·调查报告与分析·

高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病风险诊断模型的构建及验证：基于 Hosmer-Lemeshow 法

周颖[1]，尹智华[2]，刘佳宜[2]，沈思雨[2]，胡佩妮[2]，石磊[3,4,5]，李雪莲[2]，张薇[2]

1. 东台市安丰镇安丰中心卫生院预防保健科，盐城 224225；
2. 中国医科大学公共卫生学院流行病学教研室，沈阳 110122；
3. 广州医科大学卫生管理学院，广州 511436；
4. 广东省高校健康管理政策与精准健康服务协同创新研究哲学社会科学重点实验室，广州 510515；
5. 广东省高校基于大数据利用的卫生健康治理哲学社会科学重点实验室，广州 511436
通信作者：石磊，E-mail：hydleishi@126.com；李雪莲，E-mail：xlli@cmu.edu.cn；张薇，E-mail：wzhang@cmu.edu.cn

【摘　要】目的 构建并验证高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病的风险诊断模型，为中国农村老年人高血压、高血糖、血脂异常“三高”共病防控和共管提供参考依据。**方法** 将 2015 年中国健康与养老追踪调查项目（CHARLS）中 583 例高血压合并血脂异常农村老年人的相关数据作为训练集，应用多因素非条件 logistic 回归模型分析高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病的影响因素并构建风险诊断模型，通过 Hosmer-Lemeshow 方法检验模型的拟合优度；将 2023 年江苏省东台市安丰镇 1 185 例同时患有高血压和血脂异常且结局变量和关键变量信息完整的 ≥65 岁老年人的体检数据作为外部验证数据，绘制受试者工作特征曲线（ROC）、校准曲线和决策曲线；采用限制性立方样条（RCS）模型分析中国内脏肥胖指数（CVAI）和白细胞计数与高血压合并血脂异常农村老年人糖尿病患病的剂量—反应关系。**结果** CHARLS 数据分析结果显示，CVAI、是否饮酒和白细胞计数是高血压合并血脂异常农村老年人糖尿病患病的主要影响因素（均 $P<0.05$）；RCS 模型分析结果显示，CVAI 和白细胞计数与糖尿病患病风险均呈线性正相关（非线性检验 $P=0.944$ 和 0.538），糖尿病患病风险随着 CVAI 和白细胞计数水平的增高呈线性增高趋势；Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验（$P=0.739$）、外部验证集的 ROC 曲线［曲线下面积为 0.924（0.910～0.939）］、校准曲线和决策曲线均表明本研究构建的糖尿病风险诊断模型具有较好的诊断性能。**结论** 本研究构建的高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病风险诊断模型具有较好的诊断性能和临床效益，在该人群中应将饮酒者、CVAI 和白细胞计数水平较高者作为糖尿病预防的重点人群。

【关键词】 糖尿病；风险诊断模型；高血压；血脂异常；共病；农村老年人

Construction and validation of a risk diagnostic model for diabetes in rural elderly individuals with both hypertension and dyslipidemia:an analysis based on the Hosmer-Lemeshow test

ZHOU Ying[1], YIN Zhihua[2], LIU Jiayi[2], SHEN Siyu[2], HU Peini[2], SHI Lei[3,4,5], LI Xuelian[2], ZHANG Wei[2] (*1. Department of Preventive Health Care, Anfeng Town Health Center, Dongtai City, Yancheng* 224225, *China*; *2. Department of Epidemiology, School of Public Health, China Medical University, Shenyang* 110122, *China*; *3. School of Health Management, Guangzhou Medical University, Guangzhou* 511436, *China*; *4. Social Science Key Laboratory of Guangdong Higher Education Institutes for Health Management Policy and Precision Health Services, Guangzhou* 510515, *China*; *5. Social Science Key Laboratory of Guangdong Higher Education Institutes for Health Governance Based on Big Data Utilization, Guangzhou* 511436, *China*)
Corresponding authors: SHI Lei, E-mail: hydleishi@126.com; LI Xuelian, xlli@cmu.edu.cn; ZHANG Wei, E-mail: wzhang@cmu.edu.cn

【Abstract】 Objective To construct and validate a risk diagnostic model for diabetes in rural elderly individuals with both hypertension and dyslipidemia, thus providing a scientific basis for the prevention and control of the co-morbidity of hypertension, hyperglycemia, and dyslipidemia in rural elderly people in China. **Methods** With the data of 583 rural elderly individuals with hypertension and dyslipidemia from the 2015 China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS) as the training set, a multivariate unconditional logistic regression model was adopted to analyze the influencing factors of diabetes in rural elderly individuals with hypertension and dyslipidemia and construct a risk

开放获取：CC BY-NC-ND 4.0 DOI：10.11847/zgggws1148397
基金项目：国家自然科学基金（82504522；72104098）；辽宁省科学技术计划项目博士科研启动项目（2025-BS-0621）；辽宁省科学技术计划项目面上项目（2024-MS-038）；广东省基础与应用基础研究基金（2023A1515010902）
第一作者：周颖（1991—），中级，本科，研究方向：老年人慢性非传染性疾病。
收稿日期：2025-07-07 修回日期：2025-11-10 录用日期：2026-01-24
利益冲突：不存在 伦理审查：已获取 出版授权：全体作者已与编辑部签署作者贡献声明及版权转让协议

diagnostic model. The goodness-of-fit of the model was tested via the Hosmer-Lemeshow method. The physical examination data of 1 185 elderly individuals who aged 65 and above and had both hypertension and dyslipidemia and complete outcome variables and key variables in Anfeng town, Dongtai city, Jiangsu province were used for external validation. Receiver operating characteristic (ROC) curves, calibration curves, and decision curves were established. The restricted cubic spline (RCS) model was employed to analyze the dose-response relationships of the Chinese visceral adiposity index (CVAI) and white blood cell count with the prevalence of diabetes in rural elderly individuals with both hypertension and dyslipidemia. **Results** The results of the analysis on CHARLS data showed that CVAI, alcohol consumption status, and white blood cell count were the main factors influencing the prevalence of diabetes among rural elderly individuals with both hypertension and dyslipidemia (all $P < 0.05$). The results of the RCS model analysis showed that CVAI and white blood cell count were linearly positively correlated with the risk of diabetes (non-linear test $P = 0.964$ and 0.755), and the risk of diabetes increased linearly with the increase in CVAI and white blood cell count. The Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test ($P = 0.739$), the ROC curve of the external validation set [AUC (95%*CI*): 0.924 (0.910–0.939)], the calibration curve, and the decision curve all indicated that the risk diagnostic model constructed in this study for diabetes has good performance. **Conclusions** The risk diagnostic model for diabetes in rural elderly individuals with both hypertension and dyslipidemia, which is constructed in this study, has excellent performance and clinical benefits. In this population, drinkers as well as those with higher CVAI and white blood cell count should be regarded as the key groups for diabetes prevention.

【Keywords】 diabetes; risk diagnostic model; hypertension; dyslipidemia; comorbidity; rural elderly people

人口增长及老龄化进程的加快推动了慢性病患病和死亡人数的增加，据报道，2019 年全球因慢性病导致的死亡人数占总死亡人数的 74%，给社会和家庭均造成沉重的疾病负担[1]。《中国卫生健康统计年鉴 2022》[2] 数据显示，中国居民慢性病患病率为 34.29%，其中城市和农村居民慢性病患病率分别为 33.49% 和 35.21%，≥65 岁老年人慢性病患病率为 62.3%。慢性病具有病程长、迁延不愈等特点，通常伴发或相互作用而出现共病的情况，可加重患者病情，影响患者预后[3]；且由于慢性病起病隐匿、病因复杂，高血压、高血糖和血脂异常（简称“三高”）在其病因链中属于近端危险因素，可进一步导致心血管疾病、脑卒中和糖尿病等主要慢性病的发生[4]。近年来，随着我国经济社会的不断发展和居民生活水平的不断提高，“三高”患病率逐年增加，中国≥45 岁居民慢性病及危险因素监测数据显示，我国中老年居民高血压合并血脂异常患病率最高（22.8%），其次是高血压合并糖尿病（12.3%）和糖尿病合并血脂异常（11.6%），“三高”共病率达 7.6%[5]，因此，通过调查“三高”共病的影响因素来进行“三高”共管可以有效控制心血管疾病及其不良并发症等的发生[6–7]。目前研究大多分析一般人群中高血压、糖尿病和血脂异常中的 1 种或 2 种组合共病以及“三高”共病的影响因素[8–12]，且多数研究采用的自变量为一般检查指标和生活行为方式因素等，但在农村高血压和血脂异常共病老年人中整合血液检测指标进行糖尿病患病（即“三高”共病）影响因素的研究却较少。为此，本研究利用中国健康与养老追踪调查项目（China Health and Retirement Longitudinal Study, CHARLS）中 583 例高血压合并血脂异常农村老年人的相关数据作为训练集，整合一般人口学特征、生活行为方式、体格检查和血液检测数据分析高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病的影响因素并构建风险诊断模型，将 2023 年江苏省东台市安丰镇 1185 例同时患有高血压和血脂异常且结局变量和关键变量信息完整的≥65 岁老年人的体检数据作为外部验证数据，旨在构建并验证高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病的风险诊断模型，为我国农村老年人高血压、高血糖、血脂异常“三高”共病防控和共管提供参考依据。结果报告如下。

1 资料与方法

1.1 资料来源　本研究数据包括训练集和外部验证集。训练集数据来源于 2015 年开展的 CHARLS 全国调查数据，收集了全国≥45 岁中老年人的家户信息、健康状况、血液检测数据、经济收入与支出、医疗保险与保健等数据，调查信息质量高、内容全面，具有全国代表性[13–15]，本研究纳入同时患有高血压和血脂异常的年龄≥65 岁农村老年人作为研究对象，剔除性别、年龄、文化程度、婚姻状况、是否吸烟、是否饮酒、每日睡眠时长、收缩压、舒张压和血液检测等指标有异常值及缺失值的样本，最终纳入 583 例研究对象作为训练集。验证数据集来源于江苏省东台市安丰镇，按照《国家基本公共卫生服务规范》（第三版）要求，将辖区内≥65 岁常住居民作为老年健康管理服务对象进行生活方式和健康状况评估、体格检查、辅助检查和健康指导[16]，2023 年江苏省东台市安丰镇参与体检的≥65 岁农村老年人共 9 181 人，其中同时患有高血压和血脂异常且结局变量和关键变量（年龄、是否吸烟、是否饮酒、体质量指数、腰围、甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、白细胞计数等）信息

完整的 1 185 例≥65 岁农村老年人的体检数据作为本研究的外部验证集。本研究使用的 CHARLS 数据通过北京大学生物医学伦理审查委员会审查批准(批号：IRB00001052–11015)，江苏省东台市安丰镇农村老年人体检数据通过东台市卫生健康委员会审查批准，批准文件：东卫健〔2023〕115 号。

1.2 研究变量 本研究的主要结局变量为高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病情况。糖尿病的诊断依据《中国老年 2 型糖尿病防治临床指南(2022 年版)》[17]，空腹血糖≥7.0 mmol/L 或经乡镇(或社区)及以上医院确诊为糖尿病；高血压的诊断依据《中国高血压防治指南(2018 年修订版)》[18]，收缩压≥140 mmHg(1 mmHg=0.133 3 kPa)和/或舒张压≥90 mmHg 或经乡镇(或社区)及以上医院确诊为高血压；血脂异常的诊断依据《中国血脂管理指南(2023 年)》[19]，总胆固醇≥5.2 mmol/L(200 mg/dL)和/或甘油三酯≥1.7 mmol/L(150 mg/dL)和/或低密度脂蛋白胆固醇≥3.4 mmol/L(130 mg/dL)和/或高密度脂蛋白胆固醇<1.0 mmol/L(40 mg/dL)或经乡镇(或社区)及以上医院确诊为血脂异常。自变量包括年龄、性别、文化程度、婚姻状况、是否吸烟、是否饮酒、每日睡眠时长、收缩压、舒张压、体质量指数、腰围、空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、白细胞计数、血红蛋白、血小板、肌酐、血尿素氮、尿酸、血清胱抑素 C、中国内脏肥胖指数(Chinese visceral adiposity index, CVAI)。根据 CHARLS 问卷相关问题定义吸烟和饮酒：若问题“您吸过烟吗(包括香烟、旱烟、用烟管吸烟或咀嚼烟草)?”的回答为“是”(一生吸烟>100 支)，则定义为吸烟，反之为不吸烟；若问题“在过去的 1 年您喝酒吗(包括啤酒、葡萄酒或白酒)?”的回答为“什么都不喝”，则定义为不饮酒，反之为饮酒。根据《成人体重判定》[20]，体质量指数<18.5 kg/m^2 为低体重，18.5～23.9 kg/m^2 为正常体重，24.0～27.9 kg/m^2 为超重，≥28.0 kg/m^2 为肥胖。CVAI 是用来反映中国人内脏脂肪含量的复合型指标[21]，计算公式包含年龄、体质量指数、腰围、甘油三酯和高密度脂蛋白胆固醇，其中，CVAI(男性)=−267.93+0.68×年龄+0.03×体质量指数+4.00×腰围+22.00×log10 甘油三酯−16.32×高密度脂蛋白胆固醇，CVAI(女性)=−187.32+1.71×年龄+4.32×体质量指数+1.12×腰围+39.76×log10 甘油三酯−11.66×高密度脂蛋白胆固醇。

1.3 统计分析 应用 R4.2.2 软件进行统计分析。计量资料不服从正态分布，采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 描述，组间比较使用 Wilcoxon 非参数秩和检验；计数资料采用 n 和 % 描述，组间比较采用 χ^2 检验。应用多因素非条件 logistic 回归模型分析高血压和血脂异常共病对农村老年人糖尿病患病的影响因素。应用限制性立方样条(restricted cubicspline, RCS)模型分析 CVAI、白细胞计数与高血压合并血脂异常的农村老年人糖尿病患病的剂量—反应关系，分别选取 CVAI 和白细胞计数的 4 个百分位数(P_5、P_{25}、P_{75}、P_{95})作为节点，使用“rms”包绘制 RCS 曲线。此外，基于多因素分析结果构建诊断模型并绘制列线图，通过 Hosmer-Lemeshow 方法检验模型的拟合优度；以收集到的江苏省东台市安丰镇老年人体检数据对模型进行验证，绘制受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)，计算曲线下面积(area under the receiver operating characteristic curve, AUC)，并利用校准曲线和决策曲线探究模型的性能。检验水准为双侧检验 α=0.05。

2 结 果

2.1 高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病情况(表 1) CHARLS 数据纳入的 583 例高血压合并血脂异常农村老年人中，患糖尿病者 214 例，糖尿病患病率为 36.71%。不同特征高血压和血脂异常共病农村老年人比较，不同体质量指数、CVAI 和是否饮酒的高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病率不同，差异均有统计学意义(均 P<0.05)。

2.2 高血压和血脂异常共病不同组别农村老年人体格检查和血液检测指标比较(表 2) 高血压和血脂异常共病糖尿病组与非糖尿病组农村老年人体格检查和血液检测指标比较，两组农村老年人腰围、空腹血糖、甘油三酯和白细胞计数不同，差异均有统计学意义(均 P<0.05)。

2.3 高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病影响因素多因素非条件 logistic 回归分析 以高血压和血脂异常共病农村老年人是否糖尿病患病为因变量(0=否，1=是)，以是否饮酒、体质量指数、CVAI、腰围、甘油三酯和白细胞计数共 6 个因素为自变量进行多因素非条件 logistic 回归分析。结果显示，CVAI 最高四分位数组高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病风险为最低四分位数组高血压和血脂异常共病农村老年人的 1.194 倍(OR=1.194，95%CI=1.047～1.361，P=0.008)；饮酒的高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病风险为非饮酒高血压和血脂异常共病农村老年人的 0.909 倍(OR=0.909，95%CI=0.832～0.994，P=0.037)；白细胞计数每增加 1 个标准差，高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病风险升高 4%(OR=1.040，95%CI=1.018～1.062，P<0.001)。

表 1 不同特征高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病情况比较
Table 1 Comparison of diabetes prevalence among rural elderly people with both hypertension and dyslipidemia by different characteristics

特征	分类	调查例数	糖尿病患病例数	糖尿病患病率/%	χ^2值	*P*值
性别	男性	279	95	34.05	1.413	0.235
	女性	304	119	39.14		
年龄/岁	60～69	325	117	36.00	0.097	0.756
	≥70	258	97	37.60		
文化程度	初中及以下	124	45	36.29	<0.001	0.997
	高中及以上	459	169	36.82		
婚姻状况	非在婚	160	58	36.25	0.002	0.967
	在婚	423	156	36.88		
是否吸烟	否	423	157	37.12	0.056	0.813
	是	160	57	35.63		
是否饮酒	否	438	173	39.50	5.432	0.020
	是	145	41	28.28		
睡眠时长/(h/d)	≤6	324	120	37.04	0.010	0.921
	>6	259	94	36.29		
体质量指数	低体重	23	7	30.43	11.142	0.011
	正常体重	222	69	31.08		
	超重	229	84	36.68		
	肥胖	109	54	49.54		
CVAI	≤109.22	61	14	22.95	12.590	0.006
	109.23～134.36	83	24	28.92		
	134.37～158.52	154	53	34.42		
	>158.52	285	123	43.16		

表 2 高血压和血脂异常共病不同组别农村老年人体格检查和血液检测指标比较 [$M(P_{25}, P_{75})$]
Table 2 Comparison of physical examination and blood test indicators among different groups of rural elderly individuals with both hypertension and dyslipidemia

指标	糖尿病组	非糖尿病组	*W*值	*P*值
收缩压/mm Hg	145.33(134.33，157.58)	145.33(131.33，155.00)	38 397	0.580
舒张压/mm Hg	78.33(72.00，85.25)	80.67(73.67，87.00)	43 145	0.062
腰围/cm	92.60(87.00，98.75)	89.00(81.30，95.30)	30 523	<0.001
空腹血糖/(mmol/L)	115.32(99.55，142.34)	93.69(88.29，99. 10)	14 548	<0.001
总胆固醇/(mmol/L)	192.08(164.58，221.91)	190.73(156.37，227.03)	37 875	0.412
甘油三酯/(mmol/L)	1.80(1.24，2.58)	1.61(1.05，2.40)	34 889	0.019
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L)	105.98(85.62，126.25)	105.02(78.38，132.05)	38 178	0.540
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L)	1.17(1.01，1.39)	1.14(0.98，1.44)	39 323	0.935
白细胞计数/(10^9/L)	6.49(5.42，7.93)	6.00(5.00，6.97)	31 978	<0.001
血红蛋白/(mg/dL)	13.70(12.73，15. 10)	13.70(12.70，14.70)	37 635	0.346
血小板/(g/dL)	201.00(157.00，249.00)	205.00(163.00，253.00)	40 164	0.658
肌酐/(mg/dL)	0.77(0.65，0.97)	0.81(0.68，0.95)	41 733	0.251
尿素氮/(mg/dL)	15.55(12.96，19.61)	15.41(13.17，18.77)	38 744	0.706
尿酸/(mg/dL)	5.15(4.32，6.38)	5.20(4.30，6.20)	39 530	0.981
血清胱抑素C/(mg/L)	0.94(0.80，1. 12)	0.94(0.82，1.06)	37 564	0.404

2.4 CVAI 和白细胞计数与高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病的剂量—反应关系(图 1) 应用 RCS 模型分析 CVAI 和白细胞计数与高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病的剂量—反应关系。CVAI 的 4 个节点分别为 58.22、121.79、148.85 和 189.56，在调整协变量(是否饮酒和白细胞计数)后，CVAI 水平与糖尿病患病风险呈线性相关(非线性检验 *P*=0.944)，随着 CVAI

水平的增高，糖尿病患病风险呈线性增加（图 1A）；白细胞计数的 4 个节点分别为 3.94×10^9/L、5.60×10^9/L、6.70×10^9/L 和 9.76×10^9/L，在调整协变量（是否饮酒和 CVAI）后，白细胞计数与糖尿病患病风险呈线性相关（非线性检验 P=0.538），随着白细胞计数的增高，糖尿病患病风险呈线性增加（图 1B）。

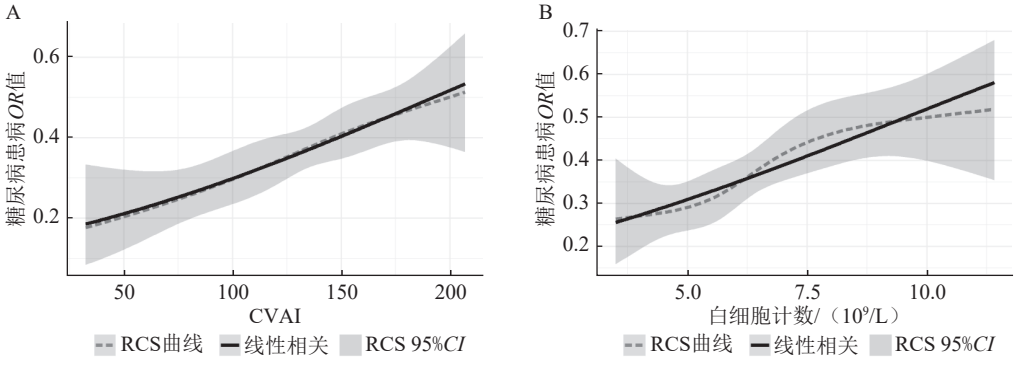


图 1　CVAI 和白细胞计数与高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病风险的剂量—反应关系

Fig. 1　Dose-response relationships of CVAI and white blood cell count with the risk of diabetes in rural elderly individuals with both hypertension and dyslipidemia

2.5　高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病风险诊断模型的构建及外部验证（图 2～4）　利用多因素非条件 logistic 回归分析获得的高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病影响因素构建风险诊断模型并绘制列线图（图 2），使用 CHARLS 训练集数据绘制模型 ROC 曲线（图 3A），AUC（95%*CI*）为 0.629（0.582～0.675）；将 2023 年江苏省东台市安丰镇老年人体检数据作为外部数据集验证模型的效能，绘制 ROC 曲线（图 3B），AUC（95%*CI*）为 0.924（0.910～0.939）。校准曲线和决策曲线分别如图 4A 和 4B 所示，模型 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验 P=0.739，表明模型预测结果与真实值之间差异无统计学意义，模型具有较好的诊断性能。

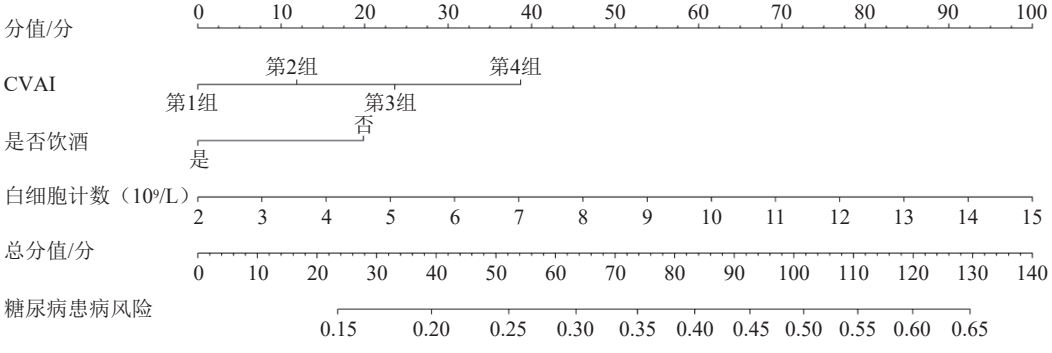


图 2　高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病风险列线图

Fig. 2　A nomogram for predicting the risk of diabetes in rural elderly individuals with both hypertension and dyslipidemia

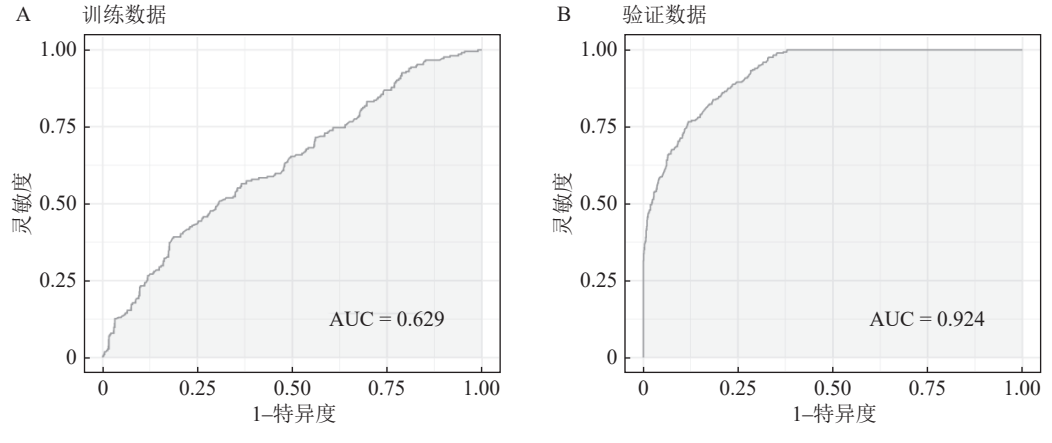


图 3　高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病风险诊断模型在训练数据和验证数据中的 ROC 曲线

Fig. 3　ROC curves of the risk diagnostic model for diabetes in rural elderly individuals with both hypertension and dyslipidemia in the training set and validation set

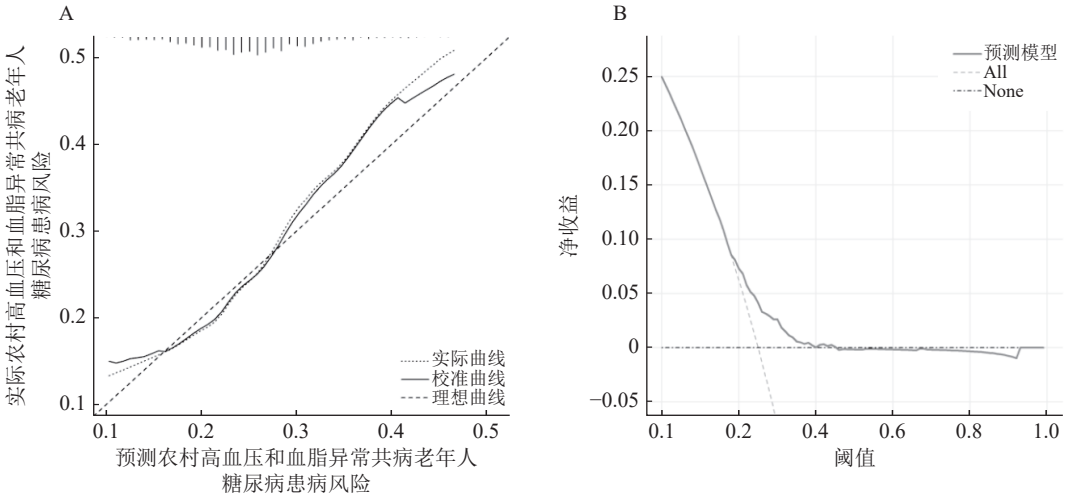


图 4　高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病风险诊断模型校准曲线（A）及决策曲线（B）

Fig. 4　Calibration curve (A) and decision curve (B) of the risk diagnostic model for diabetes in rural elderly individuals with both hypertension and dyslipidemia

3　讨　论

既往研究对“三高”的影响因素分析大多基于一般人群，探究其中单病种或≥2 种共病情况的影响因素，尚缺乏在高血压和血脂异常共病农村老年人群中进行糖尿病患病影响因素的研究。本研究利用 2015 年 CHARLS 数据作为训练集，分析高血压和血脂异常共病对农村老年人糖尿病患病风险的影响因素，构建风险诊断模型，并收集 2023 年江苏省东台市安丰镇老年人体检数据进行外部验证。研究结果显示，CVAI、是否饮酒和白细胞计数是高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病的独立影响因素。在高血压和血脂异常共病的农村老年人中，饮酒者患糖尿病风险为不饮酒者的 0.909 倍（*OR*=0.909，95%*CI*=0.832～0.994，*P*=0.037）。现有研究关于饮酒对高血压、血脂异常和糖尿病的影响观点不一，陈伟标等[22]研究表明无论是在男性还是女性中，现在饮酒均与“三高”多共病种数的低风险相关；于宁等[5]研究中亦发现，与从不饮酒相比，少量饮酒是“三高”共病的保护因素，而过量饮酒则是危险因素；一项 meta 分析发现摄入纯酒精 16 g/d 的女性，其患 2 型糖尿病的风险最大可降低 31%[23]；但也有多项研究表明饮酒会增加“三高”的患病风险[24-25]。这些研究结论的不同可能由于纳入研究对象的标准、人口构成和饮酒的定义等不同所导致。肥胖一直被认为是糖尿病的危险因素，尤其是腹部肥胖与糖尿病和心血管疾病发生风险的相关性较整体性肥胖更强，常用的腰围指标仅能反映腹部脂肪含量，不能区分内脏脂肪和皮下脂肪，而 CVAI 将一般测量指标（年龄、体质量指数、腰围）和血脂信息（甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇）结合，可综合反映中国人腹部肥胖及内脏脂肪功能障碍。在一般人群中，CVAI 与糖尿病的发生呈正相关，是糖尿病的危险因素[26]，与本研究 CVAI 在高血压和血脂异常共病农村老年人中依然是糖尿病患病的危险因素且 CVAI 与糖尿病患病风险呈线性正相关的结果相似。因此，在高血压和血脂异常共病农村老年人的日常健康管理中应密切关注其腹部肥胖指标，控制体重，从而降低糖尿病的患病风险。白细胞计数在本研究中是高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病的危险因素，与糖尿病患病风险呈线性正相关。研究表明，白细胞计数是炎症反应的标志，能介导机体的免疫反应，同时白细胞计数也与胰岛素抵抗相关，虽然目前二者之间的确切机制尚不清楚，但白细胞计数升高仍可预测胰岛素抵抗[27]。

目前，研究者基于不同人群、利用不同方法构建的糖尿病风险预测模型并不完全一致。一项基于韩国、日本和英国 3 个独立队列数据进行的糖尿病发病预测模型构建研究发现，年龄是糖尿病发病最重要的预测因子，其次是空腹血糖、血红蛋白、体质量指数等，该模型的 AUC 值为 0.792[28]；Zhang L Y 等[29]基于一项中国河南农村队列构建的农村人口 2 型糖尿病风险模型，变量包括尿糖、年龄、心率、肌酐、腰围和高血压等，模型的 AUC 为 0.811～0.872；杨会芳等[30]利用国家基本公共卫生服务体检数据构建的中老年人 2 型糖尿病风险预测模型，体检者年龄为 43～102 岁，纳入模型的变量包括年龄、中心型肥胖、缺乏运动、空腹血糖受损、低密度脂蛋白胆固醇和高血压等，在外部验证数据中模型的 AUC（95%*CI*）为 0.794（0.771～0.816）。与本研究结果相似，在上述研究中，性别和吸烟同样不是糖尿病患病的风险因素，但不同的是，以上研究人群的年龄并未局限于老年人，年龄仍是糖尿病的危险因素。Liu Q

等[31]研究选择的研究对象年龄范围与本研究一致，利用 2018—2020 年湖北省武汉市≥65 岁老年人健康筛查数据开展回顾性队列研究，构建了中国老年人 2 型糖尿病风险预测模型，其中年龄并不是重要的预测因子，模型 AUC 值为 0.781。

不同研究构建的糖尿病风险模型适用人群的特征不同，而本研究是基于高血压和血脂异常共病的中国农村老年人，整合一般信息、体格检查、行为方式和血液检测数据分析糖尿病患病的影响因素，在单因素分析后将具有统计学意义的变量纳入多因素非条件 logistic 回归分析，确定最终纳入模型的变量，并使用外部数据进行验证，AUC（95%*CI*）为 0.924（0.910～0.939），结合校准曲线和决策曲线均证明了模型具有优异的诊断性能。在本研究中，虽然训练集和外部验证集的抽样方法、数据来源和调查方式不同，但二者包含的研究对象基本特点即模型的适用条件一致，并且外部验证的核心目的不仅是确认模型在相似人群中的表现，更是评估其面对异质性数据时的泛化能力，东台市安丰镇数据作为一个大规模、来自具体实际场景的独立数据集，为检验模型在“真实世界”条件下的适用性提供了理想平台。结果表明，模型在东台市数据上保持了良好的预测效能，因此，本研究构建的模型能够在一定程度上克服数据来源和收集方法的差异，具备较强的稳健性和实际应用潜力。

综上所述，本研究构建的高血压和血脂异常共病农村老年人糖尿病患病风险诊断模型具有较好的诊断性能和临床效益。在“三高”共管中，应将高血压和血脂异常共病的农村老年人作为防治糖尿病的重点人群，密切关注 CVAI、是否饮酒和白细胞计数指标，尽早进行健康管理与干预，降低糖尿病发病风险。但本研究仍存在一定的局限性：一是利用 2015 年 CHARLS 调查数据和 2023 年江苏省东台市安丰镇老年人体检数据进行横断面研究无法确定因果关系；二是饮酒信息为患者自述，存在信息偏倚，且未对饮酒量和酒精类型进行细化；三是本研究构建的模型虽然进行了外部验证，但其外推性还需要开展大规模、多中心前瞻性队列研究。因此，在未来的研究中将设计前瞻性队列研究以明确风险因素与糖尿病的因果关系，采用标准化问卷细化饮酒方式的测量以减少信息偏倚，开展大规模、多中心的外部验证并通过整群随机对照试验评估模型在真实世界中的临床效用与成本效益，最终为“三高”共管策略提供更高级别的循证医学证据。

数据可用性声明 本分析中使用的 CHARLS 数据的引用和元数据均可从公开数据库下载（网站地址：https://charls.pku.edu.cn/）；2023 年江苏省东台市安丰镇老年人体检数据因涉及参与者隐私保护等原因无法公开共享，但经脱敏处理后的数据可在合理请求下向通信作者申请获取。申请需通过伦理委员会审批，并签署数据使用协议。

参考文献

[1] GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019[J]. The Lancet, 2020, 396(10258): 1204-1222.

[2] 国家卫生健康委员会. 中国卫生健康统计年鉴 2022[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2022.

[3] 李瑞, 雷伟, 摆文丽, 等. 两种常见慢性病共病的影响因素分析 [J]. 现代预防医学, 2024, 51(9): 1568-1573, 1619.

[4] 顾东风, 翁建平, 鲁向锋. 中国健康生活方式预防心血管代谢疾病指南 [J]. 中国循环杂志, 2020, 35(3): 209-230.

[5] 于宁, 张梅, 张笑, 等. 中国中老年居民高血压、糖尿病和血脂异常共病现状及影响因素研究 [J]. 中华流行病学杂志, 2023, 44(2): 196-204.

[6] “三高”共管规范化诊疗中国专家共识 (2023 版)专家组. “三高”共管规范化诊疗中国专家共识 (2023 版)[J]. 中华心血管病杂志 (网络版), 2023, 6(1): 1-11.

[7] 范文瑜, 张世龙, 王海鹏, 等. 2019—2022 年青岛市城阳区“三高共管六病同防”慢病管理模式下患者血压、血糖、血脂控制变化趋势及影响因素分析 [J]. 中国公共卫生, 2025, 41(2): 148-153.

[8] Peng J R, Zhao F, Yang X, et al. Association between dyslipidemia and risk of type 2 diabetes mellitus in middle-aged and older Chinese adults: a secondary analysis of a nationwide cohort[J]. BMJ Open, 2021, 11(5): e042821.

[9] Song H X, Feng D, Wang R X, et al. The urban-rural disparity in the prevalence and risk factors of hypertension among the elderly in China—a cross-sectional study[J]. PeerJ, 2019, 7: e8015.

[10] Ren Y C, Cheng L L, Qie R, et al. Dose-response association of Chinese visceral adiposity index with comorbidity of hypertension and diabetes mellitus among elderly people[J]. Frontiers in Endocrinology, 2023, 14: 1187381.

[11] 叶梅, 韩晓燕. 北京市朝阳区高血压患者合并血脂异常现状及影响因素分析 [J]. 中国健康教育, 2022, 38(2): 130-134,144.

[12] 许昊, 陈一佳, 吴洁, 等. 南京市成人高血压、糖尿病和血脂异常共病现状及影响因素分析 [J]. 中国慢性病预防与控制, 2023, 31(7): 539-544.

[13] 罗丽丽, 田雪, 赵宇晗, 等. 中国中老年人群甘油三酯和高密度脂蛋白胆固醇比值与认知障碍发病关系 [J]. 中国公共卫生, 2024, 40(3): 290-295.

[14] Chen Y Q, Xu Z H, Guo Y M, et al. Air pollution increases the risk of frailty: China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS)[J]. Journal of Hazardous Materials, 2025, 492: 138105.

[15] Ma N, Ji X X, Shi Y X, et al. Adverse childhood experiences and mental health disorder in China: a nationwide study from CHARLS[J]. Journal of Affective Disorders, 2024, 355: 22-30.

[16] 尤莉莉, 赵金红, 陈新月, 等. 国家基本公共卫生服务项目十年评价(2009—2019 年)系列报告 (二)——国家基本公共卫生服务项目实施十年的进展与成效 [J]. 中国全科医学, 2022, 25(26): 3209-3220.

[17] 《中国老年 2 型糖尿病防治临床指南》编写组. 中国老年 2 型糖尿病防治临床指南 (2022 年版)[J]. 中国糖尿病杂志, 2022, 30(1): 2-51.

[18] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟 (中国), 中华医学会心血管病学分会, 等. 中国高血压防治指南 (2018 年修订版)[J]. 中国心血管杂志, 2019, 24(1): 24-56.

[19] 中国血脂管理指南修订联合专家委员会. 中国血脂管理指南 (2023 年)[J]. 中国循环杂志, 2023, 38(3): 237-271.

[20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. WS/T 428—2013 成人体重判定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.

[21] Xia M F, Chen Y, Lin H D, et al. A indicator of visceral adipose dysfunction to evaluate metabolic health in adult Chinese[J]. Scientific Reports, 2016, 6(1): 38214.

[22] 陈伟标, 张艳, 袁雪丽, 等. 深圳市老年人“三高”共病现状及关联因素分析 [J]. 中国慢性病预防与控制, 2023, 31(1): 51-55.

[23] Polsky S, Akturk H K. Alcohol consumption, diabetes risk, and cardiovascular disease within diabetes[J]. Current Diabetes Reports, 2017, 17(12): 136.

[24] Wu X Y, Liu X T, Liao W, et al. Prevalence and characteristics of alcohol consumption and risk of type 2 diabetes mellitus in rural China[J]. BMC Public Health, 2021, 21(1): 1644.

[25] Millwood I Y, Walters R G, Mei X W, et al. Conventional and genetic evidence on alcohol and vascular disease aetiology: a prospective study of 500 000 men and women in China[J]. The Lancet, 2019, 393(10183): 1831-1842.

[26] Qiao T T, Luo T, Pei H L, et al. Association between abdominal obesity indices and risk of cardiovascular events in Chinese populations with type 2 diabetes: a prospective cohort study[J]. Cardiovascular Diabetology, 2022, 21(1): 225.

[27] Liu F L, Wang T H, Wang S M, et al. The association of platelet to white blood cell ratio with diabetes: a nationwide survey in China[J]. Frontiers in Endocrinology, 2024, 15: 1418583.

[28] Lee H, Hwang S H, Park S, et al. Prediction model for type 2 diabetes mellitus and its association with mortality using machine learning in three independent cohorts from South Korea, Japan, and the UK: a model development and validation study[J]. eClinicalMedicine, 2025, 80: 103069.

[29] Zhang L Y, Wang Y K, Niu M M, et al. Machine learning for characterizing risk of type 2 diabetes mellitus in a rural Chinese population: the Henan Rural Cohort Study[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 4406.

[30] 杨会芳, 袁璐, 吴结凤, 等. 基于国家基本公共卫生服务体检的中老年人 2 型糖尿病风险预测模型构建 [J]. 四川大学学报 (医学版), 2024, 55(3): 662-670.

[31] Liu Q, Zhang M, He Y F, et al. Predicting the risk of incident type 2 diabetes mellitus in Chinese elderly using machine learning techniques[J]. Journal of Personalized Medicine, 2022, 12(6): 905.