

• 神经内科专栏 •

可独立行走的脑小血管病患者跌倒风险预测模型的构建与验证

刘万虎¹, 孟令惠², 董玉娟¹, 刘翠翠¹, 胡晓凯¹, 任慧玲^{1*}

(1.河北医科大学第三医院神经内科,河北石家庄 050051;2.河北医科大第三医院医学影像科,河北石家庄 050051)

[摘要] 目的 基于神经影像学特征及临床因素探究可独立行走的脑小血管病(cerebral small vessel disease, CSVD)患者跌倒风险的危险因素,建立预测模型并验证其效能。方法 选择2021年9月—2024年9月就诊于河北医科大学第三医院可独立行走的CSVD患者315例,按6:4比例分为建模人群(196例)和验证人群(119例)。采用起立—行走量表评估可独立行走的CSVD患者跌倒风险。在建模人群中行单因素及多因素分析可独立行走的CSVD患者跌倒风险的独立危险因素,构建跌倒风险预测模型并绘制诺莫图。分别在建模人群与验证人群中采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线下面积(area under the curve, AUC)、校准曲线评估模型的区分度、校准度。结果 与无跌倒风险组患者相比,存在跌倒风险组患者的高龄、高血压病、骨折史、认知障碍、中重度白质高信号(white matter hyperintensity, WMH)、中重度EPVS、腔隙例数占比高,差异有统计学意义($P < 0.05$)。多因素Logistic回归分析显示,年龄(95%CI:1.356~3.256)、高血压病(95%CI:1.119~6.682)、认知障碍(95%CI:1.146~7.423)、中重度WMH(95%CI:1.487~8.363)、腔隙(95%CI:1.965~9.636)是可独立行走的CSVD患者跌倒风险的独立危险因素($P < 0.05$)。基于上述影响因素构建可独立行走的脑小血管病跌倒风险的诺莫图模型,建模人群和验证人群的ROC曲线下面积分别为0.855、0.921,模型区分度高,校准曲线显示该预测模型与实际观测结果有较好的一致性。结论 高龄、高血压、中重度WMH、腔隙、认知障碍是可独立行走的CSVD患者跌倒风险的独立危险因素,依据本研究建立的临床预测模型可以较好的预测可独立行走的CSVD患者跌倒风险。

[关键词] 脑血管障碍;意外跌倒;预测模型 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2025.05.005

[中图分类号] R743 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2025)05-0520-07

Establishment and validation of a prediction model for fall risk in independently ambulatory patients with cerebral small vessel disease

LIU Wan-hu¹, MENG Ling-hui², DONG Yu-juan¹,

LIU Cui-cui¹, HU Xiao-kai¹, REN Hui-ling^{1*}

(1.Department of Neurology, the Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, China; 2.Department of Medical Imaging, the Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the factors influencing the fall risk of independently ambulatory patients with cerebral small vessel disease (CSVD) based on neuroimaging characteristics and clinical factors, to develop a prediction model and to validate its efficacy. **Methods** In total, 315 independently ambulatory patients with CSVD were selected in the Third Hospital of Hebei Medical University from Sept. 2021 to Sept. 2024 and divided into modelling group ($n=196$) and validation group ($n=119$) according to the 6:4 principle. The timed up and

[收稿日期]2024-12-02

[基金项目]河北省自然科学基金课题(H2024206046);河北省医学科学研究课题计划(20240198)

[作者简介]刘万虎(1998-),男,河北廊坊人,河北医科大学第三医院医学硕士研究生,从事神经系统疾病诊治研究。

* 通信作者。E-mail:renhailing@hebmh.edu.cn

go test was used to assess the fall risk of CSVD patients who could walk independently. Univariate and multivariate analyses was used to analyze independent risk factors for falls in independently ambulatory CSVD patients, a fall risk prediction model was constructed and a nomogram was plotted. The area under the receiver operating characteristic (ROC) curve (AUC) and calibration curve were used to evaluate the differentiation and calibration degree of the model in the modeling population and the verification population respectively. **Results** Compared with the group without fall risk, the proportion of patients with advanced age, hypertension, history of fracture, cognitive impairment, moderate-to-severe white matter hyperintensity (WMH), moderate-to-severe perivascular spaces (EPVS), and lacunes was higher in the group with fall risk, showing significant differences ($P < 0.05$). Multivariate Logistic regression analysis showed that age (95%CI: 1.356–3.256), hypertension (95%CI: 1.119–6.682), cognitive impairment (95%CI: 1.146–7.423), moderate to severe WMH (95%CI: 1.487–8.363) and lacune (95%CI: 1.965–9.636) were independent risk factors for falls in independently ambulatory patients with CSVD ($P < 0.05$). Based on the above influencing factors, a nomogram model of the fall risk of independently ambulatory patients with CSVD was constructed. The AUC of the modeling population and the verification population was 0.855 and 0.921 respectively, indicating a high degree of model differentiation. The calibration curve showed that the prediction model was in good agreement with the actual observation results. **Conclusion** Advanced age, hypertension, moderate-to-severe WMH, lacune, and cognitive impairment are independent risk factors for falls in independently ambulatory CSVD patients, and the clinical prediction model developed based on this study can better predict fall risk in independently ambulatory CSVD patients.

[Key words] cerebrovascular disorders; accidental falls; prediction model

跌倒是全球主要的公共卫生问题之一,65岁以上社区老年人一年内发生1次以上的跌倒事件比例达1/3,严重可致骨折、瘫痪、甚至存在死亡的风险^[1]。脑小血管病(cerebral small vessel disease, CSVD)是由多种因素导致脑小动脉、小静脉及毛细血管损伤的病理过程,常隐匿起病,影像学上突出表现为血管源性腔隙、血管源性白质高信号、脑微出血及扩大的血管周围间隙等^[2]。步态和平衡障碍是CSVD的主要临床表现,会增加跌倒与残疾的风险^[3]。研究^[4]发现,看似步态正常和独立行走的CSVD患者仍有较高的跌倒风险。然而,可独立行走的CSVD患者对自身跌倒风险的感知较低,是最易忽视跌倒风险的人群^[5]。本研究旨在重点整合脑血管病危险因素和神经影像学特征,构建可独立行走的CSVD患者跌倒风险的预测模型,识别CSVD高危个体,并有助于开展个体化预防措施。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2021年9月—2024年9月在就诊于河北医科大学第三医院神经内科的可独立行走的CSVD患者315例为研究对象。纳入标准:①年龄 ≥ 45 岁;②遵循《中国脑小血管病诊治指南

2020》^[6]中的CSVD诊断标准,颅脑核磁共振检查存在一种或多种脑小血管病影像学标志物:白质高信号(white matter hyperintensities, WMH)、腔隙、血管周围间隙扩大(enlarged perivascular spaces, EPVS)、微出血(cerebral microbleeds, CMB);③可独立行走且日常生活活动能力评分 > 60 分。排除标准:①经头颅核磁共振检查除外急性脑梗死;②颅内、外大动脉狭窄 $\geq 50\%$;③多发性硬化等非血管性因素导致的WMH;④并发颅内出血、感染、肿瘤和其他严重颅内疾病;⑤临床资料不全的患者。

本研究经河北医科大学第三医院伦理委员会审批通过(审批编号:科2023-016-1)。

1.2 方法

1.2.1 一般资料收集 通过电子病历系统查阅临床资料,收集如下相关指标:年龄、性别、居住地、职业、体重指数、高血压病、糖尿病、心脏病、高脂血症、高同型半胱氨酸血症、帕金森综合征、既往卒中史、既往骨折史(如下肢骨折等)、视力下降(白内障史)、认知障碍(如血管性认知障碍、阿尔兹海默症)、焦虑抑郁状态、吸烟史、饮酒史。

1.2.2 影像学评估 所有患者均于入院后3d内采用3.0 T核磁成像系统(荷兰)完成头颅扫描,包括

T1WI、T2WI、T2-FLAIR、DWI 及 SWI 序列, 评估 CSVD 影像学标志物 (中重度 WMH、中重度 EPVS、存在腔隙、存在 CMB)^[6]。WMH: 采用修订版 Fazekas 评分^[6]对 WMH 部位及严重程度进行分级: 侧脑室旁 WMH 分为无病变(0 分)、帽状或薄线样病变(1 分)、病变呈光滑晕圈(2 分)、延伸至脑深部白质(3 分); 皮层下 WMH 分为无病变(0 分)、散在点状病灶(1 分)、病灶开始融合(2 分)和病灶大片状融合(3 分)。侧脑室旁 WMH Fazekes 评分 = 3 分和/或皮层下 WMH Fazekes 评分 ≥ 2 分定义为中重度 WMH。腔隙: 以颅内存在 1 个以上定义为存在腔隙。CMB: 以颅内存在 1 个以上定义为存在 CMB。EPVS: 对基底节区或半卵圆中心层面的 EPVS 进行视觉评估, 计算大脑半球中数量较多一侧, 单侧 EPVS ≥ 10 个为定义为中重度 EPVS。由 2 名高年资影像科医师对影像学标志物进行判定。

1.2.3 跌倒风险评估及分组 所有人组患者按 6:4 比例随机分为建模人群(196 例)及验证人群(119 例)。通过起立—行走计时测试(timed up and go test, TUG)评估建模人群、验证人群中可独立行走的 CSVD 患者跌倒风险情况。TUG 测试: 记录 CSVD 患者从标准椅子上站起来, 以日常的速度向前走 3 m, 然后转身回到椅子并再次坐下, 整个过程所花费的时间。TUG 测试时间 > 14 s 的患者被分

为跌倒风险组, 其余患者被分为无跌倒风险组^[7]。

1.3 统计学方法 应用 SPSS 26.0 统计软件分析数据。计数资料比较采用 χ^2 检验。在建模人群中, 对跌倒风险组和非跌倒风险组患者的临床因素、神经影像学特征等变量进行单因素分析, 筛选出 $P < 0.1$ 的指标纳入多因素 Logistic 回归分析, 以获得对可独立行走的 CSVD 患者跌倒风险的独立危险因素。将多因素分析筛选出的因素作为最终预测因子, 使用 R 语言 rms 程序构建诺莫图预测模型^[8]。在建模人群及验证人群中采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线下面积(area under the curve, AUC)评估模型的区分度, 采用 Bootstrap 自抽样法获得校准曲线, 进行一致性验证^[9]。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 建模人群可独立行走的 CSVD 患者跌倒风险的单因素分析 建模人群中存在跌倒风险患者 75 例(38.2%)。单因素分析发现, 与无跌倒风险组相比, 跌倒风险组中高龄、存在高血压病、骨折病史、认知障碍、中重度 WMH、中重度 EPVS、Lacune 例数占比更高($P < 0.05$)。2 组 CMB、高脂血症差异有统计学意义($P < 0.1$), 其他临床及影像学资料比较差异无统计学意义($P > 0.1$), 见表 1。

表 1 建模人群可独立行走的 CSVD 患者跌倒风险单因素分析结果

Table 1 Results of univariate analysis of fall risk in independently ambulatory patients with CSVD in the modeling group

(例数, %)

组别	例数	性别		年龄				居住地	
		男性	女性	45~55 岁	55~65 岁	65~75 岁	>75 岁	城镇	农村
跌倒风险组	75	47(62.7)	28(37.3)	3(4.0)	13(17.3)	36(48.0)	23(30.7)	25(33.3)	50(66.7)
无跌倒风险组	121	74(61.1)	47(38.9)	22(18.2)	42(34.7)	40(33.1)	17(14.0)	39(32.2)	82(67.8)
χ^2 值		0.651		3.176				0.355	
P 值		0.420		0.365				0.551	
组别	例数	职业			体重指数		吸烟史		
		工人	农民	其他	≤24.0	>24.0	是	否	
跌倒风险组	75	47(62.7)	25(33.3)	3(4.0)	30(40.0)	45(60.0)	26(34.7)	49(65.3)	
无跌倒风险组	121	69(57.0)	39(32.2)	13(10.8)	35(28.9)	54(71.1)	39(32.2)	82(67.8)	
χ^2 值		4.511			5.030		0.124		
P 值		0.341			0.170		0.725		
组别	例数	饮酒史		高血压病		心脏病		糖尿病	
		是	否	是	否	是	否	是	否
跌倒风险组	75	15(20.0)	60(80.0)	64(85.3)	11(14.7)	31(41.3)	44(58.7)	20(26.7)	55(73.3)
无跌倒风险组	121	33(27.3)	88(72.7)	69(57.2)	52(42.8)	45(37.2)	76(62.8)	27(22.3)	94(77.7)
χ^2 值		1.324		17.012		0.335		0.481	
P 值		0.250		<0.001		0.563		0.488	
组别	例数	高脂血症		高同型半胱氨酸血症		帕金森综合征		骨折史	
		是	否	是	否	是	否	是	否
跌倒风险组	75	24(32.0)	51(68.0)	38(50.7)	37(49.3)	11(14.7)	64(85.3)	34(45.3)	41(54.7)
无跌倒风险组	121	54(44.7)	67(55.3)	58(47.9)	63(52.1)	13(10.7)	108(89.3)	43(35.5)	78(64.5)
χ^2 值		3.082		0.138		0.663		1.863	
P 值		0.079		0.710		0.415		0.172	

表 1 (续)

组别	例数	既往卒中史		视力下降		认知障碍		焦虑抑郁状态	
		是	否	是	否	是	否	是	否
跌倒风险组	75	16(21.3)	59(78.7)	9(12.0)	66(88.0)	66(88.0)	9(12.0)	7(9.3)	68(90.7)
无跌倒风险组	121	12(9.9)	109(90.1)	14(11.6)	107(88.4)	69(57.0)	52(43.0)	6(5.0)	115(95.0)
χ^2 值		4.928		0.008		20.724		1.431	
<i>P</i> 值		0.027		0.928		<0.001		0.232	

组别	例数	中重度 WMH		中重度 EPVS		Lacune		CMB	
		是	否	是	否	是	否	是	否
跌倒风险组	75	65(86.6)	10(13.4)	49(65.3)	26(34.7)	50(66.7)	25(33.3)	44(56.7)	31(41.3)
无跌倒风险组	121	63(52.1)	58(47.9)	61(50.4)	60(49.6)	38(31.4)	83(68.6)	34(28.1)	87(71.9)
χ^2 值		29.719		4.651		23.270		3.659	
<i>P</i> 值		<0.001		0.031		<0.001		0.056	

2.2 建模人群可独立行走 CSVD 患者跌倒风险独立影响因素的 Logistic 回归将是否存在跌倒风险作为因变量,将单因素分析中 $P < 0.1$ 的指标作为自变量,Logistic 回归分析结果显示,年龄、高血压病、认知障碍、中重度 WMH、腔隙是可独立行走 CSVD 患者跌倒风险的独立危险因素 ($P < 0.05$),见表 2, 3。

2.3 可独立行走的 CSVD 患者跌倒风险诺莫图预测模型 将上述 Logistic 回归模型中 5 个具有统计意义的因素作为最终预测因子,将跌倒风险临床预测模型的结果通过诺莫图进行可视化呈现,见图 1。

表 2 Logistic 回归分析变量赋值情况

Table 2 Variable assignment in Logistic regression analysis

变量名称	变量	赋值
跌倒风险	Y	不存在=0,存在=1
年龄	X1	45~55 岁=0,55~65 岁=1,65~75 岁=2,>75 岁=3
高血压病	X2	否=0,是=1
高脂血症	X3	否=0,是=1
认知障碍	X4	否=0,是=1
骨折史	X5	否=0,是=1
中重度 WMH	X6	否=0,是=1
中重度 EPVS	X7	否=0,是=1
腔隙	X8	否=0,是=1
CMB	X9	否=0,是=1

表 3 建模人群可独立行走 CSVD 患者跌倒风险影响因素的 Logistic 回归分析

Table 3 Logistic regression of influencing factors for fall risk of independently ambulatory patients with CSVD in the modelling population

变量	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	<i>P</i> 值	OR 值	95%CI
年龄	0.743	0.223	11.044	0.001	2.101	1.356~3.256
高血压病	1.006	0.456	4.872	0.027	2.735	1.119~6.682
高脂血症	0.526	0.388	1.833	0.176	1.692	0.790~3.621
认知障碍	1.070	0.477	5.043	0.025	2.916	1.146~7.423
既往骨折史	-0.057	0.520	0.012	0.913	0.945	0.341~2.618
中重度 WMH	1.260	0.441	8.178	0.004	3.526	1.487~8.363
中重度 EPVS	0.329	0.381	0.745	0.388	1.389	0.659~2.929
Lacune	1.471	0.406	13.145	0.001	4.352	1.965~9.636
CMB	0.144	0.399	0.130	0.719	1.155	0.528~2.528

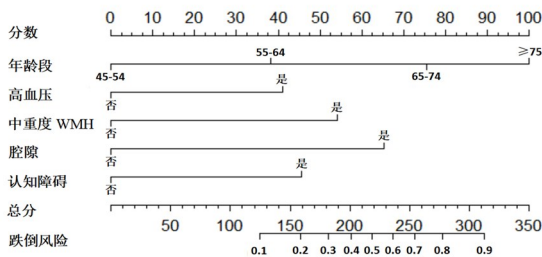


图 1 可独立行走的 CSVD 患者跌倒风险诺莫图预测模型

Figure 1 A nomogram prediction model for fall risk in independently ambulatory patients with CSVD

2.4 跌倒风险预测模型的预测价值及效能 区分度验证:根据 ROC 曲线所示,该模型在建模人群和验证人群中 AUC 值分别为 0.855、0.921,特异度分别为 71.9%、80.0%,敏感度分别为 86.7%、92.3%,均表明该模型具有良好的区分度(图 2,3)。准确度验证:建模人群和验证人群的校准曲线显示,模型的预测风险与实际发生跌倒的风险较为一致,这表明该模型具有较高的准确度(图 4,5)。

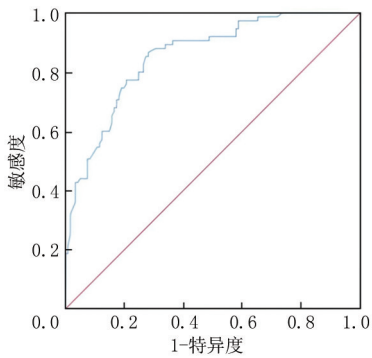


图2 诺莫图预测建模人群跌倒风险的ROC曲线

Figure 2 The ROC curve of a nomogram for predicting fall risk in the modelling population

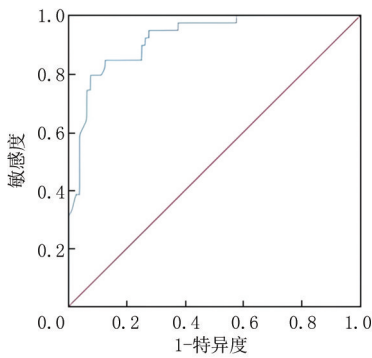


图3 诺莫图预测验证人群跌倒风险的ROC曲线

Figure 3 The ROC curve of a nomogram for predicting fall risk in the validation group

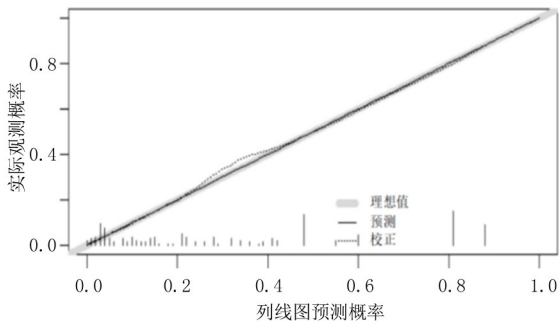


图4 诺莫图预测建模人群跌倒风险的校准曲线

Figure 4 The calibration curve of a nomogram for predicting fall risk in a modelling population

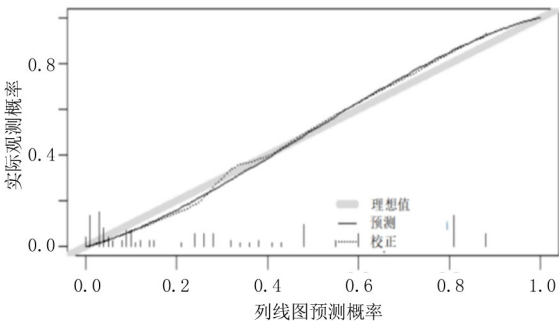


图5 诺莫图预测验证人群跌倒风险的校准曲线

Figure 5 The calibration curve of a nomogram for predicting fall risk in the validation group

3 讨论

本研究结果显示可独立行走的CSVD患者中的存在跌倒风险的个体占比为38.2%，与先前流行病学研究结果相似^[10]，表明可独立行走的CSVD患者虽临床症状较轻，仍存在较高的跌倒风险，早期识别存在跌倒风险的人群至关重要。本研究通过收集可独立行走CSVD患者的人口统计学、共患病情况及神经影像学指标，采用TUG测试评估CSVD患者的跌倒风险，多因素Logistic分析可独立行走CSVD患者跌倒风险的影响因素，控制混杂因素后发现，认知障碍、中重度WMH、Lacune、高龄、高血压病是CSVD患者跌倒风险的独立危险因素，开发并验证了跌倒风险预测模型，对跌倒的防治有重要的指导意义。

研究^[11]表明，存在认知功能障碍的CSVD患者跌倒风险更高，是认知健康老人2~3倍。认知障碍是CSVD主要的临床表现之一，与跌倒发生显著相关。首先，认知障碍，尤其是视空间、执行功能等高级认知障碍，对肌力量、功能性活动的控制能力下降，从而表现出较差的步态适应性^[12-13]。其次，认知障碍也可降低视觉等感觉系统对平衡调节的补偿能力，从而导致跌倒发生^[14]。除了认知障碍对跌倒的直接影响外，认知障碍在跌倒发生的途径中起中介作用。虚弱和抑郁等症状均可通过增加认知障碍风险而增加CSVD患者跌倒的风险^[15]。这些发现可以部分解释仅对身体功能的干预策略不能有效预防跌倒，对认知障碍的管理也是预防跌倒的关键。

CSVD常起病隐匿，发病初期认知障碍等表现轻，早期诊断依赖于神经影像学检测^[6]。因此，本研究首次纳入了神经影像学标志物评估CSVD患者的跌倒风险。研究发现，中重度WMH、存在Lacune是跌倒的独立危险因素。Sharma等^[16]的研究纳入了1 626例无卒中史的社区居民，也发现WMH、腔隙等颅内影像标志物均与平衡功能受损及跌倒发生相关。白质由大脑灰质区域之间的结构连接组成，这些白质束在大脑中传递信息以维持运动功能。当参与运动控制投射纤维束的完整性受到破坏时，运动调节环路就会受损，最终导致运动和姿势控制功能下降^[17]。其次，WMH也可引起认知功能障碍，增加CSVD患者的跌倒风险^[18-19]。Chen等^[20]研究发现基底神经节区的腔隙数量越多，步态、姿势平衡表现越差。腔隙是指脑深部穿支动脉发生闭塞而引起的小缺血灶，可直接引起皮层一皮层下的运动神经传导网络受损，导致步态障碍及跌

倒的发生^[21]。这些发现强调了对 CSVD 患者影像学标志物监测的重要性。

本研究还发现高龄、高血压等血管危险因素与 CSVD 患者的跌倒风险密切相关,也是跌倒风险的独立危险因素。CSVD 是一组异质性较强的增龄性疾病,随着年龄的增大,WMH、腔隙等颅内病变逐渐增多,跌倒风险也逐渐增高。研究^[22]表明,在 70 岁以上的老年人中小血管壁重塑和小动脉硬化非常普遍,其严重程度与腔隙、皮质下微梗死和 WMH 显著相关。长期高血压不仅可直接引起微小动脉硬化,也可导致大动脉管腔的狭窄,脑血流量下降,末端血管灌注量不足,从而间接引起 CSVD 的发生^[23]。此外,有研究^[24]表明,高血压患者也存在低血压易感性,增加直立性低血压、晕厥和跌倒的风险。

有研究发现,合并认知障碍、焦虑抑郁等疾病的老年人,对跌倒史与实际情况存在偏差,导致现有的预测模型的准确性存在误差^[25-26]。TUG 测试是一种被广泛认可用于定量评估老年人活动能力和跌倒风险的工具^[27-28]。因此,本研究通过 TUG 测试对跌倒风险进行了客观评估。基于多因素 Logistic 回归分析结果,本研究构建了预测脑小血管人群跌倒风险的预测模型,该模型具有简单、直观、可读性的优势。结合诺莫图分析发现,年龄对跌倒风险的影响最大,其次是腔隙、中重度 WMH、认知障碍及高血压。本研究通过建模人群和验证人群进行内部及外部验证,AUC 分别为 0.855、0.921,这表明本研究构建的预测模型具有良好的区分能力。绘制校准曲线来评估模型的校准性,建模人群及验证人群的校准曲线图显示校准曲线与理想值基本吻合,说明本研究构建的预测模型预测跌倒风险发生概率与跌倒实际发生风险较一致,提示预测模型具有较好的校准能力。

本研究仍有一定局限性,由于本研究的目的是探讨与跌倒有关的因素,因此横断面研究设计被认为是合适的,其局限性在于无法确定因果关系。此外,本研究是一项单中心研究,仅来自一家医院的数据,且研究时间较短,样本量较小,缺乏代表性,需进一步大样本、多中心前瞻性研究,增大获取资料的时间范围,以得到更加全面、准确的数据基础。

综上所述,存在高龄、腔隙、中重度 WMH、认知障碍及高血压病的可独立行走 CSVD 患者,跌倒的发生风险较高。该模型的优势在于根据上述影响因素建立的跌倒风险预测模型预测效能高。通过病历资料即可筛选出跌倒高危人群并指导个体化诊治。

[参考文献]

- [1] Lewis SR, McGarrigle L, Pritchard MW, et al. Population-based interventions for preventing falls and fall-related injuries in older people[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2024,1(1):013789.
- [2] Wang Y, Liu Z. Research progress on the correlation between MRI and impairment caused by cerebral small vessel disease: A review[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2023,102(40):e35389.
- [3] Sharma B, Wang M, McCreary CR, et al. Gait and falls in cerebral small vessel disease: a systematic review and meta-analysis[J]. *Age Ageing*, 2023,52(3):11.
- [4] Wang Y, Li Y, Liu S. Gait characteristics related to fall risk in patients with cerebral small vessel disease[J]. *Front Neurol*, 2023,14:1166151.
- [5] Nalari N, Darvishi N, Ahmadipناه M, et al. Global prevalence of falls in the older adults: a comprehensive systematic review and meta-analysis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2022,17(1):334.
- [6] 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.中国脑小血管病诊治指南 2020[J].*中华神经科杂志*, 2022,55(8):807-818.
- [7] Cai M, Jacob MA, Norris DG, et al. Longitudinal relation between structural network efficiency, cognition, and gait in cerebral small vessel disease[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2022,77(3):554-560.
- [8] 王燕,李文静,吕红芝,等.骨质疏松骨折临床预测模型的建立与评价[J/CD].*中华老年骨科与康复电子杂志*, 2023,8(6):350-360.
- [9] 安源源,刘四方.结合 Treg/Th17 细胞因子建立预测胃癌术后残胃 Hp 感染风险诺莫图预测模型[J].*河北医科大学学报*, 2024,45(9):1068-1073.
- [10] Alamri SH, Ghamri RA, Alshehri WH, et al. Falls and correlations among community-dwelling older adults: A cross-sectional study in Jeddah, Saudi Arabia[J]. *Pak J Med Sci*, 2023,39(1):109-116.
- [11] Abigail L, Kehrer-Dunlap, Audrey A. Falls and Alzheimer disease[J]. *Adv Geriatr Med Res*, 2024,6(1):240001.
- [12] Smith C, Seematter-Bagnoud L, Santos-Eggimann B, et al. Executive function and prospective falls: a 6-year longitudinal study in community-dwelling older adults[J]. *BMC Geriatr*, 2023,23(1):140.
- [13] Voß M, Zieschang T, Schmidt L, et al. Reduced adaptability to balance perturbations in older adults with probable cognitive impairment after a severe fall[J]. *PLoS One*, 2024,19(7):0305067.
- [14] Kannan L, Pitts J, Szturm T, et al. Perturbation-based dual task assessment in older adults with mild cognitive impairment[J]. *Front Rehabil Sci*, 2024,5:1384582.
- [15] Zhang T, Yang C, Shu G, et al. The direct and mediating effects of cognitive impairment on the occurrence of falls: a cohort study based on community-dwelling old adults[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2023,10:1190831.

- [16] Sharma R, Havenon AD, Rivier C, et al. Impaired mobility and MRI markers of vascular brain injury; atherosclerosis risk in communities and UK biobank studies[J]. *BMJ Neurol Open*, 2024, 6(1):000501.
- [17] Zhao P, Gu Y, Feng W, et al. Gait disorders and magnetic resonance imaging characteristics in older adults with cerebral small vessel disease[J]. *J Integr Neurosci*, 2022, 21(5):129.
- [18] Zhang S, Hu Y, Yang H, et al. Value of white matter hyperintensity volume and total white matter volume for evaluating cognitive impairment in patients with cerebral small-vessel disease [J]. *Front Aging Neurosci*, 2023, 15: 1096808.
- [19] Zhao X, Zuo M, Zhan F, et al. Cognition mediates the relationship between white matter hyperintensity and motor function in patients with cerebral small vessel disease: a cross-sectional study[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2024, 14(10):7306-7317.
- [20] Chen K, Jin Z, Fang J, et al. The impact of cerebral small vessel disease burden and its imaging markers on gait, postural control, and cognition in Parkinson's disease[J]. *Neurol Sci*, 2023, 44(4):1223-1233.
- [21] An L, Yuan W, Wang Y, et al. The positional relationship between lacunae and white matter hyperintensity in patients with cerebral small vessel disease[J]. *Curr Neurovasc Res*, 2023, 20(3):399-409.
- [22] Dupré N, Drieu A, Joutel A. Pathophysiology of cerebral small vessel disease: a journey through recent discoveries[J]. *J Clin Invest*, 2024, 134(10):172841.
- [23] Yao Q, Chen L, Qu H, et al. Comparable cerebral cortex activity and gait performance in elderly hypertensive and healthy individuals during dual-task walking: A fNIRS study [J]. *Brain Behav*, 2024, 14(7):e3568.
- [24] Numeroso F, Bottaro L, Younes A, et al. Incidence and risk factors for non-cardiac syncope in a cohort of patients addressing an accredited Arterial Hypertension Center: the Innocent Study[J]. *Minerva Med*, 2024, 115(2):143-150.
- [25] Sayed A, Said MT, Mohsen O, et al. Falls and associated risk factors in a sample of old age population in Egyptian community[J]. *Front Public Health*, 2023, 11:1068314.
- [26] Davey N, Connolly E, Elwaine P, et al. A systematic review of falls risk of frail patients with dementia in hospital; progress, challenges, and recommendations [J]. *Clin Interv Aging*, 2024, 19:1127-1139.
- [27] Delgado I, Camacho MA, Pugliese I, et al. Stumbles, gait, and cognition: risk factors associated with falls in older adults with subjective memory complaints [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2024, 21(12):1683.
- [28] Cai X, Zhao H, Shan X, et al. Using motion capture technology in the instrumented timed up and go test to detect the risk of falling in aged adults[J]. *J Vis Exp*, 2024, 25:212.

(本文编辑:刘斯静)