

# 肺栓塞列线图预测模型的研究进展

彭永明\*, 刘丹#

重庆医科大学附属永川医院放射科, 重庆

收稿日期: 2026年4月7日; 录用日期: 2026年4月28日; 发布日期: 2026年5月9日

## 摘要

肺栓塞是临床中常见且致死风险较高的心血管急危重症,传统风险评估工具以固定分级、线性赋值为主,存在个体化预测不足、中危分层能力差、特殊人群适配不佳等不足,难以满足现代诊疗需求。列线图可整合临床特征、实验室标志物、影像学参数等指标,实现个体化风险概率的可视化预测,成为肺栓塞早期诊断、危险分层与预后评估的重要研究手段。本文就列线图在肺栓塞中应用现状及研究进展进行综述。

## 关键词

肺栓塞, 列线图, 预测模型

# Research Progress on Nomogram Prediction Models for Pulmonary Embolism

Yongming Peng\*, Dan Liu#

Department of Radiology, The Affiliated Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: April 7, 2026; accepted: April 28, 2026; published: May 9, 2026

## Abstract

Pulmonary embolism is a common, highly fatal acute cardiovascular emergency. Traditional risk assessment tools rely on fixed grading and linear assignment, which fall short in individualized prediction, intermediate-risk stratification, and adaptation to special populations, thus failing to meet modern clinical requirements. Nomograms integrate clinical characteristics, laboratory markers, and imaging parameters to provide visualized, individualized risk probability prediction, and have become an important research method for the early diagnosis, risk stratification, and prognosis evaluation of pulmonary embolism. This article reviews the current application and research

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 彭永明, 刘丹. 肺栓塞列线图预测模型的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(5): 510-519.

DOI: 10.12677/acm.2026.1651842

## progress of nomograms in pulmonary embolism.

### Keywords

#### Pulmonary Embolism, Nomogram, Prediction Model

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

肺栓塞(pulmonary embolism, PE)是指各种栓子阻塞肺动脉或其分支所致的一组以肺循环与呼吸功能障碍为核心表现的心血管急危重症,以肺血栓栓塞症最为常见,从而引发右心功能不全、休克甚至猝死等症状,临床表现呈高度隐匿且异质性显著[1]。流行病学数据显示,PE年发病率约60/10万~100/10万,未经规范干预患者30天全因死亡率可高达15%~30%,即使接受标准化抗凝治疗,中高危患者仍面临血栓复发、抗凝出血、远期心功能不全等严重风险,给临床治疗与公共卫生体系带来沉重的负担[2]。PE在中青年、肿瘤、围手术期及老年人群中发病率较高,是全球致死致残率极高的急性血管事件,因此早期精准识别、个体化风险分层及干预至关重要。然而,PE症状与体征缺乏特异性,仅单纯依靠临床表型及普通常规检查难以准确判断,而过度使用CT肺动脉造影(CTPA)又会造成医疗资源浪费、造影剂的使用可能对患者造成肾损伤以及辐射暴露等问题;且传统风险评估工具存在固定分级、线性赋值、不考虑指标交互、中危分层能力差、特殊人群适配不佳等明显局限[3]。

近年来,列线图(nomogram)预测模型以其个体化、可视化、多指标融合、操作简便的优势逐渐成为临床研究热点,在PE治疗中也展现出重要应用价值[4]。与Wells评分、修订版Geneva评分、肺栓塞严重指数(PESI)、简化肺栓塞严重指数(sPESI)等传统工具相比较,列线图可整合临床特征、实验室标志物、影像学参数及影像组学特征,构建列线图,进行个体化发病率或预后概率的预测,能够提升中危患者的危险分层能力,并对特殊人群适用性大大增加,能够弥补传统评估工具在精准度、全面性与个体化方面的不足[5]。本文就列线图在PE中的构建流程、应用进展及研究价值进行综述。

## 2. 肺栓塞的分型与病理生理

肺栓塞以各类栓子阻塞肺动脉及其分支为核心病理基础,栓子多源于下肢深静脉血栓脱落,随静脉回流进入肺循环后引发一系列病理生理改变。根据血流动力学状态、右心功能及心肌损伤情况,临床将肺栓塞划分为三类:高危肺栓塞、中危肺栓塞及低危肺栓塞[6]。高危肺栓塞以持续性低血压、心源性休克及重度右心功能衰竭为特征,栓子常累及主肺动脉或双侧肺动脉,致死风险极高;中危肺栓塞血流动力学相对稳定,但合并右心功能不全或心肌损伤,是临床最常见且风险分层难度最大的类型;低危肺栓塞无明显右心损害及心肌损伤,临床表现轻微,短期不良事件发生率显著降低[7]。从病理生理机制来看,肺栓塞可直接升高肺循环阻力、加重右心负荷、破坏通气/血流比,进而诱发心肌缺血、心律失常及组织低灌注,严重者可进展为多器官功能衰竭甚至猝死[8]。

## 3. 肺栓塞列线图的构建

目前临床相关肺栓塞列线图大多数基于回顾性队列研究设计,其流程主要分为以下五个步骤:①确定研究人群,按照肺栓塞相关诊疗指南确定研究对象的纳入、排除标准,随机将研究人群划分为训练队

列和验证队列,为之后模型效能验证做好准备[9]。② 选择危险因素,先用单因素分析初步筛选出与肺栓塞发病或不良预后相关的指标,再用 LASSO、Logistic 或 Cox 回归分析方法系统、严谨地剔除共线性指标,最后得出独立风险因子[10]。③ 赋值并绘制列线图,根据多因素回归分析得到的回归系数给各独立预测因子适当赋分,再用专业的统计软件将各变量及相应分值整合成直观、美观的列线图[11]。④ 模型效能评估,从曲线下面积(AUC)、校准度(H-L test)、临床净获益(DCA)三个方面对所建立的列线图进行规范、有层次的内部效能评估,客观检验模型的预测性能[12]。⑤ 外部验证,用多中心、不同人群的外部验证队列对模型加以验证并做相应优化,以提高模型的适用性及临床实用价值[13]。

#### 4. 肺栓塞列线图预测指标的选择

列线图的预测效能需要高度依赖预测指标的科学筛选,理想指标应具备临床可及性与独立预测价值。依据指标来源与检测类型,肺栓塞列线图常用预测指标可归纳为以下四类。

1) 临床特征指标:主要包括年龄、BMI、吸烟史、长期制动、近期手术或外伤史、恶性肿瘤病史及心脑血管疾病史等。其中高龄、长期制动、近期大手术、活动性恶性肿瘤是肺栓塞发病最核心的危险因素[14]。

2) 实验室标志物:主要包括血栓与炎症相关指标,如 D-二聚体、中性粒细胞/淋巴细胞比值(NLR)、全身炎症反应指数(SIRI);心肌损伤标志物,如心肌肌钙蛋白 I/T (cTnI/cTnT)、N 末端脑钠肽前体(NT-proBNP);以及纤维蛋白降解产物(FDP)、同型半胱氨酸等指标[15]。

3) 影像学参数:主要基于 CT 肺动脉造影(CTPA)基础上,运用相关技术,在其图像上测量出包括主肺动脉直径、右心室/左心室内径比值(RVD/LVD)、Qanadli 指数等,这些指标直观反映肺动脉阻塞程度与右心负荷状态[16]。

4) 特殊人群如肿瘤、围手术期、老年等高危人群也可纳入部分特殊指标,包括肿瘤分期、化疗史、手术时长、术中出血量、术后卧床时间等,能够提升模型在特定人群中的预测准确性与适用性[17]。

#### 5. 肺栓塞列线图模型的研究进展

伴随着肺栓塞相关研究的不断深入,肺栓塞列线图模型的应用持续扩展中,不仅仅在肺栓塞的早期诊断、预后评估方面具有重要研究发现,现在还结合影像组学等技术,优化预测模型的效能,提高临床实用价值,使其成为肺栓塞治疗体系中不可或缺的辅助工具[18]。

##### 5.1. 疑似肺栓塞早期诊断列线图的应用

疑似肺栓塞早期诊断列线图是专门为急诊科、呼吸科门诊等场景下的疑似肺栓塞人群设计,其核心目的在于优化早期筛查流程、精准识别高危患者,尽量减少不必要的 CTPA 检查,最大程度降低漏诊与误诊风险,符合急诊快速评估与基层医疗资源高效利用的需求目的[6]。肺栓塞的临床表现缺乏特异性,单一生物标志物检测存在明显局限,如 D-二聚体在老年、恶性肿瘤、术后及感染等人群中假阳性率较高,容易引发过度检查、医疗资源浪费与患者辐射暴露增加等问题[19]。而传统 Wells 评分、修订版 Geneva 评分虽为临床常用预评估工具,但大多数都以分级风险评估为主,难以实现对个体患病概率的预测,与当下个体化医疗需求存在一定差距[20]。近年来多项研究证实整合临床中床旁易获取的临床危险因素、炎症及凝血指标构建诊断列线图,能够有效提高早期肺栓塞的诊断[21]。李丽华等[22]在纳入 618 例疑似急性肺栓塞患者的研究中,经过随机分组与筛选变量,构建出 D-二聚体联合中性粒细胞与淋巴细胞比值(NLR)的列线图模型中,其 ROC 曲线下面积(AUC)达到 0.862,拟合优度检验显示校准度优良,具有较高的诊断效能;该模型指标床旁轻易获取、计算简单,适合急诊快速初筛,但该研究为单中心、仅纳入两

项炎症及凝血指标, 未能覆盖心功能与影像学信息, 对复杂病例鉴别力有限。Zhu 等[23]开发出一个仅包含年龄、制动史、恶性肿瘤病史、D-二聚体 4 项指标的简易列线图, 验证集 AUC 达到 0.831, 校准曲线贴合理想曲线, 此模型可以在 5 分钟内完成高低危人群的风险分层, 辅助指导 CTPA 检查决策, 具有一定的临床实用性; 该模型的优势极为简便、能够普及至基层; 但是该模型并未纳入影像学及心损标志物, 对肿瘤的隐匿 PE 患者诊断灵敏度不足, 存在漏诊的风险。Feng 等[24]基于呼吸科 3511 例疑似患者数据, 经过 LASSO 回归筛选出年龄、吸烟、体温、收缩压、D-二聚体、纤维蛋白原等指标, 构建的列线图训练集 AUC 0.746、验证集 0.724, 临床决策曲线(DCA)显示较广泛的阈值内净获益优于传统评分, 该模型纳入较大样本、覆盖了呼吸科常见混杂因素, 模型的 AUC 值偏低, 对中低概率事件诊断效能一般, 所以更适合排除而非确诊。此外, 平扫 CT 的参数也可被纳入早期诊断列线图, 如 2025 年 Guo 等[25]在一项研究中基于 CT 图像上整合异常密度征、主肺动脉/主动脉比值(mPA/Ao)、奇静脉直径构建的模型, AUC > 0.8, 可在患者未做 CTPA 的前提下辅助诊断, 可适用于患者存在造影剂禁忌、肾功能不全的特殊场景中, 能够拓展 CT 的应用场景, 但极度依赖 CT 诊断医师的阅片能力, 基层普及性低于较易获取血液指标等参数。

上述模型追求普适性, 纳入的血液指标模型适合快速筛查, CT 相关模型适合精准鉴别。但上述模型就是否应强制纳入影像学指标以提升精度有待进一步研究, 且极简模型(纳入指标  $\leq 4$  项)与高精度模型(纳入指标  $\geq 6$  项)的适用场景边界定义也尚不明确。

疑似肺栓塞早期诊断列线图根据其相关适用场景, 一直以简易、快速、精准为目的, 弥补传统评分工具的不足, 通过多指标融合以达到提升诊断效能的可能, 同时兼顾特殊人群适用性, 为肺栓塞早期诊断提供可靠工具。

## 5.2. 急性肺栓塞短期预后预测列线图的应用

急性肺栓塞短期不良预后预测是肺栓塞列线图应用中最重要的场景, 在过往研究中, 肺栓塞预测终点主要涵盖 30 天全因死亡、休克、机械通气、ICU 转入、血栓复发等严重不良事件的发生[26]。但是急性肺栓塞患者预后存在个体的差异, 临床诊疗策略需要严格按照风险分层制定相关治疗方法: 低危患者可通过门诊规范抗凝治疗便可获得良好预后, 中高危患者需要住院严密监测病情变化, 高危患者则需根据患者状态紧急启动溶栓或介入治疗以挽救生命[27]。因此, 构建相关急性肺栓塞短期预后预测列线图, 实现患者个体化的风险分层, 对辅助指导临床治疗方案的选择、优化医疗资源配置、改善患者预后具有重要的临床应用价值[28]。

相比较传统预后评估工具如简化肺栓塞严重指数(sPESI)、肺栓塞严重指数(PESI), 虽然现在广泛应用于临床中, 但其存在明显局限性, 在对中危患者的危险分层效能不足, 难以精准区分中危患者中的高风险与低风险人群, 导致部分患者出现过度治疗或治疗不足的情况发生[29]。所以, 近年来大多数研究希望构建出一种的急性肺栓塞短期预后预测列线图, 补充传统评分工具分层能力的不足, 同时提升列线图模型的临床适用性[30]。而刘兰等[31]在一项以急性肺栓塞短期预后的研究中, 纳入临床危险分层、CT 肺动脉造影(CTPA)参数(栓子体积/全肺动脉容积、主肺动脉最大径、右心室短轴最大径/左心室短轴最大径(RVD/LVD))及纤维蛋白降解产物(FDP)等参数构建出一种能预测短期预后不良预测列线图, 该模型预测短期预后不良的 AUC 值达到 0.901, 灵敏度 89.4%、特异度 87.2%, 决策曲线证实模型具有良好临床净获益, 可有效辅助指导临床治疗决策; 模型融合临床、影像及实验室指标, 指标全面, 对高危事件诊断效能较强, 但是模型中 CTPA 参数需进行后处理, 对图像质量要求高, 并且消耗时间, 不适合极危重患者的快速决策。而针对中危患者分层不足的问题, Jiménez 等[15]在整合 sPESI 评分、心肌肌钙蛋白 I(cTnI)、N 末端脑钠肽前体(NT-proBNP)及 RVD/LVD 等指标, 构建出中危肺栓塞 30 天死亡率预测列线图, 该模

型不仅提升了中危患者的分层精度, 还为中危患者抗凝强度调整、监护等级判定提供了客观量化依据, 弥补了传统 sPESI 评分的缺陷, 但该模型未进行外部验证, 泛化能力不足。Leonhardi 等[32]在基于 CTPA 影像参数构建急性肺栓塞 30 天死亡率预测列线图的研究中, 纳入 RVD/LVD、室间隔膨出、慢性支气管炎、肺部恶性病变及肺炎等独立预测因素, 模型 AUC 达 0.900, 显著优于 PESI (AUC 0.729) 和 sPESI (AUC 0.718), 证实影像学参数在短期预后预测中也具有重要价值, 可以有效减少主观评分的偏倚, 但是该模型需要患者进行 CTPA 的检查, 图像质量需要一定要求。

上述模型大多数融合右心功能、心肌损伤、凝血、影像阻塞负荷等参数, 对中危分层能力显著优于传统评分。在全人群模型适用范围更广, 但预测精度略有下降; 在中危专属模型中诊断效能更高、分层更精准, 但适用人群受限。且当前领域就模型是否应以影像学指标为核心、如何兼顾快速评估与高精度预测存在一定争议。

急性肺栓塞短期预后预测列线图是通过融合临床、实验室、影像学多项指标, 来进一步优化模型预测的效能, 辅助传统评分工具对中危患者分层不足的问题, 为不同风险等级患者的个体化治疗方案制定提供参考, 推动急性肺栓塞诊疗从简易分层向精准化转变, 对改善患者短期预后、降低不良事件发生率具有重要意义。

### 5.3. 对于特殊人群肺栓塞列线图的应用

近现代中, 恶性肿瘤、围手术期以及老年慢性病患者是肺栓塞的危险人群, 其发病机制、危险因素与普通人群存在显著差异, 且常伴随着不同的基础疾病、特殊的生理状态等特点, 导致常用传统评分工具以及肺栓塞列线图在该类人群中的预测效能下降, 难以满足临床精准风险评估需求[33]。因此, 针对这些特殊人群, 构建专属的肺栓塞列线图, 实现个体化风险筛查、发病及复发预测, 也成为最近几年肺栓塞列线图研究的热点方向之一, 对优化特殊人群肺栓塞防治策略、对改善预后具有重要临床意义[34]。

恶性肿瘤患者的血栓形成风险概率是普通人群的 4~6 倍, 其肺栓塞的发生与肿瘤类型、分期、治疗方式密切相关, 化疗、放疗、肿瘤压迫血管、长期卧床等因素可进一步升高发病及复发风险[35]。对比普通人群, 肿瘤患者常伴随凝血功能紊乱、炎症反应异常, 传统预测指标难以全面覆盖其危险因素, 通用列线图预测效能有限。Li 等[36]在针对晚期肺癌患者的研究中, 整合肿瘤转移情况、化疗周期、D-二聚体以及下肢静脉血栓史等指标构建出复发风险的列线图, 模型 AUC 值为 0.862, 可有效识别高复发风险患者, 指导抗凝治疗时长调整, 降低复发率, 但该模型仅针对晚期肺癌患者, 未能包含早中期患者和其他肿瘤人群。而围手术期患者, 尤其是在胸外科、骨科、腹部大手术后的患者中, 因手术创伤、术中制动、术后卧床时间长、血液高凝状态等情况下, 肺栓塞发病风险明显升高, 且发病后病情进展迅速, 严重威胁患者术后恢复[37]。围手术期肺栓塞的预防与早期筛查, 关键在于识别高危患者, 而普通的列线图且未纳入手术相关专属指标, 预测效能明显不足以满足这类患者的要求。蒋莲萍等[38]在回顾性研究 389 例骨科大手术患者中, 最后纳入手术时长、术中出血量、术后卧床时间、下肢静脉超声结果、D-二聚体、年龄等指标, 构建出术后肺栓塞风险预测列线图, 模型 AUC 达 0.841, 灵敏度 83.7%、特异度 79.2%, 可有效筛选术后高危患者, 为围手术期血栓预防方案(如抗凝药物使用、早期康复训练)制定提供参考, 该模型有效纳入手术相关核心指标, 贴合骨科大手术围术期的风险特点, 且各项指标均为临床常规可获取参数, 便于床旁快速应用场景; 但此研究为单中心回顾性研究, 样本量有限, 仅针对骨科手术人群, 未在胸外科、腹部外科等其他手术类型中得到验证, 存在一定限制。而针对腹部大手术患者, 王彦哲等[39]整合手术类型、ASA 分级、术后并发症、D-二聚体、体质指数(BMI)等数据构建列线图, 验证集 AUC 为 0.828, 临床决策曲线显示模型净获益优于传统 Caprini 评分, 适配腹部手术患者的诊疗特点, 选用术前与术后常规可及指标, 实用性强, 且直接与临床常用的 Caprini 评分对比, 更具临床说服力; 但此研究单中心回顾

性研究, 存在选择偏倚, 未开展外部验证与前瞻性干预研究。在老年慢性病患者( $\geq 65$ 岁)常伴随着高血压、糖尿病、冠心病等多种基础疾病, 且肝肾功能减退、凝血功能异常等情况, 不仅肺栓塞发病风险升高, 还存在抗凝治疗出血风险高、临床症状不典型等相关问题, 陈诗军等[40]在回顾性研究了297例老年肺栓塞患者, 筛选出年龄、卧床时间、恶性肿瘤病史、D-二聚体、收缩压等易获取指标, 构建轻量化列线图, 模型AUC达0.819, 无需复杂检查, 可快速完成风险分层, 适配老年患者诊疗场景。此外, 该模型还纳入出血风险相关指标, 在预测肺栓塞风险的同时, 为抗凝治疗方案选择提供参考, 降低出血风险, 适合老年患者门诊及基层快速筛查的需求; 但此研究为单中心回顾性研究, 样本量偏小, 且未在高龄( $\geq 80$ 岁)或多重慢病亚组中进一步验证, 模型的泛化能力有待加强。除上述三类主要人群外, 针对孕产妇、肾功能不全等特殊人群的肺栓塞列线图研究也逐步开展起来, 进一步完善了特殊人群肺栓塞风险评估体系。孕产妇因孕期激素水平的变化、子宫压迫血管、血液高凝状态等原因, 肺栓塞具有较高的发病率, 且诊疗需兼顾母体与胎儿安全。Xu等[41]在针对孕产妇人群, 整合孕周、BMI、下肢水肿、D-二聚体、既往血栓史构建出一种列线图, 模型AUC值达到0.836, 可辅助评估孕产妇肺栓塞发病风险, 指导孕期预防与监测; 该模型纳入了无创、无辐射的临床指标, 符合孕产妇安全诊疗原则, 但研究为单中心回顾性研究, 样本量有限, 未对顺产与剖宫产进行分组对比, 外部验证不足, 需要多中心研究进一步验证模型。而对于肾功能不全患者, 因肾功能异常影响凝血功能与指标检测的结果, 冯龙等[42]针对肺栓塞合并肾功能损伤的特殊人群, 整合高血压病史、入院血红蛋白水平、D-二聚体及估算肾小球滤过率(eGFR)等临床常规可及指标, 构建了急性肾损伤风险预测模型。该模型在验证集中展现出良好的区分度, AUC达0.752, 可为肺栓塞患者围术期肾功能风险分层提供可靠依据。模型将肾功能核心指标eGFR纳入预测体系, 契合肾功能不全患者的病理生理特点, 且所有纳入指标均为临床常规检测项目, 无需额外检查即可完成快速评估, 便于临床推广应用, 但模型为单中心回顾性研究, 未与透析患者进行对比, 缺乏外部多中心验证, 模型稳定性与泛化性仍需要进一步证实。对此, 上述研究中对于特殊人群必须纳入专属的危险因素, 通用模型不可直接应用, 可能导致诊断效能偏低, 专属人群列线图可显著提升评估的准确性。但当前领域就模型是否应建立统一的“特殊人群修正框架”, 而非各自建模; 指标是否应尽量统一以利于推广。

目前在特殊人群肺栓塞列线图的研究中达成一定的共识: 相对应的高危人群必须采用专属预测模型, 仅靠传统评分或通用列线图难以保证准确性; 所有模型都以临床常规获得、无创安全的指标构建, 实用性较强, 可有效用于个体化风险分层与抗凝、预防方案指导。上述模型都基于回顾性队列构建, 效能适中, 以临床与实验室指标为主; 差异在于肿瘤模型聚焦血栓复发, 围手术期模型关注术后风险, 老年与肾功能不全模型兼顾血栓与出血风险, 孕产妇模型强调无辐射安全评估。但当前领域仍存在较多争议: 一是特殊人群分型过细、模型繁多, 不利于临床普及, 是否可以建立统一的修正模型而非分散建模尚无明确定论; 二是多数研究仅为单中心回顾性设计, 缺乏外部验证与前瞻性数据, 模型稳定性与泛化性不足; 三是模型在精准分层与简单易用之间难以兼顾, 尚未形成标准化构建流程。

在特殊人群的肺栓塞列线图中, 更多的研究倾向于个体化、精准化, 针对不同特殊人群的危险因素与生理病理特点, 构建不同的预测模型, 可以弥补常用列线图的不足, 提高临床适用性, 为特殊人群肺栓塞的预防、筛查与治疗提供参考, 进一步完善肺栓塞风险评估体系。

#### 5.4. 影像组学融合列线图

在常用肺栓塞的风险评估体系中, 依靠临床、实验室及常规影像学指标构建的列线图, 是难以充分反映栓子微观特征、右心功能细微改变及肺组织灌注差异, 而对病情复杂、个体异质性突出的患者预测效能有限[43]。近年来, 影像组学技术的快速发展并逐步应用于肺栓塞相关领域, 使得从CTPA图像中提取出肉眼无法辨识的纹理、密度、形态、体素强度等微观定量特征成为一种可能, 使传统列线图可以向

多模态的方向发展, 预测效能与临床应用价值可以进一步提高[44]。

影像组学的优点在于能够深度挖掘医学影像中隐含的病理生理学信息, 打破传统视觉评估与定量测量的局限性。相较于传统的主肺动脉直径、RVD/LVD 等常规 CTPA 测量指标, 影像组学可以对栓子内部异质性、血管壁特征、肺野灌注改变等进行量化分析, 能够更全面地反映血栓负荷、炎症程度及组织损伤的状态[18]。并在此基础上, 联合临床基线资料、实验室标志物, 构建出的影像组学融合列线图, 可以实现信息互补; 在急性肺栓塞早期诊断、短期预后及危险分层中提供更多的可能性。并且, 部分研究也在推动其发展。比如 Xia 等[45]基 CTPA 肺动脉及右心室影像组学特征联合 sPESI 临床评分构建急性肺栓塞 30 天死亡风险预测列线图, 模型 AUC 达 0.900, 预测效能显著优于单一 sPESI 评分及右心室/左心室比值等传统影像指标, 可精准甄别急性肺栓塞高危死亡患者并辅助临床个体化干预决策。上述模型实现了影像组学与传统临床参数的融合, 进行信息互补, 提高了预测效能, 为肺栓塞高危患者的识别提供了更精准的手段, 但模型都需依赖专业影像组学分析软件, 建模流程复杂、基层普及性较差, 且为单中心回顾性研究, 尚未在多中心及特殊人群中开展外部验证, 模型泛化能力有待进一步证实。

综上, 影像组学融合列线图达成一定共识: 可深度挖掘影像微观信息, 联合临床与实验室指标能有效提高预测效能, 是肺栓塞精准风险评估的重要方向之一。

影像组学融合列线图还可用于评估肺栓塞慢性化风险、出血风险以及抗凝疗效的反应, 突破了传统列线图依赖人工筛选指标, 能够更加客观、全面地探索数据内部的关联, 为个体化风险评估提供新的途径, 成为未来肺栓塞预测的重要发展方向之一。

## 6. 小结与展望

肺栓塞相关列线图的研究主要围绕早期诊断、短期预后评估及特殊人群风险预测等方面, 现如今形成较为完整的研究体系。相比较传统的评分工具, 列线图可实现个体化患病概率的预测, 在优化 CTPA 使用、细化中危患者分层、提高肿瘤及围手术期等高危人群评估具有较高的准确性。并且伴随着影像组学技术的纳入, 多模态融合的列线图进一步提升预测效能成为可能, 为肺栓塞诊疗提供了新的方向。但是目前该领域仍存在着一些不足, 首先多数预测模型为单中心、样本量较小的回顾性研究, 缺乏外部验证, 模型的泛化能力有限, 未来需要开展多中心、大样本前瞻性研究, 进行外部验证, 最后进行推广。其次相关指标选择与建模流程尚未统一, 部分模型选取的指标复杂且难以在基层推广, 未来需要构建标准化、简易模型, 兼顾精准与易用, 对于基层也有一些模型适用。最后近年来多数研究集中于短期风险, 对长期复发、出血及慢性肺动脉高压等预后预测较少, 未来可以拓展远期预后与疗效的相关预测研究, 建立从肺栓塞的早期诊断、预后评估及远期评估体系, 推动模型与临床决策相结合, 进一步提高肺栓塞列线图在作为肺栓塞诊疗中辅助工具的应用价值。

推进肺栓塞列线图从研究走向临床的转化路径。首先, 将经过外部验证的模型开发为网页计算器、手机 APP 或微信小程序等简易工具, 并直接嵌入医院电子健康记录系统, 能够实现接诊患者时自动提取患者年龄、生命体征、实验室指标、CTPA 参数等数据, 实时输出风险概率与分层建议, 能够融入急诊、住院、围手术期等筛查流程。其次, 需开展前瞻性、多中心、随机对照等试验, 以相应临床结局为终点, 验证相关列线图能否真正减少不必要的 CTPA 检查、优化中危患者治疗决策、降低 30 天死亡率及血栓复发率等, 为模型的临床推广提供有效依据。能够推动列线图与临床决策相互融合, 使其从科研转变为常规、标准化的临床辅助决策工具, 最终提升肺栓塞整体诊疗水平。

## 参考文献

- [1] Creager, M.A., Barnes, G.D., Giri, J., *et al.* (2026) 2026 AHA/ACC/ACCP/ACEP/CHEST/SCAI/SHM/SIR/SVM/SVN

- Guideline for the Evaluation and Management of Acute Pulmonary Embolism in Adults. *Journal of the American College of Cardiology*, **153**, e977-e1051. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2025.11.005>
- [2] Xiong, W., Cheng, Y. and Zhao, Y. (2024) Risk Scores in Venous Thromboembolism Guidelines of ESC, ACCP, and ASH: An Updated Review. *Clinical and Applied Thrombosis/Hemostasis*, **30**, 11 p. <https://doi.org/10.1177/10760296241263856>
  - [3] Aksu, E., Uzun, O., Işıksungur, İ., GÜndoğdu, B., Kökten, F., Özbek, B., *et al.* (2025) Overuse of Computed Tomography Pulmonary Angiography in the Diagnosis of Pulmonary Thromboembolism “Real-Life Data”. *International Journal of General Medicine*, **18**, 1103-1109. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s499926>
  - [4] Cao, Z., Yang, L., Han, J., Lv, X., Wang, X., Zhang, B., *et al.* (2024) Development of a Predictive Nomogram for Early Identification of Pulmonary Embolism in Hospitalized Patients: A Retrospective Cohort Study. *BMC Pulmonary Medicine*, **24**, Article No. 594. <https://doi.org/10.1186/s12890-024-03377-z>
  - [5] Gong, M., Jiang, R., Guo, K., He, X. and Gu, J. (2025) A Predictive Model for Early Detection of Concomitant Pulmonary Embolism in Patients with Deep Vein Thrombosis Immediately Upon Hospital Admission. *Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders*, **13**, Article ID: 102299. <https://doi.org/10.1016/j.jvsv.2025.102299>
  - [6] Stenger, W.J.E., Van Der Velden, L.H., Klok, F.A., *et al.* (2026) Effective Risk Stratification in Pulmonary Embolism: Evaluating Current Tools and Identifying Research Gaps. *Heart*, **112**, 480-487. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2024-324691>
  - [7] Brunton, N., McBane, R., Casanegra, A.I., Houghton, D.E., Balanescu, D.V., Ahmad, S., *et al.* (2024) Risk Stratification and Management of Intermediate-Risk Acute Pulmonary Embolism. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 257. <https://doi.org/10.3390/jcm13010257>
  - [8] Glazier, C.R. and Baciewicz Jr., F.A. (2024) Epidemiology, Etiology, and Pathophysiology of Pulmonary Embolism. *International Journal of Angiology*, **33**, 76-81. <https://doi.org/10.1055/s-0044-1785487>
  - [9] Moons, K.G.M., Altman, D.G., Reitsma, J.B., Ioannidis, J.P.A., Macaskill, P., Steyerberg, E.W., *et al.* (2015) Transparent Reporting of a Multivariable Prediction Model for Individual Prognosis or Diagnosis (TRIPOD): Explanation and Elaboration. *Annals of Internal Medicine*, **162**, W1-W73. <https://doi.org/10.7326/m14-0698>
  - [10] Zhou, J., Du, W., Liu, J. and Peng, L. (2025) A Nomogram for Predicting Pulmonary Embolism in Silicosis Patients. *The Clinical Respiratory Journal*, **19**, e70059. <https://doi.org/10.1111/crj.70059>
  - [11] Li, S., Huang, S., Feng, Y. and Mao, Y. (2025) Development of a Nomogram Model to Predict 30-Day Mortality in ICU Cancer Patients with Acute Pulmonary Embolism. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 9232. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93907-4>
  - [12] Dun, X., Wu, Q., Ma, Y., *et al.* (2023) Predicting Venous Thromboembolism in Non-Surgical Hospitalized Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: Development and Validation of a Nomogram. *American Journal of Translational Research*, **15**, 1281-1290.
  - [13] Liu, X., *et al.* (2024) Development and Validation of a Nomogram for Predicting Nutritional Risk Based on Frailty Scores in Older Stroke Patients. *Aging Clinical and Experimental Research*, **36** Article No. 112. <https://doi.org/10.1007/s40520-023-02689-0>
  - [14] Konstantinides, S.V., Meyer, G., Becattini, C., Bueno, H., Geersing, G., Harjola, V., *et al.* (2019) 2019 ESC Guidelines for the Diagnosis and Management of Acute Pulmonary Embolism Developed in Collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *European Heart Journal*, **41**, 543-603. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz405>
  - [15] Jiménez, D., Dubois-Silva, Á., Demelo-Rodríguez, P., Ruiz-Artacho, P., López-Núñez, J.J., Moisés, J., *et al.* (2025) Acute Pulmonary Embolism: A Multimarker Calculator to Predict Short-Term Outcomes. *European Heart Journal*, **46**, 4921-4929. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaf228>
  - [16] Satici, M.O., Nuhoglu, Ç., Arslan, B., Cetinkaya, N. and Satici, C. (2025) The Prognostic Role of Pulmonary Artery Thrombus Density among Patients with Intermediate-Risk Pulmonary Embolism. *Emergency Radiology*. <https://doi.org/10.1007/s10140-025-02427-1>
  - [17] Lin, Q., Wang, S., Zhang, X., Luo, J., Chen, L., Xu, B., *et al.* (2025) Development and Validation of a Risk Prediction Model for Venous Thromboembolism after Surgery in Elderly Patients with Lung Cancer. *BMC Surgery*, **25**, Article No. 357. <https://doi.org/10.1186/s12893-025-03080-8>
  - [18] Casado-Suela, M.Á., Torres-Macho, J., Prada-Alonso, J., Pastorín-Salis, R., Martínez de la Casa-Muñoz, A., Ruiz-Navío, E., *et al.* (2025) Use of Radiomics to Predict Adverse Outcomes in Patients with Pulmonary Embolism: A Scoping Review of an Unresolved Clinical Challenge. *Diagnostics*, **15**, Article 2022. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15162022>
  - [19] 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. 急性肺栓塞诊断和治疗指南 2025 [J]. 中华心血管病杂志, 2025, 53(6): 587-619.
  - [20] Tümer, M. (2025) Predictive Value of Wells, Geneva, Bova, and PESI Scores in Elderly Pulmonary Embolism Patients. *Medical Science Monitor*, **31**, e947238. <https://doi.org/10.12659/msm.947238>

- [21] Zhu, N., Zhang, L., Gong, S., Luo, Z., He, L., Wang, L., *et al.* (2023) Derivation and External Validation of a Risk Prediction Model for Pulmonary Embolism in Patients with Lung Cancer: A Large Retrospective Cohort Study. *Clinical and Applied Thrombosis/Hemostasis*, **29**. <https://doi.org/10.1177/10760296231151696>
- [22] 李丽华, 魏猛, 王瑞, 等. D-二聚体联合中性粒细胞与淋巴细胞比值诊断急性肺栓塞的列线图预测模型构建及验证[J]. 临床内科杂志, 2025, 42(1): 36-40.
- [23] Zhu, J., Yuan, S., Wei, X., Yin, H., Lu, X., Wei, J., *et al.* (2023) Development and Validation of a Simple Nomogram for Predicting the Short-Term Prognosis of Patients with Pulmonary Embolism. *Heart Lung*, **57**, 144-151. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2022.09.010>
- [24] Lanfang, F., Xu, M., Jun, C., Jia, Z., Wenchen, L. and Xinghua, J. (2023) Developing a Nomogram-Based Scoring Model to Estimate the Risk of Pulmonary Embolism in Respiratory Department Patients Suspected of Pulmonary Embolisms. *Frontiers in Medicine*, **10**, Article 1164911. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1164911>
- [25] Guo, R., Deng, M., Xi, L., Zhang, S., Xu, W. and Liu, M. (2024) Chest Non-Contrasted Computed Tomography in Detecting Acute Pulmonary Thromboembolism: A Single-Center Retrospective Study. *Experimental and Therapeutic Medicine*, **28**, Article No. 304. <https://doi.org/10.3892/etm.2024.12593>
- [26] Yuriditsky, E., Zhang, R.S., Ahuja, T., *et al.* (2025) The Latest in the Management of Pulmonary Embolism. *Breathe (Sheff)*, **21**, Article ID: 240100. <https://doi.org/10.1183/20734735.0100-2024>
- [27] Latsios, G., Mantzouranis, E., Kachrimanidis, I., Theofilis, P., Dardas, S., Stroumpouli, E., *et al.* (2025) Recent Advances in Risk Stratification and Treatment of Acute Pulmonary Embolism. *World Journal of Cardiology*, **17**, Article ID: 104983. <https://doi.org/10.4330/wjc.v17.i5.104983>
- [28] Zhan, Y. and Che, X. (2024) A Prognostic Prediction Model for Acute Pulmonary Embolism. *Journal of Investigative Medicine*, **72**, 930-937. <https://doi.org/10.1177/10815589241283739>
- [29] de Wit, K. and D'Arsigny, C.L. (2023) Risk Stratification of Acute Pulmonary Embolism. *Journal of Thrombosis and Haemostasis*, **21**, 3016-3023. <https://doi.org/10.1016/j.jtha.2023.05.003>
- [30] Babes, E.E., Radu, A., Babeş, V.V., Tunduc, P.I., Radu, A., Bungau, G., *et al.* (2025) The Prognostic Role of Hematological Markers in Acute Pulmonary Embolism: Enhancing Risk Stratification. *Medicina*, **61**, Article 1095. <https://doi.org/10.3390/medicina61061095>
- [31] 刘兰, 赵欣雨, 康丽萍, 等. 基于CT肺动脉成像参数构建急性肺栓塞患者短期预后不良风险预测列线图模型[J]. 实用心脑血管病杂志, 2025, 33(11): 13-18.
- [32] Leonhardi, J., Bailis, N., Lerche, M., Denecke, T., Surov, A. and Meyer, H. (2022) Computed Tomography Embolus Texture Analysis as a Prognostic Marker of Acute Pulmonary Embolism. *Angiology*, **74**, 461-471. <https://doi.org/10.1177/00033197221111862>
- [33] Kozhukhov, S. and Dovganych, N. (2024) Thromboembolism in Patients with Cancer: A Practical Guide to Recurrent Events. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, **25**, Article No. 406. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2511406>
- [34] Li, M., Jiang, Y., Xu, Y. and Li, Q. (2025) The Prevalence and Risk Factors of Pulmonary Embolism in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Thrombosis Journal*, **23**, Article No. 42. <https://doi.org/10.1186/s12959-025-00728-6>
- [35] Tsantes, A.G., Petrou, E., Tsante, K.A., Sokou, R., Frantzeskaki, F., Domouchtsidou, A., *et al.* (2024) Cancer-Associated Thrombosis: Pathophysiology, Laboratory Assessment, and Current Guidelines. *Cancers*, **16**, Article 2082. <https://doi.org/10.3390/cancers16112082>
- [36] Li, H., Tian, Y., Niu, H., He, L., Cao, G., Zhang, C., *et al.* (2022) Derivation, Validation and Assessment of a Novel Nomogram-Based Risk Assessment Model for Venous Thromboembolism in Hospitalized Patients with Lung Cancer: A Retrospective Case Control Study. *Frontiers in Oncology*, **12**, Article 988287. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.988287>
- [37] Hisada, Y. and Mackman, N. (2023) Mechanisms of Cancer-Associated Thrombosis. *Research and Practice in Thrombosis and Haemostasis*, **7**, Article ID: 100123. <https://doi.org/10.1016/j.rpth.2023.100123>
- [38] 蒋莲萍, 冯子倩, 钱金芳, 等. 老年患者髋关节置换术后并发肺栓塞列线图模型的构建与评价[J]. 浙江医学, 2025, 47(19): 2061-2067.
- [39] 王彦哲, 刘赫. 消化系统恶性肿瘤患者腹腔镜术后静脉血栓栓塞症发生的危险因素分析与预测模型的建立[J]. 中国血管外科杂志, 2024, 16(2): 157-161.
- [40] 陈诗军, 翁默寒, 吕允相, 等. 老年急性肺栓塞患者继发肺梗死的风险预测模型的构建及验证[J]. 四川大学学报(医学版), 2026, 57(1): 185-191.
- [41] Lili, X., Shunlan, D. and Lixu, J. (2023) Predictive Model for Pulmonary Embolism in Pregnant and Postpartum Women: A 10-Year Retrospective Study. *Clinical and Applied Thrombosis/Hemostasis*, **29**. <https://doi.org/10.1177/10760296231209930>

- 
- [42] 冯龙, 郭志霞, 张泽华, 等. 肺栓塞患者并发急性肾损伤的危险因素分析与预测模型构建[J]. 中华急诊医学杂志, 2026, 35(3): 365-369.
- [43] Piazza, G. (2024) A Hard Look in the Mirror: Disparities in Reperfusion Therapy for Acute Pulmonary Embolism in the United States and Failure to Reduce Mortality. *Journal of Thrombosis and Haemostasis*, **22**, 1838-1840. <https://doi.org/10.1016/j.jtha.2024.03.017>
- [44] Magnin, C.Y., Lauer, D., Ammeter, M. and Gote-Schniering, J. (2025) From Images to Clinical Insights: An Educational Review on Radiomics in Lung Diseases. *Breathe*, **21**, Article ID: 230225. <https://doi.org/10.1183/20734735.0225-2023>
- [45] Xia, W., Yu, H., Chen, W., Chen, B. and Huang, Y. (2022) A Radiological Nomogram to Predict 30-Day Mortality in Patients with Acute Pulmonary Embolism. *Academic Radiology*, **29**, 1169-1177. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2021.11.021>