

## 数智医学专题



[专家简介] 何昆仑,解放军总医院医学创新研究部某中心主任,主任医师、教授,主要从事医疗大数据、医学人工智能、智能卫勤装备和系统等研究。担任智能医学工程国家级重点实验室主任,承担重大项目等27项,制定国家行业标准29项,授权发明专利103项,获国家科技进步二等奖1项,省部级一、二等奖5项。担任中国研究型医院学会副会长、北京医师协会副会长等。



[专家简介] 卢朝霞,资深医疗行业信息化专家和智慧医疗领域专家,现任东软集团5G智慧医院协同创新研究院院长、东软汉枫医疗科技有限公司董事长兼CEO。工信部电子科技委员会委员、中国电子学会会士、中国信息协会电子政务专业委员会副理事长、中国卫生信息与健康医疗大数据学会智慧医院与人工智能专委会工作委员会主任委员、中国卫生信息与健康医疗大数据学会智慧运营管理服务分会副会长,中国医学装备协会医院物联网发展分会副会长,享受国务院政府特殊津贴待遇。曾任东北大学教授,任东软集团高级副总裁23年。

## 以物联网数据为核心的围术期临床专科数据资源模型研究与实践

庄严<sup>1</sup>, 李思良<sup>2</sup>, 张军雁<sup>1</sup>, 王佳瑞<sup>2</sup>, 何昆仑<sup>1</sup>, 卢朝霞<sup>2</sup>, 韩旭<sup>2</sup>, 钱鹏<sup>2</sup>, 黄宁明<sup>2</sup>, 王昊<sup>2</sup>, 张钰鑫<sup>2</sup>, 舒海华<sup>3</sup>, 王翔<sup>3</sup>, 彭璐<sup>4</sup>

<sup>1</sup>解放军总医院医学创新研究部, 医疗大数据应用技术国家工程研究中心, 解放军总医院医学工程实验室, 国家药监局人工智能医疗器械研究与评价重点实验室, 北京 100853; <sup>2</sup>东软汉枫医疗科技有限公司, 辽宁沈阳 110172; <sup>3</sup>广东省人民医院麻醉科, 广东广州 510080; <sup>4</sup>辽宁省人民医院麻醉科, 辽宁沈阳 110067

**摘要:**背景 围术期真实世界数据(real world data, RWD)涉及详细的患者信息和临床诊疗过程, 很少用于临床研究。目的 通过构建围术期物联网数据资源模型体系(widespread IoT resources edifice for perioperative setting, WIRE), 整合手术患者围术期的多源RWD, 推动智能化技术真实世界研究的开展与应用。方法 基于HL7参考信息模型, 结合医疗物联网数据特征和临床数据模型, 设计WIRE体系, 实现围术期医学信息的数据模型层整合。同时, 基于WIRE的围术期智能化预警技术的真实世界研究通用方法, 针对术中低氧血症和低血压开展预警模型研究, 研发集成预警模型的手术患者风险预警系统。结果 在解放军总医院第六医学中心和广东省人民医院均成功构建了基于WIRE的围术期专科数据资源库, 分别汇集了6483台次、27939台次手术相关数据, 为预警模型提供了充足的数据资源。术中低血压以及术中低氧血症预测模型在提前3 min和提前5 min的预测精确率、召回率、F1分数均优于麻醉医师表现( $P < 0.05$ )。此外, 开发的风险预警系统实现了对手术患者术中并发症发生可能性的即时预警。结论 WIRE能有效整合手术患者围术期RWD, 促进临床科研工作开展, 并对临床数据要素的产业化价值释放提供了实践参考。

**关键词:**医疗物联网; 数据资源模型; 真实世界研究; 临床数据库; 围术期

收稿日期: 2024-07-01

基金项目: 新一代人工智能国家科技重大专项(2021ZD0140408)

第一作者: 庄严, 博士, 高级工程师。Email: joyear2008@163.com 共同第一作者: 李思良, 学士, 软件设计师。Email: lisl@neusoft.com

通信作者: 何昆仑, 博士, 主任医师, 教授, 博士生导师。Email: kunlunhe@301hospital.com.cn

卢朝霞, 教授。Email: luzx@neusoft.com

中图分类号:R654; TP311

文献标志码:A

文章编号:2095-5227(2025)01-0078-11

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.24070110

引用本文: 庄严, 李思良, 张军雁, 等. 以物联网数据为核心的围术期临床专科数据资源模型研究与实践 [J]. 解放军医学院学报, 2025, 46 (1): 78-88.

## Research and practice on perioperative clinical specialty data resource model centered on Internet of Things data

ZHUANG Yan<sup>1</sup>, LI Siliang<sup>2</sup>, ZHANG Junyan<sup>1</sup>, WANG Jiarui<sup>2</sup>, HE Kunlun<sup>1</sup>, LU Zhaoxia<sup>2</sup>, HAN Xu<sup>2</sup>, QIAN Peng<sup>2</sup>, HUANG Ningming<sup>2</sup>, WANG Hao<sup>2</sup>, ZHANG Yuxin<sup>2</sup>, SHU Haihua<sup>3</sup>, WANG Xiang<sup>3</sup>, PENG Lu<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Medical Innovation Research Department of PLA General Hospital, National Engineering Research Center for Medical Big Data Application Technology, Medical Engineering Laboratory of PLA General Hospital, Key Laboratory of Artificial Intelligence Medical Device Research and Evaluation of the National Medical Products Administration, Beijing 100853, China; <sup>2</sup>Neusoft Hifly Medical Technology Co., Ltd., Shenyang 110172, Liaoning Province, China; <sup>3</sup>Department of Anesthesiology, Guangdong Provincial People's Hospital, Guangdong Academy of Medical Sciences, Southern Medical University, Guangzhou 510080, Guangdong Province, China; <sup>4</sup>Department of Anesthesiology, the People's Hospital of Liaoning Province, Shenyang 110067, Liaoning Province, China

Corresponding author: HE Kunlun. Email: kunlunhe@301hospital.com.cn LU Zhaoxia. Email: luzx@neusoft.com

**Abstract: Background** Perioperative real-world data (RWD), despite its comprehensive capture of patient's information and clinical treatment processes, are seldomly utilized in clinical research. **Objective** To construct a widespread IoT resources edifice for perioperative setting (WIRE) to integrate multi-source RWD during the perioperative period, so as to promote the application of intelligent technology in real-world studies. **Methods** Based on the HL7 Reference Information Model (RIM) and incorporating characteristics of medical Internet of Things data along with clinical data models, the WIRE system was designed to achieve integration at the data model layer of perioperative medical information. Concurrently, the general methods for real-world studies (RWS) of perioperative intelligent early warning technology based on WIRE were explored, and early warning models for intraoperative hypoxemia and hypotension were constructed, so as to develop a risk early warning system integrated with these models. **Results** The perioperative specialty data resource libraries based on WIRE were successfully established at the Sixth Medical Center of Chinese PLA General Hospital and Guangdong Provincial People's Hospital, aggregating data from 6 483 and 27 939 surgical cases, providing ample data resources for the early warning models. The intraoperative hypotension early warning model and the intraoperative hypoxemia prediction models for 3-minute and 5-minute early warnings showed a higher accuracy, recall, and F1 scores compared to the performance of anesthesiologists ( $P < 0.05$ ). Moreover, the risk early warning system enabled real-time alerting for the potential occurrence of intraoperative complications in surgical patients. **Conclusion** WIRE can effectively integrate RWD from the perioperative period of surgical patients, facilitating the development of clinical research and providing practical references for the industrial application of clinical data elements.

**Keywords:** medical internet of things; data resource model; real world studies; clinical databases; perioperative period

**Cited as:** Zhuang Y, Li SL, Zhang JY, et al. Research and practice on perioperative clinical specialty data resource model centered on Internet of Things data [J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(1): 78-88.

降低麻醉相关并发症和死亡率、保障手术患者围术期安全, 是围术期麻醉管理的核心需要。自第一部《麻醉病人监测标准》发布以来, 众多围术期监测相关指南和专家共识促进了患者监测标准化、同质化发展, 实现了海量围术期真实世界数据(real world data, RWD)的积累。围术期RWD虽包含详细的患者信息和临床诊疗过程, 却很少能被用于临床研究, 主要原因在于RWD具有多源、异构、多模态的特点, 研究人员难以有效组织并使用这些未成体系的数据。传统临床研究收集数据的方法主要是建立专病数据库, 但存在以下两方面主要问题: (1)专病数据库中记录的数据往往模态单一, 且局限于某一特定的研究任务或只针对某一类特定的疾病, 这导致数据或结论

不能用于其他疾病, 难以开展基于多模态数据的智能化预警技术研究, 不利于临床问题内在机制的探索与揭示; (2)专病数据库的数据结构固化, 一旦建成将不可变更, RWD的数据适用性不佳或临床研究方向与路线的调整均会导致已经建成的数据库推倒重建, 造成了专病数据库普遍建设成本高、灵活度低、适用面窄的情况<sup>[1-8]</sup>。

2023年8月, 国家卫生健康委办公厅制定并发布了《手术质量安全提升行动方案(2023—2025年)》, 要求“手术过程中, 严密监测患者血压、心率、体温、血氧饱和度等生命体征, ……及时发现苗头性问题并予以干预”<sup>[9]</sup>。为积极响应国家政策, 解决“如何有效组织手术患者围术期多源多模态RWD, 在数据结构保持稳定的前提下, 依然

能够满足临床研究过程中不可预期的数据需求调整”这一问题，本文提出了一种服务于智能化技术真实世界研究的围术期数据资源模型体系(widespread IoT resources edifice for perioperative setting, WIRE)设计方法。WIRE是一种以手术患者物联网数据为核心，整合电子健康记录、医疗成像报告、多组学信息、临床活动等多模态信息的统一数据资源模型。基于WIRE构建的手术患者围术期医疗专科数据资源库在专业医疗大模型研究、人工智能算法训练、人工智能医疗器械研发、疾病异质性内在分子机制研究、多组学联合诊断、治疗效果评估等场景具有重要价值，促进推动我国麻醉学科的科研水平提升，助力医院高质量发展。

## 1 研究方法

### 1.1 研究整体逻辑架构

本研究的整体逻辑见图1。

### 1.2 围术期数据资源模型体系研究与设计

研究团队通过对医疗物联网数据特征、医疗行业信息标准、医学信息领域模型、临床数据模型(clinical data model, CDM)、真实世界研究(real world studies, RWS)理论与方法、多元知识图谱、数字疗法等领域开展理论与方法研究，以HL7参考信息模型(reference information model, RIM)为

基础，研究构建WIRE体系，实现手术患者术前、术中、术后各阶段围术期医学信息的数据模型层整合。WIRE研究过程见图2。

现有医疗机构医院信息管理系统(hospital information management system, HIMS; 泛指包括HIS、LIS、PACS、EMR等在内的全部信息系统)的数据结构，以满足单独条线业务的纵向需求为目标，采用“实体-关系”的二维表分析方法，缺乏模型结构设计，不能有效存储和使用复杂数据类型。通过物联网技术获得的患者临床数据呈现高频、连续、多模态的特点，以患者生命体征数据波形模态为例，作为典型的时序型数据(图3)，除了采集到的设备输出检测值外，还需要更多的维度来描述这个值，因此需要比传统HIMS系统更复杂的数据类型来承载医疗物联网相关数据。

WIRE资源模型设计时将知识图谱Schema设计方法与面向对象领域分析与设计方法相结合，根据原子级临床诊疗业务活动设计数据资源模型，模型间的关联关系通过模型内部属性引用的方式建立链接，事件活动信息的完整性通过模型的结构设计及模型间的内部引用来实现。以设备采集的生命体征信息Obs资源模型为例，其通过模型内的引用属性分别与患者信息资源、Enc资源建立链接关系，见图4。

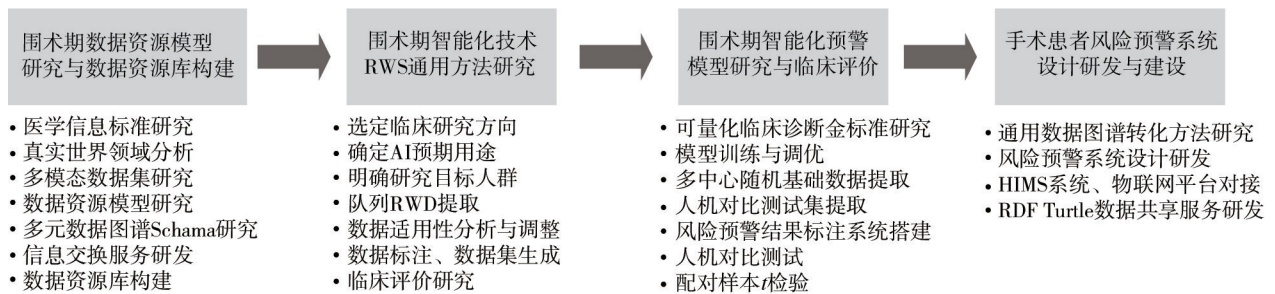


图1 本研究逻辑图

Fig. 1 Logic diagram of this study

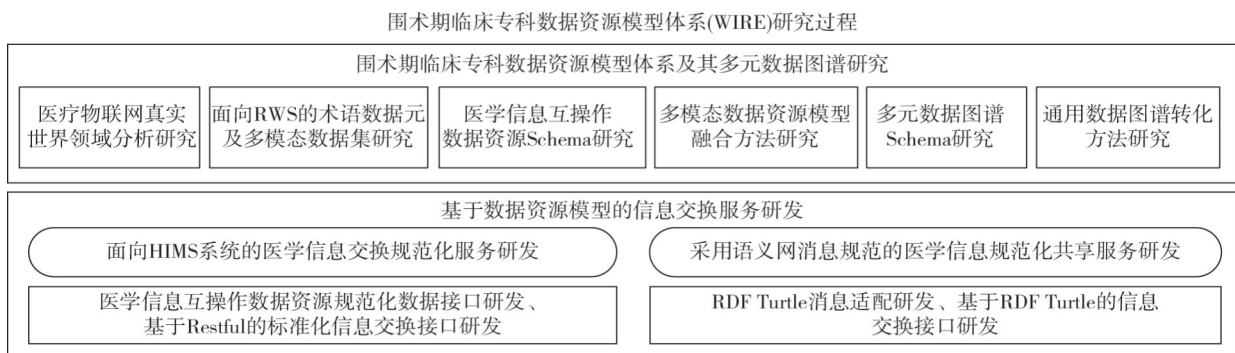


图2 WIRE研究过程

Fig. 2 Research process of WIRE

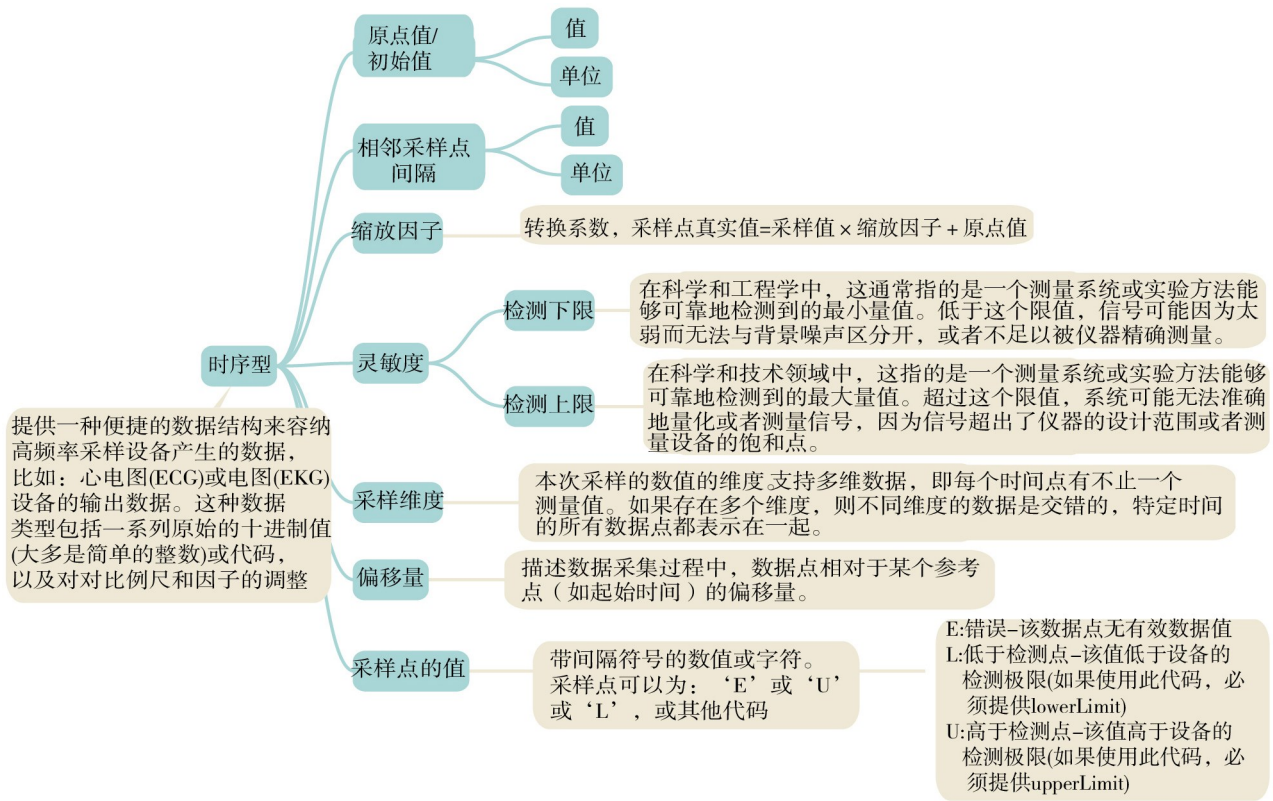


图3 时序型数据类型

Fig. 3 Temporal data type

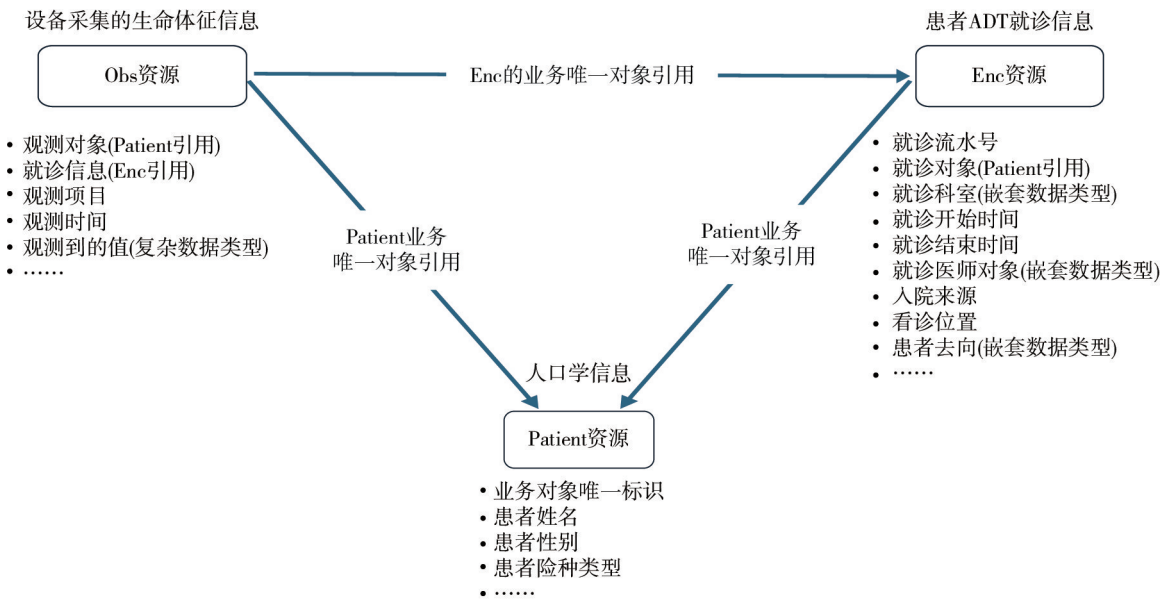


图4 Obs资源与Enc资源、患者信息资源的链接关系

Fig. 4 Linkage relationships between Obs resource, Enc resource, and patient information resource

### 1.3 围术期智能化技术RWS通用方法研究

以《真实世界数据用于医疗器械临床评价技术指导原则》《用于产生真实世界证据的真实世界数据指导原则》《人工智能医疗器械注册审查指导原则(2022年第8号)》为依据, 研究团队开展了基于WIRE的围术期智能化预警技术RWS通用方法

研究(图5)。通过确定AI预期用途、明确研究目标人群、确定算法核心功能, 在训练阶段, 按临床研究需要从基于WIRE的医学资源库中选取符合研究需要的RWD, 并进行数据适用性分析, 明确临床研究数据需求与RWD的差异, 对临床研究方法

使研究内容与RWD适配，并将筛选出符合研究需要的RWD子集作为训练集进行AI算法训练，将算法输出与临床可量化诊断金标准进行循环交叉对比，从而提升算法表现；在临床评价阶段，从基于WIRE的医学资源库中按算法入参随机选取RWD，将集成AI算法的人工智能医疗器械、风险预警系统等输出与临床诊断金标准进行对比，为临床评价、应用效果提供真实、准确、实用的真实世界证据，加速专科科研成果转化<sup>[10-15]</sup>。

### 1.4 围术期智能化预警模型研究

**1.4.1 研究对象** 本研究选定术中低氧血症、术中低血压两项麻醉相关并发症为研究方向，分别从广东省人民医院、解放军总医院第六医学中心(以下简称“第六医学中心”)筛选符合纳入排除条件的患者队列。患者队列纳入排除条件如下。

(1)术中低血压患者队列。纳入条件：①年龄≥18岁；②全身麻醉下择期行非心脏外科手术；③ASA I~III级；④血压监测方式为有创动脉压监测；⑤手术过程中发生过术中低血压。排除条件：①宫腔镜或体表手术且手术时间≤30 min；②器官移植、心脏外科相关手术；③术前诊断出现MACEs症状或低血压；④临床资料不完整。

(2)术中低氧血症患者队列。纳入条件：①年

龄≥18岁；②全身麻醉下择期行非心脏外科手术；③ASA I~III级；④手术过程中发生过术中低氧血症。排除条件：①宫腔镜或体表手术且手术时间≤30 min；②器官移植、心脏外科相关手术；③术前诊断出现MACEs症状或低血压；④临床资料不完整。

**1.4.2 研究方法** 研究团队分别在广东省人民医院、第六医学中心收集以术中生命体征数据为核心的手术患者相关数据，构建基于WIRE的围术期专科数据资源库，开展并发症预警规则及可量化临床诊断金标准研究，筛选符合纳入排除标准的患者队列，研发多人参切片式预警模型，并采用人机对比测试方法，分别从队列中各随机提取100例患者数据作为基础测试集，按临床诊断金标准及临床预警规则对基础测试集进行标注。以结局指标阳性事件占比50%的比例，对患者数据及其标注信息进行采样，每例患者10个采样点，形成人机对比验证集，搭建风险预警结果标注系统(图6)，将验证集发放给麻醉医师进行风险预警结果标注，同时将该验证集数据输入到风险预警模型中，获得模型预警结果。分别计算麻醉师与预警模型在提前3 min预测和提前5 min预测两种情况下的精确率、召回率、F1分数。麻醉师为从第

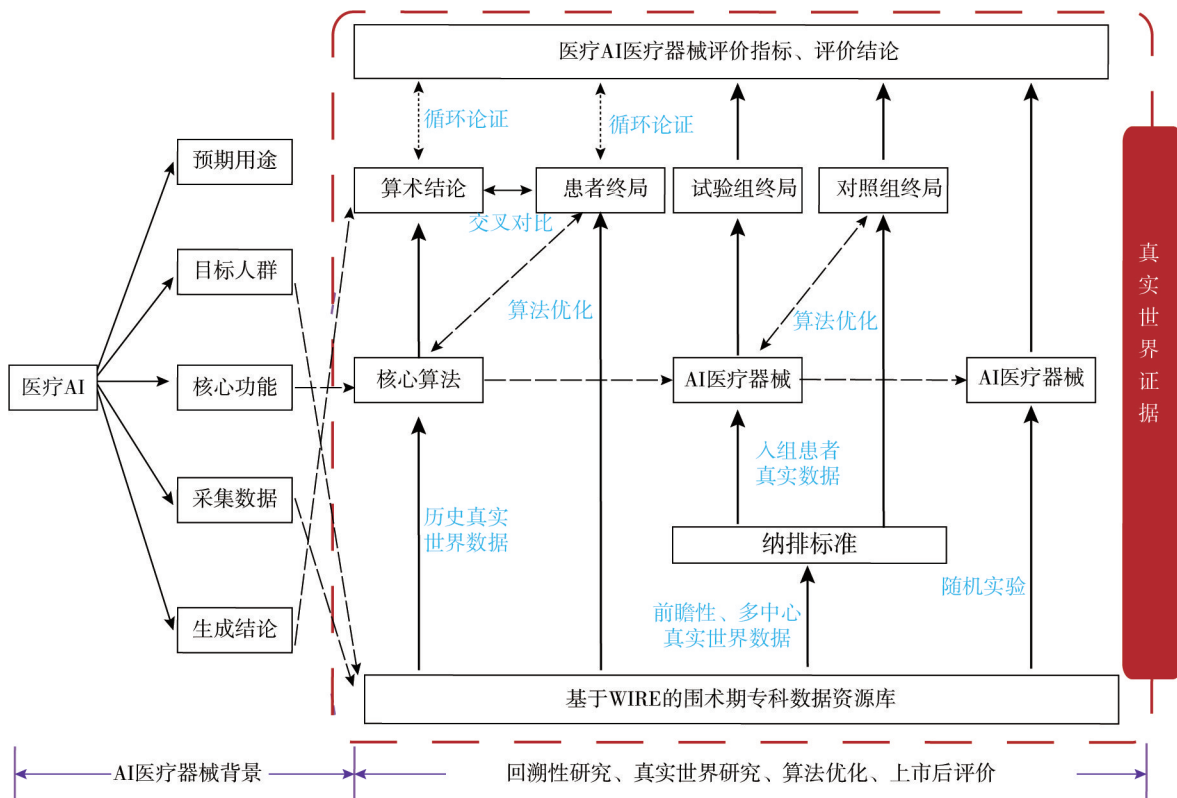


图5 围术期智能化预警技术RWS通用方法

Fig. 5 General method of perioperative intelligent early warning technology in real-world studies

六医学中心麻醉科随机选取的10名取得麻醉科执业证书并从事麻醉工作5年以上的麻醉医师。

研究团队同步开展了生命体征变化预测技术研究，针对术中低血压、术中低氧血症的关键观测指标，研究术中患者生命体征基线预测模型，通过患者前8 min的连续生命体征数据预测患者未来3 min内生命体征的变化。以平均绝对误差(mean absolute error, MAE)为评价指标，对患者队列数据进行滑窗处理，将处理后的数据输入至基线预测模型中，比较模型预测结果与真实特征值，计算模型精度。

1.4.3 统计学方法 将验证集按采样点分为10组，每组包含100例患者，分别计算麻醉师与切片式预警模型在提前3 min预测和提前5 min预测两种情况下每组数据的精确率、召回率、F1分数平均值，组间比较采用配对t检验，P<0.05为差异有统计学意义。

### 1.5 手术患者风险预警系统设计研发

针对传统关系型数据库不能自动生成数据图谱、外部知识图谱不能直接获取所需格式数据的问题，研究团队开展了通用数据图谱转化方法研究，实现将接收的XML、Json等格式的医疗数据自动转换成通用数据图谱，并按需以RDF-Turtle语法向外部系统及知识图谱共享真实数据，解决了传统医疗数据不能自动生成数据图谱、数据无法直接共享给知识图谱的问题。通用数据图谱转化方法见图7。

研究团队开展了手术患者风险预警系统的研究与设计，通过消息适配器模块，实现多源数据接入与数据格式转换；通过实时报警模块，实现对术中并发症的即时报警；通过AI预警模块，实现对AI算法的调用与预测预警；通过基于WIRE的数据资源库，实现手术患者围术期数据的汇聚与系统运行支撑。手术患者风险预警系统逻辑架构见图8。

## 2 结果

### 2.1 围术期专科数据资源库建设成效

研究团队分别在广东省人民医院、第六医学中心开展了基于WIRE的围术期专科数据资源库研发建设。自2023年3月31日广东省人民医院围术期专科数据资源库首次与院内系统开展数据对接，截至2024年5月17日，数据资源库持续运行413 d，库内存储患者建档信息总数119 550例，手术台次数27 939台。“手术患者围术期医疗专科数据资源库”作为建设成果，获得广东省知识产权保护中心授予的《数据知识产权登记证书》，平台证书编号20231144000002540，注册上报的数据量为161 885.103 4万条，均为主键脱敏的手术患者围术期多维数据<sup>[16]</sup>。第六医学中心围术期专科数据资源库共纳入了近2年5 810例患者6 483台次手术的围术期数据。两地两中心数据资源库为本项研究的两项并发症智能预警模型研究提供了充分的数据支撑。



图6 风险预警结果标注系统功能示例

Fig. 6 Example of the functionality of the risk early warning result annotation system

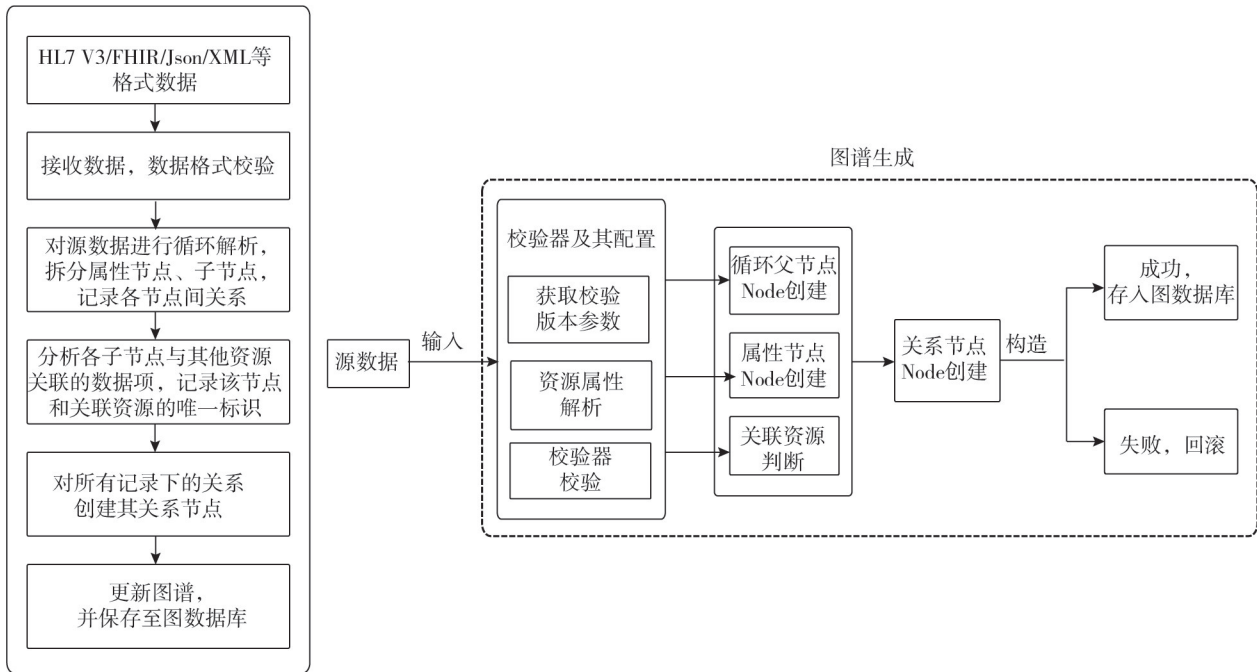


图 7 通用数据图谱转化方法

Fig. 7 General data ontology transformation method

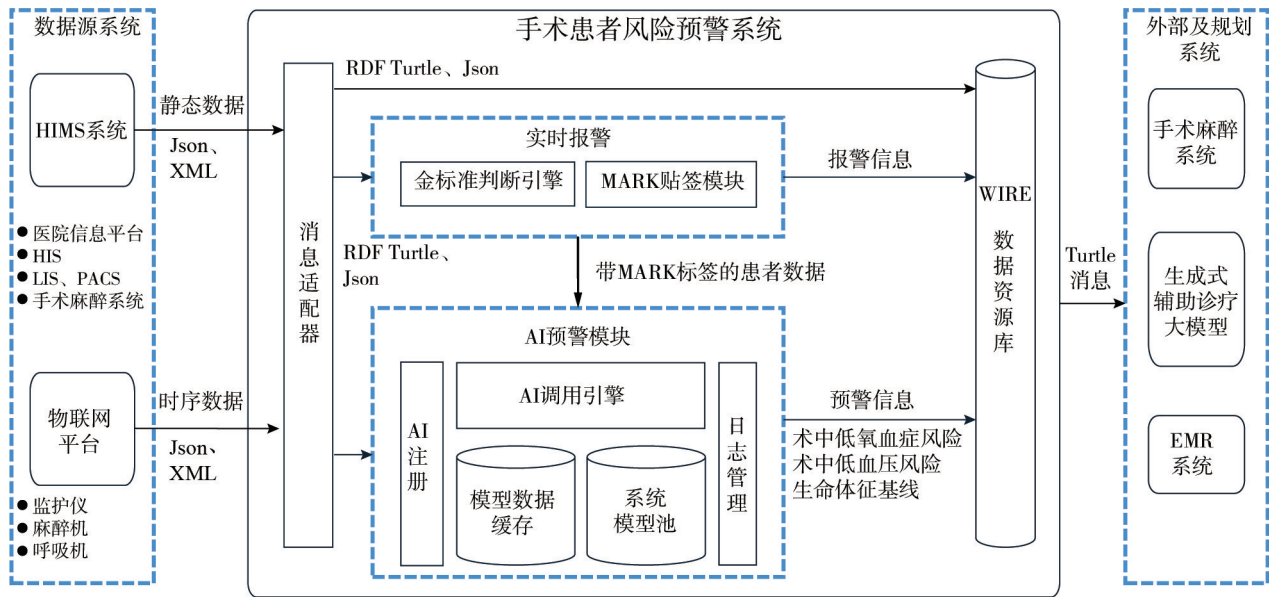


图 8 风险预警系统逻辑架构

Fig. 8 Logical architecture of the risk early warning system

基于WIRE的围术期专科数据资源库，实现了对真实存储数据的知识图谱形式展开。存储了真实数据的患者信息资源模型对象内的全部属性以及与患者信息资源具有链接关系的资源模型对象的多元知识图谱展开见图9。以患者信息资源模型为核心，将存储真实数据的WIRE模型对象以多元知识图谱形式展开，存储了手术患者生命体征数据的Obs资源在整体数据图谱中的关系见图10。

### 2.2 预警模型及手术患者风险预警系统建设成效

经纳排条件筛选，获得患者队列3 828例，其中术中低血压患者队列1 365例、术中低氧血症患者队列2 463例。预警模型与麻醉医师的预测能力比较见表1。

术中低血压预警模型与麻醉医师标注数据的精确率、召回率、F1分数在提前3 min预测情况下分别为(0.736±0.092 vs 0.546±0.180, P=0.013)、(0.761±0.089 vs 0.513±0.180, P=0.001)、(0.742±

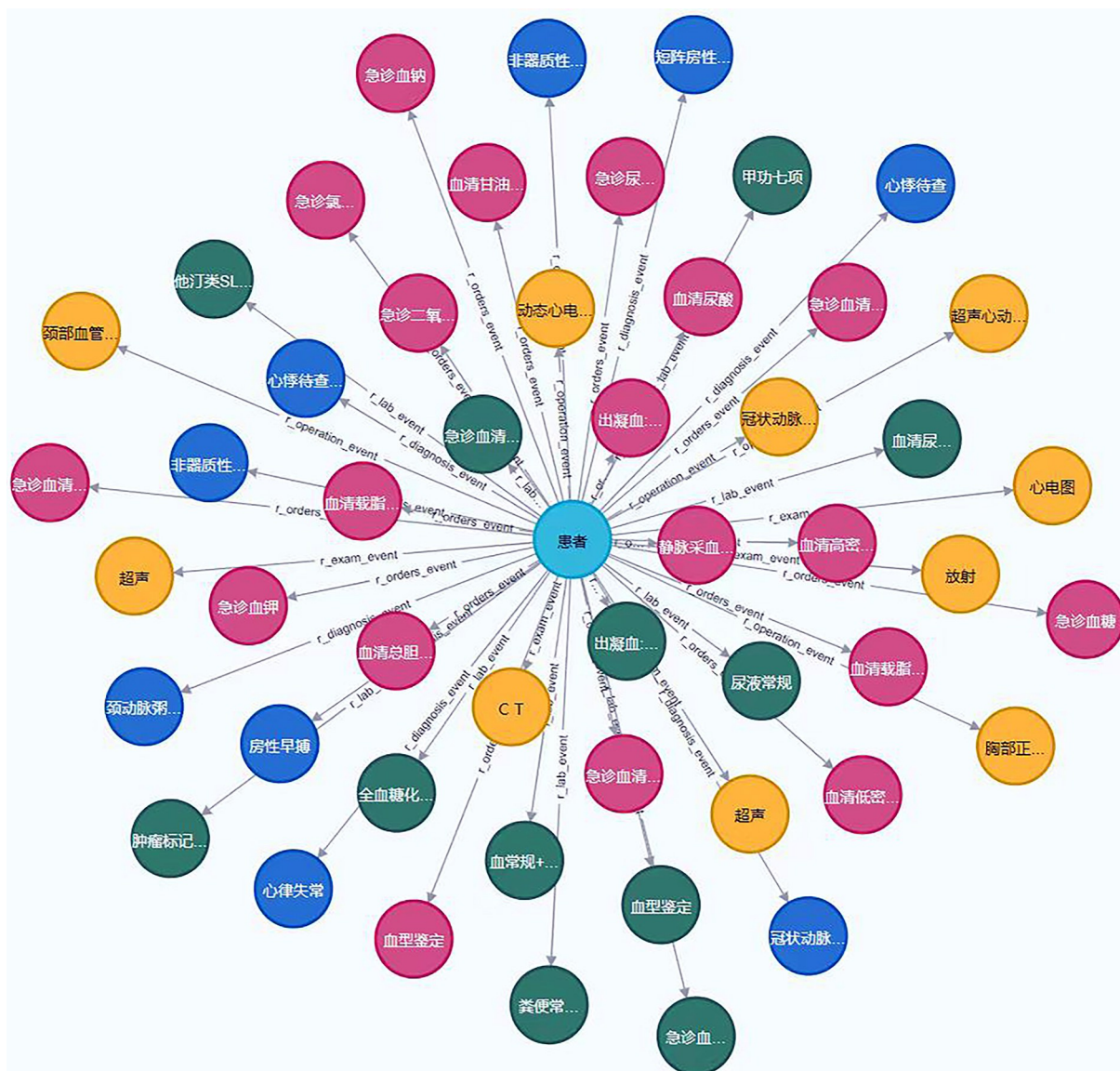


图9 患者源模型内部属性及相关链接资源图谱展开

Fig. 9 Expansion of patient source model internal attributes and related linked resource

0.056 vs 0.528±0.178,  $P=0.003$ ); 在提前 5 min 预测情况下分别为(0.674±0.107 vs 0.509±0.189,  $P=0.023$ )、(0.686±0.160 vs 0.373±0.281,  $P=0.001$ )、(0.674±0.120 vs 0.403±0.257,  $P=0.003$ )。术中低氧血症预警模型和麻醉医师标注数据的召回率、F1 分数在提前 3 min 预测情况下分别为(0.659±0.088 vs 0.513±0.180,  $P=0.008$ )、(0.628±0.088 vs 0.528±0.178,  $P=0.048$ )，在提前 5 min 预测情况下分别为(0.618±0.132 vs 0.373±0.281,  $P=0.004$ )、(0.594±0.092 vs 0.403±0.257,  $P=0.015$ )。预警模型均优于麻醉医师表现。目前，术中低血压关键观测指标基线预测模型 MAE 为 6.997，术中低氧血症关键观测指标基线预测模型 MAE 为 2.921，预测模型仍在持续优化中。

通过集成术中并发症预警模型和基线预测模型，手术患者风险预警系统实现了对术中并发症发生可能性的即时预警，降低患者围术期损伤，提升患者远期生命质量。术中并发症预警及生命体征变化预测功能示例见图 11。研究团队发现，WIRE 以数据元素化方式组织数据，能够在不改变数据实现架构的前提下，灵活应对真实世界数据饱满分歧、临床研究方向微调等临床研究过程中不可预期的数据需求变更。在智能化预警技术研究领域，WIRE 优势显著。

### 3 小结

专科数据库是宏观流行病学趋势分析、国家医疗卫生政策制定的重要资料来源，也是临床医

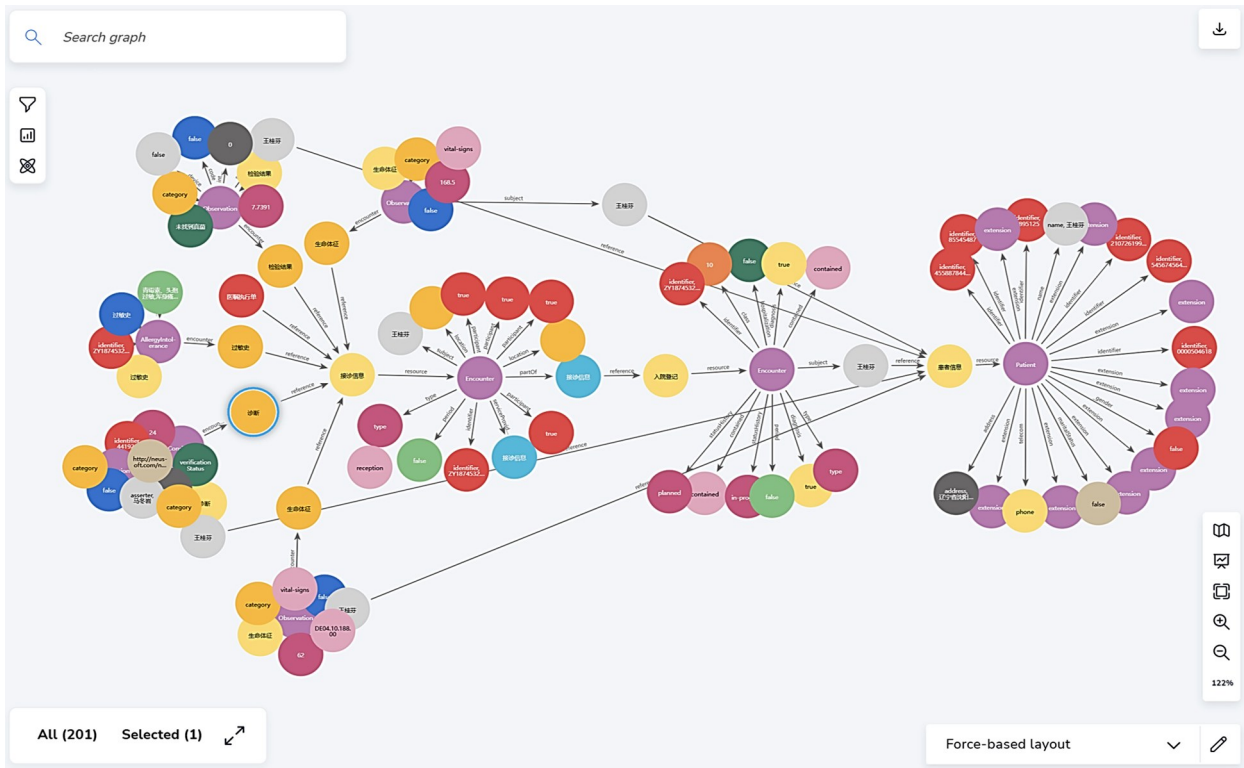


图 10 Obs 资源在整体数据图谱中的关系

Fig. 10 Relationships of the Obs resource within the overall data ontology

表 1 预警模型与麻醉医师的预测能力比较

Tab. 1 Comparison of prediction capabilities between early warning models and anesthesiologists

预警模型	指标	时间点	麻醉医师	预测模型	t 值	P 值
术中低血压	精确率	提前 3 min	0.546±0.180	0.736±0.092	2.981	0.013
		提前 5 min	0.509±0.189	0.674±0.107	2.393	0.023
	召回率	提前 3 min	0.513±0.180	0.761±0.089	3.917	0.001
		提前 5 min	0.373±0.281	0.686±0.160	3.052	0.001
	F1 分数	提前 3 min	0.528±0.178	0.742±0.056	3.638	0.003
		提前 5 min	0.403±0.257	0.674±0.120	3.021	0.003
术中低氧血症	精确率	提前 3 min	0.546±0.180	0.606±0.103	0.920	0.174
		提前 5 min	0.509±0.189	0.584±0.086	1.134	0.129
	召回率	提前 3 min	0.513±0.180	0.659±0.088	2.310	0.008
		提前 5 min	0.373±0.281	0.618±0.132	2.488	0.004
	F1 分数	提前 3 min	0.528±0.178	0.628±0.088	1.601	0.048
		提前 5 min	0.403±0.257	0.594±0.092	2.213	0.015

师、研究者挖掘数据、开展研究、产出成果的宝贵财富。国外专科数据库发展较早，部分欧美国家已经建立了 HCUP、SEER、NSQIP 等一系列国家性质的医疗数据库，但目前无适用围术期业务的数据库，且几乎不涉及患者术中生命体征及麻醉信息，更多的是记录患者术前、术后的医疗、护理信息等，围术期数据信息覆盖度不全。目前在我国，麻醉专科数据库的建设屈指可数，各专科数据库建设基本都参照《WS445 电子病历基本

数据集》研发，未能覆盖围术期患者多模态临床数据，尤其是术中连续生命体征、临床事件等数据，对深入研究围术期相关临床问题形成掣肘。本研究通过对接临床 HIMS 系统、物联网平台，获得手术患者多源多模态数据，构建基于 WIRE 的围术期专科数据资源库，构建的以时序生命体征数据为核心入参的术中低血压预警模型、术中低氧血症预警模型的 3 min 预测水平平均高于近 3 年相近研究模型表现，证明了 WIRE 能够整合手术患者



图 11 术中并发症预警及生命体征变化预测功能示例

Fig. 11 Example of intraoperative complication early warning and vital signs change prediction functionality

围术期RWD，有效解决临床研究过程中数据需求频繁调整的问题<sup>[17-24]</sup>。

本研究也存在一些亟待解决的问题，手术患者围术期生命体征数据广泛存在多设备数据源不等频采样现状，而人工智能模型无法自主适应不同频率的入参数据，且本研究预警模型以切片式数据为入参，未能有效体现连续生命体征变化在智能预警预测方面的价值。

本研究通过构建围术期WIRE，成功整合了手术患者围术期的多源真实世界数据，推动了智能化技术在真实世界研究中的应用。通过基于HL7 RIM的设计，WIRE体系实现了围术期医学信息的数据模型层整合，并为智能化预警技术提供了通用方法。在临床应用方面，针对术中低氧血症和低血压的预警模型表现优于麻醉医师，且开发的风险预警系统能够实时预警手术患者术中并发症的发生，显著降低了患者的围术期风险，提升了患者远期生命质量。此外，WIRE体系在数据组织和利用方面展现了高度的灵活性和适应性，为临床科研工作提供了有力支持，并为临床数据要素的产业化应用提供了实践参考。未来，研究团队将继续优化模型性能，探索多中心不等频数据的自适应增量学习技术，以进一步提升智能化预警系统的实用性和普适性。

**作者贡献** 庄严：研究设计，论文指导；李思良：WIRE研究，论文撰写；张军雁：应用研究，审读

修订；王佳瑞：数据图谱研发；何昆仑：研究指导；卢朝霞：研究指导；韩旭：技术研究；钱鹏：应用研究；黄宁明：数据资源库研发；王昊：人工智能模型研究；张钰鑫：系统研发；舒海华：临床研究；王翔：临床研究；彭璐：临床研究。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突。

参考文献

- Eichhorn JH, Cooper JB, Cullen DJ, et al. Standards for patient monitoring during anesthesia at Harvard medical school [J]. JAMA, 1986, 256 (8): 1017-1020.
- Pandya AN, Majid SZ, Desai MS. The origins, evolution, and spread of anesthesia monitoring standards: from Boston to across the world [J]. Anesth Analg, 2021, 132 (3): 890-898.
- 王宇, 姚尚龙. 真实世界大数据研究助力麻醉学科发展 [J]. 临床麻醉学杂志, 2024, 40 (9): 901-904.
- 曾宪涛, 朱风雷, 任学群, 等. 基于临床科研一体化技术的临床研究 [J]. 中国循证心血管医学杂志, 2017, 9 (10): 1156-1161.
- 王飞, 黄艺璠, 汪鹏. 基于多模态数据的肺癌专病库建设研究 [J]. 中国数字医学, 2021, 16 (12): 85-88.
- 王俊梅, 刘同波, 孙瑜尧, 等. 多参数急救数据库建设及初步应用研究 [J]. 生物医学工程学杂志, 2019, 36 (5): 818-826.
- 黑子清, 陈柄城, 刘子锋, 等. 麻醉科围术期专科数据库的建设和应用 [J]. 中国数字医学, 2021, 16 (1): 13-16.
- 毛中亮, 刘敏超, 徐龙河, 等. 医院围术期麻醉专科数据库的建设和思考 [J]. 中国卫生信息管理杂志, 2020, 17 (3): 362-365.
- 国家卫生健康委办公厅. 国家卫生健康委办公厅关于印发手术质量安全提升行动方案(2023-2025年)的通知 [EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202308/content\_6900753.htm.
- 国家药品监督管理局. 国家药监局关于发布真实世界数据用于医疗器械临床评价技术指导原则(试行)的通告(2020年第77号) [EB/OL]. https://www.nmpa.gov.cn/xxgk/gtg/yqlxggtg/

- ylqxqtggtg/20201126090030150.html.
- 11 国家药品监督管理局. 关于真实世界数据用于医疗器械临床评价技术指导原则(试行)的解读 [EB/OL]. <https://www.nmpa.gov.cn/xxgk/zhcjd/zhcjdyqx/20201130144911110.html>.
  - 12 国家药品监督管理局药品审评中心. 国家药监局药审中心关于发布《用于产生真实世界证据的真实世界数据指导原则(试行)》的通告(2021年第27号) [EB/OL]. <https://www.cde.org.cn/main/news/viewInfoCommon/2a1c437ed54e7b838a7e86f4ac21c539>.
  - 13 国家药品监督管理局医疗器械技术审评中心. 国家药监局药审中心关于发布《真实世界数据用于医疗器械临床评价技术指导原则(试行)》的通告(2021年第27号) [EB/OL]. <https://www.cmde.org.cn/main/news/viewInfoCommon/2a1c437ed54e7b838a7e86f4ac21c539>.
  - 14 国家药品监督管理局. 国家药监局和海南省政府共同推进器械临床真实世界数据应用试点相关工作 [EB/OL]. <https://www.nmpa.gov.cn/yaowen/yjgyw/hyxx/zhyxx/20211228193820106.html>.
  - 15 国家药品监督管理局医疗器械技术审评中心. 国家药监局药审中心关于发布《用于产生真实世界证据的真实世界数据指导原则(试行)》的通告(2022年第9号) [EB/OL]. <https://www.cmde.org.cn/xwdt/shpgzgg/gztg/20220309090800158.html>.
  - 16 广东省数据知识产权存证登记平台. 广东省人民医院手术患者围术期医疗专科数据资源库 [EB/OL]. <https://data.gpic.gd.cn/dataStorage/credentialInfo.jhtml?no=20231144000002540>.
  - 17 Agency for Healthcare Research and Quality. Healthcare Cost and Utilization Project (HCUP) [EB/OL]. <https://www.ahrq.gov/data/hcup/index.html>.
  - 18 National Cancer Institute. Surveillance, Epidemiology, and End Results Program [EB/OL]. <https://seer.cancer.gov>.
  - 19 American College of Surgeons. ACS National Surgical Quality Improvement Program [EB/OL]. <https://www.facs.org/quality-programs/data-and-registries/acs-nsqip>.
  - 20 Lee S, Lee HC, Chu YS, et al. Deep learning models for the prediction of intraoperative hypotension [J]. *Br J Anaesth*, 2021, 126 (4): 808-817.
  - 21 Palla K, Hyland SL, Posner K, et al. Intraoperative prediction of postanaesthesia care unit hypotension [J]. *Br J Anaesth*, 2022, 128 (4): 623-635.
  - 22 Shi M, Zheng Y, Wu YZ, et al. Multitask attention-based neural network for intraoperative hypotension prediction [J]. *Bioengineering (Basel)*, 2023, 10 (9): 1026.
  - 23 Fang ZJ, Zou DZ, Xiong WG, et al. Dynamic prediction of hypoxemia risk at different time points based on preoperative and intraoperative features: machine learning applications in outpatients undergoing esophagogastroduodenoscopy [J]. *Ann Med*, 2023, 55 (1): 1156-1167.
  - 24 Park JB, Lee HJ, Yang HL, et al. Machine learning-based prediction of intraoperative hypoxemia for pediatric patients [J]. *PLoS One*, 2023, 18 (3): e0282303.

(责任编辑:孙菲)

(上接第77页)

- 11 华西医院 [EB/OL]. <https://www.wchscu.cn/about.html#part2>.
- 12 以学科建设与人才发展为基础支撑医院高质量发展 [EB/OL]. [https://www.bilibili.com/video/BV1mu4y1u7Ex/?spm\\_id\\_from=333.337.search-card.all.click&vd\\_source=a23f05c61e5b31c66eda327e66512589](https://www.bilibili.com/video/BV1mu4y1u7Ex/?spm_id_from=333.337.search-card.all.click&vd_source=a23f05c61e5b31c66eda327e66512589).
- 13 刘文生. 湘雅医院: 高质量征途与复兴梦 [J]. *中国医院院长*, 2021, 17 (13): 38-43.
- 14 传承百年人文内涵 创新手段“侦破”解决方案 专访南京鼓楼医院院长于成功 [EB/OL]. <https://www.cn-healthcare.com/articlewm/20231129/content-1621025.html>.
- 15 接续打造公立医院高质量发展样板 [EB/OL]. [http://www.hkuszsh.org/xgdxszzy/yygk/xwzx/content/post\\_1114508.html](http://www.hkuszsh.org/xgdxszzy/yygk/xwzx/content/post_1114508.html).
- 16 杨金伟, 孙梦, 王依依. 四川大学华西医院: 专病中心的AB面 [N]. *健康报*, 2024-09-23 (006).
- 17 四川大学华西医院. 四川大学华西医院“五位一体”丰富发展内涵 [J]. *中国卫生*, 2023 (10): 21.
- 18 北医三院: 学科协同更上一层楼 [EB/OL]. [https://m.thepaper.cn/baijiahao\\_18154124](https://m.thepaper.cn/baijiahao_18154124).
- 19 中国医学科学院北京协和医院. 北京协和医院 守正创新 形成高质量发展新优势 [J]. *中国卫生*, 2023 (10): 19.
- 20 谢静, 张抒扬. 以患者为中心的多学科协作罕见病诊疗模式: 北京协和医院多学科会诊项目 [J]. *罕见病研究*, 2024, 3 (1): 77-78.
- 21 李正赤. 四川大学华西医院: 专病中心实现“按病择医” [J]. *中国卫生*, 2023 (8): 40-41.
- 22 李琴, 何谦, 何晓俐, 等. 四川大学华西医院多学科诊疗服务模式的应用与实践 [J]. *华西医学*, 2024, 39 (1): 88-92.
- 23 樊嘉. 复旦大学附属中山医院: 多学科协作为患者保驾护航 [J]. *中国卫生*, 2023 (8): 28-29.
- 24 上海交通大学中国医院发展研究院、许树强等. 公立医院高质量
- 量发展报告(2024) [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2024.
- 25 梁廷波. 浙江大学医学院附属第一医院: 多学科会诊一站式解难题 [J]. *中国卫生*, 2023 (8): 66-67.
- 26 非凡十年·科研篇 | 坚持科技创新, 推动学科建设高质量发展 [EB/OL]. <https://www.fahsysu.org.cn/article/30138>.
- 27 “高峰学科”如何打造? 看看浙大一院的“浙一经验” [EB/OL]. [https://hznews.hangzhou.com.cn/kejiao/content/2022-10/28/content\\_8385873\\_0.htm](https://hznews.hangzhou.com.cn/kejiao/content/2022-10/28/content_8385873_0.htm).
- 28 看这家顶级医院如何做好学科建设工作 [EB/OL]. <https://www.cn-healthcare.com/articlewm/20211011/content-1272391.html>.
- 29 国家卫生健康委: 14家大型公立医院开展高质量发展试点 [EB/OL]. <https://app.xinhuanet.com/news/article.html?articleId=6b886ef78659482b09e0f7a89bca14fb>.
- 30 复旦大学附属中山医院院长樊嘉: 科技创新引领公立医院高质量发展 [EB/OL]. <https://new.qq.com/rain/a/20230219A04ZYR00>.
- 31 袁海鸿, 刘硕. 差异化战略下高水平医院多院区同质化管理策略: 以北京协和医院为例 [J]. *卫生经济研究*, 2023, 40 (4): 10-14.
- 32 上海交通大学医学院附属瑞金医院——学科分析与发展规划项目 [EB/OL]. <http://www.kangruihealth.com/newsinfo/4891926.html>.
- 33 雷雪, 杨小兰, 黎彦博. 高端人才科研助理队伍建设探索与实践 [J]. *卫生职业教育*, 2024, 42 (17): 1-4.
- 34 彭娟, 韩璐, 花倩, 等. 复旦中山: 打造创新转化“3H体系” [J]. *中国医院院长*, 2023, 19 (24): 72-74.
- 35 肖海鹏. 中山大学附属第一医院 高质量发展之路怎么走 [J]. *中国卫生*, 2022 (10): 70-71.
- 36 孙斌, 刘逸杰, 谢泽宁. 公立医院多院区学科布局的实践探索 [J]. *中国医院管理*, 2024, 44 (8): 42-45.

(责任编辑:施晓亚,潘越)