

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20230753

• 学术园地 •

数智融合背景下重症医学科发展的机遇、挑战与对策

徐天宇^{1,2}, 余松轩², 侯冷晨², 马鸣骁², 何 萍², 沈 兵^{1,3*}

1. 上海理工大学健康科学与工程学院, 上海 200093

2. 上海申康医院发展中心, 上海 200041

3. 上海市第十人民医院, 上海 200072

[摘要] 近年来, 数字化与传统工业化深度融合的理论体系与实践路径逐渐成熟。医学创新和数字化技术顺应时代进程, 重症医学科与智慧化的深度融合正打破传统信息化边界, 迎来新的发展机遇。利用 5G、大数据、人工智能、数字孪生等技术可帮助医护人员了解更为复杂的重症医学问题, 提高疾病和症状的诊断及预测能力, 制定更精准的治疗策略, 甚至转变重症医学的服务模式。本文对数字化技术在重症医学实际场景中的应用和挑战进行归纳, 为进一步夯实基础建设、丰富应用场景、加速应用落地、提升应用效果、强化安全合规提供建议与方向。

[关键词] 数智融合; 重症医学; 人工智能; 数字孪生; 大数据

[引用本文] 徐天宇, 余松轩, 侯冷晨, 等. 数智融合背景下重症医学科发展的机遇、挑战与对策[J]. 海军军医大学学报, 2025, 46(1): 118-122. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20230753.

Critical care medicine under the background of digital intelligence integration: opportunities, challenges, and strategies

XU Tianyu^{1,2}, YU Songxuan², HOU Lengchen², MA Mingxiao², HE Ping², SHEN Bing^{1,3*}

1. School of Health Science Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

2. Shanghai Hospital Development Center, Shanghai 200041, China

3. Shanghai Tenth People's Hospital, Shanghai 200072, China

[Abstract] Recently, the theoretical system and practical path for the deep integration of digitalization and traditional industrialization have gradually matured. Medical innovation and digital technology are progressing, and the deep integration of intensive care medicine and intelligence is surpassing the traditional informatization and ushering in new development opportunities. Technologies such as 5G, big data, artificial intelligence, and digital twins can help to understand more complex critical care issues, improve the diagnoses and prediction of diseases and symptoms, develop more accurate treatment strategies, and even transform the service model of critical care medicine. This paper summarizes the application and challenge of digital technology in the practical scenarios of critical care medicine, so as to further consolidate infrastructure, enrich application scenarios, accelerate implementation, improve effectiveness, and strengthen the safety and compliance with the regulations.

[Key words] digital intelligence integration; critical care medicine; artificial intelligence; digital twin; big data

[Citation] XU T, YU S, HOU L, et al. Critical care medicine under the background of digital intelligence integration: opportunities, challenges, and strategies[J]. Acad J Naval Med Univ, 2025, 46(1): 118-122. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20230753.

重症医学是围绕重症患者器官功能障碍或衰竭的问题, 研究其内在规律、诊断、监测、治疗和早期干预的临床学科。虽然我国重症医学起步较晚, 但经过近 40 年的发展, 重症医学事业已步入

了专业化、规范化的建设路径, 学科发展与临床诊疗技术都取得了显著进展^[1]。近年来, 随着大数据、5G、人工智能、云计算等新一代技术的涌现, 医疗服务正迈向与数字化深度融合的新时代。ICU 是医

[收稿日期] 2023-12-20

[接受日期] 2024-02-23

[基金项目] 国家科技创新 2030—“新一代人工智能”重大项目(2021ZD0113501)。Supported by National Scientific and Technological Innovation 2030—“New Generation Artificial Intelligence” Major Project (2021ZD0113501).

[作者简介] 徐天宇, 硕士, 工程师. E-mail: xu.tianyu42@outlook.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-66303224, E-mail: shenbingyishi@163.com

疗机构集中救治重症患者的场所,依靠种类繁多的专业仪器支撑日常诊疗和监护活动,伴随产生了丰富的医疗数据,构筑了重症医学科新时代创新的基础优势,也为学科的创新发展创造了新的机遇和挑战。未来的重症医学科将是智能化与智慧化赋能的医疗和研究模式,打开数据驱动下医疗与数字科技纵深化融合的新格局^[2]。

1 重症医学科的数智融合应用

1.1 大数据技术在重症医学中的应用 ICU的患者病情严重,发展变化快,多伴有脏器衰竭,使用的仪器及检测设备复杂,需要持续接受密集的监测和治疗。重症监护和救治工作争分夺秒、专业化程度高,医护人员需要密切监测各种仪器采集的数据,及时发现异常变化、判断病情并做出医疗决策。在精神长期处于高度集中和战备状态下,始终保持准确快速的应变能力对医护人员是极大的挑战。在信息化时代,重症监护信息系统的逐渐普及在一定程度上规范了监护和管理等常规医疗流程,减轻了医护人员的工作压力与职场疲劳,并且有效缓解了患者病情,改善了患者生存质量^[3-4]。

进入大数据时代,ICU监护仪器源源不断产生的患者生命体征数据进一步促进了重症临床救治工作效率和质量的提升。通过5G网络技术组建的ICU医疗设备专用网络具有实时、自动化和无线化等优势,配合终端模块可采集病房内各监护仪、呼吸机、输液泵和心电监护仪等设备的数据,并在信息系统初步汇总和融合^[5]。系统可根据监护的需要设置数据采集的频率,并调整异常数据的自动报警线。相关数据可自动抓取记录至电子护理单,自动生成病历、填写评估表单,降低护理人员重复性手工登记的工作量,并减少抄录错误发生。系统内的数据合并后可根据管理和监护的需要进行可视化图表展示,方便一览掌握ICU所有患者的总体情况。

ICU重症患者的救治时间紧迫、病情复杂、所需侵入性操作多、医护人员工作负荷强,潜在医疗风险较高,ICU数据的批量采集和治理可为医疗质量控制提供基础。与医疗风险相关的患者体征指标可通过数据实时监测及时记录并提前预警。通过数据探索患者体征、救治策略与风险的关系,有助于医护人员深入分析风险因素和总结经验,从总

体上评价临床诊疗行为的规范性,保障患者的权益和安全,提高医疗质量。医疗机构管理层还可获得客观的量化指标评价科室医疗质量,提高管理决策水平。

1.2 人工智能在重症医学中的应用 在ICU信息系统(数据库)与医院信息系统、实验室信息系统、医学影像归档和通信系统、电子病历系统等系统互联互通、集成度不断提高的趋势下,从ICU抓取的患者生命体征、血气分析和维持设备数据,与临床影像学检查、实验室检查、病理检查、分子检测等数据进一步关联汇总,形成多主题、多维度、多模态的以患者为中心的全息时序数据库,成为驱动重症医学临床工作从局部自动化和信息化转向与数字化和智慧化全面融合的关键基础要素。多维全息数据将综合更完整的患者信息,驱动人工智能模型快速识别症状、作出疾病诊断、预判病情走向,并仿照专家经验指导低年资医师制定诊疗方案,在床医比不变的前提下,进一步提升患者救治的质量和效率。

重症医学的智慧化是通过理解大数据中蕴含的已有临床经验和潜在知识,转化成诊疗决策和临床创新的能力。人工智能技术可以从海量、庞杂、价值密度低的数据中挖掘隐含知识,通过不同的算法结构对实际临床任务建模,将临床真实案例中表示与解决问题有关的变量数据输入模型,比对模型的计算结果与对应答案(代表临床任务的真实结局)的差距,再将差距反馈至模型参数进行相应调整,并迭代以上训练过程逐步缩小差距。当训练模型的差距达到可接受范围且通过独立验证,就得到了拥有解决特定重症医学问题经验的人工智能模型。这些模型可以辅助医护人员前瞻性发现患者的病情变化,识别和预测危重症状,帮助医护人员快速反应和制定最佳救治策略,并提前实施干预,提高救治成功率和效率,改善患者预后。

重症医学数据库(Medical Information Mart for Intensive Care, MIMIC)拥有美国波士顿迪肯尼斯医疗中心ICU收治的4万多例患者的医疗健康数据,记录了患者人口学、入院、检验、检查、用药、急诊、生命体征、影像、ICU护理等信息。经过4个主要版本的发展,MIMIC已成为重症医学领域重要的专科研究数据集。利用MIMIC数据库,Zhao等^[6]验证了基于15个变量的紧凑型集成

学习算法模型,为脓毒症诱导的凝血障碍(sepsis-induced coagulopathy, SIC)提供了准确的预测工具(SIC是脓毒症患者的常见并发症,可导致凝血功能紊乱,造成多器官功能障碍综合征,引发严重临床后果^[7]);Komorowski等^[8]开发了强化学习的计算模型,能够动态地为成年脓毒症患者建议静脉输液和血管加压药顺序的最佳治疗决策,并通过独立于训练数据的大型验证队列证实,当临床医师开出的实际剂量与模型决策相匹配时患者死亡率最低,改善了患者的预后;Prasad等^[9]采用强化学习算法开发了预测停用呼吸机时机和推荐最优镇静剂量个性化护理方案的决策支持工具,同时护理方案还降低了并发症风险和住院费用。MIMIC数据库面向全球医疗研究人员和数据科学家免费开放,为疾病模式分析、预测和临床决策支持等重症医学研究提供了宝贵的资源。

人工智能模型已经被证明在疾病预测和优化医疗策略等特定任务中发挥重要作用。使用非结构化文本数据(如医疗文书)和更多参数的模型训练可得到医疗大语言模型(large language model, LLM),LLM拥有更强的通用性和语言理解能力,可以整合不同医学领域的知识,提供复杂的文字总结、跨学科的决策方案、个性化的医疗服务和良好的人机互动体验。在重症医疗场景中,除了进行智能分析与辅助诊断,LLM能够根据患者诊疗情况自动生成医疗段落文本,并按照要求提炼特定报告。LLM还可帮助医疗后台支持人员更快地处理患者的健康服务和咨询请求,为患者提供更丰富、更准确、更人性化的医学知识、医疗建议和保健指引。LLM为重症临床带来了智慧化发展,也为医护人员和患者提供了更多的人文关怀,使医护人员能专注地提升临床医疗服务质量。

多模态的大数据还将改变重症医学的临床研究模式。基于大数据和重症患者的“真实世界”队列研究可打破传统对照试验的抽样局限^[10],得出的结果具有更高的外部有效性。在数字化临床试验模式中利用多模态数据人工智能模型可生成最佳合成对照组,实现使用外部数据进行对照^[11],从而减少招募患者的数量及跟进随访的工作量,减少药物研发成本,缩短药物上市周期^[12]。

1.3 数字孪生在重症医学中的应用 数字孪生是将现实中的物理实体在数字空间复制映射相同虚拟

对象,并在虚拟对象上实时动态感知和反映实体变化的仿真理念。数字孪生结合了传感器、物联网、大数据、云计算、5G、仿真、人工智能、虚拟/增强/混合现实等新兴数字化技术,融合大量的数据和模型知识,以实现物理世界表象和内在信息的综合汇聚和展现。通过数字孪生体可以跟踪、监控和预知主体的行为发展,在数字空间对孪生体进行干预的模拟、演练和结果预测,有助于提前调整策略的相关参数、资源配置和实施路径,尽可能避免未知的风险,提高主体实施的成功概率^[13]。

将数字孪生技术应用在重症医学科和ICU管理,可进一步提升ICU各类监护设备的数字化集成,通过患者的医学全息数据、病房环境和救治仪器实时数据对患者和病房整体情况进行精细化仿真,在虚拟映射出数字孪生体上全方位监测患者真实个体的各项生命体征指标;各种疾病风险预测的人工智能模型可在数字空间得到深度融合,通过对患者孪生体的实时“计算”达到对真实患者病情的风险预测和策略评估,实现对高危事件更快的应对能力。Lal等^[14]使用因果推断人工智能方法开发和验证危重患者的数字孪生模型,预测了脓毒症最初24 h内对临床治疗的反应。该研究证实ICU因具有高可用性的多种数据及相对较短的患者周转时间,可成为开发和测试数字孪生患者模型的理想场景,提示对真实重症患者实施干预之前先在虚拟环境中使用数字孪生模型测试干预效果这一策略具有可期待的前景。

3D与动态可视化技术的运用为人们提供了更为清晰直观的视角来深入理解和洞察大数据,显著增强了沟通的效率与效果。数字孪生凭借多维度、高精度摄像头和传感器等硬件体系,以及虚拟现实、仿真建模和视觉渲染等技术手段,在数字空间生动地重建现实场景,提供不受物理空间限制的优质交互体验。数字孪生重症医学可促进远程ICU病房的场景落地,如通过部署沉浸式展示仓对ICU病房和患者重建数字孪生体,可让重症医学专家或MDT医疗团队真实、完整、实时获取不在现场的患者病情,制定精准的诊疗策略,还可以实现医师随时随地进行高质量、高效率远程查房,提高工作效率;数字孪生ICU还可将病房内的丰富情景集中展现至护理站,护士可方便地了解室内灯光、温度等环境状况,观察患者因疼痛、痰液潴留等引发

的面部表情、肢体活动、通气顺应性变化,并实时监控患者气管插管等装置的位置,及时发现和阻止插管脱出风险,减少护士工作量和床边时间,从而降低重症病房床护比;数字孪生远程ICU可将高水平的诊疗服务提供给偏远地区的重症患者,推动优质医疗资源下沉,缓解我国重症医学人才和资源不均衡的问题;数字孪生病房模式还可进一步将救治关口前移至普通科室病房和120救护车等空间,ICU的重症救治人员可通过患者孪生体提前了解和应对可能出现的危重症状,及时远程指导应对策略,提高患者送达ICU后的救治成功率。

2 重症医学数智融合面临的挑战

2.1 缺少高质量的多模态数据支撑 随着数字化技术的发展,许多软硬件技术的进步如存储、网络、算法、算力等不再是限制数字孪生等创新应用的瓶颈,数据已逐渐成为推动医学科技创新研究和应用的核心,也成为医学与数字科技深度融合的“血液”介质。数据的质量是关键,取决于规范统一的标准制定和科学有效的管理手段。目前,数据质量的主要问题有数据标准缺乏规范管理、集成度和完整性较低等。现实中,由于重症医学科的临床特点,ICU内的医疗设备类型众多,互相独立运转,设备缺乏标准的交换接口与结构规范,致使多源的数据异构且孤立,还存在部门厂商的设备数据封闭等问题,难以有效采集和整合ICU的全部数据。另外,重症医学科的信息系统因与医疗机构中其他业务系统的集成度不足造成数据孤岛,导致重症专科数据与患者的其他诊疗、用药、检查、随访等数据关联程度低,多模态的数据集不够完整,难以为重症医学复杂问题的深入研究提供基础。医疗机构应重视数据标准的建设和管理,由信息部门或数据中心牵头,在制定数据标准方面,接受各医疗业务科室的指导,并结合临床专科的特色,根据科室使用、医院管理、院际共享的实际需要,建立多层次的数据集和字典等标准,促进医疗机构数据的纵向融合深度。在提高数据集成度方面,医疗机构应通过制定数据接口的技术标准和框架式IT服务的管理标准,推动各类医疗设备和信息系统“应接尽接”,同时根据数据标准实施治理,在保证数据质量基础上提高数据的横向融合广度。

2.2 数据安全和患者隐私保护的挑战 医疗数据

日益增长的汇聚规模和共享需求引发了数据安全和隐私保护的严峻挑战。数据含有患者的个人家庭信息、病史、用药治疗、检验检查、影像和个人身份信息,一旦泄露可能造成身份盗窃、虚假索赔、保险欺诈、个人隐私侵犯等问题,对患者和家属的经济、心理精神健康产生负面影响。医疗机构也面临着外部网络攻击威胁和内部人员不当操作等风险,还要应对数据云端存储和移动设备访问所带来的安全挑战。在数据安全保护方面,医疗机构可通过授权不同角色和权限实现多级别的数据访问控制,采用强化的数据加密策略和区块链技术对数据加密保护^[15],防止数据的不当获取和篡改,同时在数据共享环节对患者隐私数据进行去标识化或匿名化处理,并在日常管理中通过培训加强所有工作人员的数据安全意识,建立数据安全的监控、预警和应急处理机制,在发生安全事件后第一时间响应。

2.3 缺乏数据治理长效体系机制 医疗机构缺乏对数据管理的战略规划,在组织层面对数据治理的体系设计及统筹开展治理工作的重视程度不足,欠缺构建高质量医学大数据资产的长效投入机制,从数据要素沉淀和积累到医学价值创造和产出过程的决心和耐心也需加强。为获得高质量重症医学科多模态融合数据库,医疗机构应将积累优良数据资产、建设数据治理体系、培养数据管理人才纳入战略发展规划,在数据的采集、标准化、结构化、存储、关联、治理、质控、分析、应用、转化等环节,将数据价值理念融入贯穿至医院各层级的日常管理和工作,形成良性协同的组织数据文化,为重症医学及其他学科的高水平价值创造提供良好的基础和环境。

3 小结

重症医学科与数字化技术的深度交融可为其带来颠覆性革命,将疾病症状发生后才给予治疗的方式转变成前瞻性的预测和预防式干预,提前阻止危险症状的发生,提高患者的预后恢复水平。重症医学科数智融合的纵深化,以医学问题和数据价值为启发,以患者个体数据为中心,以数据质量为核心,医疗机构长远规划,形成组织层面的数据管理体系框架;利用各种数字化技术,在重症医学的各个场景实现大数据的价值创造,提高重症临床的诊疗水平,精细化ICU的运营和管理,改善重症患者

的康复预后,促进重症医学科的科学研究,助力公立医院高质量发展。

[参考文献]

- [1] 郭凤梅,杨毅,邱海波. 重症医学近10年进展[J]. 中华内科杂志, 2013, 52(2): 130-132. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2013.02.019.
- [2] VINCENT J L, SLUTSKY A S, GATTINONI L. Intensive care medicine in 2050: the future of ICU treatments[J]. *Intensive Care Med*, 2017, 43(9): 1401-1402. DOI: 10.1007/s00134-016-4556-4.
- [3] CLANCY H, JOHNSON C. Design, organization and staffing of the intensive care unit[J]. *Surgery (Oxford)*, 2021, 39(1): 7-14. DOI: 10.1016/j.mpsur.2020.11.007.
- [4] 赵香萍,赵文静,佟春雨,等. 重症监护临床信息系统在急诊重症监护室中的应用[J]. 实用临床医药杂志, 2016, 20(14): 39-42. DOI: 10.7619/jcmp.201614013.
- [5] 夏凯. 浅析基于5G技术的重症临床信息系统的设计[J]. 科技创新导报, 2022, 19(7): 63-65. DOI: 10.16660/j.cnki.1674-098X.2202-5640-6702.
- [6] ZHAO Q Y, LIU L P, LUO J C, et al. A machine-learning approach for dynamic prediction of sepsis-induced coagulopathy in critically ill patients with sepsis[J]. *Front Med*, 2021, 7: 637434. DOI: 10.3389/fmed.2020.637434.
- [7] 周醒,谢剑锋,杨毅. 脓毒症相关凝血功能障碍的机制及药物治疗进展[J]. 中华内科杂志, 2022, 61(2): 224-228. DOI: 10.3760/cma.j.cn112138-20210314-00212.
- [8] KOMOROWSKI M, CELI L A, BADAWI O, et al. The artificial intelligence clinician learns optimal treatment strategies for sepsis in intensive care[J]. *Nat Med*, 2018, 24(11): 1716-1720. DOI: 10.1038/s41591-018-0213-5.
- [9] PRASAD N, CHENG L F, CHIVERS C, et al. A reinforcement learning approach to weaning of mechanical ventilation in intensive care units[J/OL]. arXiv:1704.06300v1(2017-04-20) [2023-12-15]. <http://arxiv.org/pdf/1704.06300>.
- [10] 刘景峰,段美丽. 健康中国背景下中国重症医学的学科建设[J]. 医学研究杂志, 2021, 50(11): 5-7, 30. DOI: 10.11969/j.issn.1673-548X.2021.11.002.
- [11] THORLUND K, DRON L, PARK J J H, et al. Synthetic and external controls in clinical trials—a primer for researchers[J]. *Clin Epidemiol*, 2020, 12: 457-467. DOI: 10.2147/CLEP.S242097.
- [12] ACOSTA J N, FALCONE G J, RAJPURKAR P, et al. Multimodal biomedical AI[J]. *Nat Med*, 2022, 28(9): 1773-1784. DOI: 10.1038/s41591-022-01981-2.
- [13] 陈玉倩,侯晓慧,朱碧帆,等. 数字孪生在精准医疗应用中的研究进展和挑战[J]. 海军军医大学学报, 2023, 44(1): 97-101. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20220583.
- CHEN Y Q, HOU X H, ZHU B F, et al. Digital twin in precision medicine application: research progress and challenges[J]. *Acad J Naval Med Univ*, 2023, 44(1): 97-101. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20220583.
- [14] LAL A, LI G, CUBRO E, et al. Development and verification of a digital twin patient model to predict specific treatment response during the first 24 hours of sepsis[J]. *Crit Care Explor*, 2020, 2(11): e0249. DOI: 10.1097/CCE.0000000000000249.
- [15] 王旭. 基于区块链的医疗数据共享隐私保护问题的研究与实现[D]. 西安:西安电子科技大学, 2019.

[本文编辑] 孙岩