

基于 5G + 的智慧急救医疗服务体系构建研究^{*}

张梦馨

纪 浩

(1 台州职业技术学院 台州 318000

(1 杭州医学院医学情报与卫生政策研究中心 杭州 310014

2 浙江工业大学 杭州 310014)

2 浙江省医学情报研究所 杭州 310014)

〔摘要〕 融合 5G、云计算、物联网、传感器集群等技术设计面向急救的 5G + 智慧医疗服务体系。从信息感知、网络传输、数据管理、智慧服务 4 方面阐述该体系基本框架, 介绍其在数据、业务、管理层面所发挥的服务优势以及关键技术, 为 5G 赋能急救医疗服务提供理论框架, 具有一定理论指导意义。

〔关键词〕 急救医疗服务; 5G; 智慧服务体系

〔中图分类号〕 R - 058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10. 3969/j. issn. 1673 - 6036. 2022. 05. 012

Study on the Construction of Smart Emergency Medical Service System Based on 5G + ZHANG Mengxin, 1Taizhou Vocational and Technical College, Taizhou 318000, 2Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; JI Hao, 1Medical Information and Health Policy Research Center, Hangzhou Medical College, Hangzhou 310014, 2Zhejiang Institute of Medical Information, Hangzhou 310014, China

〔Abstract〕 A 5G + smart medical service system for first aid is designed by integrating 5G, cloud computing, Internet of Things (IoT), sensor clusters and other technologies. The paper expounds the basic framework of the system from four aspects: information perception, network transmission, data management and smart service, introduces its service advantages in data, business and management and key technologies, and provides a theoretical framework for 5G enabling emergency medical service, which has certain theoretical guiding significance.

〔Keywords〕 emergency medical service; 5G; smart service system

〔修回日期〕 2021 - 10 - 28

〔作者简介〕 张梦馨, 博士研究生, 讲师; 通信作者: 纪浩, 助理研究员。

〔基金项目〕 浙江省高校国内访问学者教师专业发展项目“制造业数字化转型动因及路径研究”(项目编号: FX2021179); 浙江省教育厅一般科研项目“互联网赋能传统产业转型升级的机制和路径研究——以浙江省为例”(项目编号: Y201942671); 浙江省哲学社会科学规划课题“基于信息级联和精英群体沉默的网络意见偏差及引导机制研究”(项目编号: 21NDQN247YB); 浙江省高等教育研究基金重点项目“基于信息级联和学生意见领袖的高校负面网络舆情传播与引导研究”(项目编号: ZDB202003); 浙江省教育厅一般科研项目“‘一老一小’健康服务资源配置效率评价及优化机制研究: 以浙江省为例”(项目编号: Y202146074)。

1 引言

1.1 急救医疗服务体系

急救医疗服务体系（Emergency Medical Service System, EMSS）是融合院前急救、院内救治、重症监护等多个医疗救治单元的复杂系统工程^[1]，其主要任务包括紧急医疗物资供给、危重症患者现场评估、急救方案早期制定、院前院内救治衔接等，EMSS 的建立、发展与完善对于争取救援“黄金时间”、挽救患者生命意义重大，当前已成为我国卫生健康事业的重要组成部分。

1.2 5G 网络

随着 5G 网络在核心网技术、无线空口技术以及承载网技术上取得突破，技术赋能急救医疗服务体系的优势进一步凸显^[2]。一方面，5G 网络具备超低时延特性，可有效保障对病患生命体征、医学影像等数据的实时传输，有利于将急救工作前移，抢占急救“黄金时间”。另一方面，5G 网络具备海量连接以及超大带宽特性，支持急救中心（站）、医疗设备、多媒体设备、通信设施等各模块同时接入，且能确保超清视频、海量医学影像资料的高速回传，为现场救援、远程指导、预检分诊、院前院内急救衔接等提供支撑。此外基于 5G 网络切片和边缘云计算还能对急救医疗大数据进行更加智能化的操作，包括灵活分流、分析时延以及加密传输等^[3]。因此在 5G 技术加持下急救医疗体系服务效能将显著提升。

1.3 融入 5G 网络的急救医疗服务实践

在实践方面，融入 5G 网络的急救医疗服务已有较多成功案例。2010 年德国建成世界上第 1 辆移动卒中单元（Multi - Subscriber Unit, MSU）。2014 年美国首个移动急救医疗单元在休斯敦建成。2019 年日本防卫医科大学融合 5G 和虚拟现实（Virtual Reality, VR）技术建设 VR 急救指挥中心。近年来我国在 5G 急救医疗上取得一定进展，2019 年 5 月全国首个 5G 应急救援系统在四川投入使用；同年 6

月上海开展首例 5G 急救演习；2020 年重庆首辆 5G + 急救车在大渡口落地。但从整体上看，当前基于 5G + 技术的急救医疗服务体系建设还处于初级阶段，尤其在急救信息共享、急救资源配置、急救流程优化等方面仍有较大提升空间^[4]。鉴于此本文拟从规划设计的视角出发，构建融入 5G + 技术的智慧急救医疗服务体系，以期由政府决策、医院管理、公共服务等提供参考。

2 架构设计

2.1 整体架构

基于 5G 的智慧急救医疗服务体系，以泛在融合信息网络为基础，以全面实时获取急救数据为核心，以短距离通信技术和 5G 远距离传输专网的融合协同网络为通道，以急救共享云数据库和医院数据库为载体，对急救病患数据进行加工、集成、分类和应用^[5]。在此基础上，构建面向卒中、胸痛、创伤等各类专病的急救数据集，有利于为急救病患提供更加高效的应急医疗服务支撑，更加及时的应急医疗资源供给，更加周密的应急医疗保障，更加智能的应急指挥、决策与监管，最终为人民生命安全、社会经济发展、地区安全稳定保驾护航。主要架构包括急救信息感知体系、急救网络传输体系、急救数据管理体系以及智慧急救服务体系，见图 1。

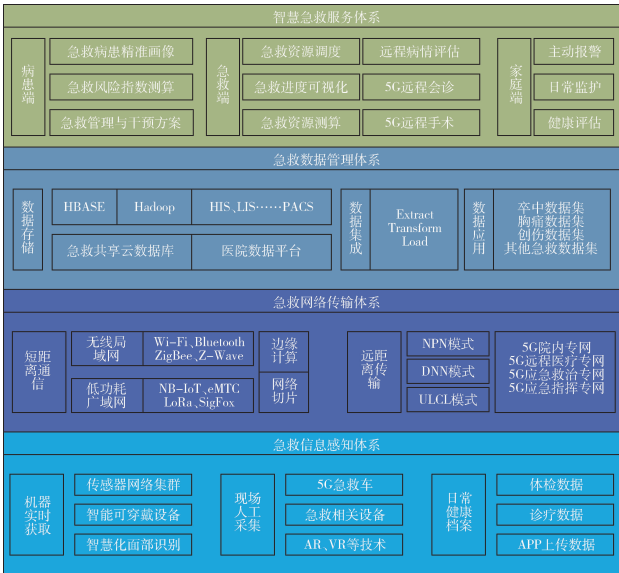


图 1 5G + 智慧急救医疗服务体系架构

2.2 急救信息感知体系

2.2.1 急救现场数据获取 急救信息感知体系是为实现对急救病患数据的全流程采集,包括急救现场的数据获取和日常生活中的数据监测。在紧急救援现场,基于智能可穿戴设备,如将智慧手环或射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)腕带绑定病患,实时感知其体温、脉搏等基础信息;基于面部识别技术,及时调取病患既往病史、基础疾病、体检档案、就诊记录等形成结构化电子病历;基于 5G 急救车装备的各类便携式数据采集设备,如监护仪、B 超机、呼吸机、生化分析仪、心电检测设备等,建立机器与病患之间的实时通信,采集并初步分析病患各类生命体征数据。

2.2.2 日常生活数据监测 在日常生活中对病患数据的采集途径分为 3 类:一是通过嵌入在病患居住、工作等各个场景的传感器网络集群设备进行实时监测;二是调取医院数据库,包括医院信息系统(Hospital Information System, HIS),检验信息系统(Laboratory Information System, LIS),医学影像存储与传输系统(Picture Archiving and Communication System, PACS)等,获取相关诊疗数据、体检数据以及临床数据;三是抓取病患日常通过急救程序上传的健康信息等。

2.3 急救网络传输体系

急救网络传输体系由短距离通信、远距离传输等各类无线通信技术优化部署构建而成,目的是将急救信息感知层获取到的数据以低成本、高效率、全方位方式传输至各急救专病数据服务器,同时还负责接收“急救指挥大脑”的控制信息,确保急救数据在各医疗单元之间的稳定传送^[6]。短距离通信网络部署场景包括 5G 急救车、急救站点、病房、手术室以及社区等通信距离 < 50 m 的小范围区域,部署方式为无线局域网(Wi-Fi、Bluetooth、ZigBee、Z-Wave 等)和低功耗广域网(NB-IoT、eMTC、LoRa、SigFox 等),同时基于网络切片和边缘计算,实现更加智慧的信息交互。基于 5G 技术的非公共网络(Non-Public Network, NPN)模式,

命名数据网络(Data Network Name, DNN)模式以及上行分类器(Uplink Classifier, UL CL)模式,构建面向不同医疗急救场景的远距离智慧传输网络,包括 5G 院内专网、5G 远程医疗专网、5G 应急救治专网、5G 应急指挥专网。

2.4 急救数据管理体系

急救数据管理体系由数据存储、数据集成以及数据应用模块 3 部分构成,其基于 5G 网络低时延、大带宽、广连接特性,综合运用大数据分析、深度学习、知识图谱、数据挖掘以及特征识别等技术,对信息感知层获取到的多元异构急救数据进行智慧化、差异化处理,进而面向卒中、胸痛、创伤以及其他类型的急救病患构建定制化的个人专病数据库,从而更高效地实现急救病患预检分诊、医院选取、病房选择、临床质控、留院观察、康复治疗等。数据存储模块由急救云共享数据库和医院数据平台组成;数据集成模块基于提取、转换、加载(Extract, Transform and Load, ETL)工具对病患急救数据进行封装与集成;数据应用模块分为卒中数据库、胸痛数据库、创伤数据库以及其他急救专病数据库。

2.5 智慧急救服务体系

2.5.1 病患端 基于数据挖掘、知识图谱、深度学习等,结合获取到的复杂病患数据,进行一对一精准画像,从而构建病患突发疾病概率评估模型,量化病患的患病风险,进而生成定制化的个人健康管理电子档案,持续向病患提供健康干预服务,从对突发疾病的预测视角最大化降低患病风险^[7]。

2.5.2 急救端 指挥人员可以通过指挥中心大屏实时了解当前所在区域的急救资源利用与闲置情况,从而更高效、科学地规划急救路线、下达急救指令,有利于急救资源的精准化调度;现场医护人员可以通过所携带的医疗设备进行急救数据采集,基于 5G 网络实现数据高效回传,与远端急救专家进行实时通信,有利于对急救病患采取初步医学帮扶;远端专家可以通过远程视频互动系统、诊疗数据共享信息系统进行病情的远程评估与会诊,在必

要情况下甚至可以开展远程手术。

2.5.3 家庭端 智慧急救服务体系还可以基于传感器网络集群技术进行病患健康情况的实时监测、健康评估等,当数据出现异常或偏差时会启动求救警报。

3 功能设计与实现

3.1 功能概述

3.1.1 健康监测与健康管理 针对传统急救医疗服务体系的缺陷,本文设计的融入 5G+ 技术的智慧急救医疗服务体系在数据、管理、业务 3 个维度实现预期功能。通过对目标病患健康数据的长期采集与积累,构建动态化的个人健康管理数据库,基于知识图谱与深度学习算法提供精准的病患“健康画像”,从而在急救场景下快速生成更高效的针对性救治方案,缩短急救时间。

3.1.2 保障院前急救与院内急诊的数据衔接 在 5G 网络、传感器集群以及云平台的支撑下,实现对病患院前急救与院内急诊在数据上的衔接,更智慧地进行急救药品、急救设备、急救科室以及急救人员的准备。

3.1.3 营造多元化的远程急救场景 融合 5G 网络的远程可视化会诊系统、混合现实算法、3D 建模、实时渲染与互动、VR、混合现实 (Mixed Reality, MR) 以及增强现实 (Augmented Reality, AR) 等,构建更加多元的急救场景,包括远程病情诊断、远程救治指导、远程手术等,实现优质急救医疗资源下沉。

3.1.4 更好地发挥急救指挥功能 基于 5G+ 技术急救指挥中心可以更好地进行救援线路规划、急救物资调度、急救过程可视化展示、急救培训与急救指导等,实现对急救全流程的智慧化管理,保证各急救环节更好地衔接。

3.2 健康监测与健康管理

3.2.1 健康监测 基于传感器、可穿戴设备实现对病患健康数据的实时监测,在纳入个人信息、体检数据、诊疗记录、用药日志、血压、血氧、血

糖、心电图等健康数据的基础上,结合知识图谱、深度学习等算法对患者精准画像。

3.2.2 健康管理 基于个人健康数据的长期监测、积累与研究,融合数据挖掘,形成更加智慧化的个人健康管理数据库。可以实现以下功能和服务:一是定期或不定期地接收相关医疗单元的个性化健康信息推送,更高效地进行个人健康管理;二是当生命体征指标出现异常或较大偏差时,可以启动相应健康预警服务,提醒病患进行健康检查;三是在急救场景下,快速调取病患相关医疗数据,形成有针对性的诊疗方案。

3.3 院前院内急救数据衔接

通过将院前急救医疗体系与 5G 网络、云计算、边缘计算、网络切片、短距离通信、传感器集群等技术进行融合,解决院前急救与院内服务的“断裂”难题。一方面,基于统一的时钟源,将在急救现场获取的心率、脉搏、心电图、B 超影像、CT 描述及生命体征数据与后续接诊医院实现实时分享,进行急救药品、急救设备、急救科室以及急救人员准备,避免重复、低质与无效的操作。另一方面,通过 5G 智慧急救车的车载医疗设备,如车载远程超声、车载摄像机、车载监护仪等,实现现场救护人员与院内接诊专家零时差、无卡顿的全时段通信。

3.4 多元化远程急救

3.4.1 远程病情评估 通过远程可视化会诊系统、混合现实算法、3D 建模、互动、实时渲染以及多方分发技术等,将病患的实时状态,包括病灶核磁、CT 数据进行超高体验建模仿真,合成无损压缩的三维立体影像,同时基于 5G 网络将其上传至急救云共享数据库。在此基础上,急救站点、急救中心、急诊科室的专家能够通过 MR 设备实时共享病患的三维立体影像,进而实现远程端多方专家协同参与、基于 3D 高质量无损化立体影像的急危重症病患病情评估。

3.4.2 远程救治指导 通过 5G 网络的广连接特性,可以将急救共享云数据库与各类急救医疗设备(监护仪、除颤仪、远程超声机、高清影像系统、

摄像机、移动终端等)进行充分整合,从而实现病患状态、场景、位置、生命体征、生理参数等信息的云端共享。在此基础上现场急救人员可以通过云端与远端会诊专家进行多方实时通信,在“可视化”指导下进行更为专业的现场急救,从而大大提升现场救援成功率。

3.4.3 开展远程手术 5G 智慧急救车可充当移动医院开展远程手术,具体步骤如下:一是术前数据准备,现场急救人员向远端专家发起协作请求,通过 5G 急救传输体系将现场各类信息上传至急救共享云数据库进行数据共享,实现医疗资源的合理安排。二是术中技术指导,远端专家通过超高清影像实时掌握手术进展,标注手术位置,及时提醒现场救护人员注意事项,提升手术操作质量和水平。三是术后深度服务,通过 5G 网络进行远程生命体征监测、移动护理、用药管理、智慧输液、智慧查房等。

3.5 智慧急救指挥

第一,通过指挥中心大屏实时显示急救区域地理边界以内的急救医疗资源地图,规划 5G 智慧急救车的最佳救援线路,监测运行状态,保证物资准备及时;第二,急救指挥中心以“热力图”形式可视化展示区域内急救医疗资源状态,如资源挤压或空闲,帮助急救人员调整急救指令;第三,实时高清全方位展示病患各类信息,如个人健康档案、生命体征参数、医学影像资料,方便多方远端专家进行急救策略研讨与方案制定。此外急救指挥中心还能够开展急救教育与急救培训,通过 5G 网络实时展示急救操作规范、急救技术、设备操作流程等^[8]。

4 技术关键

4.1 5G “超级上行”技术

当前基于 4G 通信技术的医疗急救网络体系存在着“重下行、轻上行”的显著特征,即在 4G 急救场景下,病患可以较为顺利地接收远方医疗端发送来的医疗情报,但由于波长、基站覆盖等因素限制,近处患者端的生理参数、生命体征、位置信息等大规模复杂异构数据无法顺利实现向上传输,数

据衔接存在障碍。例如在远程手术过程中,由于“上下行”数据交换不对称,实时、流畅、全方位的远程指导无法实现。而 5G “超级上行”通过时分双工(Time Division Duplex, TDD)/频分双工(Frequency Division Duplex, FDD)系统,高频段/低频段互补以及时域/频域聚合等先进手段,可以极大拓展大规模数据上行能力并大幅降低数据传输时延。

4.2 急救优先级调度算法

通过融合数据挖掘、深度学习、人工智能等,完善急救医疗资源优先级调度算法,训练医疗优先级调度模型(Medical Priority Dispatch Model, MPDM),关键技术如下:一是急救患者病情程度分级。基于各类传感器、现场急救人员获取的病患生命体征数据,通过标准化的客观与主观指标,结合深度学习与人工智能技术对患者病情进行智慧化评估,确立 4 个相应等级,分别是 I 级:急危症,II 级:急重症,III 级:急症,IV 级:非急症,实现院前急救病情分级评估标准与院内分级接诊标准的对应统一。二是指挥调度的分类化与标准化。以患者病情危重及紧急程度、急救措施复杂程度、提供急救服务需求难易程度为评价指标,构建面向病患急救呼叫需求分类标准化的服务模型。结合医疗急救单元的医疗配置、人员队伍、技术能力、专科特色等指标,完成呼叫需求与服务调度的分级分类匹配。

4.3 5G 智慧急救车集成技术

5G 智慧急救车通过配置北斗系统、全球定位系统(Global Positioning System, GPS)以及大数据纠偏算法进行最佳救援路径规划;在 5G 网络切片和 5G 边缘计算技术支持下,5G 智慧急救车通过部署传感器集群系统、心电监护仪、远程 B 超机、人脸识别器、生化分析仪、除颤监护仪等实现对病患生命体征的实时监测、质控分析与数据传输;通过 AR 技术、VR 技术、高清通信系统、5G + 8K 交互式视频技术、360 度全景摄像头、5G CPE 医疗辅助机器人、触觉手套等保证远程急救指导的顺利开展。

4.4 院内急诊分诊算法

实现院内急诊分诊的关键是保证流程逻辑的科学性。首先是患者信息的采集、登记与结构化处理,抓取数据包括患者身份信息、个人健康档案、历史就诊数据、体检信息、动态生理参数以及生命体征信息等;其次是院内医疗资源的测算和测算结果的可视化,测算范围包括急救医务人员数量、专长、急救经验等,以及急救场地、急救设备、急救物资等的供给能力等,并以可视化形式呈现;最后是基于预先定义的急救分诊信息库和病患状态评价体系,实现对救治病患的量化评估,再根据评估结果对病患进行个性化标注,分析病患情况与医疗资源的匹配度,进而依据医院内部的分区分级机制对病患进行科学精准的自动分诊。

4.5 4 张 5G 急救专网部署 (图 2)

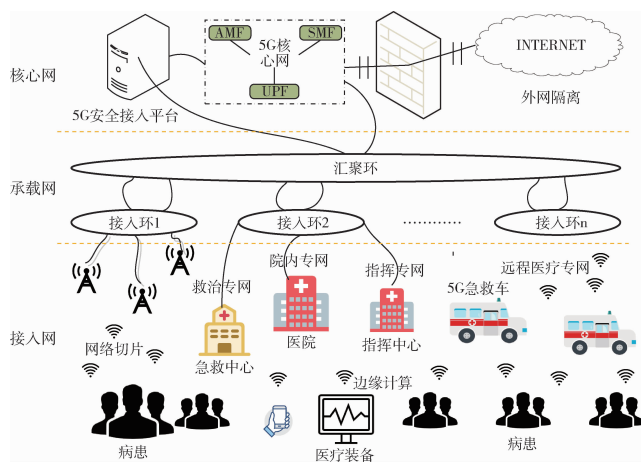


图 2 5G 急救专网部署

基于 5G 通信技术的网络切片、边缘计算属性,搭建面向急救区域的 5G 急救医疗专网,包括 5G 院内专网、5G 远程医疗专网、5G 紧急救治专网、5G 急救指挥专网,将其划分为接入网、承载网、核心网 3 个层次,更好地实现病患急救呼叫-急救指挥中心-5G 智慧急救车-医疗设备-急救人员-远程评估-远程救治-医院分诊等各个急救环节的高效、实时、全方位、多层次通信。深度融合云数据库、大数据分析、物联网、传感器网络集群、深度学习算法等,解决在传统网络带宽下存在的难点问题

题,如大量医疗设备异地通信、高清医学影像实时传输、远程手术开展、医疗高清视频会商、多方专家协同救治等,更好地实现“急救呼叫-及时救治”的精准高效急救医学模式。

4.6 其他关键技术

5G 云容灾备份技术、5G 与超声波相融合的医用“触觉”手套技术、5G 技能互联网应用程序技术、5G 网络拥塞控制技术、5G 急救无人机定位技术等均是驱动 5G 智慧急救医疗体系效能高水平发挥的关键技术。

5 结语

急救医疗服务体系是面向诸多急救场景,融合大量医疗急救单元的复杂系统工程,当前已成为我国卫生健康事业的重要组成部分。然而目前急救医疗服务体系仍有较多不足:在急救时间上存在空窗期;在急救数据获取上存在信息盲区;在急救资源配置上存在优化空间;在急救环节衔接上存在诸多管理漏洞。随着 5G 通信、物联网、云计算、信息物理以及传感器集群系统的兴起,技术赋能智慧医疗服务的发展趋势进一步增强。鉴于此,本文以泛在融合信息网络为基础,以全面实时获取急救数据为核心,以短距离通信技术和 5G 远距离传输专网的融合协同网络为通道,以急救共享云数据库和医院数据库为载体,以对急救患者数据的加工、集成、分类和应用为抓手,研究设计基于 5G+ 的智慧急救医疗服务体系,以期驱动传统医疗急救模式智慧化升级提供参考。由于 5G+ 智慧急救医疗服务体系更多地关注急救效率提升,在一定程度上忽略了技术应用相关隐私和安全问题,现有文献表明尽管 5G+ 技术有望提升急救医疗效率,但在某些网关和传感器之间的数字链路可能缺乏隐私性和安全性。另外急救医疗服务体系能否在偏远地区实现更好的嵌入、缺乏操作经验的医护人员能否在紧急情况下实现对医护设备的更好运用等问题值得考虑。因此研究如何提升 5G+ 智慧急救医疗服务生态体系

(下转第 71 页)

5 结语

近年来移动网络技术迅速发展, 标准不断迭代更新, 为数字交换和数字通信开辟了崭新领域。Web 技术和电子信息技术不断进步, 促进无线智能终端设备成本不断降低^[8], 并对医疗机构 PACS 提出新要求, 移动 PACS 普及成为可能, 受到国内外医疗信息工作者、医务人员的高度关注。基于无线移动通信协议、B/S 架构打造的移动影像信息系统, 顺应了电子信息技术、计算机网络技术与现代临床医学技术相结合的发展趋势, 满足了我国医疗诊断精准化和高效率等方面的需求。移动医学影像系统的应用突破了以往有线网络拓扑结构下诊断环境和设备的限制, 实现了真正意义上的无边界影像数据传输。但值得注意的是, 移动影像系统并不能完全取代传统 PC 终端影像系统, 其只是传统影像系统的辅助和延伸。随着 5G 技术乃至更高标准无线通信技术的不断发展以及智能终端的进步, 移动影像信息系统将实现更多功能并持续发展。

参考文献

- 1 王小龙. 移动互动平台融合综合教学在医学影像读片课程中的应用 [J]. 继续医学教育, 2020, 34 (10): 10-12.
- 2 胡昊, 廖伟雄. 移动 PACS 在医学影像教学中的应用研究 [J]. 中华医学教育探索杂志, 2020, 19 (7): 798-801.
- 3 张敏伟, 陈宁宁, 蒋可思, 等. 医学影像设备移动学习平台“影-X-器”的设计与开发 [J]. 健康必读, 2020 (17): 261.
- 4 黄娟, 黄小明. 移动 PDA 在放射科 RIS-PACS 系统工作流程中的应用分析 [J]. 计算机时代, 2020 (11): 47-49.
- 5 李玉明, 李真林, 余伟, 等. PACS 端与手机移动端相结合的智能化医学影像技术实习教育系统的研究 [J]. 中国医疗设备, 2020, 35 (10): 46-50.
- 6 杨立宇, 巴根, 杨礼庆, 等. 移动学习与 PACS 影像系统结合式教学在骨科临床实习中的应用与效果分析 [J]. 中国医学教育技术, 2017, 31 (1): 47-50.
- 7 张海波, 肖强, 刘晓辉, 等. 基于语音识别的智能移动查房系统的建设与应用中国卫生信息管理杂志, 2020, 17 (6): 799-803.
- 8 单金丽. 浅谈 PACS 的远程医学影像会诊系统的构建及应用 [J]. 信息记录材料, 2020, 21 (5): 66-67.

(上接第 66 页)

的安全性、隐私性、完整性与适用性、人性化与通用性是未来的重点工作。

参考文献

- 1 Zhai Y, Xu X, Chen B, et al. 5G Network-enabled Smart Ambulance: Architecture, Application, and Evaluation [J]. IEEE Network, 2021, 35 (1): 190-196.
- 2 Soomro A, Schmitt R. A Framework for Mobile Healthcare Applications over Heterogeneous Networks [C]. Columbia: 2011 IEEE 13th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services, 2011.
- 3 Pulsiri N, Vatananan-Thesenvitz R, Sirisamutr T, et al. Save Lives: A Review of Ambulance Technologies in Pre-Hospital Emergency Medical Services [C]. Portland: 2019 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), 2019.
- 4 Dohler M. 5G Networks, Haptic Codecs, and the Operating Theatre [M]. Cham: Springer, 2021.
- 5 Nayak S, Patgiri R. A Vision on Intelligent Medical Service for Emergency on 5G and 6G Communication Era [J]. EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, 2020, 6 (22): 1-13.
- 6 Simsek M, Aijaz A, Dohler M, et al. 5G-Enabled Tactile Internet [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2016, 34 (3): 1.
- 7 Sun L, Jiang X, Ren H, et al. Edge-Cloud Computing and Artificial Intelligence in Internet of Medical Things: Architecture, Technology and Application [J]. IEEE Access, 2020 (8): 101079-101092.
- 8 Malasinghe L P, Ramzan N, Dahal K. Remote Patient Monitoring: A Comprehensive Study [J]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 2019 (1): 57-76.