

中国中老年COPD人群合并高血压病风险模型构建及验证

张奇玉^{1,2}, 李 赞^{1,3}, 李宾公^{1,2*}

¹青岛大学青岛医学院, 山东 青岛

²山东省青岛市康复大学青岛医院(青岛市市立医院)心内二科, 山东 青岛

³山东省青岛市康复大学青岛医院(青岛市市立医院)呼吸与危重症医学科, 山东 青岛

收稿日期: 2026年7月13日; 录用日期: 2026年8月6日; 发布日期: 2026年8月14日

摘 要

目的: 构建并验证中国中老年慢性阻塞性肺疾病(COPD)人群合并高血压病的风险预测模型, 为临床早期筛查与个体化干预提供依据。方法: 基于2011年中国健康与养老追踪调查(CHARLS)数据库基线数据, 纳入年龄 ≥ 45 岁COPD患者1763例, 以是否合并高血压为结局变量, 采用单因素与多因素Logistic回归筛选独立危险因素, 建立风险预测模型, 通过ROC曲线、校准曲线、决策曲线分析(DCA)评价模型区分度、校准度与临床实用性; 并纳入康复大学青岛医院1000例COPD患者进行外部验证。结果: COPD患者中合并高血压患病率为47.70% (841/1763), 多因素分析结果显示, 年龄、体重、BMI水平、甘油三酯、尿酸、PEF、冠心病史、糖尿病史与COPD患者合并高血压病的发生密切相关(均 $P < 0.05$)。建模组曲线下面积为0.690, 校准曲线显示模型一致性良好; 外部验证组曲线下面积为0.665, DCA提示建模组及验证组在较宽阈值范围内具有一定的临床净获益。结论: 本研究构建的风险预测模型区分度中等($AUC \approx 0.69$), 可作为初步风险筛查工具, 为临床COPD患者合并高血压病风险评估提供一定参考。但模型预测精度有限, 且受限于横断面设计及变量选择, 尚不足以替代临床综合判断, 当前成果仍属探索性质。

关键词

慢性阻塞性肺疾病, 高血压病, 风险预测模型, 中国中老年人

Construction and Validation of a Risk Model for Hypertension in Middle-Aged and Elderly Chinese COPD Patients

Qiyu Zhang^{1,2}, Zan Li^{1,3}, Bingong Li^{1,2*}

¹Qingdao Medical College, Qingdao University, Qingdao Shandong

*通讯作者。

文章引用: 张奇玉, 李赞, 李宾公. 中国中老年 COPD 人群合并高血压病风险模型构建及验证[J]. 临床医学进展, 2026, 16(8): 1070-1080. DOI: 10.12677/acm.2026.1682881

²Cardiology Department II, Qingdao Hospital of University of Health and Rehabilitation Sciences (Qingdao Municipal Hospital), Qingdao Shandong

³Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Qingdao Hospital of University of Health and Rehabilitation Sciences (Qingdao Municipal Hospital), Qingdao Shandong

Received: July 13, 2026; accepted: August 6, 2026; published: August 14, 2026

Abstract

Objective: To develop and validate a risk prediction model for hypertension in middle-aged and elderly Chinese patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and to provide a basis for early clinical screening and individualized intervention. **Methods:** Based on baseline data from the 2011 China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS), a total of 1763 COPD patients aged ≥ 45 years were included, with hypertension as the outcome variable. Independent risk factors were identified using univariate and multivariate logistic regression analyses, which were then used to construct the prediction model. The model's discrimination, calibration, and clinical utility were evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves, calibration curves, and decision curve analysis (DCA). External validation was performed in a separate cohort of 1000 COPD patients from Qingdao Hospital of Rehabilitation University. **Results:** The prevalence of hypertension among COPD patients was 47.70% (841/1763). Multivariate analysis revealed that age, weight, body mass index (BMI), triglyceride levels, uric acid levels, peak expiratory flow (PEF), history of coronary heart disease, and history of diabetes were significantly associated with hypertension comorbidity in COPD patients (all $P < 0.05$). The area under the ROC curve (AUC) for the modeling group was 0.690, and the calibration curve indicated good model fit. The AUC for the external validation group was 0.665. DCA indicated that both the modeling and validation groups provided clinical net benefit within specific threshold probability ranges. **Conclusion:** The prediction model demonstrated moderate discrimination (AUC ≈ 0.69) and may serve as an initial screening aid for risk assessment of hypertension in COPD patients. However, the model's predictive accuracy is modest, and its utility is constrained by the cross-sectional design and the limited set of candidate predictors. It is therefore not a substitute for comprehensive clinical judgment and should be considered exploratory in nature.

Keywords

Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Hypertension, Risk Prediction Model, Middle-Aged and Elderly Chinese Population

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

慢性阻塞性肺疾病(COPD)是一种以持续气流受限和气道慢性炎症为核心病理特征的呼吸系统疾病,具有进行性、不可逆性及急性加重反复发作的临床特点[1][2]。COPD 不仅导致肺功能进行性下降,而且可通过全身炎症扩散、氧化应激增强及血管内皮功能障碍等机制,累及肺外多器官系统[3]-[6]。流行病学调查显示, COPD 已成为全球范围内第三大死因[7]。在我国, 40 岁及以上人群患病率高达 13.7%, 且随年龄增长呈现显著上升趋势, 尤以中老年人群疾病负担最为沉重[8][9]。随着人口老龄化进程加快及环境

危险因素持续暴露, COPD 的患病率与疾病负担在未来数仍将居高不下, 已成为我国重大公共卫生问题之一[8]。

COPD 并非孤立存在的疾病, 而是常与多种慢性非传染性疾病形成复杂的共病关系[10]。大量研究表明, COPD 患者合并心血管疾病、骨质疏松、糖尿病、焦虑抑郁等共病的比例显著高于非 COPD 人群[11]。其中, 心血管共病尤为突出, 被认为是影响 COPD 患者预后乃至生存期的首要因素。高血压作为最常见的心血管共病之一, 在 COPD 人群中呈现出极高的共存率[12]。流行病学数据显示, COPD 患者合并高血压的比例高达 40%~60%, 远高于普通人群的相应水平[13]。两者共存的病理生理机制错综复杂: 一方面, COPD 相关的慢性系统性炎症、低氧血症及高碳酸血症可激活肾素-血管紧张素-醛固酮系统和交感神经系统[14], 促进血压升高; 另一方面, 高血压所介导的血管重塑与内皮功能障碍可能进一步加剧 COPD 患者的气道炎症与肺循环负荷[15][16]。这种双向恶性循环导致共病患者面临更高的急性加重频次、心血管事件发生风险及全因死亡率, 临床管理难度显著增加。

然而, 目前国内外针对 COPD 合并高血压的研究多聚焦于患病率调查或单一危险因素分析, 尚缺乏专门面向中国中老年 COPD 人群的高血压发病风险预测工具[17][18]。现有临床实践中, 多依赖通用心血管风险评估模型或经验性判断, 但这些模型主要基于普通人群或国外样本构建, 未能充分纳入 COPD 特有的疾病特征指标, 在 COPD 群体中预测准确性欠佳。因此, 构建专门针对中国中老年 COPD 人群合并高血压风险、具备良好区分度与校准度的预测模型并进行外部验证, 已成为优化慢病共病管理的迫切需求。基于此, 本研究拟利用真实世界临床数据, 系统分析中国中老年 COPD 患者合并高血压的独立危险因素, 综合运用 Logistic 回归、随机森林及列线图等方法构建并内部验证风险预测模型, 进一步通过外部数据验证模型的泛化能力, 旨在为临床提供一种简便、个体化的风险评估工具, 以指导早期识别高危人群、实施分层管理及制定整合式共病干预策略, 最终改善患者预后与生活质量。

2. 资料与方法

2.1. 数据来源

本研究所用数据来源于中国健康与养老追踪调查(China Health and Retirement Longitudinal Study, CHARLS)。CHARLS 是一项针对中国 45 岁及以上中老年人人群的全国性大型队列研究, 旨在系统收集该人群的社会、经济与健康状况等多维度信息, 其内容涵盖人口统计学特征、血液生化检测、体格检查及综合性健康评估等多个领域[19]。该队列基线调查于 2011 年 6 月至 2012 年 3 月进行, 采用多阶段概率抽样方法构建, 从中国 28 个省份的 150 个县级单位的 450 个社区中抽取具有全国代表性的样本[20]。此后, 研究每两年进行一次追踪随访, 目前已累计完成五个周期的全国性调查。与本分析相关的 CHARLS 数据已向学术界公开, 可通过其官方网站获取。

2.2. 研究对象

本研究使用了 2011 年的 CHARLS 调查数据。我们筛选出 COPD 患者共 1781 人, 排除了年龄在 45 岁以下或缺失年龄数据的患者。最后, 该队列由 1763 名年龄在 45 岁或以上患有 COPD 的参与者组成, 其中高血压病患者 841 人, 纳入危险因素分析以及风险模型构建。

2.3. 方法

(1) 数据收集: 本研究使用的 CHARLS 数据通过标准化流程收集, 主要包括面对面问卷访谈、体格检查与静脉血检测三部分。问卷调查是由经过统一培训的调查员, 采用计算机辅助面访系统入户进行。问卷内容涵盖人口统计学特征、自报健康状况与功能、经医生诊断的慢性病史, 以及吸烟、饮酒、体力

活动等健康相关行为。COPD 是根据 CHARLS 研究的自我报告定义的。训练有素的研究人员进行了面对面的访谈并进行了问卷调查以确认 COPD 病史，问题如下：“您是否被医生诊断出患有 COPD？”代码“0”表示参与者没有报告被医生诊断出患有 COPD，而代码“1”表示参与者报告被医生诊断出患有 COPD。体格测量是由调查员使用标准方法获取人体测量数据。血压测量采用标准程序：使用上臂式电子血压计，要求参与者静坐休息 5 分钟后，在其左臂连续测量三次血压，最终记录其收缩压与舒张压的平均值。同时，还规范测量了身高、体重等指标。血液采集与检测是为全面评估健康状况，由专业医务人员采集参与者的空腹静脉血样。所有血样均被冷链运输至中国疾病预防控制中心(北京)的实验室，进行统一的生化指标检测与分析。

(2) 统计学分析：在本研究中，选择的可能影响高血压病的各种潜在危险因素包括人口统计学变量：性别(男性、女性)、年龄、教育程度(文盲、中小学、高中及以上)、婚姻状况(已婚、单身)。健康状况：冠心病史、中风史、高脂血症、吸烟状况(从不、以前、现在)和饮酒状况。实验室数据：体重指数(BMI)(计算为体重/身高² (kg/m²))、甘油三酯(TG)、C 反应蛋白(CRP)、尿酸(UA)、肌酐(Cr)、胱抑素(Cys)、血小板(PLT)、高密度脂蛋白(HDL)、空腹血糖以及呼气峰值流量(PEF)。当 SBP 超过 140 mmHg 和/或 DBP 超过 90 mmHg 时，诊断为高血压病[21]。此外，自我报告的高血压病也被用于诊断。

采用 SPSS 27.0.1 和 R 4.4.2 进行统计学分析。统计显著性定义为 *P* 值低于 0.05 (双侧)。分类变量使用百分比和频率表示，而连续变量表示为中位数(四分位距)或均值 ± 标准差(SD)，组间差异比较采用卡方检验或 Fisher 精确检验。对分类变量使用 χ^2 ，组间比较使用 Mann-Whitney U 检验或 Kruskal-Wallis H 检验。将单因素有意义的变量纳入 logistic 回归模型，采用向前 LR 法分析 COPD 人群合并高血压相关的潜在危险因素并建立预测回归模型。通过受试者工作特征(ROC)曲线分析模型的判别能力，以曲线下面积(AUC)衡量预测准确性；采用校准曲线评估模型预测值与实际观察值的一致性；同时利用决策曲线分析(DCA)评估模型在不同风险阈值下的临床实用性；采用外部数据集进行验证，评估模型稳定性。

3. 结果

3.1. 基线特征

本研究共纳入 1763 例 COPD 患者，其中高血压病患者 841 例。高血压病患者中 60 岁及以上者 574 (68.25%)例，男性 462 (54.93%)例，女性 379 (45.07%)例。基线基本特征见表 1。

Table 1. Baseline characteristics of COPD patients with and without hypertension
表 1. COPD 患者合并高血压病基线特征分析

变量	总数(n = 1763)	非高血压组(n = 922)	高血压组(n = 841)	Z/ χ^2 值	<i>P</i> 值
年龄[岁, M (Q ₁ , Q ₃)]	62.00 (56.00, 70.00)	60.00 (54.00, 68.00)	64.00 (57.00, 72.00)	-7.12	<0.001
体重[kg, M (Q ₁ , Q ₃)]	55.60 (49.40, 62.52)	54.50 (48.30, 61.48)	56.76 (51.10, 63.90)	-5.17	<0.001
BMI [kg/m ² , M (Q ₁ , Q ₃)]	21.20 (18.50, 24.26)	21.08 (18.71, 23.77)	21.46 (18.27, 25.08)	-1.39	0.166
腰围[cm, M (Q ₁ , Q ₃)]	83.20 (77.20, 90.00)	81.80 (76.00, 87.59)	85.00 (79.43, 92.00)	-7.93	<0.001
甘油三酯 [mg/dL, M (Q ₁ , Q ₃)]	114.17 (75.37, 177.00)	106.64 (73.46, 166.38)	123.90 (81.42, 184.08)	-4.12	<0.001
总胆固醇 [mg/dL, M (Q ₁ , Q ₃)]	189.82 (163.53, 216.79)	189.05 (162.25, 214.95)	190.21 (165.25, 217.96)	-1.26	0.208
尿酸[mg/dL, M (Q ₁ , Q ₃)]	4.56 (3.74, 5.43)	4.39 (3.64, 5.22)	4.73 (3.86, 5.63)	-5.39	<0.001

续表

C 反应蛋白 [mg/dL, M (Q ₁ , Q ₃)]	2.16 (0.77, 7.44)	1.82 (0.69, 6.69)	2.64 (0.89, 7.92)	-3.92	<0.001
肌酐[mg/dL, M (Q ₁ , Q ₃)]	0.79 (0.68, 0.94)	0.78 (0.66, 0.90)	0.81 (0.69, 0.97)	-4.10	<0.001
胱抑素 [mg/dL, M (Q ₁ , Q ₃)]	1.04 (0.89, 1.23)	1.02 (0.87, 1.20)	1.06 (0.90, 1.25)	-3.49	<0.001
血小板计数 [×10 ⁹ , M (Q ₁ , Q ₃)]	207.00 (159.00, 259.00)	203.00 (156.00, 254.38)	208.00 (161.00, 263.00)	-2.06	0.040
白细胞计数 [×10 ⁹ , M (Q ₁ , Q ₃)]	6.30 (5.10, 7.80)	6.20 (5.10, 7.73)	6.42 (5.17, 7.92)	-1.64	0.102
平均红细胞体积 M (Q ₁ , Q ₃)	91.82 (86.90, 96.50)	91.72 (87.00, 96.74)	91.90 (86.85, 96.30)	-0.56	0.579
高密度脂蛋白 [mg/dL, M (Q ₁ , Q ₃)]	51.42 (41.37, 63.02)	52.96 (42.53, 63.82)	50.26 (40.59, 62.24)	-2.67	0.008
低密度脂蛋白 [mg/dL, M (Q ₁ , Q ₃)]	112.11 (90.46, 134.92)	112.05 (90.55, 134.88)	112.11 (90.26, 134.92)	-0.02	0.985
空腹血糖 [mg/dL, M (Q ₁ , Q ₃)]	104.58 (94.14, 124.00)	102.06 (91.98, 117.72)	107.82 (96.12, 131.27)	-6.12	<0.001
呼气峰流量 [L/min, M (Q ₁ , Q ₃)]	215.97 (150.50, 300.00)	229.02 (159.16, 311.46)	210.00 (150.00, 280.00)	-3.89	<0.001
年龄[例(%)]				37.42	<0.001
45~60 岁	691 (39.19)	424 (45.99)	267 (31.75)		
≥60 岁	1072 (60.81)	498 (54.01)	574 (68.25)		
性别[例(%)]				1.59	0.207
男	996 (56.49)	534 (57.92)	462 (54.93)		
女	767 (43.51)	388 (42.08)	379 (45.07)		
婚姻状况[例(%)]				25.02	<0.001
单身	299 (16.96)	117 (12.69)	182 (21.64)		
已婚	1464 (83.04)	805 (87.31)	659 (78.36)		
冠心病病史[例(%)]				29.46	<0.001
无	1333 (75.61)	746 (80.91)	587 (69.80)		
有	430 (24.39)	176 (19.09)	254 (30.20)		
中风病史[例(%)]				8.03	0.005
无	1709 (96.94)	904 (98.05)	805 (95.72)		
有	54 (3.06)	18 (1.95)	36 (4.28)		
糖尿病病史[例(%)]				49.06	<0.001
无	1469 (83.32)	823 (89.26)	646 (76.81)		
有	294 (16.68)	99 (10.74)	195 (23.19)		
高脂血症病史[例(%)]				14.27	<0.001
无	1050 (59.56)	588 (63.77)	462 (54.93)		

续表

有	713 (40.44)	334 (36.23)	379 (45.07)		
吸烟史[例(%)]				1.49	0.476
未吸烟	879 (49.86)	448 (48.59)	431 (51.25)		
已戒烟	288 (16.34)	151 (16.38)	137 (16.29)		
吸烟	596 (33.81)	323 (35.03)	273 (32.46)		
饮酒史[例(%)]				0.01	0.937
无	1207 (68.46)	632 (68.55)	575 (68.37)		
有	556 (31.54)	290 (31.45)	266 (31.63)		
BMI 水平[例(%)]				58.40	<0.001
偏瘦	194 (11.00)	123 (13.34)	71 (8.44)		
正常	846 (47.99)	493 (53.47)	353 (41.97)		
超重	336 (19.06)	161 (17.46)	175 (20.81)		
肥胖	387 (21.95)	145 (15.73)	242 (28.78)		

结果显示，COPD 患者是否合并高血压病，在年龄、婚姻、体重、腰围、甘油三酯、尿酸、C 反应蛋白、肌酐、胱抑素、血小板、PEF、HDL、有无冠心病史、有无中风史、有无糖尿病史、有无高脂血症、BMI 水平等方面具有明显统计学差异($P < 0.05$)。

3.2. 变量筛选及模型构建

共筛选出 8 个变量：年龄、体重、甘油三酯、尿酸、PEF、BMI 水平、有无冠心病史、有无糖尿病史，将筛选出的 8 个变量纳入构建 COPD 患者合并高血压病风险模型(见表 2)，得到风险筛查模型 $P = 1/[1 + \exp (-0.031 \times \text{年龄} - 0.245 \times \text{BMI 水平} - 0.467 \times \text{冠心病史} - 0.597 \times \text{糖尿病史} - 0.016 \times \text{体重} - 0.001 \times \text{甘油三酯} - 0.173 \times \text{尿酸} + 0.002 \times \text{PEF} + 4.266)]$ 。

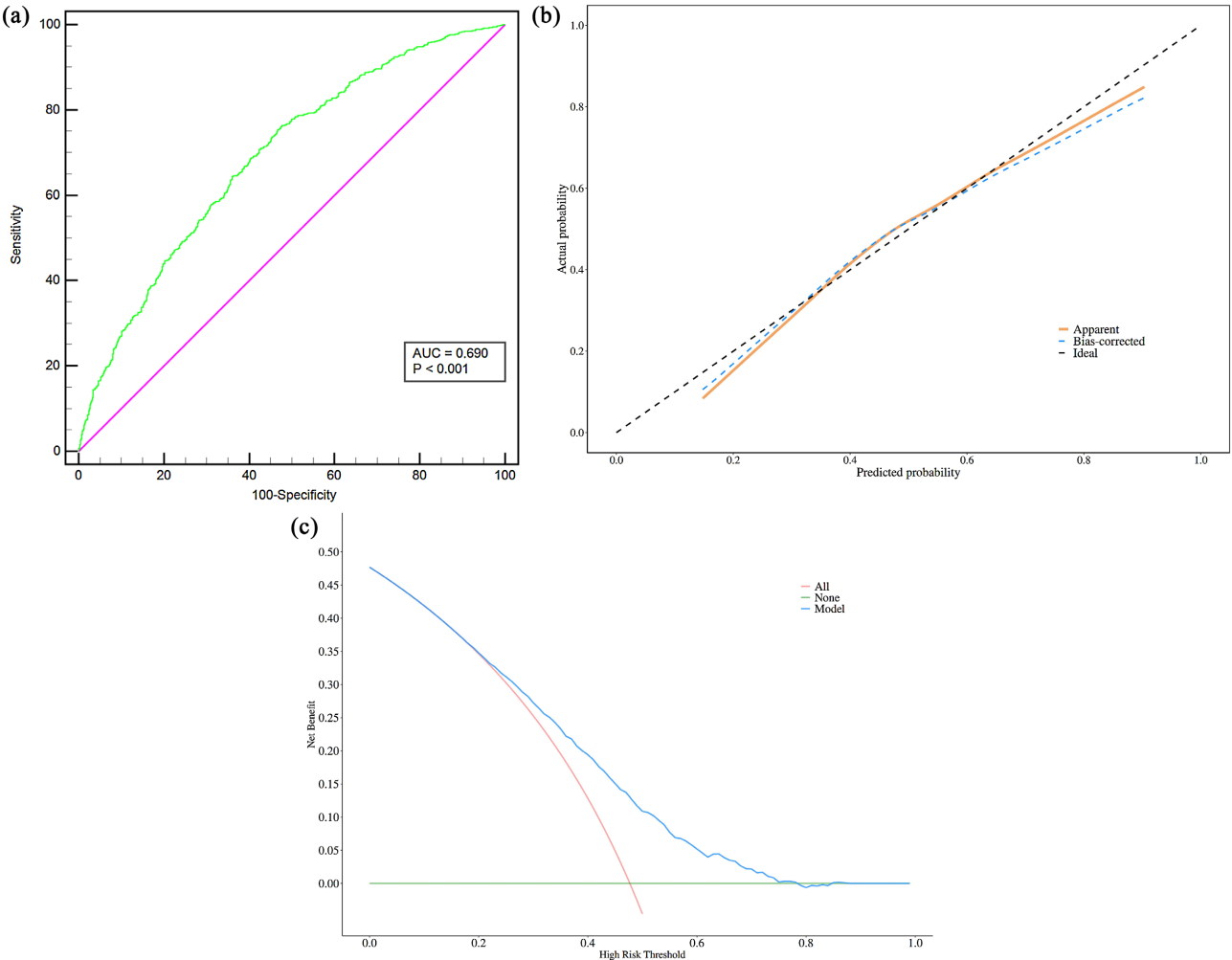
Table 2. Results of the risk prediction model for hypertension in patients with COPD

表 2. COPD 患者合并高血压病风险模型分析结果

变量	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	OR 值(95% CI)	P 值
年龄	0.031	0.06	29.156	1.031 (1.020~1.043)	<0.001
体重	0.016	0.006	6.558	1.016 (1.004~1.029)	0.010
尿酸	0.173	0.041	17.543	1.189 (1.096~1.289)	<0.001
呼气峰流速	-0.002	0.001	12.418	0.998 (0.997~0.999)	<0.001
甘油三酯	0.001	0.001	4.868	1.001 (1.000~1.002)	0.027
BMI 水平	0.245	0.065	14.318	1.277 (1.125~1.450)	<0.001
冠心病史	0.467	0.120	15.276	1.596 (1.262~2.017)	<0.001
糖尿病史	0.597	0.143	17.337	1.817 (1.372~2.406)	<0.001
常量	-4.266	0.539	62.555	0.014	<0.001

3.3. 风险模型效能及临床效度评价

ROC 曲线分析结果显示(图 1), 本研究构建的 COPD 患者合并高血压病风险预测模型具有一定的判别能力, 其 ROC 曲线下面积(AUC)为 0.690 ($P < 0.001$)。COPD 合并高血压病患者校准曲线结果显示(图 1), 模型预测概率与实际观察概率基本一致, 原始模型曲线(Apparent)及 Bootstrap 校正曲线(Bias-corrected)均接近理想线(Ideal), 这表明该模型具有良好的校准能力和稳定性。决策曲线分析(Decision Curve Analysis, DCA)结果显示(图 1), 在阈值概率约 0.05~0.75 范围内, 风险预测模型的净获益均高于“全部干预(Treat All)”和“无干预(Treat None)”策略, 提示该模型在临床决策中具有一定应用价值。



注: (a) ROC 曲线分析; (b) 校准曲线分析; (c) 决策曲线分析。

Figure 1. ROC curve, calibration curve, and decision curve analysis for hypertension in patients with COPD

图 1. COPD 患者合并高血压病 ROC、校准曲线及决策曲线分析

3.4. 外部验证

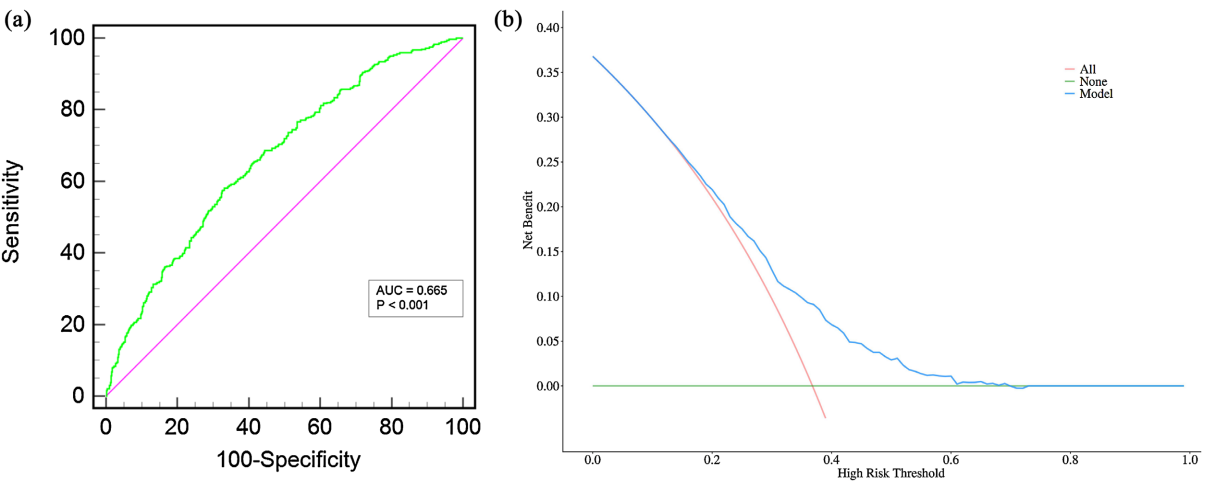
纳入了 2023 年于康复大学青岛医院(青岛市市立医院)就诊、经医生诊断的 COPD 患者 1000 例进行外部风险模型验证, 同时进行了判别能力及临床应用价值评估, 核心基线数据见表 3。在验证集中, COPD 合并高血压病预测模型的 AUC 为 0.665 ($P < 0.001$) (图 2), 表明该模型对 COPD 患者是否合并高血压具

有一定的区分能力，但整体预测效能处于中等水平。DCA 结果表明(图 2)，在阈值概率约 0.2~0.6 的范围内，预测模型的净获益均高于“全干预”和“不干预”策略，该模型具有较好的临床应用价值。

Table 3. Core baseline characteristics of the development and validation cohorts

表 3. 建模组与验证组核心基线数据特征

变量	建模组(n = 1763)	验证组(n = 1000)	Z/ χ^2 值	P 值
年龄[岁, M (Q ₁ , Q ₃)]	62.00 (56.00, 70.00)	64.50 (57.00, 72.00)	-4.49	<0.001
体重[kg, M (Q ₁ , Q ₃)]	55.60 (49.40, 62.52)	57.31 (50.80, 64.39)	-3.95	<0.001
甘油三酯[mg/dL, M (Q ₁ , Q ₃)]	114.17 (75.37, 177.00)	124.78 (84.07, 180.96)	-3.15	0.002
尿酸[mg/dL, M (Q ₁ , Q ₃)]	4.56 (3.74, 5.43)	4.95 (4.00, 6.00)	-7.07	<0.001
呼气峰流速[L/min, M (Q ₁ , Q ₃)]	215.97 (150.50, 300.00)	250.00 (174.43, 320.00)	-5.78	<0.001
冠心病病史[例(%)]			7.34	0.007
无	1333 (75.61)	709 (70.90)		
有	430 (24.39)	291 (29.10)		
糖尿病病史[例(%)]			57.27	<0.001
无	1469 (83.32)	711 (71.10)		
有	294 (16.68)	289 (28.90)		
BMI 水平[例(%)]			88.31	<0.001
偏瘦	194 (11.00)	89 (8.90)		
正常	846 (47.99)	503 (50.30)		
超重	336 (19.06)	305 (30.50)		
肥胖	387 (21.95)	103 (10.30)		



注：(a) ROC 曲线分析；(b) 决策曲线分析。

Figure 2. ROC curve and decision curve analysis in the validation cohort

图 2. 验证集 ROC 及决策曲线分析

4. 讨论

本研究基于 CHARLS 2011 年基线数据，对 1763 例 COPD 患者进行分析，旨在初步探讨 COPD 合并

高血压病相关危险因素,并在此基础上构建风险预测模型。研究显示,在 COPD 患者中,高血压病患病率为 47.70%,提示 COPD 患者存在较高的心血管代谢性共病负担,但该比例仅反映同期样本状况,受横断面设计影响,不能外推为总体患病率。多因素分析结果发现,多种代谢及炎症相关指标与 COPD 患者合并高血压病密切相关。

在 COPD 合并高血压病的危险因素中,年龄、BMI 水平、体重、甘油三酯、尿酸、冠心病史、糖尿病史及 PEF 是其独立危险因素。年龄作为不可改变的危险因素,随年龄增长,动脉壁退行性改变及长期炎症累积效应使血压调控能力下降,反映了血管老化与慢性炎症累积对血压的影响[22]。体重与 BMI 水平纳入模型,反映脂肪蓄积的核心作用,提示肥胖在 COPD 合并高血压病中的重要作用[23][24]。甘油三酯与尿酸作为代谢相关的预测因子[25][26],高甘油三酯血症诱导内皮功能障碍,加重内皮损失,从而促进高血压发生发展[27];尿酸作为代谢综合征的标志物,其升高常伴随胰岛素抵抗和内皮功能障碍,已被多项研究证实与高血压病独立相关[28]-[30]。此外,心血管病与糖尿病的共病状态通过加剧全身性炎症、直接损害肺功能、导致有害的脂肪分布以及制造治疗矛盾,多维度加重了 COPD 患者的代谢负担,形成了一个复杂的“代谢-COPD”临床综合征,提示多病共存时应采取综合性干预策略[31]-[33]。但需强调的是,上述关联均基于横断面数据,仅能提供相关性证据,不能推断因果关系。

从模型效能来看,COPD 合并高血压病模型的 AUC 为 0.690,提示其判别能力中等,区分效能有限,可能与高血压病的异质性较强、受多因素调控有关,同时与炎症因子(如 C 反应蛋白,已检测但未入模)、详细用药史、吸烟指数等关键变量未纳入有关。校准曲线与 DCA 结果进一步验证了模型在实际应用中具有一定的校准度与临床净收益,尤其是在 0.05~0.75 的阈值范围内,均优于传统“全干预”或“不干预”策略。但必须审慎指出,该净收益是基于内部验证的数学推算,不代表在实际临床场景中必然产生同等效益。在验证组中,COPD 合并高血压病模型的 AUC 为 0.665,DCA 结果同样展示出一定的临床净收益,但其稳定性和泛化能力仍需在更大样本、多中心的外部数据中接受检验。因此,现阶段该模型仅具有探索性的参考价值,远未达到临床推广应用的成熟度。

综上,此研究一方面分析中国中老年 COPD 患者合并高血压受年龄、代谢、肺功能及基础病史多因素共同影响,通过构建的风险模型,从临床管理角度,有助于初步筛查高危人群,实现早期干预,启动更为积极的生活方式干预及药物治疗,减轻共病负担,改善患者长期预后。另一方面存在许多局限性及不足,本研究外部验证是单中心数据,可能存在选择偏倚,回顾性横断面设计无法确立因果关系,未纳入炎症因子、动态血压参数、睡眠呼吸障碍指标及长期用药史等潜在预测因子,既往吸烟史及患者体力活动水平等混杂因素未纳入。结局变量未采用肺功能金标准(FEV1/FVC 比值及 FEV1%预计值)来定义 COPD 及其严重程度,影响了结局的客观性和模型的临床解释深度。上述局限意味着本研究的临床推论需极为审慎,现阶段不宜过度解读模型的临床意义。

5. 结论

本研究基于横断面数据初步构建了 COPD 合并高血压风险预测模型,包含年龄、体重、BMI、甘油三酯、尿酸、PEF、冠心病史及糖尿病史 8 个变量,建模组 AUC 为 0.690,外部验证 AUC 为 0.665,提示模型区分能力中等,效能有限,校准曲线显示模型拟合尚可,阈值概率 0.2~0.6 范围内具有一定的临床净获益。模型变量虽均为临床常规指标,操作相对简便,但必须明确指出:在当前阶段,本研究为横断面设计,模型预测效能有限,不能推断因果关系。同时结局变量未采用肺功能金标准(FEV1/FVC 比值及 FEV1%预计值)来定义 COPD 及其严重程度,且模型未纳入炎症因子(如 C 反应蛋白,已检测但未入模)、详细用药史、吸烟指数等关键变量。上述局限性使得该模型目前处于探索阶段,其预测的稳定性、准确性及泛化能力尚不明确,在经过多中心前瞻性验证之前,不能替代肺功能检测、动态血压监测及临床综

合评估的标准诊疗流程, 目前仅能为中老年 COPD 患者高血压风险初步筛查提供辅助。未来需基于多中心前瞻性数据, 以肺功能金标准重新定义结局, 并系统纳入炎症标记物、吸烟指数、详细用药史等变量, 同时尝试随机森林、梯度提升树(XGBoost)等机器学习算法与传统 Logistic 回归进行比较, 以探索能否切实提升模型效能。上述工作完成后, 仍需严格的外部验证, 方可审慎评估其转化为临床辅助工具的可行性。

声 明

该研究经北京大学生物医学伦理审查委员会的伦理批准(IRB00001052-11015)并获得所有受访者的知情同意。

参考文献

- [1] Hogg, J.C. (2004) Pathophysiology of Airflow Limitation in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *The Lancet*, **364**, 709-721. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(04\)16900-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(04)16900-6)
- [2] Hasegawa, M., Nasuhara, Y., Onodera, Y., Makita, H., Nagai, K., Fuke, S., *et al.* (2006) Airflow Limitation and Airway Dimensions in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **173**, 1309-1315. <https://doi.org/10.1164/rccm.200601-037oc>
- [3] Marcuccio, G., Candia, C., Maniscalco, M. and Ambrosino, P. (2025) Endothelial Dysfunction in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: An Update on Mechanisms, Assessment Tools and Treatment Strategies. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article ID: 1550716. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1550716>
- [4] Theodorakopoulou, M.P., Alexandrou, M.E., Bakaloudi, D.R., Pitsiou, G., Stanopoulos, I., Kontakiotis, T., *et al.* (2021) Endothelial Dysfunction in COPD: A Systematic Review and Meta-Analysis of Studies Using Different Functional Assessment Methods. *ERJ Open Research*, **7**, Article ID: 00983-2020. <https://doi.org/10.1183/23120541.00983-2020>
- [5] Brightling, C. and Greening, N. (2019) Airway Inflammation in COPD: Progress to Precision Medicine. *European Respiratory Journal*, **54**, Article ID: 1900651. <https://doi.org/10.1183/13993003.00651-2019>
- [6] Miklós, Z. and Horváth, I. (2023) The Role of Oxidative Stress and Antioxidants in Cardiovascular Comorbidities in COPD. *Antioxidants*, **12**, Article No. 1196. <https://doi.org/10.3390/antiox12061196>
- [7] de Oca, M.M., Perez-Padilla, R., Celli, B., Aaron, S.D., Wehrmeister, F.C., Amaral, A.F.S., *et al.* (2025) The Global Burden of COPD: Epidemiology and Effect of Prevention Strategies. *The Lancet Respiratory Medicine*, **13**, 709-724. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(24\)00339-4](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(24)00339-4)
- [8] Fang, L., Gao, P., Bao, H., Tang, X., Wang, B., Feng, Y., *et al.* (2018) Chronic Obstructive Pulmonary Disease in China: A Nationwide Prevalence Study. *The Lancet Respiratory Medicine*, **6**, 421-430. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(18\)30103-6](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(18)30103-6)
- [9] Luo, Y., Wang, F., Zeng, X., Tan, S., Xiang, L., Pang, S., *et al.* (2025) Prevalence of Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Adults Aged 40 Years and Older in China from 2014 to 2024: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Asia Pacific Journal of Public Health*, **37**, 467-481. <https://doi.org/10.1177/10105395251329194>
- [10] Kahnert, K., Jörres, R.A., Behr, J. and Welte, T. (2023) The Diagnosis and Treatment of COPD and Its Comorbidities. *Deutsches Ärzteblatt international*, **120**, 434-444. <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2023.0027>
- [11] Cazzola, M., Bettoncelli, G., Sessa, E., Cricelli, C. and Biscione, G. (2010) Prevalence of Comorbidities in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Respiration*, **80**, 112-119. <https://doi.org/10.1159/000281880>
- [12] Li, Y. and Qiu, H. (2025) Disease Network Analysis to Reveal Comorbidity Patterns in Hospitalized Patients with COPD Using Large-Scale Administrative Health Data. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 27082. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12580-9>
- [13] Santos, N.C.d., Miravittles, M., Camelier, A.A., Almeida, V.D.C.d., Maciel, R.R.B.T. and Camelier, F.W.R. (2022) Prevalence and Impact of Comorbidities in Individuals with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review. *Tuberculosis and Respiratory Diseases*, **85**, 205-220. <https://doi.org/10.4046/trd.2021.0179>
- [14] Hemlin, M., Ljungman, S., Carlson, J., Maljukanovic, S., Mobini, R., Bech-Hanssen, O., *et al.* (2007) The Effects of Hypoxia and Hypercapnia on Renal and Heart Function, Haemodynamics and Plasma Hormone Levels in Stable COPD Patients. *The Clinical Respiratory Journal*, **1**, 80-90. <https://doi.org/10.1111/j.1752-699x.2007.00031.x>
- [15] Karnati, S., Seimetz, M., Kleefeldt, F., Sonawane, A., Madhusudhan, T., Bachhuka, A., *et al.* (2021) Chronic Obstructive Pulmonary Disease and the Cardiovascular System: Vascular Repair and Regeneration as a Therapeutic Target. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **8**, Article ID: 649512. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.649512>
- [16] Huang, H. and Yang, L. (2023) Research Progress of Inflammatory Factors in Chronic Obstructive Pulmonary Disease

- with Pulmonary Hypertension at High Altitude. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, **29**, 689-693.
- [17] Chen, Z., Li, H., Cai, Y., Chen, X., Zhou, D., Su, Y., *et al.* (2026) Development and Validation of a Nomogram Prediction Model for Cardiovascular Comorbidities in COPD Patients Based on Hypertension. *Frontiers in Medicine*, **13**, Article ID: 1766827. <https://doi.org/10.3389/fmed.2026.1766827>
- [18] Zbitnieva, V.O., Buriachkivskiy, S.E., Voloshyna, O.B., Balashova, I.V. and Voloshyn, A.A. (2026) Cardiovascular Risk in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Elevated Blood Pressure and Arterial Hypertension. *Clinical and Preventive Medicine*, No. 1, 168-177. <https://doi.org/10.31612/2616-4868.1.2026.20>
- [19] Zhao, Y., Hu, Y., Smith, J.P., Strauss, J. and Yang, G. (2014) Cohort Profile: The China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS). *International Journal of Epidemiology*, **43**, 61-68. <https://doi.org/10.1093/ije/dys203>
- [20] Chen, A., Fu, C., Chen, H., Peng, W., Ou, Y., Guo, Q., *et al.* (2025) A Positive Relationship Exists between the Triglyceride to Glucose Index and Waist-to-Hip Ratio with Stroke Risk in Middle-Aged and Older Chinese. *eNeuro*, **12**, ENEURO.0264-25.2025. <https://doi.org/10.1523/eneuro.0264-25.2025>
- [21] Bagherikhohlenjani, F., Shahidi, S., Khosravi, A., Mansouri, A., Ashoorion, V. and Sarrafzadegan, N. (2024) Update of the Clinical Guideline for Hypertension Diagnosis and Treatment in Iran. *Clinical Hypertension*, **30**, Article No. 13. <https://doi.org/10.1186/s40885-024-00269-6>
- [22] Guzik, T.J. and Touyz, R.M. (2017) Oxidative Stress, Inflammation, and Vascular Aging in Hypertension. *Hypertension*, **70**, 660-667. <https://doi.org/10.1161/hypertensionaha.117.07802>
- [23] Roy, R., Gautam, A.K., Singh, N.P. and Kumar, A. (2022) Metabolic Syndrome and Its Correlates among Female Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients at a Rural Tertiary Health Care Center in Northern India. *Cureus*, **14**, e28611. <https://doi.org/10.7759/cureus.28611>
- [24] Nicholson, J.M., Orsso, C.E., Nourouzpour, S., Elangeswaran, B., Chohan, K., Orchanian-Cheff, A., *et al.* (2022) Computed Tomography-Based Body Composition Measures in COPD and Their Association with Clinical Outcomes: A Systematic Review. *Chronic Respiratory Disease*, **19**, 1-18. <https://doi.org/10.1177/14799731221133387>
- [25] Quek, A.M.L., Teng, O., Park, J., Goh, J., Tan, T.Z., Er, B.G.C., *et al.* (2025) Elevated Uric Acid and Impaired Triglyceride Metabolism Predict Mortality in Women after Ischemic Stroke. *Free Radical Biology and Medicine*, **238**, 542-549. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2025.07.015>
- [26] Wu, Z., Cheng, C., Sun, X., Wang, J., Guo, D., Chen, S., *et al.* (2023) The Synergistic Effect of the Triglyceride-Glucose Index and Serum Uric Acid on the Prediction of Major Adverse Cardiovascular Events after Coronary Artery Bypass Grafting: A Multicenter Retrospective Cohort Study. *Cardiovascular Diabetology*, **22**, Article No. 103. <https://doi.org/10.1186/s12933-023-01838-z>
- [27] Cacanyiova, S., Golas, S., Zemancikova, A., Majzunova, M., Cebova, M., Malinska, H., *et al.* (2021) The Vasoactive Role of Perivascular Adipose Tissue and the Sulfide Signaling Pathway in a Nonobese Model of Metabolic Syndrome. *Biomolecules*, **11**, Article No. 108. <https://doi.org/10.3390/biom11010108>
- [28] Ali, N. (2026) Multi-Omics Insights into Uric Acid Metabolism: From Genetics to Epigenetics, Transcriptomics, and Metabolomics in Cardiometabolic Disease. *Biomedical Journal*, **49**, Article ID: 100997. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2026.100997>
- [29] Chrysant, S.G. (2023) Association of Hyperuricemia with Cardiovascular Diseases: Current Evidence. *Hospital Practice*, **51**, 54-63. <https://doi.org/10.1080/21548331.2023.2173413>
- [30] Soltani, Z., Rasheed, K., Kapusta, D.R. and Reisin, E. (2013) Potential Role of Uric Acid in Metabolic Syndrome, Hypertension, Kidney Injury, and Cardiovascular Diseases: Is It Time for Reappraisal? *Current Hypertension Reports*, **15**, 175-181. <https://doi.org/10.1007/s11906-013-0344-5>
- [31] Bolton, C.E., Evans, M., Ionescu, A.A., Edwards, S.M., Morris, R.H.K., Dunseath, G., *et al.* (2007) Insulin Resistance and Inflammation—A Further Systemic Complication of COPD. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, **4**, 121-126. <https://doi.org/10.1080/15412550701341053>
- [32] Magnussen, H. and Watz, H. (2009) Systemic Inflammation in Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Asthma: Relation with Comorbidities. *Proceedings of the American Thoracic Society*, **6**, 648-651. <https://doi.org/10.1513/pats.200906-053dp>
- [33] Chen, W., Thomas, J., Sadatsafavi, M. and FitzGerald, J.M. (2015) Risk of Cardiovascular Comorbidity in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Lancet Respiratory Medicine*, **3**, 631-639. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(15\)00241-6](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(15)00241-6)