

本文引用: 韩聪聪, 谢依热·木拉提, 邱欣雨, 等. 冠心病预后风险模型研究进展[J]. 中国动脉硬化杂志, 2026, 34(2): 163-170. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2026.02.009.

[文章编号] 1007-3949(2026)34-02-0163-08

· 文献综述 ·

冠心病预后风险模型研究进展

韩聪聪¹, 谢依热·木拉提², 邱欣雨², 赵倩²

1. 新疆医科大学公共卫生学院, 新疆乌鲁木齐市 830011; 2. 新疆医科大学心血管病中心, 新疆乌鲁木齐市 830054

[摘要] 冠心病(CHD)是全球范围内严重威胁人类健康的重大公共卫生问题。尽管治疗手段的进一步提高改善了部分患者的预后,但院内死亡率改善有限,不同地区和医疗机构间的治疗差异依然存在。精准的风险预测模型对医护人员识别高危人群、制定个性化干预策略和改善预后至关重要。近30年来,国内外已相继开发了十余个冠心病预后风险预测模型,这些模型在适用人群、预测结局、预测因子的选择以及预后随访时间上存在显著差异,对临床应用提出了不同的限制和要求。为此,本文系统性综述了国内外冠心病预后风险预测模型,深入分析其在算法设计、数据处理及临床应用中的特点,并重点探讨数据整合方法的优化、模型可解释性的提升及跨人群验证策略的改进,旨在为冠心病精准防治提供科学依据,为临床决策和公共健康管理提供有力支持,同时为基于多模态数据的医学模型开发提供重要参考和指导。

[关键词] 冠心病; 风险预测模型; 疾病预后; 主要不良心血管事件

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

Research progress on prognostic risk models for coronary heart disease

HAN Congcong¹, XIEYIRE·Mulati², QIU Xinyu², ZHAO Qian²

1. School of Public Health, Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Center for Cardiovascular Disease, Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830054, China

[ABSTRACT] Coronary heart disease (CHD) is a major global public health issue that poses a serious threat to human health. Despite advances in treatment improving the prognosis for some patients, hospital mortality rates remain largely unchanged, and significant disparities in treatment outcomes persist across regions and medical institutions. Accurate risk prediction models play a critical role in identifying high-risk populations, formulating personalized intervention strategies, and improving patient outcomes. Over the past 30 years, more than a dozen CHD prognosis prediction models have been developed worldwide. These models differ significantly in terms of target populations, predicted outcomes, selected predictors, and follow-up durations, posing various limitations and requirements for clinical application. This article systematically reviews CHD prognosis prediction models developed globally, analyzes their characteristics in terms of algorithm design, data processing, and clinical application. It also focuses on optimizing data integration methods, enhancing model interpretability, and improving cross-population validation strategies. The aim is to provide a scientific basis for precise prevention and management of CHD, offer robust support for clinical decision-making and public health management, and serve as a valuable reference for the development of medical models driven by multi-modal data.

[KEY WORDS] coronary heart disease; risk prediction model; disease prognosis; major adverse cardiovascular events

冠心病(coronary heart disease, CHD)属缺血性心脏病,是心血管系统中常见疾病,已成为全球范围内重大公共卫生问题,对人类健康构成了严重威胁。根据2021年全球疾病负担数据,缺血性心脏病

是全球疾病负担的第二大原因,并位列全球死亡原因的第三^[1];据《中国心血管健康与疾病报告2023》要点解读,我国冠心病患者总数位列心血管疾病的第二位^[2]。过去三十年间,我国因冠心病所致的伤

[收稿日期] 2025-01-10

[修回日期] 2025-03-11

[基金项目] 新疆维吾尔自治区重点研发项目(2022B03022-1);新疆医科大学青年科技拔尖人才项目(XYD2024Q06)

[作者简介] 韩聪聪,硕士研究生,研究方向为代谢性心血管病,E-mail:2713385967@qq.com。通信作者赵倩,博士,副主任医师,硕士研究生导师,研究方向为心血管疾病临床研究,E-mail:tina0627@126.com。

残调整寿命年(disability-adjusted life year, DALY)增幅显著高于全球 DALY 增幅^[3]。冠心病不仅对健康构成重大威胁,也带来了沉重的负担。据估算,中国大陆冠心病患者的住院费用中位数、单次住院的总体平均费用和平均住院时间均高于发达国家^[4]。

尽管在过去的二十年里,冠心病的治疗取得了显著进步,患者的预后有所改善。但由于其复杂的病因及多种危险因素的交互作用,总体预后仍不理想。中国 PEACE 研究显示,我国急性心肌梗死患者接受直接经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)的比例显著上升,但院内死亡率在过去十年间并未明显改善^[5]。此外,中国急性心肌梗死注册登记研究进一步指出,不同级别医院的院内死亡率差异依然存在^[6],表明医疗资源分布不均和救治水平差异对冠心病患者的院内预后产生重要影响。冠心病的复杂性使患者虽接受标准化治疗,但预后的精准预测和有效改善仍具挑战。因此,开发科学有效的预后风险模型对于提高冠心病患者的生存率和生活质量至关重要。目前,国内外学者正在开发并验证不同风险预测模型,但因终点定义和预测因子选择差异,限制了模型的普适性和可靠性。高效可靠的预测模型不仅可以指导健康行为,为医务人员提供依据,还可以帮助制定个性化预防与治疗策略。基于此,本研究系统地综述现有冠心病预后风险预测模型,深入分析其局限性,旨在为医护人员选择适合的预测模型提供科学指导,助力冠心病的精准防治,同时为其他领域的模型开发提供宝贵的参考和借鉴。

1 国内外主要的冠心病预后风险模型

在 PubMed 中使用“Acute Coronary Syndrome”[MeSH Terms] AND “risk”[Title/Abstract] OR “predict”[Title/Abstract] OR “prognosis”[Title/Abstract]作为检索词,在中国知网、万方数据知识服务平台以“冠心病”“预测模型”“风险预测”等关键词进行检索。检索时间为2000年1月1日—2024年5月31日。共检索到10 087篇相关文献,根据排除标准进行筛选:①非预测模型研究;②会议论文或非正式发表;③无法获取原文;④书籍和述评。并且手动检索纳入部分文献的参考文献作为补充。其中有75篇文献进行全文筛选,最终纳入本文共29篇文章。

本研究主要结局事件包括:①短期预后:1年及

以内发生的主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular event, MACE),包括心源性死亡、非致死性心肌梗死、脑卒中、心力衰竭相关再入院、因心绞痛再入院和靶血管重建术;②长期预后:随访1年以上发生的MACE。

1.1 国外模型概述

目前,国外已开展了数十项关于冠心病预后风险预测模型的研究,这些研究主要集中在欧美等发达国家,多基于大规模、多中心人群队列研究或临床试验。这些研究样本量从613例到420 781例不等。研究对象的调查时间集中在20世纪末至21世纪初,其中美国建立的跑步机运动评分(treadmill exercise score, TES)是时间最早的模型之一^[7]。在这些研究中,Wenzl等人^[8]构建的模型使用了目前最大规模的样本量(表1)。

Fox等人^[9]基于14个国家/地区的43 810名患者构建全球急性冠脉综合征注册研究(global registry of acute coronary events, GRACE)模型,用于预测急性冠脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)患者6个月内累计死亡或心肌梗死的风险。美国心脏协会和美国心脏病学会在2014年发布的非ST段抬高型急性冠脉综合征(non-ST segment elevation acute coronary syndrome, NSTEMI-ACS)管理指南以及中国《非ST段抬高型急性冠状动脉综合征诊断和治疗指南(2016)》均推荐GRACE作为NSTEMI-ACS患者风险分层的工具,为临床决策提供支持^[10-11]。GRACE评分的优势在于全面性和准确性,其可靠性在全球范围内得到验证^[12]。然而,由于该评分需要考虑多个变量,计算过程较复杂,可能对临床使用带来一定挑战。

Morrow等人^[13]基于全球800多家医院的患者建立心肌梗死溶栓治疗试验(thrombolysis in myocardial infarction, TIMI)危险评分,用于预测符合溶栓条件的患者临床风险。该评分能够评估ACS患者不良事件的风险及其预后。TIMI评分被《2015年ESC NSTEMI-ACS管理指南》和《中国NSTEMI-ACS诊断和治疗指南(2016)》推荐为缺血危险评分工具,同时也是《急性STEMI溶栓治疗的合理用药指南》推荐的早期危险分层工具^[14]。TIMI评分因其简便性广泛应用于临床实践,但其准确性不及GRACE评分,尤其在评估长期预后方面稍显不足。

CRUSADE出血风险评分和急性导管插入与紧急干预分流策略(acute catheterization and urgent intervention triage strategy, ACUTITY)评分都是用于评估ACS患者的出血风险。CRUSADE评分适用于冠

状动脉造影患者,用于评估抗凝治疗期间的出血风险,在非冠状动脉造影患者中适用性低。ACUITY

评分与 CRUSADE 评分类似,但其适用性可能会受到医生主观判断和患者个体差异的影响。

表 1. 国际用于构建冠心病风险预测模型的主要人群队列

Table 1. Main international population cohorts used in the development of coronary heart disease risk prediction models

文献	人群来源	抽样方式	基线调查时间	年龄/岁	基线样本量/例	参与构建的模型
Mark 等人 ^[7]	杜克大学医学中心	随机抽样	1983—1985 年	未限制	613	TES
Antman 等人 ^[15]	北美、南美和欧洲 10 个国家/地区 200 个中心	随机抽样	1994 年 10 月—1998 年 3 月	≥65	3 910	TIMI 11B
Newby 等人 ^[16]	北美和欧洲等国家/地区医院	随机抽样	1995—1997 年	20~90	41 021	GUSTO-III
Boersma 等人 ^[17]	西欧和东欧及北美和南美 28 个国家/地区 726 家医院	随机抽样	1995 年 1 月—1997 年 6 月	21~90	9 461	PURSUIT
Sekhri 等人 ^[18]	英国 6 家医院	非概率抽样	1996 年 1 月—2002 年 12 月	≥18	10 634	Bruce Protocol
Morrow 等人 ^[13]	全球 800 多家医院	非概率抽样	1997 年 7 月—1998 年 11 月	≥18	15 078	TIMI
Fox 等人 ^[19]	英国和比利时中心	非概率抽样	1998—1999 年	≥18	3 721	GRACE UK-Belgian Study
Wiviott 等人 ^[20]	美国多个中心	非概率抽样	1998—2002 年	≥65	153 486	TIMI-NRMI
Fox 等人 ^[9]	欧洲、北美、南美、澳大利亚等 14 个国家/地区 94 家医院	非概率抽样	1999 年 4 月—2005 年 9 月	≥18	43 810	GRACE
Mehran 等人 ^[21]	全球多家医院	随机抽样	2003 年 8 月—2005 年 12 月	≥18	17 421	ACUITY/HORIZONS-AMI
Wenzl 等人 ^[8]	英国、瑞士医院	非概率抽样	2005 年 1 月—2020 年 8 月	≥18	420 781	GRACE 3.0
Takahashi 等人 ^[22]	北美和欧洲 18 个国家/地区 85 家医院	随机抽样	2005 年 3 月—2007 年 4 月	≥18	1 500	SYNTAX2020
Palmerini 等人 ^[23]	欧洲和美国等 17 个国家/地区医院	随机抽样	2005 年 3 月—2007 年 4 月	≥18	1 056	SYNTAX
Varenhorst 等人 ^[24]	瑞典所有医院	非概率抽样	2006 年 1 月—2010 年 7 月	未限制	56 440	SWEDHEART
Schiele 等人 ^[25]	法国东部地区 10 个心脏病中心	非概率抽样	2006 年 6 月—2007 年 12 月	≥18	1 901	GRACE-CRP
Yeh 等人 ^[26]	中国、意大利、英国等 58 家中心	随机抽样	2009 年 8 月—2014 年 5 月	≥18	11 648	PRECISE-DAPT
Moledina 等人 ^[27]	英格兰、威尔士和北爱尔兰医院	非概率抽样	2010 年 1 月—2017 年 3 月	≥18	369 435	GRACE 2.0
Ostadal 等人 ^[28]	57 个国家/地区 1 315 家医院和门诊	随机抽样	2012 年 11 月—2017 年 2 月	≥40	18 924	ODYSSEY OUTCOMES

冠心病短期和长期预后风险预测模型在研究设计、结局定义、预测因子和模型表现等方面各有特点。短期结局模型主要基于多中心、前瞻性队列或临床试验数据,样本量差异显著。例如 Mark 等人^[7]在开发的 TES 模型仅纳入 613 例患者,而 Wenzl 等人^[8]在开发 GRACE 3.0 模型时纳入了 420 781 例患者(表 2)。此外,不同模型的结局事件发生率也存在显著差异。短期结局模型的研究结局多样化,包括单一结局(如死亡)或复合结局(如再入院及死亡)。预测因子则涵盖了社会人口学特征、人体测量指标、冠心病相关疾病史、实验室检测结果、辅助

检查以及药物使用情况等多个方面。模型的区分度范围在 0.65~0.91 之间。相比之下,长期结局模型主要关注一年以上的死亡或不良心血管事件,区分度范围与短期模型相似(0.64~0.857)(表 3)。值得注意的是,传统回归方法曾是早期模型构建的主流,但随着多源数据和机器学习技术的发展,越来越多的研究表明,结合机器学习方法的模型在处理复杂变量关系和提高预测能力方面优于单一来源数据及传统回归模型,这为未来冠心病风险预测模型的优化提供了新的方向^[29]。

表 2. 国际冠心病短期预后风险预测模型

Table 2. International short-term prognostic risk prediction model for coronary heart disease

模型	建立年份	国家/地区	数据来源	建模方法	结局事件	事件发生百分率	区分度
TIMI	2000	国际	InTIME II 试验	Logistic	30 天全因死亡	6.7%	测试集:0.779; 验证集:0.746
TIMI 11B	2000	国际	(TIMI)11B 试验	Logistic	14 天复合终点(全因死亡、新发或复发性心肌梗死或严重复发性缺血)	16.7%	0.65
PURSUIT	2000	欧洲、 美洲	PURSUIT 试验	Logistic	①主要结局:30 天死亡; ②次要结局:30 天死亡或非致死性心肌梗死	3.6%/11.4%	0.81/0.67
GUSTO-III	2002	欧洲	GUSTO-III 试验	Logistic	30 天复合终点(院内死亡、再梗死和卒中)	7.4%	0.839
TIMI-NRMI	2004	美国	NRMI 队列	Logistic	30 天院内全因死亡	12.3%	0.71
GRACE	2006	国际	前瞻性队列	Cox	①6 个月全因死亡;②入院或出院 6 个月死亡或非致命性心肌梗死	9.1%/15.8%	测试集:0.82/0.70; 前瞻性验证:0.81/0.73
ACUITY/HORIZONS-AMI	2010	美国	ACUITY、HORIZONS-AMI 试验	Logistic	30 天非冠状动脉旁路移植术相关大出血	7.3%	0.74
GRACE-CRP	2010	法国	Registre Franc Comtois des Syndromes Coronariens Aigus 登记处	Logistic	30 天全因死亡	17.7%	0.823
SWEDEHEART	2013	瑞典	前瞻性队列	Cox	3 个月复合终点(全因死亡、脑卒中或再梗死)	4.5%	0.7
SYNTAX	2014	美国	多中心前瞻性队列	Cox	1 个月至 1 年期间 MACE 的风险	10.4%	0.81
Grace 2.0	2022	英国	前瞻性队列	Logistic	6 个月院内全因死亡	5%	0.87
GRACE 3.0	2022	英国、 瑞士	前瞻性队列	机器学习方法	住院期间全因死亡	3.9%/5.8% (英国男性/女性); 3.7%/5.2% (瑞士男性/女性)	训练集(男/女):0.91/0.87。 验证集:①内部验证集(男/女)为 0.88/0.84; ②外部验证集(男/女)为 0.91/0.87

表 3. 国际冠心病长期预后风险预测模型

Table 3. International long-term prognostic risk prediction model for coronary heart disease

模型	建立年份	国家/地区	数据来源	建模方法	结局事件	事件发生百分率	区分度
TES	1991	美国	前瞻性队列	Cox、 Logistic	4 年全因死亡	0.25%	Cox:0.857; Logistic:0.748
Bruce Protocol	2008	英国	英格兰 6 家医院的快速胸痛门诊	Cox	中位随访 2.46 年复合终点(冠心病或非致命性 ACS 导致的死亡)	7.2% (据运动心电图结果)/ 7.7% (详细的心电图子集)	0.74 (汇总)/0.78 (详细)
GRACE UK-Belgian Study	2010	英国、 比利时	前瞻性队列	Cox	中位随访 5 年结局事件: ①全因死亡;②心血管死亡;③心肌梗死	19.8%/13%/ 9.3%	0.77/0.75/0.70
PRECISE-DAPT	2016	欧洲	DAPT 队列	Cox	PCI 术后 12 ~ 30 个月缺血事件(心肌梗死或支架内血栓形成的复合终点)和出血事件(中度或重度出血)	建模队列:3% (缺血事件)/1.8% (出血事件); 验证队列:1% (缺血事件)/0.5% (出血事件)	建模队列:0.7/0.68; 验证队列:0.64/0.64
SYNTAX2020	2020	欧美	SYNTAXE	Cox	①10 年全因死亡;②5 年 MACE	25.6% (10 年全因死亡)/18.1% (5 年 MACE)	0.73/0.65
ODYSSEY OUTCOMES	2022	国际	ODYSSEY OUTCOMES	Logistic	中位随访 2.8 年 MACE 发生率	3.82%	0.77

1.2 国内模型概述

我国冠心病预后风险模型的构建集中在近十年。现有模型多基于单中心前瞻性队列研究,病例数介于 100~5 000 例之间。随着技术的进步,国内建立风险预测模型的统计方法逐步从传统的多因素回归模型扩展到多种机器学习方法,这为提高预测的精准性和模型的适用性提供更多可能性。

关于短期预后风险预测模型研究,2021 年宋等人^[30]以 226 例接受 PCI 治疗的患者为研究对象,采用 LASSO-Logistic 模型构建列线图预测模型。模型纳入年龄、消化道病史、慢性肾功能不全、使用血管闭合器、球囊扩张次数、支架术后抗血小板药物停药模式评分、支架术后双重抗血小板治疗患者出血并发症预测。结果显示,PCI 术后 1 年出血发生率为 11.95%,预测模型曲线下面积 0.959,证明其良好的校准能力。2023 年,贾等人^[31]选取 182 例高血压合并冠心病患者作为研究对象,构建 PCI 术后 1 年支架内再狭窄风险预测模型。模型纳入糖尿病、吸烟、支架直径 ≤ 3 mm、高尿酸、高敏 C 反应蛋白、血清淀粉样蛋白 A、脂蛋白等因素,结果显示,该模型的 C 统计量为 0.864,模型具有较优的预测能力。

关于长期预后风险预测模型研究,2023 年张等人^[32]选取 PCI 术后 139 例冠心病患者为研究对象,通过 Logistic 模型构建列线图预测模型,纳入年龄、双联抗血小板、D-二聚体水平和低密度脂蛋白胆固醇作为预测因子,在平均 1.5 年的随访中,74.1% 的患者发生结局事件,ROC 曲线下面积 0.762。同年 9 月,徐等人^[33]在 302 例年龄小于 60 岁的中青年冠心病患者中,通过 Logistic 回归模型构建了 5 年内再入院风险预测模型。模型纳入了冠状动脉病变血管数目、PCI 手术史和空腹血糖水平作为预测因子,ROC 曲线下面积达到 0.888,表明该模型具有较高的准确性。

2 现有冠心病风险预测模型的局限性

2.1 模型的适用性和简便性

开发有效的预测模型需平衡准确性与复杂性。Morrow 等人^[13]在建立 TIMI 评分时指出,提高模型判别能力往往伴随着泛化性能的下降和复杂性的增加,这降低了模型的临床适用性。虽然基于多变量分析的完整回归方程能提供更高的预测区分指数,但其复杂性难以满足临床实践的需求;相较之下,简化模型易于推广,但预测能力会受到影响。

Schiele 等人^[25]通过将高敏 C 反应蛋白纳入 GRACE 评分,使模型的区分度从 0.795 提升至 0.823。然而,高敏 C 反应蛋白检测的技术要求和额外成本对模型的基层应用造成了限制。Qin 等人^[34]将多基因评分与临床危险因素相结合,区分度由 0.63 提升到 0.76,但是,多基因评分的应用依赖大规模全基因组测序数据且基因检测与分析的成本高,导致其在基层医疗场景中的可及性和实用性不足。为了兼顾模型的实用性和推广性,解决预测模型在不同地区、不同场景和不同人群中的适用性问题,2019 年世界卫生组织在建立心血管疾病风险预测模型时,采用了灵活的建模策略,包括实验室版和非实验室版模型。这种设计能够在有或没有实验室检测数据的情况下,提供更广泛的应用场景和适用性^[35]。但是该模型目前并没有在冠心病的预测模型中得到应用。

我国的医疗水平存在显著的分层差异,不同级别医疗机构的院内死亡率存在明显差距^[36]。构建简单可靠的预测模型对实现标准化管理和有效随访至关重要。一种可行的方法是采用分层预测和管理策略:基层医疗机构推广简化版模型筛查高危人群,三级医院推广全面模型确保指标测量准确性。这种分层策略不仅能够适应不同级别医疗机构的资源和技术水平,还能在提升预测模型临床适用性的同时,优化患者的分级诊疗流程和预后管理效果。这种灵活而精细化的方案将有助于实现医疗资源的合理配置,提高冠心病风险预测的整体效能。

2.2 预测因子的选择与加权因子的引用

据纳入的冠心病风险预测模型可知,现在冠心病风险预测模型所纳入的预测因子主要包括患者的人口学信息、人体学测量数据信息、相关疾病史信息、实验室检测指标信息及用药信息等,冠心病预后风险模型所纳入的预测因子数从几个到十几个不等,其中年龄、性别、收缩压、高血压、糖尿病等是常采用的预测因子。模型中预测因子并非越多越好,过多易致过拟合,且若纳入不易获得的变量会限制模型推广。预测因子信息越容易获取、便于测量,模型可推广性和简便性就越好;预测因子纳入模型的取值区间越宽,模型提供的预测信息越丰富^[37]。

一些新危险因素正成为评估和治疗冠心病的重要依据,在预测模型中加入新的生物学标志物能加强预测模型的预测价值^[38]。但是一些预测因子难以获得或者获取成本较高,从而会降低模型的实

用性和推广性。

Antman 等人^[15]表明为预测变量引入加权因子或扩展变量列表可能会提升模型的统计预测性能,但会降低简便性。增加加权因子可提高模型区分能力,扩展变量列表可增强预测精度,但会使模型更复杂,增加计算和解释难度,降低实际应用的可行性和易用性。因此,追求更高预测性能的同时,必须权衡模型的复杂性和简便性,确保其在实际应用中仍然具有可操作性和实用性。

2.3 缺失数据的处理

TRIPOD 声明指出,预测模型研究应详细报告数据缺失的情况及其处理方法,包括明确列出插补的变量和插补次数。相比单一插补方法,多重插补法更为推荐,因为其能够更好地保留缺失数据的随机性,减少潜在偏倚,从而显著提升预测模型的准确性和可靠性。然而,我们发现本文汇总的研究中,对于缺失数据处理的报告比例不足 40%。缺失数据可能导致模型无法全面捕捉冠心病风险的关键因素。当这些关键变量缺失时,模型可能无法准确评估个体的风险水平,从而影响预测的准确性和稳健性,削弱其临床应用价值。目前,大多数研究者倾向于通过敏感性分析来评估缺失值对预测模型构建稳定性的影响程度。这种方法可以有效验证不同数据处理策略对模型性能的影响,并判断缺失值是否显著影响模型的预测能力和可靠性。敏感性分析不仅能为数据缺失处理方法的选择提供依据,还能增强模型在不同数据情境下的稳健性和适用性。

2.4 数据收集的局限性

目前用于开展冠心病预后风险模型的数据多为临床研究收集数据、行政管理数据等,基于多中心的大型研究相对较少。经典预后模型目前虽得到广泛应用,但在这些预后模型中临床大量医疗信息没有得到充分利用,预测准确性也有待进一步提高;Moledina 等人^[27]在构建 GRACE2.0 时表明 MINAP 数据收集与其他注册机构一样存在弱点,包括在没有外部验证的情况下自行报告不良事件。尽管 MINAP 数据集包括非常重要的临床和人口统计变量,但收集的数据存在局限性。

3 小结

冠心病预后风险模型是临床管理和精准医疗的重要工具,通过评估患者未来发生不良心血管事件的风险,为高危患者的早期识别和个体化治疗提

供关键支持。有良好效能的模型可以帮助医生优化决策,制定更精准的干预措施,包括调整药物方案、监测重点指标和安排随访计划,从而改善患者的临床结局。近年来,随着人工智能技术的迅猛发展,机器学习、深度学习等先进方法被广泛引入冠心病预后模型的构建,显著提升了模型的预测性能。特别是通过整合多模态数据,如临床记录、医学影像、实验室指标以及多组学数据,模型能够全面分析冠心病患者的复杂病理特征,实现更加精准的风险评估。然而,当前模型在多模态数据的整合与处理、预测因子的筛选和解释性方面仍存在挑战。未来研究需重点探索高效的数据整合方法、动态建模技术及跨人群验证策略,同时结合人工智能算法优化数据缺失处理、特征选择和模型更新。此外,开发具有高可解释性的模型以辅助临床医生理解预测结果,也是多模态预测模型推广应用的关键。通过这些创新,冠心病预后预测模型将更有效地服务于临床决策和公共健康管理,全面提升冠心病防治水平。

[参考文献]

- [1] GBD 2021 Diseases and Injuries Collaborators. Global incidence, prevalence, years lived with disability (YLDs), disability-adjusted life-years (DALYs), and healthy life expectancy (HALE) for 371 diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990—2021: a systematic analysis for the global burden of disease study 2021 [J]. *Lancet*, 2024, 403 (10440): 2133-2161.
- [2] 刘明波,何新叶,杨晓红,等.《中国心血管健康与疾病报告 2023》要点解读[J]. *中国心血管杂志*, 2024, 29 (4): 305-324.
LIU M B, HE X Y, YANG X H, et al. Interpretation of report on cardiovascular health and diseases in China 2023 [J]. *Chin J Cardiovasc Med*, 2024, 29(4): 305-324.
- [3] 刘永莹,王立杰. 1990—2021 年中国与全球人群冠心病所致心力衰竭疾病负担特征及预测研究[J]. *疾病监测*, 2025, 40(3): 397-402.
LIU Y Y, WANG L J. Prevalence and disease burden of heart failure by coronary heart disease during 1990—2021 and trend prediction in China and in the world [J]. *Dis Surveill*, 2025, 40(3): 397-402.
- [4] MI Y, XUE Z, QU S, et al. The economic burden of coronary heart disease in mainland China [J]. *Public Health*, 2023, 224: 140-151.
- [5] LU J, LU Y, WANG X, et al. Prevalence, awareness, treatment, and control of hypertension in China: data from

- 1.7 million adults in a population-based screening study (China PEACE million persons project) [J]. *Lancet*, 2017, 390(10112): 2549-2558.
- [6] XU H, YANG Y, WANG C, et al. Association of hospital-level differences in care with outcomes among patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction in China [J]. *JAMA Netw Open*, 2020, 3(10): e2021677.
- [7] MARK D B, SHAW L, HARRELL F E, et al. Prognostic value of a treadmill exercise score in outpatients with suspected coronary artery disease [J]. *N Engl J Med*, 1991, 325(12): 849-853.
- [8] WENZL F A, KRALER S, AMBLER G, et al. Sex-specific evaluation and redevelopment of the GRACE score in non-ST-segment elevation acute coronary syndromes in populations from the UK and Switzerland: a multinational analysis with external cohort validation [J]. *Lancet*, 2022, 400(10354): 744-756.
- [9] FOX K A, DABBOUS O H, GOLDBERG R J, et al. Prediction of risk of death and myocardial infarction in the six months after presentation with acute coronary syndrome: prospective multinational observational study (GRACE) [J]. *BMJ*, 2006, 333(7578): 1091.
- [10] AMSTERDAM E A, WENGER N K, BRINDIS R G, et al. 2014 AHA/ACC guideline for the management of patients with non-ST-elevation acute coronary syndromes: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on practice guidelines [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 64(24): e139-e228.
- [11] 中华医学会心血管病学分会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 非 ST 段抬高型急性冠状动脉综合征诊断和治疗指南 (2016) [J]. *中华心血管病杂志*, 2017, 45(5): 359-376.
Chinese Society of Cardiovascular Diseases, Editorial Board of Chinese Journal of Cardiovascular Diseases. Guideline and consensus for the management of patients with non-ST-elevation acute coronary syndrome (2016) [J]. *Chin J Cardiol*, 2017, 45(5): 359-376.
- [12] CHENG J, WANG Y, SHENG J, et al. Accuracy of death risk prediction models for acute coronary syndrome patients: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Minerva Cardiol Angiol*, 2024, 72(4): 405-415.
- [13] MORROW D A, ANTMAN E M, CHARLESWORTH A, et al. TIMI risk score for ST-elevation myocardial infarction: a convenient, bedside, clinical score for risk assessment at presentation; an intravenous nPA for treatment of infarcting myocardium early II trial substudy [J]. *Circulation*, 2000, 102(17): 2031-2037.
- [14] O'GARA P T, KUSHNER F G, ASCHEIM D D, et al. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of ST-elevation myocardial infarction: executive summary: a report of the American college of cardiology foundation/American heart association task force on practice guidelines [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 61(4): 485-510.
- [15] ANTMAN E M, COHEN M, BERNINK P J, et al. The TIMI risk score for unstable angina/non-ST elevation MI: a method for prognostication and therapeutic decision making [J]. *JAMA*, 2000, 284(7): 835-842.
- [16] NEWBY L K, HASSELBLAD V, ARMSTRONG P W, et al. Time-based risk assessment after myocardial infarction. Implications for timing of discharge and applications to medical decision-making [J]. *Eur Heart J*, 2003, 24(2): 182-189.
- [17] BOERSMA E, PIEPER K S, STEYERBERG E W, et al. Predictors of outcome in patients with acute coronary syndromes without persistent ST-segment elevation. Results from an international trial of 9461 patients. The PURSUIT Investigators [J]. *Circulation*, 2000, 101(22): 2557-2567.
- [18] SEKHRI N, FEDER G S, JUNGHANS C, et al. Incremental prognostic value of the exercise electrocardiogram in the initial assessment of patients with suspected angina: cohort study [J]. *BMJ*, 2008, 337: a2240.
- [19] FOX K A, CARRUTHERS K F, DUNBAR D R, et al. Underestimated and under-recognized: the late consequences of acute coronary syndrome (GRACE UK-Belgian Study) [J]. *Eur Heart J*, 2010, 31(22): 2755-2764.
- [20] WIVIOTT S D, MORROW D A, FREDERICK P D, et al. Performance of the thrombolysis in myocardial infarction risk index in the national registry of myocardial infarction-3 and -4: a simple index that predicts mortality in ST-segment elevation myocardial infarction [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2004, 44(4): 783-789.
- [21] MEHRAN R, POCOCK S J, NIKOLSKY E, et al. A risk score to predict bleeding in patients with acute coronary syndromes [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 55(23): 2556-2566.
- [22] TAKAHASHI K, SERRUYS P W, FUSTER V, et al. Redevelopment and validation of the SYNTAX score II to individualise decision making between percutaneous and surgical revascularisation in patients with complex coronary artery disease: secondary analysis of the multicentre randomised controlled SYNTAXES trial with external cohort validation [J]. *Lancet*, 2020, 396(10260): 1399-1412.
- [23] PALMERINI T, CALABRÒ P, PISCIONE F, et al. Impact of gene polymorphisms, platelet reactivity, and the SYNTAX score on 1-year clinical outcomes in patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndrome undergoing percutaneous coronary intervention: the GEPRESS study [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2014, 7(10): 1117-1127.
- [24] VARENHORST C, JENSEVIK K, JERNBERG T, et al.

- Duration of dual antiplatelet treatment with clopidogrel and aspirin in patients with acute coronary syndrome[J]. *Eur Heart J*, 2014, 35(15): 969-978.
- [25] SCHIELE F, MENEVEAU N, SERONDE M F, et al. C-reactive protein improves risk prediction in patients with acute coronary syndromes [J]. *Eur Heart J*, 2010, 31(3): 290-297.
- [26] YEH R W, SECEMSKY E A, KEREIAKES D J, et al. Development and validation of a prediction rule for benefit and harm of dual antiplatelet therapy beyond 1 year after percutaneous coronary intervention [J]. *JAMA*, 2016, 315(16): 1735-1749.
- [27] MOLEDINA S M, KONTOPANTELIS E, WIJEYSUNDERA H C, et al. Ethnicity-dependent performance of the global registry of acute coronary events risk score for prediction of non-ST-segment elevation myocardial infarction in-hospital mortality: nationwide cohort study [J]. *Eur Heart J*, 2022, 43(24): 2289-2299.
- [28] OSTADAL P, STEG P G, POULOUIN Y, et al. Metabolic risk factors and effect of alirocumab on cardiovascular events after acute coronary syndrome: a post-hoc analysis of the ODYSSEY OUTCOMES randomised controlled trial [J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2022, 10(5): 330-340.
- [29] HADANNY A, SHOIVAL R, WU J, et al. Predicting 30-day mortality after ST elevation myocardial infarction: machine learning- based random forest and its external validation using two independent nationwide datasets [J]. *J Cardiol*, 2021, 78(5): 439-446.
- [30] 宋利华,付继京,王俊伟. 冠心病病人 PCI 术后 1 年出血危险因素模型构建和验证 [J]. *护理研究*, 2024, 38(19): 3403-3409.
- SONG L H, FU J J, WANG J W. Construction and validation of risk factors model related to hemorrhage in patients with coronary heart disease after PCI 1 year [J]. *Chin Nurs Res*, 2024, 38(19): 3403-3409.
- [31] 贾蕾蕾, 张标. 预测高血压合并冠心病 PCI 术后支架内再狭窄 nomogram 模型的建立与验证 [J]. *中国动脉硬化杂志*, 2023, 31(2): 148-156.
- JIA L L, ZHANG B. Establishment and validation of a nomogram model for predicting in-stent restenosis after PCI in patients with hypertension and coronary heart disease [J]. *Chin J Atheroscler*, 2023, 31(2): 148-156.
- [32] 张凡硕, 周双, 刘志艳, 等. 经皮冠脉介入治疗术后双联抗血小板治疗预后的影响因素分析 [J]. *中国医院药学杂志*, 2023, 43(3): 296-299.
- ZHANG F S, ZHOU S, LIU Z Y, et al. Analysis of influencing factors for prognosis of dual antiplatelet therapy for patients with coronary heart disease after percutaneous coronary intervention [J]. *Chin J Hosp Pharm*, 2023, 43(3): 296-299.
- [33] 徐亚萍, 张蓉, 张楚研, 等. 中青年冠心病病人 5 年内再入院风险预测模型的构建 [J]. *护理研究* [J], 2023, 37(9): 1556-1561.
- XU Y P, ZHANG R, ZHANG C Y, et al. Construction of a 5-year readmission risk prediction model for young and middle-aged patients with coronary heart disease [J]. *Chin Nurs Res*, 2023, 37(9): 1556-1561.
- [34] QIN M, WU Y, FANG X, et al. Polygenic risk score predicts all-cause death in east Asian patients with prior coronary artery disease [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2024, 11: 1296415.
- [35] WHO CVD Risk Chart Working Group. World Health Organization cardiovascular disease risk charts: revised models to estimate risk in 21 global regions [J]. *Lancet Glob Health*, 2019, 7(10): e1332-e1345.
- [36] LI J, LI X, WANG Q, et al. ST-segment elevation myocardial infarction in China from 2001 to 2011 (the China PEACE-retrospective acute myocardial infarction study): a retrospective analysis of hospital data [J]. *Lancet*, 2015, 385(9966): 441-451.
- [37] 陈茹, 王胜锋, 周家琛, 等. 预测模型研究的偏倚风险和适用性评估工具解读 [J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(5): 776-781.
- CHEN R, WANG S F, ZHOU J C, et al. Introduction of the prediction model risk of bias assessment tool: a tool to assess risk of bias and applicability of prediction model studies [J]. *Chin J Epidemiol*, 2020, 41(5): 776-781.
- [38] 单华静, 黄能为. 血清 D-二聚体和 sRAGE 水平对老年冠心病患者介入治疗后短期不良预后的预测价值 [J]. *中国动脉硬化杂志*, 2024, 32(1): 57-64.
- SHAN H J, HUANG N W. The predictive value of serum D-dimer and sRAGE levels for short-term adverse prognosis in elderly patients with coronary heart disease after interventional therapy [J]. *Chin J Atheroscler*, 2024, 32(1): 57-64.

(此文编辑 许雪梅)