·诊治分析·

脑卒中患者导管相关尿路感染风险的预测模型建立

朱青青，柳丽萍，郭黄容，陈世宣

【摘要】目的　构建脑卒中患者导管相关尿路感染（CRUTI）风险预测模型。**方法**　本研究为回顾性队列研究。选取 2022 年 1 月至 2024 年 1 月温州市中西医结合医院收治的脑卒中留置导尿患者 600 例，按 7∶3 比例分为建模组（420 例）和验证组（180 例）。通过 LASSO 回归筛选预测因子，采用 Logistic 回归建立模型，绘制受试者工作特征曲线评估模型效能。**结果**　LASSO 筛选格拉斯哥昏迷量表（GCS）评分、导尿管留置时间、血清白蛋白、既往尿路感染史、糖尿病史是 CRUTI 的关键预测因子。多因素 Logistic 显示，GCS 评分为最强风险因子，导尿管留置时间次之，血清白蛋白、既往尿路感染史及糖尿病史均显著增加 CRUTI 风险（均 $P < 0.05$）。Logit(P)=−4.891+1.166×导尿管留置时间+0.727×糖尿病史+1.062×血清白蛋白≤30 g/L+1.423×GCS 评分≤12 分+1.330×既往尿路感染史。Hosmer-Lemeshow 检验显示模型拟合良好。建模组曲线下面积（AUC）为 0.891，敏感度 85.71%，特异度 83.20%；验证组 AUC 为 0.862，敏感度 82.40%，特异度 80.11%。**结论**　基于 GCS 评分、导尿管留置时间、血清白蛋白、既往尿路感染史、糖尿病史建立的模型可有效预测脑卒中留置导尿患者 CRUTI 风险。

【关键词】　脑卒中；导管相关尿路感染；风险预测模型

DOI:10.3969/j.issn.1671-0800.2026.07.013

【中图分类号】　R743.3　　**【文献标志码】**　A　　**【文章编号】**　1671-0800(2026)07-0759-04

脑卒中作为全球第二大死因及我国首位致残性疾病，其并发症管理是改善预后的关键环节。导管相关尿路感染（catheter-associated urinary tract infection，CRUTI）是脑卒中留置导尿患者的高发并发症，长期置管导致尿道黏膜屏障破坏，病原微生物定植风险显著增加，不仅延长住院时间、加重医疗负担，更可能诱发脓毒症、肾功能损伤等继发损害，直接威胁患者生存质量[1-2]。当前临床 CRUTI 防控主要依赖经验性干预，缺乏个体化风险评估工具。常规监测手段存在滞后性，待感染指标异常时往往已错过最佳干预窗口。尽管年龄、糖尿病、置管时长等危险因素被广泛认可，但多因素交互作用下的动态风险演变规律尚未明确，亟须建立量化预测体系以实现精准预防。本研究运用机器学习算法与 Logistic 回归整合多维预测因子，构建 CRUTI 风险预测模型，为降低感染率、优化医疗资源配置提供决策支持，现报道如下。

基金项目：　温州市基础性公益科研项目（Y20240494）

作者单位：　325000 温州，温州市中西医结合医院

通信作者：　陈世宣，Email：sxchen_2016@163.com

1　资料与方法

1.1　一般资料　本研究为回顾性队列研究。选取 2022 年 1 月至 2024 年 1 月温州市中西医结合医院收治的脑卒中留置导尿患者。纳入标准：（1）符合缺血或出血型脑卒中诊断标准[3]；（2）首次卒中发作且无既往导尿史；（3）入院后 24 h 内因尿潴留或尿失禁行无菌导尿术，且预计置管时长≥72 h；（4）年龄≥18 岁。排除标准：（1）合并泌尿系统结构性病变（如肾结石、前列腺增生Ⅲ°以上）；（2）入院前 30 d 内存在全身性感染或抗菌药物使用史；（3）意识障碍[格拉斯哥昏迷量表（Glasgow coma scale，GCS）评分≤8 分]，无法配合监测。共纳入符合标准患者 600 例，按 7∶3 比例采用计算机生成随机序列法分为建模组（n=420）和验证组（n=180）。本研究获得温州市中西医结合医院医学伦理委员会审查批准[批件号：伦研批第（2024-K050）号]，免除知情同意。

1.2　方法　收集患者核心指标，包括性别、年龄、体质量指数（BMI）、吸烟、基础疾病史（糖尿病、高血压及脑梗死）、血清白蛋白水平、神经功能缺损程度[入院 24 h 内美国国立卫生研究院卒中量表（NIHSS）评分]、

既往尿路感染史（入院前 1 年内经实验室确诊的急性尿路感染）、意识状态（导尿前 GCS 评分）、留置时长及尿管型号（Fr）等。

1.3　CRUTI 的诊断标准　依据《导尿管相关尿路感染预防与控制技术指南（试行）》[4]的相关诊断标准进行判定。主要依据：留管期间或拔管后 48 h 内出现尿频、尿急、尿痛、耻骨上压痛等尿路感染症状，且清洁中段尿或导尿留取尿标本细菌培养菌落计数≥10^3 CFU/mL，或经临床医师结合症状、体征及辅助检查（如尿常规白细胞显著升高、亚硝酸盐阳性等）综合判断确诊。

1.4　观察指标　（1）CRUTI 的发生情况。（2）基于 LASSO 回归筛选预测因子，筛除共线性强且贡献度低的变量。（3）多因素 Logistic 回归构建预测模型：以 CRUTI 发生为因变量（0=否，1=是），纳入 LASSO 筛选后的预测因子。（4）预测模型的效能评估。

1.5　统计方法　采用 SPSS 27.0 和 R 软件进行数据分析。正态分布计量资料数据以均数±标准差表示，组间比较采用独立样本 t 检验；非正态分布数据比较使用 Mann-Whitney U 检验。分类变量比较采用 χ^2 检验。将单因素分析中 $P<0.05$ 的变量输入 LASSO 回归模型，筛选独立影响因素。基于影响因素构建预测模型，并通过十折交叉验证评估判别效能，计算敏感度、特异度、阳性/阴性预测值。绘制受试者工作特征（ROC）曲线，Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验，并计算曲线下面积（*AUC*）、敏感度及特异度。$P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　建模组与验证组基线资料比较　建模组与验证组基线资料均差异无统计学意义（均 $P>0.05$），见表 1。

2.2　建模组中 CRUTI 患者与非 CRUTI 患者基线资料比较　建模组 420 例患者中，共发生 CRUTI 105 例，发生率为 25.00%；未发生 CRUTI 315 例。CRUTI 组患者 GCS 评分≤12 分占比、导尿管留置时间、血清白蛋白≤30 g/L 占比、既往尿路感染史占比、糖尿病史占比均高于非 CRUTI 组（均 $P<0.05$）；其他指标差异均无统计学意义（均 $P>0.05$），见表 2。

2.3　LASSO 回归筛选的预测变量　通过 LASSO 回归共筛选出 5 个关键预测因子，按标准化系数排序依次为：GCS 评分≤12 分、导尿管留置时间、血清白蛋白≤30 g/L、既往尿路感染史、糖尿病史，见表 3。

2.4　CRUTI 的影响因素及模型构建　多因素 Logistic 回归模型分析显示，GCS 评分≤12 分、导尿管留置时间、血清白蛋白≤30 g/L、既往尿路感染史及糖尿病史均显著增加 CRUTI 风险（均 $P<0.05$），见表 4。Logit（P）=−4.891+1.166×导尿管留置时间+0.727×糖尿病史+1.062×血清白蛋白≤30 g/L+1.423×GCS 评分≤12 分+1.330×既往尿路感染史。

2.5　预测模型的效能评估　建模组 *AUC* 为 0.891，敏感度 85.71%，特异度 83.20%；验证组 *AUC* 为 0.862，敏感度 82.40%，特异度 80.11%。Hosmer-Lemeshow 检验显示模型拟合良好，表明模型预测准确性高且泛化能力可靠，见表 5。

表 1　建模组与验证组脑卒中留置导尿患者基线资料比较

指标	建模组（n=420）	验证组（n=180）	t（χ^2）值	P 值
年龄（岁）	68.5±10.2	67.9±9.6	0.716	＞0.05
男性[例（%）]	273（65.00）	114（63.33）	（0.152）	＞0.05
BMI（kg/m²）	23.12±3.05	22.87±2.98	0.926	＞0.05
糖尿病史[例（%）]	162（38.57）	65（36.11）	（0.316）	＞0.05
高血压史[例（%）]	172（40.95）	71（39.44）	（0.118）	＞0.05
脑梗死史[例（%）]	315（75.00）	133（73.89）	（0.082）	＞0.05
吸烟史[例（%）]	86（20.48）	34（18.89）	（0.198）	＞0.05
NIHSS 评分（分）	12.60±4.83	11.92±5.41	1.523	＞0.05
血清白蛋白≤30 g/L[例（%）]	148（35.24）	60（33.33）	（0.202）	＞0.05
GCS 评分≤12 分[例（%）]	178（42.38）	72（40.00）	（0.292）	＞0.05
既往尿路感染史[例（%）]	107（25.48）	43（23.89）	（0.171）	＞0.05
导尿管留置时间（d）	7.33±2.31	7.12±2.33	1.018	＞0.05
尿管型号 16Fr[例（%）]	336（80.00）	142（78.89）	（0.096）	＞0.05

注：NIHSS 评分为美国国立卫生研究院卒中量表，GCS 为格拉斯哥昏迷指数，BMI 为体质量指数

表 2　CRUTI 组和非 CRUTI 组脑卒中留置导尿患者基线资料比较

指标	CRUTI 组（n=105）	非 CRUTI 组（n=315）	t（χ^2）值	P 值
年龄（岁）	69.2±9.9	68.2±10.3	0.824	＞0.05
男性[例（%）]	68（64.76）	205（65.08）	（0.003）	＞0.05
BMI（kg/m²）	23.25±3.12	23.08±3.01	0.452	＞0.05
糖尿病史[例（%）]	52（49.52）	110（34.92）	（6.345）	＜0.05
高血压史[例（%）]	44（41.90）	128（40.63）	（0.087）	＞0.05
脑梗死史[例（%）]	79（75.24）	236（74.92）	（0.005）	＞0.05
吸烟[例（%）]	22（20.95）	64（20.32）	（0.031）	＞0.05
NIHSS 评分（分）	13.12±4.67	12.41±4.89	1.256	＞0.05
血清白蛋白≤30 g/L[例（%）]	56（53.33）	92（29.21）	（16.891）	＜0.05
GCS 评分≤12 分[例（%）]	68（64.76）	110（34.92）	（21.347）	＜0.05
既往尿路感染史[例（%）]	42（40.00）	65（20.63）	（13.782）	＜0.05
导尿管留置时间（d）	9.12±2.56	6.78±2.01	8.762	＜0.05
尿管型号 16Fr[例（%）]	84（80.00）	252（80.00）	（0.000）	＞0.05

注：CRUTI 为导管相关尿路感染，NIHSS 评分为美国国立卫生研究院卒中量表，GCS 为格拉斯哥昏迷指数，BMI 为体质量指数

表 3　脑卒中患者 CRUTI 预测变量的 LASSO 回归筛选

变量	系数	标准化系数
导尿管留置时间	0.351	0.402
糖尿病史	0.297	0.241
血清白蛋白≤30 g/L	0.482	0.368
GCS 评分≤12 分	0.613	0.521
既往尿路感染史	0.422	0.311

注：CRUTI 为导管相关尿路感染，GCS 为格拉斯哥昏迷指数

表 4　脑卒中患者导管相关尿路感染的多因素 Logistic 回归分析

变量	B 值	OR 值（95%CI）	P 值
常数项	−4.891	—	＜0.05
导尿管留置时间	1.166	3.215（2.185 ～ 4.720）	＜0.05
糖尿病史	0.727	2.074（1.324 ～ 3.244）	＜0.05
血清白蛋白≤30 g/L	1.062	2.895（1.855 ～ 4.520）	＜0.05
GCS 评分≤12 分	1.423	4.153（2.672 ～ 6.455）	＜0.05
既往尿路感染史	1.330	3.784（2.214 ～ 6.460）	＜0.05

注：GCS 为格拉斯哥昏迷指数

表 5　导管相关尿路感染风险预测模型的效能评估

指标	建模组（n=420）	验证组（n=180）
AUC（95%CI）	0.891（0.852 ～ 0.930）	0.862（0.807 ～ 0.917）
敏感度（%）	85.71	82.40
特异度（%）	83.20	80.11
阳性预测值（%）	79.60	76.30
Hosmer-Lemeshow 检验	χ^2=7.320，P=0.502	χ^2=5.870，P=0.661

3　讨论

脑卒中患者因神经功能缺损、意识障碍等原因，CRUTI 发病率增高，远高于普通住院患者[5-7]；因此，早期识别高危人群并给予针对性干预，对降低感染率、改善预后具有重要临床意义。传统经验性干预缺乏量化依据，亟需建立科学的风险评估体系以实现精准预防。目前临床 CRUTI 诊断主要依赖症状观察及实验室检查。然而，常规监测存在显著局限性：（1）待尿培养结果阳性或症状明显时，感染已进入进展期，错过最佳干预窗口[8]；（2）脑卒中患者常合并尿失禁、意识障碍，感染症状易被原发病掩盖；（3）频繁尿培养增加医疗开支，且阳性率较低[9-10]。现有工具（如年龄、糖尿病史等单一因素）忽略多变量交互作用，无法动态预测风险演变。尽管国际指南推荐缩短置管时间以降低 CRUTI 风险，但缺乏个体化决策支持工具，导致预防措施执行率不足[11]。

本研究构建的 CRUTI 风险预测模型，通过整合循证医学数据与机器学习算法，在早期诊断及风险分层中展现出显著优势：（1）高判别精度。模型在验证组中 AUC 达 0.862，敏感度 82.40%，特异度 80.11%，显著优于传统评分系统。（2）强泛化能力。Hosmer-Lemeshow 检验证实模型拟合良好，适用于不同卒中人群。GCS 评分≤12 分是 CRUTI 的独立危险因素（OR=4.153），主要基于病理生理机制。意识障碍（GCS 评分≤12 分）导致排尿反射抑制及尿道闭合压降低，显著增加病原微生物逆行感染风险，且该指标在入院时即可快速评估，适用于早期风险分层[12-13]。导尿管留置时间是 CRUTI 的独立危险因素（OR=3.215），随着导尿管留置时间增加，生物膜形成风险上升，其是 CRUTI 的核心可干预因素。血清白蛋白≤30 g/L 是 CRUTI 的独立危险因素（OR=2.895），低蛋白血症提示免疫功能抑制，黏膜修复能力下降。既往尿路感染史是 CRUTI 的独立危险因素（OR=3.784），既往感染导致泌尿上皮屏障损

伤，定植菌更易黏附[14-15]。糖尿病史是 CRUTI 的独立危险因素（*OR*=2.074），高血糖促进细菌增殖，并削弱中性粒细胞吞噬功能。针对 CRUTI 防控的研究多聚焦干预策略或尿管改良，如有学者通过推行置管干预束降低不当置管率，证实置管时长的核心影响[2]。根据本研究确认的五大高危因素，可制定分层预防策略，如建立 24 h 拔管评估机制，对高危患者严格限制置管时间≤72 h，优先采用间歇导尿（≤4 次/d），同步强化无菌操作流程，使用 0.05%氯己定溶液行尿道口护理（3 次/d），并通过双人核查制度保障引流系统密闭性[16-17]。低蛋白血症患者实施强化营养支持（蛋白≥1.5 g·kg^{-1}·d^{-1}），糖尿病患者进行动态血糖管理（空腹≤7.0 mmol/L），尿路感染史者予 0.01%呋喃西林溶液膀胱冲洗（50 ml/8 h）[18]。应用银离子涂层导尿管，采用膀胱压监测设备评估排尿功能，对意识障碍患者每 2 小时实施膀胱区按压训练等[19]。

本研究受限于单中心数据来源，样本代表性可能存在局限，未来需通过多中心、大样本队列进一步验证模型的普适性与稳定性。此外，当前模型尚未整合微生物学指标及新型炎症标志物，后续研究可纳入上述变量，结合宏基因组测序技术构建动态监测模型，以提升预测精度与时效性，最终优化个体化预防策略。

综上所述，基于 GCS 评分、导尿管留置时间、血清白蛋白、既往尿路感染史、糖尿病史建立的 CRUTI 风险预测模型，具备高准确性与强临床适用性。该模型可实现脑卒中患者感染风险的早期分层，为精准化预防提供决策支持，对降低医疗负担、改善神经功能具有显著价值。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　朱青青：酝酿和设计实验，实施研究，起草文章，统计分析，行政、技术或材料支持；柳丽萍：实施研究，采集数据，对文章的知识性内容作批评性审阅，获取研究经费，行政、技术或材料支持；郭黄容：实施研究，分析/解释数据，对文章的知识性内容作批评性审阅，指导，支持性贡献；陈世宣：酝酿和设计实验，对文章的知识性内容作批评性审阅，指导

参　考　文　献

[1] 唐琦颖,黄德斌,零达兴,等.ICU 患者导管相关尿路感染发生风险的列线图预测模型构建[J].广西医学,2024,46(6):854-859.

[2] Cipriani M, Schlegel M, Schwark-B? hler M, et al. Successful reduction of urinary catheter placement for correct and incorrect indications after introduction of a prevention bundle[J]. Antimicrob Steward Healthc Epidemiol, 2024, 4(1): e71.

[3] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组.中国各类主要脑血管病诊断要点 2019[J].中华神经科杂志, 2019,52(9):710-715.

[4] 中华人民共和国卫生部. 导尿管相关尿路感染预防与控制技术指南（试行）[EB/OL].(2010-11-29)[2024-01-30].https://www.gov.cn/gzdt/2010-12/14/content_1765450.htm.

[5] 杨熙文,赵淼,王海梅,等.脑卒中后神经源性膀胱患者并发尿路感染的病原学特点及影响因素分析[J].中国医刊,2023,58(12):1357-1361.

[6] 赵正平,罗美霞,田巧,等.住院病人导尿管相关尿路感染情况及影响因素分析[J].实用预防医学,2025,32(2):224-227.

[7] 廖利萍,陈鹏,王科,等.颅脑损伤留置尿管患者导尿管相关尿路感染的风险预测列线图模型构建与验证[J].中华医院感染学杂志,2022,32(12):1798-1802.

[8] Safari M S, Mohabatkar H, Behbahani M. Novel surface biochemical modifications of urinary catheters to prevent catheter-associated urinary tract infections[J]. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 2024, 112(2): e35372.

[9] 叶秀芹,李映,陈文芳,等.2020—2022 年泌尿外科尿路感染患者病原菌分布及耐药性分析[J].中国病原生物学杂志,2024,19(7):850-854.

[10] 王芝媛,李治锋.血液炎症指标与尿常规联合检验对意识障碍卧床患者发生尿路感染的诊断价值[J].实用检验医师杂志,2024,16(2):125-128.

[11] 刘娟,张小霞,臧凤,等.老年患者导管相关性尿路多重耐药菌感染危险因素及其预测模型[J].重庆医学,2024,53(10):1519-1524.

[12] 陈姝蒙,张金唐宏.重症监护病房导尿管相关尿路感染影响因素及预测模型构建[J].云南医药,2025,46(2):25-28.

[13] 赵和和,王义荣.重型颅脑损伤患者尿路感染病原菌分布及影响因素分析[J].中外医学研究,2024,22(26):173-176.

[14] 欧阳外兴,朱云,孔丽娟.重症高血压脑出血患者导尿管相关尿路感染的危险因素分析及干预措施研究[J].基层医学论坛,2023,27(25):14-16,119.

[15] 张晓丹,包丹丹,李茜,等.脊髓损伤术后导尿管相关尿路感染多药耐药菌及其影响因素[J].中华医院感染学杂志,2023,33(3):429-433.

[16] 张晓林,庞学波,王美蓉,等.脑梗死患者并发尿路感染的病原菌分布特点及耐药性分析[J].中国病原生物学杂志,2025,20(3):388-391.

[17] 黄娜纯子,江艳.缺血性脑卒中合并 2 型糖尿病患者尿路感染的预测模型构建与验证[J].中国医学创新,2025,22(9):160-165.

[18] 田沛,范荣富,王洪岩,等.缺血性脑卒中患者并发尿路感染的病原菌分布、临床特点及危险因素[J].中国康复理论与实践,2024,30(10):1179-1186.

[19] 黄翱黎,王好.导管相关性尿路感染风险预警评估的研究进展[J].当代护士(上旬刊),2021,28(12):25-28.

收稿日期：2026-02-11

（本文编辑：孙海儿）