

# 慢性肾衰竭维持性血液透析患者泌尿系统感染预测模型构建与验证

庄建红<sup>1</sup>, 汤芳丽<sup>2</sup>, 张荣荣<sup>3</sup>, 曹利芬<sup>4</sup>

(浙江中医药大学附属湖州中医院 血透中心, 浙江 湖州 313000)

**【摘要】目的** 探讨慢性肾衰竭维持性血液透析(maintenance hemodialysis, MHD)患者泌尿系统感染的影响因素, 构建并验证风险预测模型。**方法** 回顾性选取 2021 年 1 月至 2023 年 1 月于某区院行 MHD 的 360 例慢性肾衰竭患者为研究对象, 按 7:3 比例随机分为建模集( $n=252$ )和验证集( $n=108$ ), 根据建模集患者是否发生过泌尿系统感染分为感染组( $n=37$ )和非感染组( $n=215$ ), 对两组患者的资料进行对比分析, 构建风险预测模型。绘制 ROC 曲线、决策曲线以及 Bootstrap 法内部验证校准曲线评估模型的预测效能, 同时分析验证集的病例数据, 对模型进行外部验证。**结果** 单因素及多因素 Logistic 回归分析结果显示, 年龄、透析时间、泌尿道插管、糖尿病肾病、高血压肾病和血清白蛋白与慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染有关(均  $P<0.05$ ); 预测模型接受者操作特性曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)下面积为 0.880, 95%CI (0.820~0.940), Youden 指数为 0.640, 灵敏度和特异度分别为 91.9% 和 72.1%; 决策曲线结果显示, 该模型的潜在临床获益可观, 可用性较高; Bootstrap 法内部验证校准曲线的平均绝对误差为 0.018; 验证集 ROC 曲线下面积为 0.894, 95%CI (0.817~0.970), Youden 指数为 0.623, 灵敏度和特异度分别为 93.8% 和 68.5%, 校准曲线 MAE 为 0.042, 提示模型的外部预测性能良好。**结论** 慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染受年龄、透析时间、泌尿道插管等因素影响, 基于各独立危险因素构建的风险预测模型的预测性能良好, 可为临床预防慢性肾衰竭 MHD 患者发生泌尿系统感染提供护理参考。

**【关键词】** 慢性肾衰竭; 维持性血液透析; 泌尿系统感染; 危险因素; 预测

doi: 10.3969/j.issn.2097-1826.2024.08.008

**【中图分类号】** R459.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 2097-1826(2024)08-0035-04

## Construction and Validation of the Prediction Model of Urinary System Infection in Patients with Chronic Renal Failure and Maintenance Hemodialysis

ZHUANG Jianhong<sup>1</sup>, TANG Fangli<sup>2</sup>, ZHANG Rongrong<sup>3</sup>, CAO Lifen<sup>4</sup> (Hemodialysis Center, Huzhou Hospital of Traditional Chinese Medicine Affiliated to Zhejiang Chinese Medicine University, Huzhou 313000, Zhejiang Province, China)

**【Abstract】Objective** To investigate the contributing variables of urinary tract infection in individuals suffering from chronic kidney failure and undergoing maintenance hemodialysis, and to develop and verify a risk prediction model. **Methods** Retrospectively, 360 chronic renal failure patients who received MHD in our hospital between January 2021 and 2023 were selected. 3 out of 10 subjects were put into the validation set ( $n=108$ ) and 7 into the modelling set ( $n=252$ ). The latter were further divided into the infected group ( $n=37$ ) and non-infected group ( $n=215$ ) based on whether they had had urinary system infection. Data from the two groups were compared and examined to make a risk prediction model. The ROC curve, decision curve, and internal validation calibration curve in Bootstrap method's were drawn to assess the prediction effectiveness of the model, and the case data of the validation set were also analyzed concurrently so as to externally validate the model. **Results** In MHD patients with chronic renal failure, urinary system infection was related to age, dialysis time, urinary tract intubation, diabetic nephropathy, hypertensive nephropathy, and serum albumin ( $P<0.05$ ), according to univariate and multivariate logistic regression analysis. The area under the ROC was 0.880, 95%CI (0.820~0.940), with the values for the Youden index 0.640, scale of sensitivity and specificity 91.9% and 72.1%, respectively. The decision curve showed the substantial potential clinical benefit and availability of the model. The mean absolute deviation of the internal validation calibration curve in Bootstrap method was 0.018, 95%CI (0.817~0.970), with the values for the Youden index as 0.623, scale of sensitivity and specificity 93.8% and 68.5%, respectively. The calibration curve was 0.042, which suggested that the model performed well in terms of external prediction. **Conclusions** Age, length of dialysis, urinary tract intubation, and other variables all influence the risk of urinary system infection in MHD patients with chronic renal failure. The risk prediction model based on each independent risk factor performs well in terms of prediction, and can offer nursing guidance for the prevention of urina-

ry tract infection in these patients.

**[Key words]** chronic renal failure; maintenance hemodialysis; urinary system infection; risk factor; prediction

[Mil Nurs, 2024, 41(08): 35-38]

慢性肾衰竭是由于肾脏长期病变而引发的进行性肾实质损害, 临床表现主要为肾脏萎缩、代谢产物滞留和水、电解质失衡等<sup>[1]</sup>。维持性血液透析(maintenance hemodialysis, MHD)是目前肾脏代替治疗的常用方法, 能显著延长肾病终末期患者的生存周期, 但也存在一些并发症如泌尿系统感染, 其会加重患者的肾脏负担, 促使肾功能恶化, 严重影响患者生活质量<sup>[2]</sup>, 还是引起慢性肾衰竭患者死亡的主要原因之一。本研究以是否发生泌尿系统感染为因变量, 探讨慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的独立危险因素, 构建并验证风险预测模型, 以期为医护人员早期识别慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的发生提供评估工具。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象** 回顾性选取 2021 年 1 月至 2023 年 1 月于某医院行 MHD 的 360 例慢性肾衰竭患者为研究对象, 按 7:3 的比例随机分为建模集( $n=252$ )和验证集( $n=108$ ), 根据建模集患者是否发生过泌尿系统感染分为感染组( $n=37$ )和非感染组( $n=215$ )。纳入标准: (1)符合《慢性肾衰竭中西医结合诊疗指南》<sup>[3]</sup>中慢性肾衰竭的诊断标准; (2)年龄 $\geq 18$ 岁; (3)接受长期规范的血液透析治疗, 且行 MHD 治疗时间 $\geq 6$ 个月; (4)首次行 MHD 治疗的患者; (5)临床资料完整; (6)患者及家属均已签署知情同意书。排除标准: (1)合并泌尿系统畸形患者; (2)合并其他感染性疾病; (3)合并严重心、脑、肺器质性疾病; (4)合并恶性肿瘤; (5)合并精神系疾病, 言语表达能力欠缺。本研究已通过医院医学伦理委员会审批(2024-LW-09)。根据既往文献<sup>[4]</sup>及结合临床实际经验, 本研究共选取 15 项因素, 根据调查工具最大项目数的 10~20 倍估算样本量<sup>[5]</sup>, 并考虑 10~20% 的样本无效率, 则样本量范围为 165~360, 本研究共纳入 360 例慢性肾衰竭 MHD 患者。

## 1.2 方法

### 1.2.1 研究工具

**1.2.1.1 一般资料及相关临床指标收集** 包含年龄、性别、体质量指数(body mass index, BMI)、透析时间、行 MHD 时是否进行泌尿道插管、原发疾病(糖尿病肾病、

高血压肾病、慢性肾小球肾炎、慢性肾盂肾炎、痛风性肾病、肾结核)、行 MHD 前的血清白蛋白、血红蛋白和血肌酐, 所有资料均通过医院系统检索录入。

**1.2.1.2 泌尿系统感染诊断** 本研究为横断面调查, 泌尿系统感染参考《尿路感染诊断与治疗中国专家共识(2015 版)》<sup>[6]</sup>中的诊断标准。

**1.2.2 资料收集与质量控制** 由科室 2 名主管护师对患者的一般资料、相关临床指标等进行收集与整理, 采用双人录入的方式, 后进行核对。

**1.2.3 统计学处理** 用 SPSS 21.0 软件进行数据处理, 符合正态分布的计量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用两样本均数  $t$  检验; 计数资料用例数、构成比表示, 采用  $\chi^2$  检验。采用多因素 Logistic 回归分析慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的独立危险因素, 并绘制接受者操作特性曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)评估预测模型的区分度,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。使用 RStudio 4.2.1 对预测模型进行内、外部验证, 绘制预测模型与验证集的决策曲线以评估临床效益; 采用 Bootstrap 绘制预测模型与验证集的校准曲线以评估校准度, 校准曲线 MAE 以 0.05 以内为可以接受。

## 2 结果

**2.1 慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的发生情况** 结果显示, 360 例慢性肾衰竭 MHD 患者发生泌尿系统感染共有 53 例(14.72%), 其中建模集 252 例患者中出现泌尿系统感染有 37 例(14.68%), 验证集 108 例患者中出现泌尿系统感染有 16 例(14.81%)。

**2.2 影响慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的单因素分析** 单因素分析结果显示, 年龄、透析时间、泌尿道插管、糖尿病肾病、高血压肾病和血清白蛋白是慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的因素, 差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ ), 见表 1。

**2.3 影响慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的多因素 Logistic 回归分析** 将单因素分析中有统计学意义的影响因素纳入多因素 Logistic 回归分析。结果显示, 年龄、透析时间、泌尿道插管、糖尿病肾病、高血压肾病和血清白蛋白均是慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的独立影响因素(均  $P < 0.05$ ), 见表 2。将上述 6 个独立影响因素进行共线性诊断, 方差膨胀因子分别为: 1.0、1.0、1.0、1.1、1.0、1.0, 均 $<10$ , 表示上述 6 个独立影响因素不存在多重共线性问题。

**[收稿日期]** 2024-03-01 **[修回日期]** 2024-05-20

**[作者简介]** 湖州市科学技术局公益性应用研究项目(2022GYB55)

**[通信作者]** 庄建红, 本科, 主管护师, 电话: 0572-2770557

2.4 慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的风险预测模型构建 基于多因素 Logistic 回归分析算法,将慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染概率设为  $P$ ,则可得  $\text{Logit}(P) = -3.791 + 1.342 \times (\text{年龄}) + 1.865 \times (\text{透析时间}) + 2.382 \times (\text{泌尿道插管}) + 0.913 \times (\text{糖尿病肾病}) + 0.936 \times (\text{高血压肾病}) - 1.750 \times (\text{血清白蛋白})$ 。

表 1 慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的单因素分析

| 项 目            | 感染组<br>( $n=37$ ) | 非感染组<br>( $n=215$ ) | $t$ 或 $\chi^2$ | $P$    |
|----------------|-------------------|---------------------|----------------|--------|
| 年龄(岁)          |                   |                     | 10.707         | 0.001  |
| ≥60            | 21(56.76)         | 63(29.30)           |                |        |
| <60            | 16(43.24)         | 152(70.70)          |                |        |
| 透析时间( $t/a$ )  |                   |                     | 13.064         | <0.001 |
| ≥1             | 27(72.97)         | 88(40.93)           |                |        |
| <1             | 10(27.03)         | 127(59.07)          |                |        |
| 泌尿道插管          |                   |                     | 24.329         | <0.001 |
| 是              | 16(43.24)         | 24(11.16)           |                |        |
| 否              | 21(56.76)         | 191(88.84)          |                |        |
| 糖尿病肾病          |                   |                     | 12.242         | 0.001  |
| 是              | 20(54.05)         | 55(25.58)           |                |        |
| 否              | 17(45.95)         | 160(74.42)          |                |        |
| 高血压肾病          |                   |                     | 11.285         | 0.001  |
| 是              | 20(54.05)         | 57(26.51)           |                |        |
| 否              | 17(45.95)         | 158(73.49)          |                |        |
| 血清白蛋白( $g/L$ ) |                   |                     | 19.765         | <0.001 |
| ≥35            | 14(37.84)         | 160(74.42)          |                |        |
| <35            | 23(62.16)         | 55(25.58)           |                |        |

表 2 慢性肾衰竭 MHD 患者  
泌尿系统感染的多因素 Logistic 回归分析

| 变量    | 回归系数   | 标准误   | Wald $\chi^2$ | OR     | $P$    |
|-------|--------|-------|---------------|--------|--------|
| 常数项   | -3.791 | 0.635 | 35.654        | —      | <0.001 |
| 年龄    | 1.342  | 0.462 | 8.444         | 3.825  | 0.004  |
| 透析时间  | 1.865  | 0.515 | 13.114        | 6.454  | <0.001 |
| 泌尿道插管 | 2.382  | 0.551 | 18.715        | 10.831 | <0.001 |
| 糖尿病肾病 | 0.913  | 0.455 | 4.034         | 2.493  | 0.045  |
| 高血压肾病 | 0.936  | 0.444 | 4.443         | 2.551  | 0.035  |
| 血清白蛋白 | -1.750 | 0.465 | 14.170        | 0.174  | <0.001 |

2.5 风险预测模型的临床可用性评价 建模集和验证集的决策曲线显示,预测模型在慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的风险范围内表现为正的净效益,表明该模型的潜在临床获益可观,可用性较高。其中“ $All$ ”线表示所有慢性肾衰竭 MHD 患者均发生泌尿系统感染,且经模型护理干预后所获得的效益;“ $None$ ”线表示所有慢性肾衰竭 MHD 患者均未发生泌尿系统感染,且未经模型护理干预获得的效益(即为 0);“ $Nomogram\ model$ ”红色线表示采用该预测模型将慢性肾衰竭 MHD 患者分为感染组和非感染组所获得的临床效益,曲线越靠近图右上

端(即曲线下面积越大)代表临床效益越高,见图 1。  
2.6 风险预测模型预测效能验证 ROC 曲线结果显示,建模集的 AUC 为 0.880,95%CI (0.820~0.940),Youden 指数为 0.640,灵敏度和特异度分别为 91.9%和 72.1%,提示模型具有较好的区分度,见图 2。校准曲线结果显示,MAE 为 0.018,提示模型预测概率与实际发生的概率之间差异不大,具备较好的预测准确性。验证集 ROC 曲线的 AUC 为 0.894,95%CI (0.817~0.970),灵敏度和特异度分别为 93.8%和 68.5%,校准曲线的 MAE 为 0.042,提示模型具备较好的外部预测性能,见图 3。

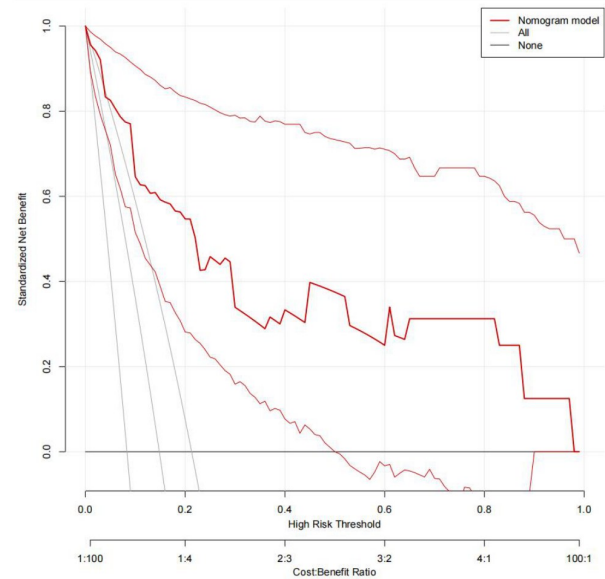


图 1 验证集决策曲线

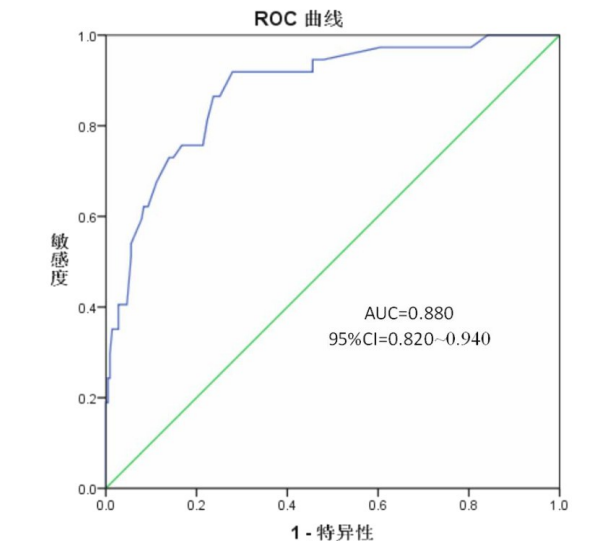


图 2 建模集 ROC 曲线

3 讨论

3.1 MHD 患者泌尿系统感染现状 尿路感染是慢性肾衰竭患者进行 MHD 时常见的一种并发症。如

果不进行及时治疗,可能会进一步恶化,引发败血症、感染性休克,甚至可能导致死亡<sup>[7]</sup>。本研究发现,建模集 252 例慢性肾衰竭 MHD 患者发生泌尿系统感染有 37 例,发生率为 14.68%,验证集 108 患者发生泌尿系统感染有 16 例,发生率 14.81%。可见研究慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的独立危险因素,构建风险预测模型十分必要。

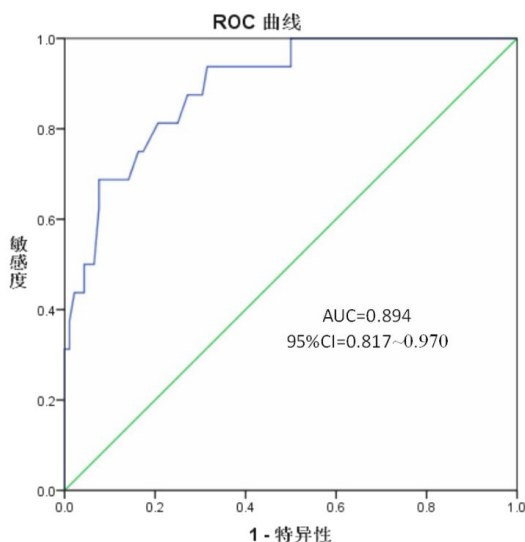


图 3 验证集 ROC 曲线

### 3.2 MHD 泌尿系统感染的影响因素分析

3.2.1 年龄和透析时间 本研究结果显示,年龄较大和透析时间较长的慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染的发生风险较高。分析其原因可能是,老年慢性肾衰竭患者自身免疫力功能较低,白细胞功能减弱,更容易发生尿路感染。另外,晋强等<sup>[8]</sup>的研究也体现了,高龄患者尿路感染的发生占有感染的 16.13%。同时,维持长时间血液透析也容易导致上行性尿路感染<sup>[9]</sup>。

3.2.2 泌尿道插管和血清白蛋白 泌尿道插管是独立危险因素之一( $P<0.05$ ),导尿管置入会损伤泌尿道,且若未能及时进行消毒护理,也会增加尿路感染的风险。另外,血清白蛋白水平是机体免疫力的直接表现,其水平过低,也会增加患者泌尿系统感染的发生风险<sup>[10]</sup>。

3.2.3 糖尿病肾病和高血压肾病 糖尿病肾病和高血压肾病也是患者泌尿系统感染的高危因素,这与沈晶等<sup>[4]</sup>的研究结果一致。分析其原因,可能是患者尿液中存在大量糖分,有利于细菌繁殖<sup>[11]</sup>;而高血压肾病患者机体免疫力降低,更易导致泌尿系统感染<sup>[12]</sup>。

3.3 MHD 泌尿系统感染的防治护理对策 结合预测模型及临床经验,建议护士在进行护理时,应重点关注年龄较大、透析时间较长以及血清白蛋白水平

较低的患者,检测白细胞和白蛋白水平,耐心指导,必要时输注白蛋白和人体必需营养物质。此外,应该严格把控泌尿道插管的使用,并及时消毒,以减少感染。在面对原发疾病为糖尿病肾病以及高血压肾病的患者时,应为其普及控制血糖与血压的相关知识,并定时检测其血糖与血压水平。

### 4 小结

本研究构建的慢性肾衰竭 MHD 患者泌尿系统感染预测模型的预测价值较高,AUC 为 0.880,95% CI(0.820~0.940),Youden 指数为 0.640,灵敏度和特异度分别为 91.9% 和 72.1%,且内外部验证结果均提示了模型具有较高的预测性能,可为临床上减少 MHD 患者泌尿系统感染的发生提供护理指导。但本研究亦存在不足,例如研究样本均来自同一医院,代表性和可信度较为局限,期待未来对研究的进一步考证,使模型更精准、更符合临床实际。

#### 【参考文献】

- [1] 刘智美,王娅敏,李文巧,等.血液透析联合 HP 治疗对慢性肾衰竭患者的临床疗效及对炎症因子和钙磷代谢的影响[J].西部医学,2021,33(9):1364-1368.
- [2] SUÁREZ FERNÁNDEZ M L, RIDAO CANO N, ÁLVAREZ SANTAMARTA L, et al. A current review of the etiology, clinical features, and diagnosis of urinary tract infection in renal transplant patients[J/OL]. [2023-11-30]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8392421/>. DOI:10.3390/diagnostics11081456.
- [3] 陈香美,倪兆慧,刘玉宁,等.慢性肾衰竭中西医结合诊疗指南[J].中国中西医结合杂志,2015,35(9):1029-1033.
- [4] 沈晶,尚瑞瑞,薛光辉,等.慢性肾衰竭维持性血液透析患者泌尿系统感染病原学及危险因素[J].中华医院感染学杂志,2023,33(17):2595-2599.
- [5] 陈锋.医用多元统计方法[M].北京:中国统计出版社,2000:27-28.
- [6] 尿路感染诊断与治疗中国专家共识编写组.尿路感染诊断与治疗中国专家共识(2015 版)——尿路感染抗菌药物选择策略及特殊类型尿路感染的治疗建议[J].中华泌尿外科杂志,2015,36(4):245-248.
- [7] 李可爽.不同血液透析方式对慢性肾衰竭患者  $\beta_2$  微球蛋白、瘦素、血红蛋白水平的影响[J].医学新知杂志,2019,29(3):263-265.
- [8] 晋强.高龄维持性血透患者透析感染临床特征及相关危险因素分析[J].实用心脑血管病杂志,2020,28(S1):23-25.
- [9] HIYAMUTA H, YAMADA S, TANIGUCHI M, et al. Causes of death in patients undergoing maintenance hemodialysis in Japan: 10-year outcomes of the Q-cohort study[J]. Clin Exp Nephrol, 2021,25(10):1121-1130.
- [10] 严金武,陈远洋,郑俊斌,等.糖尿病肾病患者尿路感染发生情况及危险因素研究分析[J].中国医学创新,2021,18(34):131-134.
- [11] 袁志娟,程志强,高会文,等.非糖尿病维持性血液透析患者血清 hs-CRP、Hcy、MPO 水平及其与颈动脉硬化的相关性分析[J].临床和实验医学杂志,2022,21(1):44-47.
- [12] 周晓清,张丽,陶立蓉.荆州市体检人群泌尿系统结石检出情况及其影响因素分析[J].华南预防医学,2022,48(2):186-189,194.

(本文编辑:王园园)