

院内脓毒症风险管理系统设计与实现^{*}

陈珊黎 庞书丽 郑 涛 王颖晶 丁粉华 邵维君 贾红岩 韩 刚 吴晓萍

(上海交通大学医学院附属仁济医院 上海 200127)

〔摘要〕 介绍脓毒症防治现状及存在的问题, 详细阐述应用人工智能技术构建院内脓毒症风险管理系统的方法, 分析系统应用效果, 指出该系统可实现患者住院期间脓毒症筛查指标、诊断指标的持续监测与及时预警。

〔关键词〕 人工智能; 脓毒症; Sepsis 3.0; 早期诊断; 早期识别

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2022.05.016

Design and Implementation of Nosocomial Sepsis Risk Management System CHEN Shanli, PANG Shuli, ZHENG Tao, WANG Yingjing, DING Fenhua, SHAO Weijun, JIA Hongyan, HAN Gang, WU Xiaoping, Renji Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200127, China

〔Abstract〕 The paper introduces the current situation and existing problems of sepsis prevention and treatment, expounds the method of constructing nosocomial sepsis risk management system with Artificial Intelligence (AI) technology in detail, analyzes the application effect of the system, and points out that the system can realize the continuous monitoring and timely warning of the screening and diagnosis indicators of sepsis during hospitalization.

〔Keywords〕 Artificial Intelligence (AI); Sepsis; Sepsis 3.0; early diagnosis; early recognition

1 引言

1.1 脓毒症概述

脓毒症 (Sepsis) 是感染引起宿主反应失调进而导致危及生命的器官功能损害的症候群, 具有起病急、进展快、死亡率高的特点, 是医院重症加强护理病房 (Intensive Care Unit, ICU) 患者死亡的最重要病因。我国一项针对 44 所医院 ICU 的研究显示, ICU 患者脓毒症发病率为 20.6%, 病死率为

35.5%, 严重脓毒症病死率高达 50% 及以上^[1]。脓毒症诊治、预后与治疗时间密切相关, 患者每延迟 1 小时治疗死亡率增加 7.6%^[2]。因此《中国脓毒症早期预防与阻断急诊专家共识》、中国预防脓毒症行动 (Preventing Sepsis Campaign in China, PSCC) 等提出将预防脓毒症发生和阻断进展作为行动关键节点, 以降低脓毒症发生率和病死率^[3]。

1.2 脓毒症定义与诊断标准发展

脓毒症定义与诊断标准历经 3 次版本演变。1991 年提出的 Sepsis 1.0 采用全身炎症反应综合征 (Systemic Inflammatory Response Syndrome, SIRS) 诊断标准, 但过于敏感并缺乏特异性; 2001 年提出的 Sepsis 2.0 在 SIRS 基础上增加 21 个指标及参数, 过于复杂而阻碍临床应用^[4]; 2016 年发布的 Sepsis 3.0 将“序贯性器官衰竭评分 (Sequential Organ Failure Assessment, SOFA) ≥ 2 分”、且发生“感

〔修回日期〕 2021-08-24

〔作者简介〕 陈珊黎, 初级职称, 发表论文 2 篇; 通信作者: 郑涛, 正高级职称。

〔基金项目〕 上海经信委课题项目“面向仁济医院医联体的专病临床科研智能辅助决策平台建设” (项目编号: 201901007)。

染”两个指标作为脓毒症诊断标准，推荐快速序器官衰竭评分（quick Sequential Organ Failure Assessment, qSOFA）为住院患者疑似脓毒症筛查工具。Sepsis 3.0 能有效反映脓毒症患者病理及生理过程且在诊断操作上更简单，能够达到早诊早治目的，值得临床使用^[5]。

1.3 脓毒症防治存在的问题

脓毒症实际临床诊治中延误诊断、关键指标评估率低等问题突出。一项涉及华中地区 79 家医院的急诊脓毒症防治现状调查显示，急诊医务人员对 PSCC 知晓率仅 39.3%，对 Sepsis 3.0 知晓率为 64.7%，认为影响脓毒症诊治效果的最主要原因是早期识别能力有限，导致临床诊断率偏低^[6]。该问题主要由于以下 3 方面原因：一是脓毒症临床症状不典型；二是 SOFA 评估体系繁琐，涉及呼吸系统、血液系统等器官 11 项变量，临床难以实现准确而持续的评估；三是全院性管理问题，非急诊 ICU 医生缺乏主动筛查防治意识，指南依从性低。

1.4 脓毒症防治最新进展

近年来人工智能技术逐渐应用于疾病风险预测领域研究中，运用机器学习算法挖掘患者临床数据，建立脓毒症预测与诊断模型，能够提高脓毒症早期检出率^[7]，提高治疗效率，改善不良结局^[8]。

2 资料与方法

2.1 研究方法

国内外已有多项利用人工智能（Artificial Intel-

ligence, AI）算法建模预测脓毒症风险的研究，但多为验证性研究或应用于死亡风险预测，缺乏基于 Sepsis 3.0 的脓毒症预测与早诊应用。基于 Sepsis 1.0 与 2.0 标准的应用可能导致误诊、漏诊^[4]，本研究基于 Sepsis 3.0 诊断标准，面向设置病房的临床科室与医务管理部门，采用自然语言处理、深度学习算法等人工智能技术，进行患者临床数据挖掘分析，构建院内脓毒症风险管理系统，对在院患者进行脓毒症风险与诊断指标的持续监测、实时预警，对该病种质控情况进行多维度统计、分析，以实现全院脓毒症风险的早期识别与诊断、患者死亡风险预测，减轻临床 SOFA 评估负担，为临床及时治疗争取时间，最终达到持续改进医疗质量与安全的目的。

2.2 研究内容

主要包括针对临床科室与医务部门的业务需求设定系统核心节点、管理流程；基于患者临床数据与 Sepsis 3.0 诊断标准进行算法建模；制定预测模型的验证流程。

3 系统设计

3.1 监测指标设定

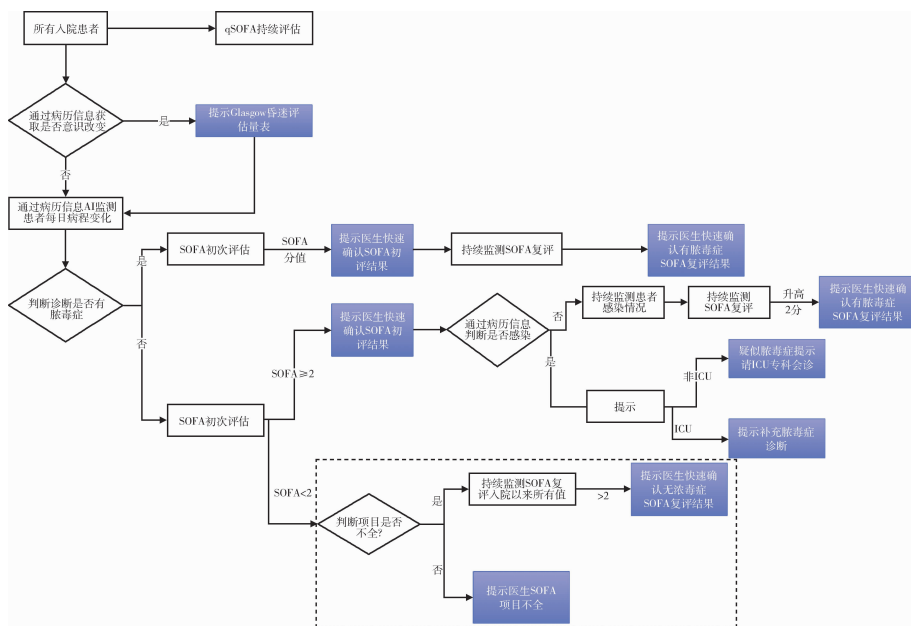
为实现脓毒症风险预警，支撑临床决策，减轻临床工作负担，脓毒症风险管理系统监测指标参考脓毒症临床指南与专家共识，遵循脓毒症临床诊断标准，由 ICU 科室专家与系统研发团队共同制定，见表 1。

表 1 系统核心监测指标

序号	监测指标	质控要求
1	qSOFA	对所有住院患者自动进行 qSOFA 评估，对分值≥2 的患者实时统计，提供给医生/管理者查看；对分值<2 的患者持续监测
2	格拉斯哥昏迷评分（Glasgow Coma Scale, GCS）	GCS 为 SOFA 变量之一，对具有“嗜睡”等特征的患者提醒临床完成 GCS（GCS10~12 分对应 SOFA 的 2 分，一旦达到该分值将实时弹出 SOFA 预警）
3	SOFA	持续监测住院患者 SOFA 指标，对分值≥2 的患者实时弹出评估结果；由于 SOFA 分值与患者死亡率成正比，患者分值增幅≥2 时均提醒临床复评（临床由此相应准备抢救方案）
4	感染指征	持续监测患者感染指征，对 SOFA≥2 的感染患者，提醒 ICU 科室医生补充脓毒症诊断；非 ICU 医生则提供会诊功能，通知 ICU 医生会诊

根据 qSOFA、Glasgow 昏迷评分、SOFA、感染指征 4 个指标,系统在患者住院期间通过解析病历内容变化进行持续监测,一旦达到质控标准将实时做出预警、提醒补充诊断等。由于急诊科患者相关回顾性研究指出 qSOFA 评分价值有限,其识别脓毒症能力不如其他评估模型^[9],因此设定系统对于自

动评估结果为 $\text{qSOFA} \geq 2$ 的患者仅在后台进行统计，而非医生工作界面实时提醒。另外 GCS 量表中的变量均为主观性评价，而非生命体征等证据类数据，所以该类评分设定为提醒医生人工执行将更为准确。对于 $\text{SOFA} \geq 2$ 以及符合诊断标准的患者，均在医生工作界面进行自动评价与实时提醒。在既定监测指标与质控逻辑下，系统管理流程，见图 1。



注：紫色模块为医生工作界面提醒内容。

脓毒症风险管理系统基于患者临床数据进行相关指标评价,在系统实施上线前先与 ICU 临床医生确定该应用场景数据采集需求。为确保系统数据采集完整性,提高系统预测性能,医院真实病历采用 2.0 版的国际疾病分类第 10 次修订本 (International Classification of Disease V10, ICD-10) 诊断字典和 ICD-10 手术字典。应集成的数据及业务系统包括但不限于住院电子医嘱系统,住院电子病历系统,医院信息系统 (Hospital Information System, HIS), 检验信息系统 (Laboratory Information System, LIS), 放射信息系统 (Radiology Information System, RIS), 护理信息系统 (Nursing Information System, NIS)。其中能够采集到的数据尽量是患者入院前 3 天门诊/急诊

LIS、RIS、NIS 数据以及入院后所有 LIS、RIS、NIS、病历文书数据, 以确保 SOFA 评估量表中的血小板计数、血清胆红素浓度等项目数据、疑似感染或感染信息能够被抓取与识别。

脓毒症风险管理系统在技术层面的 3 个要素是后结构化数据、知识图谱、规则推理引擎, 见图 2。鉴于脓毒症风险管理系统通过智能接口直接获取的临床数据结构化程度低且具有多源异构特点^[10], 需要使用自然语言处理技术来完成临床数据抽取与实体分类。目前国内病历文本识别领域尚未形成完整、标准的分类 tag 标签, 导致很多重要属性类实体, 如“阴性/阳性/是否本人/既往/现在/时间”等医学信息没有被抽取覆盖^[11-12]。在构建脓毒症风险管理系统过

程中,通过融合国际性、多语种、包含内容广泛的临床医学术语集^[13]——SNOMED CT 术语概念,和电子病历包含众多医学命名实体与属性集合的特点,构建自洽性更强的中文病历实体分类标签体系。新的标签体系共设计 26 个标签类型,形成完善的中文术语词表,自然处理技术在标签基础上,通过分句、分词、词性标注、实体链接与编码,进一步完成患者临床数据分类提取与后结构化处理。在知识图谱构建上,采用有监督式深度学习算法,引入医学人工标注方式抽取国内外脓毒症权威指南文献、专家共识、医学教材等中的医学逻辑,构建疾病知识与知识规则库,形成覆盖 3 000 余病种、万余篇权威文献的医学知识图谱。医学知识图谱结合真实临床环境诊疗数据抽取的关键信息,使知识图谱的知识规则得以更新迭代,完整性与标准性进一步提高。基于上述自然语言处理形成的标准化信息及医学知识图谱,采用深度学习算法完成脓毒症预测模型构建,输出为风险评估、诊断等知识表示,从而在临床诊疗过程中能够对住院患者完整临床病历数据进行实时分析,将智能提示推送到医生工作站界面。

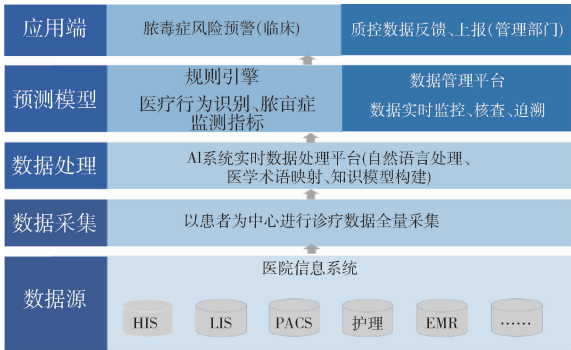


图 2 系统技术架构

3.5 系统验证

系统上线前先组织临床医生通过人机评分对比方式对系统自动完成的 SOFA 评估结果进行审核,以判定系统评估准确性(目标值为 95% 以上)。人工评测流程主要包括 4 个步骤:一是选择临床经验丰富的 ICU 科室医生作为系统评分验证人员;二是在 ICU 科室真实临床环境中选择数据记录较完整、准确的住院患者,进行 SOFA 各项变量的 AI 评估准确性评测(与人工评估一致即视为准确);三是将系统完成的每个 ICU 患者 SOFA 评估细项结果导出

成表,逐项人工审核;四是经系统验证人员审核,对系统评估错误与遗漏情况进行汇总统计,提交给系统研发团队分析问题产生根源,制定解决方案优化算法。在本次研究中共进行了两轮系统测评,每次选择 10 位 ICU 住院患者进行 SOFA 评估。其中第 1 轮测评结果显示,SOFA 评估表中的循环系统、呼吸系统、肾脏系统相关变量评估准确率为 100%,平均准确率为 76%;经过问题查因与算法优化后,第 2 轮评测除血小板评估准确率 90% 外,其余变量评估准确率均为 100%,平均准确率为 98.75%。经过持续算法优化后,系统准确率不断提升。

4 结果

4.1 事中质量评价

患者入院后,在医生书写病历过程中系统自动对接医院信息系统中的患者临床数据,挖掘与监测指标相关联数据,通过 qSOFA 指标实时评估,帮助医生鉴别出疑似感染患者;通过预警 SOFA 指标分值变化,帮助临床密切关注患者死亡风险,实现每 2 小时重复评分;通过对临床做出诊断等个性化管理,实现 ICU、非 ICU 科室脓毒症早期诊断。由于系统知识库已纳入脓毒症相关疾病知识与评估表,医生需要查询文献资料、实施 GCS 评分等,可直接在系统上操作,提升工作便捷性。

4.2 质控数据统计

系统上线前医院管理者对感染患者 SOFA 指标是否有漏评,诊断是否及时等情况难以实时了解,依靠强大算法能力,系统能够实时统计汇总全院、科室、医生脓毒症风险管理情况,支持对各项指标进行纵横向比较,帮助医院医务处、科室管理者实时获悉重点患者相关指标评估、会诊等情况,实现精细化疾病管理并相应地改进质量管理方案。

5 结语

系统在全院推广使用前,先选定 ICU 作为试点科室,经过前期临床效果验证与知识模型迭代优化,再逐步增加应用科室以提高临床接受度。同时

采取电子卡控方案,促使医生及时确认系统评估结果和补充诊断,提高指南依从性。此外在系统实施与运行过程中,可采取 3 个策略进行数据治理,为系统应用提供高质数据:一是对数据采集所在医院信息系统的技术框架和成熟程度进行调研,确定数据治理具体技术;二是与系统研发团队合作,制定数据质量标准,例如数据逻辑标准、病历文书结构化标准等,利用目前市场上已有的数据治理工具对数据进行自动化校验,从病历内容覆盖率、准确率多维度提高数据质量;三是结合人工标注提升病历数据后结构化精准度。通过形成智能应用与数据基础的治理循环,相互发现问题、优化改进。

参考文献

- 1 Xie J, Wang H, Kang Y, et al. The Epidemiology of Sepsis in Chinese ICUs; A National Cross - Sectional Survey [J]. *Critical Care Medicine*, 2020, 48 (3): e209 - e218.
- 2 Ferrer R, Martin - Loeches I, Phillips G, et al. Empiric Antibiotic Treatment Reduces Mortality in Severe Sepsis and Septic Shock from the First Hour; Results from a Guideline - based Performance Improvement Program [J]. *Crit. Care Med.*, 2014 (42): 1749 - 1755.
- 3 《中华急诊医学杂志》编辑部. 中国脓毒症早期预防与阻断急诊专家共识 [J]. *中华急诊医学杂志*, 2020, 29 (7): 885 - 895.
- 4 吴森,杜贤进,魏捷,等. 华中地区 79 家医院急诊脓

- 毒症诊治现状调查分析 [J]. *临床急诊杂志*, 2021, 22 (4): 291 - 296.
- 5 薄禄龙,卞金俊,邓小明. 2016 年脓毒症最新定义与诊断标准:回归本质重新出发 [J]. *中华麻醉学杂志*, 2016, 36 (3): 259 - 262.
- 6 崇殿真. 脓毒症 3.0 在脓症患者诊断中的应用研究 [J]. *临床医药文献电子杂志*, 2019, 6 (1): 147 - 148.
- 7 Goh K H, Wang L, Yeow A Y K, et al. Artificial Intelligence in Sepsis Early Prediction and Diagnosis Using Unstructured Data in Healthcare. [J]. *Nature Communications*, 2021, 12 (1): 1 - 10.
- 8 齐霜,徐浩然,胡婕,等. 基于机器学习的重症监护病房脓症患者早期死亡风险预测模型 [J]. *解放军医学院学报*, 2021, 42 (2): 150 - 155, 181.
- 9 Haydar S, Spanier M, Weems P, et al. Comparison of qSOFA Score and SIRS Criteria as Screening Mechanisms for Emergency Department Sepsis [J]. *Am J Emerg Med*, 2017, 35 (11): 1730 - 1733.
- 10 李刚. 浅谈大数据时代下的医院信息化建设 [J]. *数字化用户*, 2017 (37): 118.
- 11 何彬. 面向临床文本的医学经验知识抽取研究 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.
- 12 杨锦锋,于秋滨,关毅,等. 电子病历命名实体识别和实体关系抽取研究综述 [J]. *自动化学报*, 2014, 40 (8): 1537 - 1562.
- 13 董燕,崔蒙,贾李蓉. SNOMEDCT 层次结构与标识符 [J]. *中国数字医学*, 2012, 7 (2): 68 - 72.

(上接第 78 页)

查询献血者在全国的献血记录,对推动全国献血数据的整合与完善提供基础,为开展献血者全国表彰申报、用血费用减免等全国性关爱政策创造有利条件。未来将推进以电子献血证为载体,集众多功能于一体的全国无偿献血信息服务体系建设,为献血者带来更好的献血体验,鼓励更多人加入到无偿献血队伍中来。

参考文献

- 1 原国家卫生和计划生育委员会. 关于启用新版无偿献血证的通知 [EB/OL]. [2016 - 04 - 15]. <http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s7658/201604/a9360865dfe24086ad06beeb28b1a775.shtml>.
- 2 胡伟. 无偿献血将迈入“智慧互联”时代 [J]. *中国卫生*, 2020 (6): 67 - 68.

- 3 孟群,尹新,梁宸. 中国“互联网 + 健康医疗”现状与发展综述 [J]. *中国卫生信息管理杂志*, 2017, 14 (2): 110 - 118.
- 4 张学高,周恭伟,汤学军. 电子健康卡的设计与应用 [J]. *中国卫生信息管理杂志*, 2018, 15 (3): 237 - 241.
- 5 杨洋,严晓明,邓晓晖. 基于云计算和服务化中台架构的医院信息系统构建 [J]. *中国卫生信息管理杂志*, 2019, 16 (6): 749 - 754.
- 6 孔长虹,徐烨彪,胡伟,等. 浙江血液云平台的建立与应用 [J]. *中国输血杂志*, 2018, 31 (9): 1070 - 1072.
- 7 赵冬梅,朱永宝,李雅静,等. “互联网 + 无偿献血”综合管理模式的建立与应用 [J]. *中国输血杂志*, 2017, 30 (9): 1073 - 1075.
- 8 李雅静,张颖萍,常缨,等. 献血服务平台搭建与应用 [J]. *中国卫生质量管理*, 2015, 22 (5): 89 - 91.
- 9 裘君娜,孔长虹,金立明,等. 浙江省电子无偿献血证系统的建立与应用 [J]. *中国输血杂志*, 2021, 34 (1): 80 - 82.