

人工智能在医学领域的应用综述

秦江涛¹, 王继荣^{1,2}, 肖一浩¹, 李军³

1. 青岛大学机电工程学院, 山东 青岛 266071; 2. 青岛大学威海创新研究院, 山东 威海 264200; 3. 青岛大学计算机科学技术学院, 山东 青岛 266071

【摘要】本文在概述人工智能相关知识的前提下,以患者就诊流程为线索,在整个医院管理为基础的大环境中从就医前的智能诊断,到就医时使用的医疗设备,再到就医后的健康管理进行概述。分析目前我国人工智能在医学领域中存在的技术、人才、管理标准、政策伦理问题,并给出符合未来医学领域人工智能发展的建议。

【关键词】人工智能; 医疗机器; 综述

【中图分类号】TP18;R319

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2022)12-1574-05

Artificial intelligence in medical application: a review

QIN Jiangtao¹, WANG Jirong^{1,2}, XIAO Yihao¹, LI Jun³

1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China; 2. Weihai Innovation Research Institute, Qingdao University, Weihai 264200, China; 3. College of Computer Science and Technology, Qingdao University, Qingdao 266071, China

Abstract: An overview of artificial intelligence related knowledge is given. With the visiting flow for patients as the clue, and the whole hospital management as the basis, the medical applications of artificial intelligence are summarized from the aspects of the intelligent diagnosis before medical treatment, the equipments used for medical treatment, and health management after medical treatment. In addition, the issues about technology, talents, management standards and policy ethics in the development of artificial intelligence in medical applications in China are analyzed, and some suggestions for the future development of artificial intelligence in medical applications are put forward.

Keywords: artificial intelligence; medical machine; review

前言

人工智能是计算机学科的一个分支,是一个能模拟人类思维、识别复杂情况、获得学习能力及知识并解决问题的智能系统^[1]。根据不同的学术背景,人工智能领域形成了3大主流学派,即逻辑主义学派、仿生学派和控制论学派;按照实现的能力,人工智能可分为3个层次,即弱人工智能、强人工智能和超人工智能,表现在从单个方面到多方面再到全方面能模拟人类的能力^[2]。人工智能自1956年McCarthy在美国达特茅斯学术会议上首次提出,已经经过了半个多世纪的技术发展^[3]。目前人工智能在移动互联

网、大数据以及经济社会发展强烈需求的共同驱动下加速发展,呈现出深度学习、跨界融合、人机协同、群智开放、自主操控等新特征^[4]。本研究以患者就诊流程为线索,在整个医院管理为基础的大环境中对人工智能的应用进行概述,分析目前我国人工智能在医学领域中存在的问题,最后给出符合未来医学领域人工智能发展的建议。

1 人工智能的医学应用

1.1 智能诊断

依靠深度机器学习算法的智能诊断技术包括智能导诊、影像识别、智能诊疗决策等功能,可以对患者进行预约挂号、智能引导和常规检查等服务,大大改善医院的就诊结构,优化患者的就诊体验^[5-7]。

1.1.1 虚拟助理 医学领域中虚拟助理的应用可以为患者提供就诊前解答疑问,给出最佳就诊建议,进而减轻医院的就诊压力。虚拟助理经过身份核实后可以根据前来就医人员的病况和病历资料为就诊者提

【收稿日期】2022-07-20

【基金项目】国家重点研发计划(2019YFC010167)

【作者简介】秦江涛,硕士研究生,研究方向:康复机器人,E-mail: qinjiangtao12345@163.com

【通信作者】王继荣,博士,教授,研究方向:机器人,E-mail: wangjirong43@163.com

供准确的个性化导诊政策。Microsoft研发了一款通过语言交流、识别图像等功能进行人机交互的导诊机器人。导诊机器人会向患者询问一系列关于其症状的问题,然后针对不同症状提供相应的建议,以帮助患者明确病情,进而回复可以咨询的医生^[8]。为了快速建立患者病例信息,石争^[9]设计了基于深度学习的医疗语音录入系统,该系统以真实病历信息构建医疗语音数据库,经过训练得到语音识别模型;与医生手动录入电子病历相比较,使用语音录入速度快且准确度高,可以帮助医生降低工作负担,提高工作效率。Tian等^[10]设计一种轮式结构的自动测温机器人,其具有环境识别和采集图像功能,通过热成像仪测量人体的热辐射来检测体温;并根据蚁群算法过程提高算法的精度,选择最佳路径,以实现自主导航功能,可以在限定区域自动巡逻。

1.1.2 医学影像识别 医学影像识别不只是依靠医务工作者来观察判断,在智能化上也有了进一步发展^[11-12]。通过多张影像的训练识别可以帮助计算机训练出可靠的模型,利用人工智能在识别一些疾病影像的准确率上和人类非常接近^[13]。人工智能在医学影像的应用极大地提升疾病筛查和临床诊断的能力,同时医务工作者使用人工智能医学图像技术加以辅助可以大大减少误判误诊的现象^[14]。人工智能卷积神经元模型可运用到患者病理研究中,Nirschl等^[15]提取心内膜活检组织的HE染色的数字切片,通过卷积神经元模型进行分析,可以评估患者心力衰竭程度,与病理医生相比,其结果更胜一筹。在新冠疫情期间,由于需要做胸片的患者人数激增,利用CT图像进行诊断的压力突增,王娜娜等^[16]探索了一种基于人工智能的CT影像辅助诊疗系统,通过采用影像辅助诊疗系统阅片方式和一般阅片方式对COVID-19确诊患者的CT影像检查数据进行收集与分析,为病程分析提供了帮助并取得良好效果。除此之外,人工智能技术也应用于疾病的预后评估,Liu等^[17]基于中山大学第一附属医院超声科的四百余名患者的肝脏对比增强超声,建立人工智能影像组学模型。基于深度学习的影像模型可以进行准确的术前预测,进而为极早期或早期肝细胞癌患者选择最优的治疗方案。

1.2 智能医疗机器人

基于人工智能的机器人在医学领域中的应用十分广泛,除了上文提及的虚拟助理机器人,还包含了在检查、手术、康复等方面的医疗机器人。随着医学研究的进步和人工智能的发展,逐步出现了适用于各场合的机器人,如插管机器人、静脉穿刺机器人、配药机器人、康复机器人、医疗服务机器人以及在新

冠疫情期间应用的咽拭子机器人。智能医疗机器人是人工智能技术应用的重要硬件平台之一,在对高端医疗技术产品要求不断提升下,将有力推动我国医疗服务向着高质量、高水平方向发展^[18]。

1.2.1 手术领域机器人 手术机器人广泛应用于临床和外科上,可以提高医生手术操作精准度,减少手术创伤,避免过度依赖手术经验的现象^[19]。1985年,美国洛杉矶医院的医生使用Puma560机器人完成了首例外科手术,打开了手术机器人的序幕。我国应用于医学领域的机器人发展较晚,2014年中南大学湘雅三医院开展了国产首例手术机器人手术,通过腹腔镜探查和手术机器人辅助胃穿孔修补术进行胃穿孔修补术及阑尾切除术^[20]。目前应用最多的是达芬奇手术机器人,其是最先进的手术机器人,具有先进的远距离操作模式和三维立体成像系统,通过高分辨率镜头可以将目标视野区域最高放大15倍,大大提升手术操作的精确性和平稳性^[21]。随着人工智能技术的不断发展,目前在手术领域已出现脑外科、骨科、腹腔镜和血管介入机器人等,并取得令人满意的效果。在腹腔镜手术中,Jo等^[22]提出一种基于虚拟现实的内窥镜控制系统,在内窥镜控制系统的碰撞避免策略下,通过头戴式VR设备可以大大减少外科医生的颈部和背部疼痛,进而减少外科医生在手术过程中的工作量。在治疗心脑血管疾病的手术中,结合实际血管介入手术的导管推送需求,严伟玮^[23]设计了血管介入手术机器人的从端推送机构,通过BP神经网络的PID控制器,进而达到手术需要的推送精度,大大提高手术的成功率。在鼻腔手术中,为了减少医生因长时间手术出现疲劳和抖动,He等^[24]研发了一种鼻腔内窥镜手术机器人,此手术机器人可通过语音进行控制,很大程度地降低因空间狭小进而导致操作的局限性,便于医生进行操控,进而减少手术时间,提高手术的效率。

1.2.2 康复领域机器人 康复机器人主要指用于辅助性治疗的机器人,是以康复医学理论为基础,结合机器人技术生产的治疗设备的统称^[25]。20世纪90年代我国开始了康复机器人的研究,康复机器人在脑卒中后运动功能障碍中的应用最为广泛^[26]。患者借助康复机器人进行机械性的重复训练,帮助患者进行肢体动作,可以减轻护理人员的压力,同时有效地帮助患者实现恢复。康复机器人从传统单一的机电控制转为人工智能控制,基于表面肌电信号和脑电信号控制的研究逐步加深。除此之外,随着虚拟现实技术的发展,患者在进行康复训练时的人机交互方面越来越友好,其中,上肢外骨骼式康复机器人大多为可穿戴式设备,可在立体空间进行肢体功能训练,

且移动方便,适用于不同场所。下肢康复机器人的设计大部分模拟正常步行姿势动作,对使用者下肢进行康复训练。杜豪等^[27]研制了一种结合虚拟现实技术的柔性上肢康复机器人,通过在虚拟动态模型上建立交互性节点,实现虚拟现实交互,不仅将可视化训练结合到患者康复训练中,还提升了上肢康复训练精度。张孟旋^[28]研究了基于肌力的上肢康复机器人,通过拉力采集仪搭建了肌电信号采集系统,完成肱二头肌 sEMG 信号的采集;并且通过改进 BP 神经网络的估算方法,完成上肢康复机器人训练控制策略。李伟^[29]研究了基于深度学习的下肢康复机器人控制器,通过 PD 控制器与强化学习算法结合,组成仿人控制系统,控制器通过先前提取的行走步态来设计康复训练所需的最优轨迹。

1.3 智能健康管理

20 世纪 90 年代末我国开始进行智能健康管理研究,旨在为健康监测、慢病管理等提供医疗护理和咨询指导。与效率比较低下、缺乏个性化的传统健康管理相比,运用人工智能技术不仅可以从病案中采集个体化信息,还可以通过智能设备实时传输,及时获取个人身体状况^[30]。在机器深度学习的技术支持下,可提前预测疾病发生和监测身体异常数据。陶亮等^[31]提出基于深度学习的心律失常自动监测的方法,该方法采用卷积神经网络和长短时混合网络的混合模型;相比于需要人工提取特征的传统机器学习,该方法可以大大降低心电图信号易受干扰的缺点,提高信号分类的准确性。人工智能在健康管理方面的应用主要是利用物联网医疗设备及可穿戴智能设备全方位地获取人体生命体征和健康数据,并与就诊数据、基因组学、心理状态、生理状态等医疗健康数据进行深度挖掘,从而给出个人健康管理方案^[32]。胡川等^[33]为解决人工抄写血糖数据利用率低,难形成系统化的报告成果的问题,结合医院实际设计了智能血糖监测管理系统,该系统采用前后端分离架构,搭建血糖监测平台获取患者血糖报告分析内容。通过平台为患者建立档案,医生也可在平台上获得患者的基本信息和检测报告,查看血糖检测历史记录。系统外接手机 App 可实现自动提醒和随时上传检测信息,医生可实时观测患者身体状况,及时进行诊断,为患者慢性病治疗和管理提供更精准的决策支持。王骥等^[34]研发了一种基于实时操作系统 Free RTOS 平台的智能健康监测手表系统,此手表具备实时检测心率和睡眠质量监测等功能,在系统运行时总功耗低且稳定,可以有效地实现人体智能健康监测。除了在科技研发方面,智能手表也成为了消费市场的消费热点,佩戴智能手表或智能

手环已成为人们生活当中不可或缺的工具。人们利用智能手表不仅能够方便地使用快捷功能,还能实时监测自身的运动数据和生理指标。

1.4 医院管理

通过人工智能对就诊者数量及就诊科室分布情况进行监测和大数据分析,可以有目的地对坐诊医生、病房和医疗设备进行规划,进而对医院进行宏观管理,优化患者就诊体验,减少不必要的医疗资源的浪费,将医疗资源效用最大化^[35]。在积极推动数字化病案信息技术中,吴疏影^[36]利用九江市第一人民医院病案科对 2 000 份病案进行研究,参照组按照医院规定实施管理书写,研究组实施数字化病案信息技术;结果表明参照组存在不规范书写和错误书写的问题,相比之下,利用数字化病案信息技术病案利用率较高。病案信息技术可用于调查、研究地区性疾病;病案信息技术可有效监督、评估医疗质量。在医院工作特别是在临床中应用数字化病案信息技术,可以有效地提高各部门工作效率,进而改善医务工作人员的工作质量。Arun 等^[37]研究了 5G 中的正交频分复用波形技术,这满足智慧医疗医院网络高频谱接入、大容量、高吞吐量的要求,实现了从医学图像传输到可穿戴设备的网络高速度运行,保障了患者就诊出诊和医院的高效运行。Qiu^[38]提出基于 5G 网络和物联网的医院档案智能管理系统,从病人管理、医用设备管理、财务管理方面阐述了 5G 网络能满足超低延迟、高数据传输、超可靠性的医疗服务应用以及进行远程医疗管理的功能。在新冠疫情期间,大数据、人工智能助力了 COVID-19 防控的进展,Soltan 等^[39]利用人工智能技术筛查试验来快速分诊新冠病毒,在急诊患者和住院患者中确诊患病病例,避免了因人数暴增造成医院瘫痪的现象,很大程度地维持了医院运行的稳定性。

2 存在问题

2.1 技术问题

理论庞大而准确的大数据是人工智能技术的基本要求。在当前的人工智能技术条件下,由于患者医疗数据记录形式不一,各医院标准不一和管理系统不一。各医院之间存在壁垒,导致数据质量参差不齐,不利于人工智能的发展。利用神经网络进行人工智能深度学习算法研究,由于其具有自我编程能力的不确定性,会出现难以评估的错误。带有主观臆想和数据的不完整可能会导致整个系统的结果出错,很可能在医疗中出现事故;另外基于人工智能的智能化仪器仍处于半自动化状态,有存在“人”的必要性,与其说是机器在帮助人,不如说是人在帮助机器。

2.2 人才短缺问题

人才培养是人工智能不断向前发展的重要基石,面对浩大的智能化产业市场需求,而我国高校每年培养出来的毕业生仅仅约为2000人^[40]。医疗人工智能是多学科深度融合的交叉学科,需要复合型人才,而我国在此领域的研究尚在探索前进中。新型人才对医疗行业的不了解,减缓了研究进度,制约了人工智能在医学领域技术的发展。

2.3 管理标准问题

医疗行业的智能化应用时间不长,我国缺乏相应的监管体系,到目前为止也没有完整的有关人工智能技术在医疗行业的管理和技术标准,难以对存在的问题进行监管以及潜在的问题进行规避,形成管理上的漏洞,使得技术得不到保障,这样会导致技术变革时存在风险问题,大大阻碍医疗行业智能化发展的脚步。由于标准的不统一,除了缺乏完整性、一致性医疗信息外,还造成了医疗数据的浪费,使得数据资源不仅没有得到各医疗部门共享使用,还有可能产生患者和医务工作者个人信息泄露的问题。

2.4 政策伦理问题

医护人员是经过专业知识培养和人文精神培养的专业型人才,其人文思想体现在对患者的尊重和关心^[41],而人工智能技术是冷冰冰没有感情的机器,它无法在患者痛苦与伤心时给予安慰和关心;此外,人工智能技术的便捷性和普适性会威胁到医务工作者的主体地位。由于我国医疗人工智能尚未发展成熟,对于患者数据的收集预处理也会对个人隐私带来危险,产生技术伦理问题。除此之外,为了快速完成人工智能产品的研发,会导致个别企业通过一些非法手段获得数据,给患者带来极大的健康风险。

3 问题对策

3.1 加快技术融合

提高人工智能的算法能力,通过强大的机器学习能力,实现就诊患者使用人工诊断系统自诊、自疗的功能,实现医疗检测结果的快速性和准确性,改变我国的医疗行业仍处于弱人工智能的局面。

提升医疗人工智能相关产品转化为实际成果,通过投入科研基金和实施临床试验,实现产品在临床大规模应用,提高智能医疗器械设备的使用率,增进医疗行业的智能化建设。

建立智慧医院,通过人工智能、5G、大数据技术融合,提高健康管理的便捷性,提升医院的调控能力。加强人工智能在医学领域的应用会推动医疗技术的改革,改变人们的就诊体验,甚至改变人们的生活方式。

3.2 加强人才培养

通过与先进技术国家交流,加快培养我国的人工智能人才,除此之外还可以适当地引进先进技术和人才,减少在医学领域起步阶段的探索期,为缩小与人工智能技术发达国家差距赢得时间。

利用现有的网络平台技术,建立学校-企业-医院的合作关系平台,开展医疗人工智能的有关培训,开启“人工智能+X”的交叉学科培养新模式,加快复合型人才的培养。

3.3 制定法规标准

建立医疗卫生领域人工智能产品的评估指标和监管体系,积极应对人工智能带来的技术和伦理问题,制定相应的审批评估制度,包括产品的事前审批和进入市场后的监测,进而规避技术发展潜在的问题。

制定数据安全和信息共享基础标准,设立相关责任制度,保障数据来源的可靠性和传输的安全性,大大提高数据的利用率,加快医疗产业智能化建设的标准和规范。

制定人工智能的伦理规范,重点培养医务人员的医学人文精神。在患者-人工智能-医务人员三者之间建立良好的信任关系,三者相辅相成,共同推进医学领域向着高质量、高水平的方向发展。

4 结语

随着医工融合的不断发 展,人工智能技术在医学领域应用已经成为了不可或缺的一部分。基于人工智能的智能诊断和健康管理体现在患者就医时的全过程,其在为患者提供舒适性的就医条件时,也为医生和医院带来了技术升级和智慧管理。但目前人工智能技术在医学领域应用也存在着技术、人才、管理标准和政策伦理问题,这成为了医工融合向前发展的瓶颈。要正确合理地解决存在的问题,促进技术融合、加快人才培养和制定法规标准需要同步开展,传统医疗向智能化医疗的转变才能得以实现,进而推进医学领域进一步的发展。

【参考文献】

- [1] Fan M. Application analysis of artificial intelligence in computer technology[J]. Front Soc Sci Technol, 2020, 2(16): 131-136.
- [2] Skaria R, Satam P, Khalpey Z. Opportunities and challenges of disruptive innovation in medicine using artificial intelligence[J]. Am J Med, 2020, 133(6): 215-217.
- [3] Lawrence DR, Palacios- Gonzalez C, Harris J. Artificial intelligence[J]. Camb Q Health Ethics, 2016, 25(2): 250-261.
- [4] Wei J. Research progress and application of computer artificial intelligence technology[J]. MATEC Web of Conferences, 2018, 176: 143-148.
- [5] Yanase J, Triantaphyllou E. A systematic survey of computer-aided

- diagnosis in medicine: past and present developments[J]. Expert Syst Appl, 2019, 138(C): 2821-2847.
- [6] Li Y, Chou CA, Wang H. A machine learning based intelligent system for diagnosis and treatment[C]. IIE Annual Conference, 2015: 1646-1653.
 - [7] Doi K. Computer-aided diagnosis in medical imaging: historical review, current status and future potential[J]. Comput Med Imaging Grap, 2007, 31(4-5): 198-211.
 - [8] Zhang H, Zheng J. The application analysis of medical chatbots and virtual assistant[J]. Front Soc Sci Technol, 2021, 3(2): 11-16.
 - [9] 石争. 基于电子病历语音输入的医生工效优化研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2021.
Shi Z. Research on work efficiency optimization of physician based on speech input of electronic medical record[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2021.
 - [10] Tian J, Jia L, Mu S. Research of intelligent temperature measuring robot system[J]. J Phys, 2021, 1757(1): 2152-2157.
 - [11] Kumar R, Wang WY, Kumar J, et al. An Integration of blockchain and AI for secure data sharing and detection of CT images for the hospitals[J]. Comput Med Imaging Grap, 2021, 87: 1812-1828.
 - [12] Jha S, Topol EJ. Adapting to artificial intelligence: radiologists and pathologists as information specialists[J]. Jama, 2016, 316(22): 2353-2354.
 - [13] Hayashi N, Maruyama T, Sato Y, et al. Evaluating medical images using deep convolutional neural networks: a simulated CT phantom image study[J]. Technol Health Care, 2020, 28: 113-120.
 - [14] Suzuki K, Zhou L, Wang Q. Machine learning in medical imaging[J]. Pattern Recogn, 2017, 63: 465-467.
 - [15] Nirschl JJ, Janowczyk A, Peyster EG, et al. A deep-learning classifier identifies patients with clinical heart failure using whole-slide images of H&E tissue[J]. PLoS One, 2019, 13(4): 726-732.
 - [16] 王娜娜, 王大为, 李大胜, 等. 人工智能辅助诊疗系统在新型冠状病毒肺炎诊疗中的应用初探[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(6): 75-79.
Wang NN, Wang DW, Li DS, et al. Application of artificial intelligence aided diagnosis and treatment system in diagnosis and treatment of new coronavirus pneumonia[J]. China Medical Devices, 2020, 35(6): 75-79.
 - [17] Liu F, Liu D, Wang K, et al. Deep learning radiomics based on contrast-enhanced ultrasound might optimize curative treatments for very-early or early-stage hepatocellular carcinoma patients[J]. Liver Cancer, 2020, 9(4): 397-413.
 - [18] 倪自强, 王田苗, 刘达. 医疗机器人技术发展综述[J]. 机械工程学报, 2015, 51(13): 45-52.
Ni ZQ, Wang TM, Liu D. Review on the development of medical robot technology[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(13): 45-52.
 - [19] Michael W, Ketan B. Competing robotic systems: a preview[J]. Urol Clin North Am, 2021, 48(1): 147-150.
 - [20] 孙林丽, 唐四元. 首例国产机器人胃穿孔修补手术的围手术期护理[J]. 中南大学学报(医学版), 2015, 40(4): 453-456.
Sun LL, Tang SY. Perioperative nursing care of the first domestic robot repair of gastric perforation[J]. Journal of Central South University (Medical Sciences), 2015, 40(4): 453-456.
 - [21] Lippross S, Jünemann KP, Osmonov D, et al. Robot assisted spinal surgery- a technical report on the use of davinci in orthopaedics[J]. J Orthop, 2019, 19(c): 50-53.
 - [22] Jo Y, Kim YJ, Cho M, et al. Virtual reality-based control of robotic endoscope in Laparoscopic Surgery[J]. Int J Control Autom Syst, 2020, 18(3): 150-162.
 - [23] 严伟玮. 血管介入手术机器人设计与控制策略研究[D]. 江西: 华东交通大学, 2018.
Yan WW. Research on design and control strategy of vascular interventional surgery robot[D]. Jiangxi: East China Jiaotong University, 2018.
 - [24] He Y, Deng Z, Zhang J. Design and voice-based control of a nasal endoscopic surgical robot[J]. CAAI Trans Intell Tech, 2021, 6(1): 123-131.
 - [25] 周媛, 王宁华. 康复机器人概述[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(4): 400-403.
Zhou Y, Wang NH. Overview of rehabilitation robot[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2015, 30(4): 400-403.
 - [26] Dukelow Sean P. The potential power of robotics for upper extremity stroke rehabilitation[J]. Int J Stroke, 2017, 12(1): 7-8.
 - [27] 杜豪, 杨岩, 张成杰. 虚拟现实技术在柔性上肢康复机器人中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(24): 260-265.
Du H, Yang Y, Zhang CJ. Application of virtual reality technology in flexible upper limb rehabilitation robot[j]. Computer Engineering and Applications, 2020, 56(24): 260-265.
 - [28] 张孟旋. 基于肌力估计的上肢康复机器人控制策略研究[D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2021.
Zhang MX. Research on control strategy of upper limb rehabilitation robot based on muscle strength estimation[D]. Ma'anshan: Anhui University of Technology, 2021.
 - [29] 李伟. 人体特征融合下的康复机器人控制器设计[D]. 郑州: 中原工学院, 2022.
Li W. Controller design of rehabilitation Robot based on human characteristics fusion[D]. Zhengzhou: Zhongyuan University of Technology, 2022.
 - [30] 李慧子, 陈旭东, 解卫军. 智能健康管理模式设计与实现[J]. 医学信息学杂志, 2018, 39(9): 7-11.
Li HZ, Chen XD, Xie WJ. Design and implementation of intelligent health management mode[J]. Journal of Medical Informatics, 2018, 39(9): 7-11.
 - [31] 陶亮, 刘宝宁, 梁玮. 基于CNN-LSTM 混合模型的心律失常自动检测[J]. 山东大学学报(工学版), 2021, 51(3): 30-36.
Tao L, Liu BN, Liang W. Automatic arrhythmia detection based on CNN-LSTM hybrid model[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2021, 51(3): 30-36.
 - [32] Kobrinskii BA, Grigoriev OG, Molodchenkov AI, et al. Artificial intelligence technologies application for personal health management[J]. IFAC PapersOnLine, 2019, 52(25): 70-74.
 - [33] 胡川, 罗浩, 汪鹏. 医院智能血糖监测管理系统设计与应用[J]. 医学信息学杂志, 2020, 41(7): 68-71.
Hu C, Luo H, Wang P. Design and application of hospital intelligent blood glucose monitoring and management system[J]. Journal of Medical Informatics, 2020, 41(7): 68-71.
 - [34] 王骥, 郭海亮. 基于蓝牙低功耗技术的智能健康监测手表系统[J]. 生物医学工程学杂志, 2017, 34(4): 557-564.
Wang J, Guo HL. Intelligent health monitoring watch system based on Bluetooth low power technology[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2017, 34(4): 557-564.
 - [35] Wang N, Wang J, Zou Y, et al. Construction of hospital follow-up management system[C]//Proceedings of the 2019 World Congress on Computational Intelligence, Engineering and Information Technology (WCEIT 2019). 2019: 399-402.
 - [36] 吴疏影. 数字化病案信息技术在医院工作中的应用实践[J]. 当代医学, 2021, 27(9): 135-136.
Wu SY. Application of digital medical record information technology in hospital work[J]. Contemporary Medicine, 2021, 27(9): 135-136.
 - [37] Arun K, Dhanagopal R, Albreem Mahmoud A, et al. A comprehensive study on the role of advanced technologies in 5G based smart hospital[J]. Alex Eng J, 2021, 60(6): 5527-5536.
 - [38] Qiu F. Hospital archives intelligent management system based on 5G network and internet of things system[J]. Microprocess Microsy, 2021, 80: 564-567.
 - [39] Soltan A, Kouchaki S, Zhu T, et al. Rapid triage for COVID-19 using routine clinical data for patients attending hospital: development and prospective validation of an artificial intelligence screening test[J]. Lancet Digital Health, 2021, 3(4): 78-87.
 - [40] 工业和信息化部. 《人工智能产业人才发展报告(2019-2020年版)》[EB/OL]. [20200329/20220202]. <https://www.miitec.cn/home/index/detail?id=2249>.
The Ministry of Industry and Information Technology. Report on talent development in artificial intelligence industry (2019-2020)[EB/OL]. [20200329/20220202]. <https://www.miitec.cn/home/index/detail?id=2249>.
 - [41] Rampton V, Mittelman M, Goldhahn J. Implications of artificial intelligence for medical education[J]. Lancet Digital Health, 2020, 2(3): 111-112.

(编辑:谭斯允)