen, M. (2026) Intracranial Pressure Management in Severe Intraventricular Hemorrhage: A Minireview. *World Journal of Critical Care Medicine*, **15**, Article 115169. <https://doi.org/10.5492/wjccm.v15.i1.115169>
- [2] Wang, P., Luo, S., Cheng, S., Gong, M., Zhang, J., Liang, R., *et al.* (2023) Construction and Validation of Infection Risk Model for Patients with External Ventricular Drainage: A Multicenter Retrospective Study. *Acta Neurochirurgica*, **165**, 3255-3266. <https://doi.org/10.1007/s00701-023-05771-8>
- [3] Wang, H., Chen, X., You, C., *et al.* (2025) Navigating Challenges in Hydrocephalus Following Intraventricular Hemorrhage: A Comprehensive Review of Current Evidence. *Frontiers in Neurology*, **16**, Article ID: 1630286.
- [4] Margalit, I., Yahav, D., Hoffman, T., Tabah, A., Ruckly, S., Barbier, F., *et al.* (2024) Presentation, Management, and Outcomes of Older Compared to Younger Adults with Hospital-Acquired Bloodstream Infections in the Intensive Care Unit: A Multicenter Cohort Study. *Infection*, **52**, 2435-2443. <https://doi.org/10.1007/s15010-024-02304-y>
- [5] Jiang, Y.H., Zhao, R., Bai, Y.X., Li, H.M., Liu, J., Wang, S.X., *et al.* (2025) Development and Validation of a Nomogram to Predict Bacterial Blood Stream Infection. *European Journal of Medical Research*, **30**, Article No. 404. <https://doi.org/10.1186/s40001-025-02617-0>
- [6] Sahin, A., Akilli, N.B. and Koylu, R. (2026) The Test Characteristics of ONSD and ODE Tests in Predicting the Prognosis of Patients with Traumatic Brain Injury. *The American Journal of Emergency Medicine*, **103**, 170-175.
- [7] Salih, M.S.M., Sethuramachandran, A., Bidkar, P.U., Dey, A., R., G., Gunasekaran, A., *et al.* (2024) Comparison of Optic Nerve Sheath Diameter (ONSD) Measurements Obtained from USG before and after Placement of Ventriculoperitoneal Shunt in Obstructive Hydrocephalus as a Surrogate Marker for Adequacy of Shunt Function: A Prospective Observational Study. *Asian Journal of Neurosurgery*, **19**, 242-249. <https://doi.org/10.1055/s-0044-1786701>
- [8] Gajdos, L., Buetti, N., Tabah, A., Ruckly, S., Akova, M., Sjöval, F., *et al.* (2025) Shortening Antibiotic Therapy Duration for Hospital-Acquired Bloodstream Infections in Critically Ill Patients: A Causal Inference Model from the International EUROACT-2 Database. *Intensive Care Medicine*, **51**, 518-528. <https://doi.org/10.1007/s00134-025-07857-6>
- [9] Breedt, D.S., Harrington, B., Walker, I.S., Gretchel, A. and Vlok, A.J. (2024) Optic Nerve Sheath Diameter and Eyeball Transverse Diameter in Severe Head Injury and Its Correlation with Intracranial Pressure. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **242**, Article 108310. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2024.108310>
- [10] Talha, K.A., Patwary, M.I., Fatema, K., *et al.* (2025) Bacteriological Profile and Antibigram of Blood Stream Infection in a Tertiary Teaching Hospital of Bangladesh. *Mymensingh Medical Journal*, **34**, 186-191.
- [11] Zhang, G., Zhang, X., Gao, H., Lin, Y. and Zheng, Z. (2024) Exploration and Comparison of Stress Hyperglycemia-Related Indicators to Predict Clinical Outcomes in Patients with Spontaneous Intracerebral Hemorrhage. *Neurosurgical Review*, **47**, Article No. 887. <https://doi.org/10.1007/s10143-024-03130-4>
- [12] 邓茵茵, 陈冰冰, 洪雅芳, 王育斌, 刘晓强, 黄素玲. 神经外科颅脑术后 SSI 危险因素及 Nomogram 预测模型的建立与验证[J]. *中华医院感染学杂志*, 2025, 35(17): 2630-2635.
- [13] Yu, Y., Rao, Z., Duan, T., *et al.* (2025) Association between Stress Hyperglycaemia Ratio and Admission Stroke Severity: A Retrospective Study in a Chinese Singlecentre Cohort. *BMJ Open*, **15**, e105117.
- [14] Obeagu, E.I. and Obeagu, G.U. (2025) Anemia and Cerebrovascular Disease: Pathophysiological Insights and Clinical Implications. *Annals of Medicine and Surgery*, **87**, 3254-3267.
- [15] Singh, M., Gupta, V., Gupta, R., Kumar, B. and Agrawal, D. (2024) A Novel Method for Prediction of Raised Intracranial Pressure through Automated ONSD and ETD Ratio Measurement from Ocular Ultrasound. *Ultrasonic Imaging*, **46**, 29-40. <https://doi.org/10.1177/01617346231197593>