

基于多机器学习方法的静脉血栓栓塞症实时预警平台构建及应用*

汤 涛 曹 磊 曹 力 刘 强

(南昌大学第一附属医院 南昌 330006)

〔摘要〕 介绍静脉血栓栓塞症 (Venous Thromboembolism, VTE) 风险评估工具相关研究情况, 阐述 VTE 实时预警平台构建方法, 指出该平台对于降低 VTE 发病率和死亡率、提高患者生命质量具有重要的临床意义和社会价值。

〔关键词〕 静脉血栓栓塞症; 多机器学习; 预警平台; 早防早治

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2022.10.012

Construction and Application of VTE Real-time Early Warning Platform Based on Multi-machine Learning Method TANG

Tao, CAO Lei, CAO Li, LIU Qiang, First Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330006, China

〔Abstract〕 The paper introduces the research progress of risk assessment tools for Venous Thromboembolism (VTE), expounds the construction method of the real-time early warning platform for VTE, and points out that this platform has important clinical significance and social value for reducing the incidence and mortality of VTE and improving the quality of life of patients.

〔Keywords〕 Venous Thromboembolism (VTE); multi-machine learning; early warning platform; early prevention and early treatment

1 引言

1.1 研究背景

静脉血栓栓塞症 (Venous Thromboembolism, VTE) 是我国常见的心血管疾病, 具有高发病率、高死亡率和高漏诊率的特点^[1-2]。据相关统计, 每年因 VTE 死亡的患者占院内死亡的 10%; 在重症

加强护理病房 (Intensive Care Unit, ICU) 患者、脑卒中患者及心血管疾病患者中, VTE 患病率分别为 27.0%、21.7% 和 4.0%^[3-4]。在欧美国家, VTE 被视为一种常见病, 在一项以美国人群为基础的研究中, 院内 VTE 患者占入院率的 1.7%^[5-6], 出院后 VTE 风险持续增加 45~60 天。多项研究指出国内人群在骨科大手术后的 VTE 发生率和死亡率与西方人群无差异^[7-9]。种种证据表明, VTE 不仅严重降低患者生活质量, 还增加国家医疗成本和社会负担。

1.2 相关研究

自 20 世纪 90 年代初, 国外学者^[10]致力于研究各类 VTE 风险评估工具, 目前临床应用较广泛的有 Caprini 评估量表、Autar 评估量表、Wells 评

〔修回日期〕 2022-07-01

〔作者简介〕 汤涛, 硕士, 工程师, 发表论文 5 篇; 通信作者: 曹力, 教授。

〔基金项目〕 江西省重点研发计划重点项目“基于新一代宽带无线移动通信网的互联网医院创新探索与示范应用”(项目编号: 20203ABC03B02)。

估量表。上述量表主要包括体征数据、手术史、现病史、药物使用等多方面的评估,涵盖 VTE 患病风险的主要因素^[11]。因此建立有效的监测预警机制,提高实时分析、集中研判 VTE 发生的能力,在疾病发生、发展多个环节提前识别并加入临床干预是有效降低 VTE 对生命伤害和经济影响的重要前提。然而目前对 VTE 的临床判断尚基于传统的 Caprini 量表^[12]打分,医务工作者评分含主观因素,误诊漏诊导致的 VTE 干预不及时等问题,使得 VTE 预判工作耗时、耗力,其高效性和准确性有待提升。

1.3 研究内容

本文拟通过应用 BP 神经网络、随机森林、集成学习等多种机器学习方法,整合南昌大学第一附属医院 VTE 历史患者诊疗数据,一方面对 VTE 潜在危险因素进行挖掘分析,构建 VTE 危险因素指标评价体系;另一方面搭建 VTE 实时预警平台,对患者的 VTE 风险等级进行实时评估,与医院诊疗系统多终端进行快速交互,辅助临床早期诊断研判,及时采取临床干预,从而最大限度降低 VTE 发生率或发展率。本研究首次探索基于多机器学习方法的 VTE 实时预警平台搭建,辅助临床实现 VTE 早防早治,这对于降低 VTE 发病率和死亡率、提高患者生命质量具有重要的临床意义和社会价值。

2 对象与方法

2.1 研究对象

选取 2016 年初至 2021 年 6 月南昌大学第一附属医院共 2 068 例 VTE 住院患者的历史诊疗数据,包含基本生理情况、基础疾病、检查检验、手术类型、所服药物、既往病史等维度。

2.2 研究方法

2.2.1 危险因素初筛 通过文献评价及专家咨询方法,对 VTE 危险因素进行初步筛选,大致分为患者基本生理情况、基础疾病、检验检查、手

术类型、所服药物 5 个方面的指标。危险因素初筛能够提高之后潜在因素挖掘的算法计算效率,同时为潜在危险因素深度挖掘提供有力的参考依据。

2.2.2 潜在因素深度挖掘 潜在危险因素是发现早期 VTE 患者的重要依据,基于高纬度、自适应能力强等特点的 BP 神经网络和随机森林模型对基础数据进行深度挖掘,分析出重要度较高的特征指标,结合上一步初筛结果形成最终的高维度 VTE 危险因素指标评价体系。一是 BP 神经网络。具有适应性强、容错性好的优点,见图 1。其中 $x_1, x_1, \dots, x_k$ 表示 BP 神经网络的输入, $y_1, y_1, \dots, y_m$ 表示预测输出, w_{ij} 和 w_{jk} 分别表示关键网络层之间的连接权值矩阵,即可理解为 VTE 各危险因素的权值矩阵。

从输入层到隐含层,有:

$$h(j) = \sigma_j \left(\sum_k w_{jk} x_k \right), j = 1, 2, \dots, l \quad (1)$$

式中, $\sigma_j(\cdot)$ 为隐含层神经元的活化函数。网络输出层可以表示为:

$$y(k) = \sum_l w_{lk} h_l, k = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

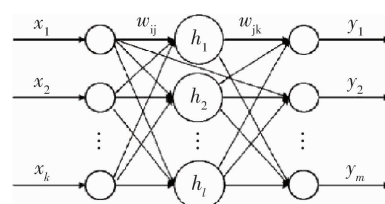


图 1 BP 神经网络架构

BP 神经网络可通过前向传播和后向反馈的机制,对分类器进行反复训练及优化,同时构建出最优的危险因素权值矩阵,由此可对特征变量的重要性进行评估。二是随机森林(Random Forests, RF)。一种利用多棵决策树对样本进行训练并预测的分类器,具有准确度高、快速学习等优势,同时在构建森林时可以对特征变量重要性进行评估,见图 2。基本计算方法如下:对每个决策树,通过袋外数据计算误差,记为 errOOB1 ;随机对袋外数据样本特征 X 加入噪声干扰,再次计算袋外数据误差,记为 errOOB2 ;假设森林中有 N 棵树,计算特

征 X 的重要性, 记为 $\Sigma (\text{errOOB2} - \text{errOOB1}) / N$ 。若加入噪声干扰后 errOOB2 上升, 则袋外数据准确率大幅度下降, 说明该特征对于样本的预测结果影响较大, 特征重要程度较高。三是集成学习。将几个机器学习算法模型组合为一个更强的分类器模型, 以提高分类准确率, 即多个决策者共同进行一项决策, 见图 3。

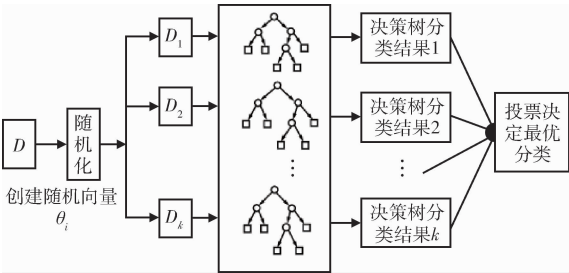


图 2 随机森林模型架构

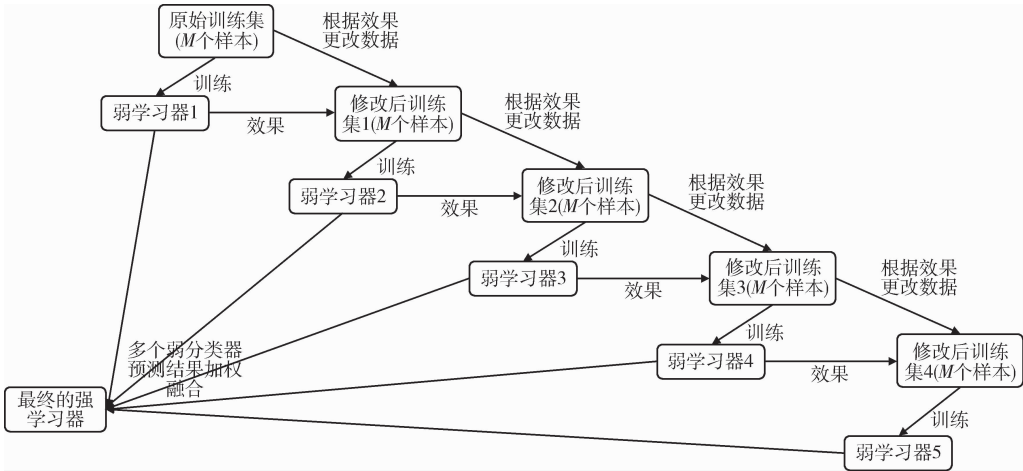


图 3 集成学习模型架构

2.3 平台搭建

平台采用 OracleXE 数据库, 基于 JavaScript 语言及浏览器/服务器 (Browser/Server, B/S) 架构进行实时预警平台搭建, 部署在医院内网环境中以保证系统及数据的安全性。

3 结果

3.1 预警模型建设效果及与 Caprini 评分量表对比

3.1.1 特征提取阶段 模型共纳入 1 000 余项临床数据特征, 在剔除频率低、共线性强的特征后, 最终选取 308 项特征变量 (如恶性肿瘤史、肿瘤家族史、卧床时长、天门冬氨酸氨基转移酶等), 此特征空间远大于经典 Caprini 评分量表的 20 余项, 并且可以表达不同特征间的组合, 是模型准确率提升的基础。

3.1.2 预测模型构建阶段 应用 BP 神经网络、随机森林、集成学习等机器学习算法构建一套面向 VTE 的人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 风险预测模型, 显著提高 VTE 筛查的灵敏度和特异性。

3.1.3 Caprini 评分量表的对比 经过对 300 份标注数据的验证, 模型的灵敏度为 80%, 特异性为 84%, 优于传统的评分量表效果, 可以作为评分量表的有效补充, 减少漏诊风险, 见表 1。同时 AI 预警模型除了输出 VTE 风险评分外还提供该患者的危险因素和保护因素, 辅助医生更好地对患者 VTE 风险进行研判。

表 1 Caprini 评分表与 AI 模型性能对比 (%)

模型对比	Caprini 量表	人工智能模型
灵敏度	57	80
特异性	13	84

3.2 量表评分实施情况及前后对比

3.2.1 在不降低准确率的前提下，自动评分效率大幅提高。系统应用后改变了原有的人工手动评分方式，改为机器自动评分 + 人工审核的方式。经过与人工手动评分对比发现机器在自动评分任务中的准确率、召回率与人工手动评分相当，耗时明显减少，大幅提升医生工作效率，见表 2。

表 2 系统应用前后评分指标对比

项目	应用前	应用后
例数	300	300
评分方式	人工手动评分	机器自动评分 + 人工审核
准确率（%）	97	96.25
召回率（%）	81.29	84
耗时	20.1 分钟	5.2 分钟，其中机器耗时小于 1 秒

3.2.2 针对风险人群的预防措施实施率显著提升。VTE 智能预警平台大大提升了 VTE 风险人群的预防措施实施率，同时预防措施更加合理。例如对于出血风险较高患者主要以机械预防措施为主，包括分级加压弹力袜等；对于出血风险较低的患者以药物预防或药物预防联合机械预防为主，包括使用低分子肝素等，见表 3。

表 3 预防措施实施率对比

项目	应用前	应用后
上报例数	100	100
预防措施	72	88
处置率（%）	72	88

4 结语

本文基于多机器学习方法，整合近 5 年 VTE 患者历史诊疗数据，对 VTE 的潜在危险因素进行深度挖掘，进而基于 JavaScript 语言及 B/S 架构进行 VTE 实时预警平台搭建，系统上线后使用平稳，在不降低准确率的前提下，自动评分效率大幅提高，针对风险人群的预防措施实施率显著提升。然而预

警平台仍存在不足，由于 VTE 患者数量，即模型训练样本数量有限，模型准确度仍有提高的空间，随着 VTE 患者诊疗数据不断引入模型训练，模型准确性及自适应性将得到更大提升与完善。通过本研究建立的高纬度危险因素指标体系及实时预警平台，在当前目标人群应用和初步论证其效果后，下一步将应用到下级医联体医院中，辅助医务人员进行 VTE 专病早期预防及诊疗工作。同时随着分子医学领域水平不断提高，对该指标评价体系的科学性、准确性进行评价，持续完善并不断扩展和探索更多的研究空间。

参考文献

1 Raskob G. Thrombosis: A Major Contributor to Global Disease Burden [J]. Thrombosis Research, 2014, 111 (5): 843 – 852.

2 Rathbun S. The Surgeon General’s Call to Action to Prevent Deep Vein Thrombosis and Pulmonary Embolism [J]. Circulation, 2009, 119 (15): 480 – 482.

3 Benjamin. Heart Disease and Stroke Statistics – 2017 Update: a Report from the American Heart Association [J]. Circulation, 2017, 135 (10): e646.

4 Monn M F, Haut E R, Lau B D, et al. Is Venous Thromboembolism in Colorectal Surgery Patients Preventable or Inevitable? One Institution’s Experience [J]. Journal of the American College of Surgeons, 2013, 216 (3): 395 – 401.

5 Wallaert J B, Martino R R D, Marsicovetere P S, et al. Venous Thromboembolism after Surgery for Inflammatory Bowel Disease: Are There Modifiable Risk Factors? Data from ACS NSQIP [J]. Diseases of the Colon & Rectum, 2012, 55 (11): 1138 – 1144.

6 Comerota A J. Commentary. A Clinical Outcome – based Prospective Study on Venous Thromboembolism after Cancer Surgery: the @ RISTOS Project [J]. Perspectives in Vascular Surgery & Endovascular Therapy, 2006, 18 (4): 343.

7 Yeo D X W, Junnarkar S, Balasubramaniam S, et al. Incidence of Venous Thromboembolism and Its Pharmacological Prophylaxis in Asian General Surgery Patients; a Systematic Review [J]. World Journal of Surgery, 2015, 39 (1): 150 – 157.

(下转第 75 页)

医学前进方向,任重而道远。

参考文献

- 1 张祖燕,王虎. 口腔颌面影像诊断学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2020.
- 2 王凯利,王虎,唐蓓,等. “全程式,多元化”考核模式在口腔颌面影像诊断学教学中的应用与思考 [J]. 现代医药卫生, 2021, 37 (1): 4.
- 3 谢磊,杨征,沈颀飞,等. 口腔健康档案为基础的区域口腔卫生信息平台设计初探 [J]. 中国数字医学, 2019, 14 (9): 77-79.
- 4 张振光,何媛婷,李玉丹,等. 云影像会诊平台应用实践 [J]. 中国继续医学教育, 2020, 12 (19): 3.
- 5 张玉妹,李传富,尹延鑫,等. 影像云远程医疗平台信息化建设与应用 [J]. 医学信息学杂志, 2020, 41 (5): 58-61.
- 6 李君,马盼盼,杨敦干. 我国远程医疗领域中的法律问题及对策 [J]. 中国医院管理, 2020, 40 (6): 104-105.
- 7 司文洁. 远程医疗的法律属性及民事责任 [J]. 医学信息学杂志, 2017, 38 (4): 11-15, 23.
- 8 Lucas P, Crd B, Mlod A, et al. Dental Teleradiology: a Powerful Strategy to Overcome the Impact of COVID-19 [J]. Academic Radiology, 2020, 27 (10): 1492-1493.
- 9 Yang J, Angelopoulos C, Mallya S, et al. American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology Executive Opinion Statement on Teleradiology [J]. Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology and Oral Radiology, 2016, 122 (4): 509-510.
- 10 Pachêco - Pereira C, Diogenes A, Moore W, et al. Trends in Oral and Maxillofacial Radiology Career: a Survey [J]. Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology and Oral Radiology, 2021, 132 (3): e113-e114.
- 11 Harvey S. CBCT Scans: Teleradiology Services [J]. British Dental Journal, 2018, 225 (8): 684-685.
- 12 Tyndall D A, Price J B, Tetradis S, et al. Position Statement of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology on Selection Criteria for the Use of Radiology in Dental Implantology with Emphasis on Cone Beam Computed Tomography [J]. Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology and Oral Radiology, 2012, 113 (6): 817-826.
- 13 Simon L, Friedland B. Interstate Practice of Dental Teleradiology in the United States: the Effect of Licensing Requirements on Oral and Maxillofacial Radiologists' Practice Patterns [J]. Telemedicine Journal and E-Health, 2015, 22 (6): 541-545.
- 14 Oscandar F, Lita Y A, Pramanik F. The Application of Teleradiology in Dentomaxillofacial Radiology [J]. Journal of Dentomaxillofacial Science, 2016, 1 (1): 79.
- 8 Alsubaie H, Leggett C, Lambert P, et al. Diagnosis of VTE Postdischarge for Major Abdominal and Pelvic Oncologic Surgery: Implications for a Change in Practice [J]. Canadian Journal of Surgery, 2018, 25 (6): 1640-1645.
- 9 Al Rawahi B, Le Gal, Grégoire, Auer R, et al. A Survey of Thrombosis Experts Evaluating Practices and Opinions Regarding Venous Thromboprophylaxis in Patients Post Major Abdominal Surgery [J]. Thrombosis Journal, 2017, 15 (1): 2.
- 10 Morange P E, Trgout D A. Current Knowledge on the Genetics of Incident Venous Thrombosis [J]. Journal of Thrombosis & Haemostasis, 2013, 11 (s1): 111-121.
- 11 Gauthier K, Sabri E, Kahn S R, et al. Family History of Venous Thromboembolism (VTE) and the Risk of VTE Recurrence in Patients with a First Unprovoked VTE: a Multi-center Prospective Cohort Study [J]. Blood, 2011, 118 (21): 2299.
- 12 Lobastov K, Borsuk D, Fokin A, et al. Caprini Score in Venous Surgery: First Results from an Ongoing Registry Study [J]. Journal of Vascular Surgery Venous and Lymphatic Disorders, 2021, 9 (2): 550-551.

(上接第 69 页)