

慢性肾脏病患者初次动静脉内瘘 术后早期功能失常的风险预测模型构建

甘月红¹,武君²

(1.南昌市人民医院 南昌市第三医院 血透室,江西 南昌 330009;

2.南昌市人民医院 南昌市第三医院 肾内科)

【摘要】 目的 探讨慢性肾脏病(chronic kidney disease,CKD)患者初次建立动静脉内瘘(arteriovenous fistula,AVF)早期功能失常的危险因素,构建并验证风险预测列线图模型,为临床提供高效、便捷的风险评估工具。方法 回顾性分析 2021 年 2 月至 2023 年 4 月在某院初次建立 AVF 的 CKD 患者($n=200$)的临床资料,以 7:3 比例将其分为建模集($n=140$)和验证集($n=60$)。通过单因素和多因素 Logistic 回归分析筛选独立危险因素,绘制风险预警评分模型列线图,采用受试者工作特征曲线、决策曲线分析和校正曲线评估模型性能。结果 年龄、透析中低血压、钙磷乘积、透析时内瘘血流量是 AVF 早期功能失常的独立危险因素(均 $P<0.05$)。建立的列线图预测模型在验证组中表现出良好的预测性能,校准图和校正曲线拟合度良好(均 $P<0.05$)。结论 构建的风险预测模型具有较好的临床预测价值,有助于早期识别高风险患者并采取干预措施,改善预后。

【关键词】 慢性肾脏病;动静脉内瘘;早期失功;影响因素;列线图

doi:10.3969/j.issn.2097-1826.2025.08.019

【中图分类号】 R473 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 2097-1826(2025)08-0081-05

Development of a Risk Prediction Model for Early Dysfunction Following Initial Arteriovenous Fistula Creation in Patients with Chronic Kidney Disease

GAN Yuehong¹, WU Jun² (1.Hemodialysis Unit, Nanchang People's Hospital/The Third Hospital of Nanchang, Nanchang 330009, Jiangxi Province, China; 2.Department of Nephrology, Nanchang People's Hospital/The Third Hospital of Nanchang)

【Abstract】 Objective To investigate the risk factors for early dysfunction after initial arteriovenous fistula (AVF) creation in patients with chronic kidney disease (CKD) and to develop and validate a risk prediction nomogram model, providing an efficient and convenient clinical assessment tool. **Methods** A retrospective analysis was conducted on clinical data from 200 CKD patients who underwent initial AVF creation at a hospital between February 2021 and April 2023. The patients were divided into a modeling set ($n=140$) and a validation set ($n=60$) in a 7:3 ratio. Univariate and multivariate logistic regression analyses were used to identify independent risk factors. A risk warning scoring nomogram was constructed, and model performance was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves, decision curve analysis (DCA), and calibration curves. **Results** Age, intradialytic hypotension, calcium-phosphorus product, and intra-dialysis fistula blood flow were identified as independent risk factors for early AVF dysfunction (all $P<0.05$). The developed nomogram prediction model demonstrated good predictive performance in the validation group, with well-fitted calibration plots and calibration curves (all $P<0.05$). **Conclusions** The constructed risk prediction model has good clinical predictive value, aiding in the early identification of high-risk patients and facilitating timely intervention to improve prognosis.

【Key words】 chronic kidney disease; arteriovenous fistula; early dysfunction; influencing factor; nomogram

[Mil Nurs, 2025, 42(08): 81-84, 89]

随着老龄化加剧,我国成人慢性肾脏病(chronic

kidney disease,CKD)病例数也不断增加,早期诊断和干预至关重要^[1]。有专家共识^[2]指出,血液透析(maintenance hemodialysis, MHD)是 CKD 的有效治疗手段,而动静脉内瘘(arteriovenous fistula,

【收稿日期】 2024-07-09 **【修回日期】** 2025-06-10

【基金项目】 江西省卫生健康委科技计划(202211536);江西省卫生健康委科技计划(202211544)

【作者简介】 甘月红,本科,副主任护师,电话:0791-86611468

AVF)是首选的血管通路方式,能有效减少并发症的发生和感染风险。但 AVF 建立后 1 年内的初级血管通畅率只有 81.60%^[3]。目前,国内关于预测 CKD 患者 AVF 早期功能失常的研究较少,且多局限于单一临床参数,缺乏对动态透析指标的综合分析。有研究^[4-6]指出,钙磷乘积与 CKD 患者血管钙化程度及 AVF 通畅率显著相关,内瘘血流量是评估 AVF 功能的重要动态指标。本研究整合患者基线特征(如年龄、钙磷乘积)与动态透析指标(如透析中低血压、内瘘血流量),构建并验证一种新型风险预测列线图模型,旨在为临床提供高效、便捷的 AVF 早期功能失常风险评估工具,帮助早期识别高风险患者并制订个性化干预策略,从而改善患者预后,降低医疗成本。

1 对象和方法

1.1 研究对象 回顾性分析 2021 年 2 月至 2023 年 4 月在南昌市某三级甲等医院初次建立 AVF 的 CKD 患者的临床资料。纳入标准:年龄 18~80 岁;相关资料完整;初次建立自体动静脉内瘘;已完成血管多普勒超声检查;患者及家属签署知情同意书。排除标准:合并恶性血液病或肿瘤者;重要器官功能(心、脑、肝等)严重受损者;已明确桡动脉或其他外周血管闭塞狭窄者。根据多因素分析的样本量估算方法,样本量为变量数的 5~10 倍^[7],本研究变量个数总共 19 项,初步估算所需样本量为 95~190 例,考虑到 5%~10% 的样本流失,故样本量应为 106~211 例,本研究最终纳入研究对象 200 例。以 7:3 比例分为建模集($n=140$)和验证集($n=60$),根据 AVF 早期功能情况分为功能失常组与通畅组。AVF 早期功能失常的标准参考《中国血液透析用血管通路专家共识(2014 年版)》^[8],并根据丰富多普勒超声操作经验的肾脏内科医生对其的判定,AVF 早期功能失常的表现:(1)内瘘首次应用 3 个月内透析时,出现体外血流量持续 <200 mL/min;(2)多普勒超声检测吻合口静脉管径 ≤ 0.40 cm 或内瘘口 <2.70 mm;(3)血液透析时血流量消失;(4)AVF 表现为充盈不良,动静脉内瘘血流量 <300 mL/min^[9],AVF 搏动或震颤减弱或消失,听诊时内瘘吻合处未听闻杂音或微弱杂音。本研究已通过医学伦理委员会审批通过(KY2021051)。

1.2 方法

1.2.1 调查工具

1.2.1.1 一般资料调查表 自行设计,包括年龄、体质质量指数(body mass index,BMI)、性别、病程、合并症、吸烟饮酒史等。

1.2.1.2 临床资料 (1)AVF 手术情况:建立部位、

方式,是否使用导管以及留置时间、首次应用间隔时间等;(2)血液透析情况:透析次数、透析液量、是否低血压、透析时内瘘血流量等,其中低血压是指透析中收缩压下降 ≥ 20 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)或平均动脉压下降 10 mmHg 以上^[10]。

1.2.1.3 实验室检测指标 钙磷乘积,透析前采取肘静脉血,检测实验室指标(人血白蛋白、血磷、血钙),计算血清校正钙=血钙+ $0.02 \times [40 - \text{人血白蛋白}]$,钙磷乘积=血磷 \times 血清校正钙。

1.2.2 资料收集方法 采用双人独立录入数据,并通过逻辑校验确保数据一致性;如关键变量缺失率 $>10\%$ 的病例将被剔除;对极端值或异常值进行核实,必要时联系临床医生确认;所有实验室指标均按照统一标准进行检测和记录,确保数据的可比性。

1.2.3 统计学处理 使用 SPSS 23.0 软件进行数据分析。计数资料以频数和百分比表示,采用 χ^2 检验;符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,并行 t 检验;单因素分析中有统计学意义的变量经多重共线性检验后,采用 Logistic 回归分析探讨 AVF 早期功能失常的危险因素。通过 Rstudio 4.2.1 绘制风险预警评分模型列线图,以受试者工作特征(receiver operating characteristic,ROC)曲线、决策曲线分析(decision curve analysis,DCA)和校正曲线来评估敏感度、特异度,同时采用 Bootstrap 法对模型进行外部验证,自抽样次数为 1000。以 $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 建模集中 CKD 患者的一般资料及发生 AVF 早期功能失常的单因素分析 140 例建模集中,有 25 例发生 AVF 早期功能失常,病因为内瘘吻合血管狭窄 18 例、血栓形成 9 例、闭塞 7 例和内瘘感染 3 例,早期功能失常率为 17.85%。功能失常组与通畅组在年龄、透析中经常低血压、钙磷乘积、透析时内瘘血流量、合并糖尿病等项目上的差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$),见表 1。

2.2 CKD 患者初次建立 AVF 早期功能失常的多因素 Logistic 分析 将单因素分析中有统计学意义的变量进行多重共线性检验,各变量的方差膨胀因子均 <10 ,表示各变量间不存在共线性问题。以 AVF 早期功能状况(功能失常=0,通畅=1)为因变量,以年龄(原值输入)、透析中经常低血压(<2 次/周=0, ≥ 2 次/周=1)、钙磷乘积(原值输入)、透析时内瘘血流量(≥ 300 mL/min=0, <300 mL/min=1)、合并糖尿病(否=0,是=1)为自变量,进行二元 Logistic 回归分析。结果显示,年龄、透析中经常低血压、钙磷乘积、透析时内瘘血流量为患者初次建立

AVF 早期功能失常的独立危险因素(均 $P < 0.05$), 见表 2。

表 1 建模集中 CKD 患者的一般资料及发生 AVF 早期功能失常的单因素分析 ($N=140$)

项 目	功能失常组 ($n=25$)	通畅组 ($n=115$)	t 或 χ^2	P
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	56.94 \pm 9.45	48.77 \pm 6.52	5.202	<0.001
BMI(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	24.15 \pm 2.38	24.12 \pm 2.33	0.058	0.954
病程(t/a , $\bar{x} \pm s$)	1.63 \pm 0.15	1.56 \pm 0.27	1.253	0.213
性别[n (%)]			0.026	0.873
男	10(40.00)	48(41.74)		
女	15(60.00)	67(58.26)		
合并高血压[n (%)]	13(52.00)	56(48.70)	0.090	0.765
合并糖尿病[n (%)]	15(60.00)	39(33.91)	5.898	0.015
合并高血脂[n (%)]	11(44.00)	32(27.83)	2.524	0.112
有吸烟史[n (%)]	11(44.00)	45(39.13)	0.203	0.652
有饮酒史[n (%)]	13(52.00)	59(51.30)	0.004	0.950
导管留置时间 (t/d , $\bar{x} \pm s$)	18.35 \pm 3.81	17.72 \pm 2.19	1.121	0.264
AVF 部位[n (%)]			0.847	0.358
前臂	16(64.00)	62(53.91)		
上臂	9(36.00)	53(46.09)		
AVF 吻合方式[n (%)]			0.244	0.612
端侧吻合	10(40.00)	40(34.78)		
端端吻合	15(60.00)	75(65.22)		
AVF 穿刺方法[n (%)]			0.422	0.810
绳梯法	9(36.00)	41(35.65)		
区域法	7(28.00)	39(33.91)		
扣眼法	9(36.00)	35(30.44)		
AVF 首次使用间隔 (月, $\bar{x} \pm s$)	1.87 \pm 0.33	1.95 \pm 0.26	1.326	0.187
透析中经常低血压 [次/周, n (%)]			11.261	0.001
≥ 2	17(68.00)	35(30.43)		
< 2	8(32.00)	75(69.57)		
透析时内瘘血流量 [$v/mL \cdot \min^{-1}$, n (%)]			19.884	<0.001
< 300	15(60.00)	20(17.39)		
≥ 300	10(40.00)	95(82.61)		
平均透析液量 ($v/mL \cdot \min^{-1}$, $\bar{x} \pm s$)	481.52 \pm 18.76	480.66 \pm 16.23	0.233	0.816
内瘘透析次数 (次, $\bar{x} \pm s$)	13.85 \pm 2.88	14.06 \pm 2.41	0.381	0.704
钙磷乘积 (mg/dL , $\bar{x} \pm s$)	58.39 \pm 9.81	49.25 \pm 5.74	6.247	<0.001

2.3 CKD 患者初次建立 AVF 早期功能失常的风险预测列线图模型构建 各因素赋分如下: 年龄为 65 分、透析时内瘘血流量为 17.5 分、透析中经常低血压为 25 分、钙磷乘积为 100 分, 总分为 207.5 分, 列线图对应初次建立 AVF 早期功能失常风险概率 $> 95.00\%$ 。

根据多因素分析结果进行模型构建: $\text{Logit}(P) = 22.246 - 0.141 \times (\text{年龄}) - 2.623 \times (\text{透析中经常低血压}) - 0.188 \times (\text{钙磷乘积}) - 1.864 \times (\text{透析时内瘘血流量})$ 。通过 R 软件(4.2.1 版本)中 rms 程序包绘制风险预测列线图模型, 见图 1。

2.4 CKD 患者初次建立 AVF 早期功能失常的风险预测模型的效能验证 建模集的 ROC 曲线下的

面积(area under curve, AUC)为 0.937, 最佳截断值 0.819 对应的敏感度、特异度分别为 0.880、0.939, Brier 分数为 0.125; 校准图中校准曲线贴近于标准曲线, 平均绝对误差(mean absolute error, MAE)为 0.027, 提示该模型一致性较好。H-L 拟合优度检验结果显示: χ^2 为 6.387, P 为 0.470, 拟合度较好, 预测价值高。验证集的 AUC 为 0.950, 最佳截断值 0.845 对应的敏感度、特异度分别为 0.880、0.965, Brier 分数为 0.122; 校准图中校准曲线贴近于标准曲线, MAE 为 0.032, 提示该模型一致性较好。建模集与验证集的 DCA 曲线见图 2 和图 3。DCA 曲线中, “ALL” 线表示全部干预时净效益为负; “None” 线表示不干预时净效益为零; “Nomogram model” 线及其 95% CI 均高于前两者, 表明该模型能有效识别高风险患者, 具有较高临床价值。

表 2 CKD 患者初次建立 AVF 早期功能失常的多因素 Logistic 分析 ($n=140$)

项 目	b	S_b	Wald χ^2	P	OR(95% CI)
常量	22.246	4.584	23.550	<0.001	—
年龄	-0.141	0.055	6.576	0.010	0.869(0.780~0.967)
透析中经常低血压	-2.623	1.181	4.930	0.026	0.073(0.007~0.735)
钙磷乘积	-0.188	0.057	10.962	0.001	0.828(0.741~0.926)
透析时内瘘血流量	-1.864	0.798	5.463	0.019	0.155(0.032~0.740)
合并糖尿病	-1.318	1.105	1.426	0.232	0.268(0.031~2.328)

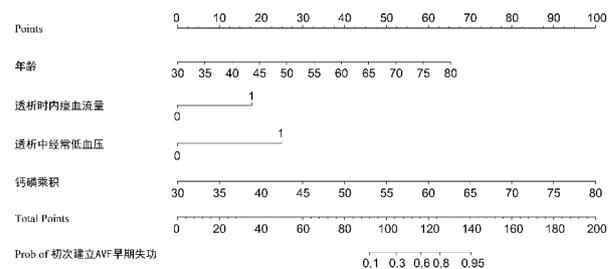


图 1 CKD 患者初次建立 AVF 早期功能失常的风险预测列线图模型

3 讨论

3.1 构建 CKD 患者初次建立 AVF 早期功能失常的风险预测模型的价值 CKD 患者建立 AVF 能有效确保透析治疗的有效性和安全性, 但 AVF 功能下降或丧失的发生临床上并不少见^[11]。本研究中 AVF 功能失常主要病因占比由大到小排列为内瘘吻合血管狭窄、血栓、闭塞以及内瘘感染, 3 个月内 AVF 功能失常为 17.85%, 与既往研究^[12-13] 结果相近。AVF 功能失常不仅会额外增加患者住院风险和经济负担, 还能直接影响到患者透析效果和生存

质量^[14]。因此,重视 AVF 早期功能失常,通过探讨导致 AVF 早期功能失常的相关危险因素可以帮助护理人员优化护理检查、血管通路维护工作,从而保障 AVF 的持久性。本研究基于 CKD 患者初次建立 AVF 发生早期功能失常的影响因素,构建了风险预测模型。模型经 ROC 曲线(建模集 $AUC = 0.937$,验证集 $AUC = 0.950$)、校准曲线(建模集 $MAE = 0.027$,验证集 $MAE = 0.032$)及 H-L 检验($P = 0.470$)验证,具有良好的区分度和校准度。DCA 分析显示该模型在广泛阈值范围内临床净收益优于“全干预”和“不干预”策略,具有较高临床应用价值。

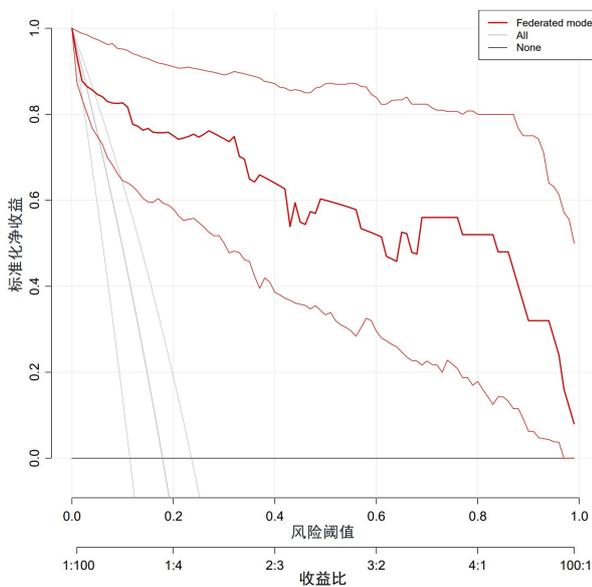


图2 建模集 DCA 曲线

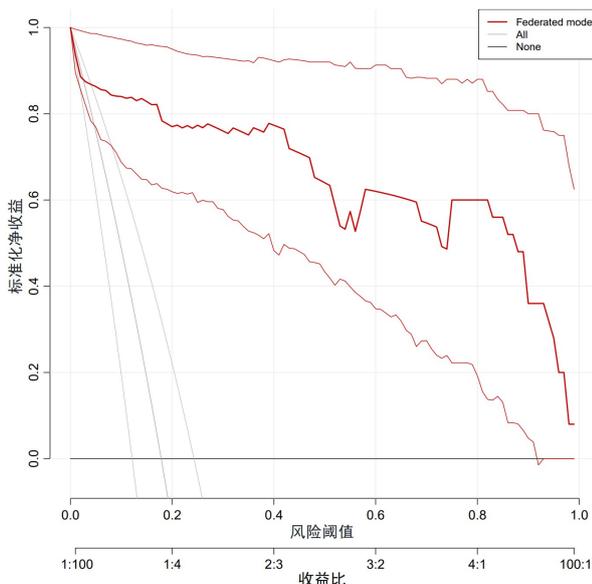


图3 验证集 DCA 曲线

3.2 CKD 患者初次建立 AVF 发生早期功能失常的影响因素分析

3.2.1 高龄 本研究表明,高龄是初次建立 AVF 发生早期功能失常的独立危险因素($P < 0.05$),与既往研究^[15]结果一致,提示高龄患者因血管壁硬化、弹性下降及血管脆性增加,可能导致 AVF 建立困难,进而影响其功能稳定性和持久性。因此,护理人员面对高龄患者,术前要全面评估血管,优化手术方案;术后要加强监测,评估其内瘘血管情况;同时加强健康教育,指导控制基础病,降低 AVF 早期功能失常的风险。

3.2.2 透析中经常低血压 本研究发现,透析中经常低血压是 AVF 早期功能失常的重要危险因素。低血压可导致血液循环减慢,增加内瘘吻合口处血小板聚集和血液黏度,从而诱发血栓形成^[16]。护理人员可通过调整透析液温度、控超滤速度等,预防透析中低血压的发生。当患者发生透析中低血压时,可采用局部加压按摩等方法,降低血栓形成风险^[17]。此外,护理人员应加强患者健康教育,指导透析时注意体位、饮食,避免低血压致 AVF 早期功能失常,以此延长 AVF 寿命,提升透析质量。

3.2.3 透析时内瘘血流量 本研究发现,透析时内瘘血流量与 AVF 早期功能失常密切相关。内瘘血流量是评估血管通路功能的重要指标,其异常变化往往提示 AVF 狭窄或功能障碍^[18]。在患者透析时,护理人员要密切监测其内瘘血流量。发现异常,需及时调整穿刺位置或透析参数,维持内瘘血流量稳定。此外,还应加强对患者的教育,指导其日常观察内瘘功能,发现异常及时报告医生。

3.2.4 高水平钙磷乘积 本研究发现,钙磷乘积升高是 CKD 患者发生 AVF 早期功能失常的独立危险因素。钙磷代谢紊乱可导致血管钙化,进而引起血管狭窄和血栓形成^[19]。护理人员需加强监测患者的钙磷代谢情况,依血钙、血磷结果制订饮食与药物干预方案,指导控合理用药;同时开展健康教育,助力患者自我管理,降低 AVF 早期功能失常的风险。

4 小结

临床上对于初次建立 AVF 的高龄、透析中经常低血压(≥ 2 次/周)、高水平钙磷乘积、透析时内瘘血流量 < 300 (mL/min)的 CKD 患者,应给予高度重视,预防其动静脉内瘘出现早期功能失常。本研究有一定的局限性,如本研究属于单中心的回顾性分析,样本量较少,结果有一定的偏倚性;未纳入患者药物治疗情况分析等。未来课题组将采用多中心设计并扩大样本量进行多中心研究,以减少地域和机构偏倚;纳入患者的药物治疗情况,以分析其对 AVF 早期功能失常的影响,以完善预测模型。

(下转第 89 页)