

人工智能在抗击新型冠状病毒肺炎疫情中的应用

刘思远¹, 张丽军², 刘雷³

1. 上海师范大学信息与机电工程学院, 上海 200234; 2. 上海市公共卫生临床中心新药临床研究中心, 上海 201508; 3. 复旦大学生物医学研究院, 上海 200433

【摘要】新型冠状病毒肺炎(COVID-19)引起了全球大规模疫情,对全球政治、经济等各方面造成巨大影响。目前人类对SARS-Cov-2本身及作用机制、流行病学和临床诊治等方面尚不完全清楚,尚无疫苗,无特效药,因此,利用新技术对COVID-19进行早诊断、早隔离和早治疗具有重要的意义。人工智能作为当今研究的一个热点领域,已广泛应用于临床医学各领域。本研究综述了人工智能在COVID-19疫情中的应用,包括放射影像诊断、疾病预测、疾病追踪、和药物研发。本研究能为COVID-19的防治提供参考,为医护人员了解和利用人工智能技术提供帮助。

【关键词】新型冠状病毒肺炎;人工智能;放射影像诊断;疾病预防;综述

【中图分类号】R318;R511

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)08-1076-05

Application of artificial intelligence in fighting against COVID-19 pandemic

LIU Siyuan¹, ZHANG Lijun², LIU Lei³

1. College of Information, Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China; 2. Clinical Research Center of New Drugs, Shanghai Public Health Clinical Center, Shanghai 201508, China; 3. Institutes of Biomedical Sciences, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: A worldwide pandemic of corona virus disease 2019 (COVID-19) has caused great effects on global politics, economy, and other aspects. However, so far the virus signatures, mechanism of virus infection, epidemiology, clinical diagnosis and treatment of SARS-Cov-2 remain unclear. Furthermore, there is no vaccine or specific drug. Therefore, applying new techniques to realize the early diagnosis, isolation and treatment of COVID-19 patients is of great significance. Artificial intelligence, as a hot technology of research nowadays, has been widely used in various fields of clinical medicine. Herein the applications of artificial intelligence in fighting against COVID-19 pandemic, including radiological diagnosis, disease prediction, disease tracking and drug development, are summarized. This study can provide new clues for the prevention and treatment of COVID-19, and help medical staffs to better understand and utilize artificial intelligence technology.

Keywords: corona virus disease 2019; artificial intelligence; radiological diagnosis; disease prevention; review

前言

自2019年12月报道首例新型冠状病毒肺炎(Corona Virus Disease 2019, COVID-19)患者以来^[1-5],截止到2020年6月27日已确诊患者超过963万,死亡人数超过49万^[6]。尽早发现患者,切断传染源是最有效的阻止疫情蔓延的方法。基于大数据和人工智能的新技术在人员跟踪与风险评估方面有其

独特的优势^[7]。COVID-19感染早期表现为流感样症状,如发热、咳嗽和乏力,与流感症状相似,随后呈现出不同的临床特点。年轻人可能自行康复、或病情加重但治疗后很快康复^[8-9];然而老年人和合并心血管系统疾病的患者更容易发生重症及危重症化^[10-16],从而引起严重间质性肺炎、急性呼吸窘迫综合征(ARDS)及随后的多器官衰竭,导致严重急性呼吸衰竭和高死亡率^[17]。因此早诊断尤其对重症与危重症的早发现能极大地降低病死率。人工智能能帮助诊断和治疗决策^[18-22],提高疾病检测的便捷性、准确度和改善患者的治疗^[22-26]。

面对这种突发传染病,如何科学有效治疗成为摆在广大医务工作者面前的迫切任务。新药开发周期长,老药新用是目前治疗的首选。人工智能能快速地从小规模庞大的分子结构数据库中筛选出潜在药

【收稿日期】2020-07-02

【基金项目】十三五重大新药创制—抗艾滋病病毒新药临床评价技术平台建设项目(2017ZX09304027);浙江大学新型冠状病毒肺炎(COVID-19)应急科研专项资金

【作者简介】刘思远,硕士研究生,研究方向:计算机技术, E-mail: 739735690@qq.com

【通信作者】刘雷,教授,研究方向:人工智能, E-mail: liulei@fudan.edu.cn

物,在药物研发领域发展潜力巨大^[27],为 COVID-19 药物筛选带来新的机遇和希望^[28]。

本文综述人工智能应用于 COVID-19 的国内外研究进展,具体从诊断、疾病预测与跟踪,以及药物筛选几个方面展开,以期为 COVID-19 的防治提供参考,为医护人员了解和利用人工智能技术提供帮助。人工智能指用计算机程序进行人类的思维模拟,是计算机领域的一个重要组成部分,主要包括大数据技术、图像识别技术、语音识别技术^[29-31]。目前,人工智能特别是深度学习已经深入到医学领域的各个方面^[22, 32-33],包括协助医生对 CT 等图像进行快速、准确的解释;改进医疗流程和减少医疗错误;协助患者处理自己的数据以促进健康^[22]。人工智能用于药物设计与筛选,可以极大地降低药物研发的周期和成本^[34]。目前人工智能已经在心血管系统疾病^[35-36]、肿瘤^[37]、传染病(如 COVID-19)^[18, 28]得到广泛的应用,本文将从放射影像诊断、疾病追踪、病例和死亡率预测以及药物和疫苗研发 4 方面综述人工智能在 COVID-19 中的应用。

1 人工智能在放射影像诊断方面的应用

人工智能影像诊断系统是近年来的研究热点,可以对肺炎炎症进行定量分析和鉴别诊断,已经广泛用于协助患者 CT 诊断^[38-44]。

1.1 利用人工智能阅读胸片

逆转录聚合酶链反应(RT-PCR)是检测新冠病毒感染最准确的方法,但是在一些地区试剂盒的数量不够,且这项检测需要的时间较长^[39, 45]。由于 COVID-19 早期便出现肺部病变,因此,通过胸部 CT 和 X 光对疑似患者进行检测是一个很好的补充,且更有利于 RT-PCR 结果阴性患者的检出^[45-46]。邓靛娜等^[44]对影像学在 COVID-19 的应用进行了比较系统的综述,本文仅对其文后的最新进展进行补充概述。比如 Murphy 等^[41]利用人工智能系统(CAD4COVID Xray)对 24 678 张 CT 图像上进行了训练后发现:人工智能对 454 例有 RT-PCR 结果的 COVID-19 患者 X 线胸片进行判断时,曲线下面积(Area Under Curve, AUC)为 0.81,其检测 COVID-19 的能力与 6 名独立放射科医生相当。

人工智能可以识别人工难以发现的早期患者,且速度比人工识别要快。Mei 等^[18]应用人工智能算法将胸部 CT 表现与临床症状、暴露史和实验室检测相结合,快速地诊断了 COVID-19 阳性的患者。在一组 279 名患者的测试中,使用人工智能系统达到了

0.92 的 AUC,灵敏度与一位资深胸部放射科医生相当。对 25 名通过 RT-PCR 检测为 COVID-19 阳性的患者,这些患者的 CT 扫描正常,放射科医生将这些患者归类为 COVID-19 阴性,人工智能却正确识别了 17 名患者为阳性(68%)。Bai 等^[42]的研究发现:将人工智能用于辅助放射科医生进行读片时,可以提高放射科医生区分 COVID-19 与其他肺炎的能力。在人工智能的帮助下,放射科医生诊断 COVID-19 的平均精确度从 85% 提升到了 90%,敏感性从 79% 提升到了 88%,特异性从 88% 提升到了 91%^[42]。目前的各项研究均显示:人工智能对胸部 CT 进行读片时,表现出了很高的准确性^[47]。

1.2 利用人工智能减少放射科医生与患者的接触

传统胸片和 CT 工作流程中,工作人员和患者的接触是不可避免的。许多现代 X 光和 CT 系统配备了用于监控病人的摄像机,但是由于只有顶部摄像机,还不能完成对患者的姿势识别。而人工智能可以识别患者的姿势和形状,通过视觉传感器确定最佳扫描参数。技术人员可以透过窗户和扫描室中安装在天花板上的人工智能摄像机传输的实时视频进行观察,并在必要时纠正患者的姿势。一旦技术人员或运动分析算法认为患者已经准备好,患者定位算法将自动从相机拍摄的图像中恢复患者的三维姿势和完全重建的网格。在三维网格的基础上,对患者目标身体部位的扫描范围和三维中心线进行估计,并转化为控制信号和优化扫描参数,供技术人员验证。一旦确认,病床将自动与 ISO 中心对齐,并移入 CT 机架进行扫描^[39]。

2 人工智能在病例预测方面的应用

在疫情期间,分析 COVID-19 的发展规律,预测其发展趋势,提早发现疑似或确诊例数对 COVID-19 疫情的预防和控制至关重要。Zheng 等^[7]提出了一种用于 COVID-19 预测的混合人工智能模型。传统的传染病模型将 COVID-19 感染者视为具有相同的感染率,而 Zheng 等^[7]提出了一种改进的易感感染模型(ISI),用于估计冠状病毒感染率的变化,分析其传播规律和发展趋势。此外,该模型考虑到防控措施的效果和公众防范意识的提高,在 ISI 模型中嵌入自然语言处理(Natural Language Processing, NLP)模块和长短期记忆网络(Long Short-Term Memory, LSTM),建立 COVID-19 预测的混合人工智能模型。这个混合人工智能模型在武汉、北京、上海和全国范围内应用,能显著降低预测结果的误差,得到未来 6 天平均

绝对百分比误差分别为 0.52%、0.38%、0.05% 和 0.86%^[7]。类似地, Yang 等^[48]利用 Susceptible-Exposed-Infectious-Removed (SEIR) 模型和人工智能方法,有效预测了我国 COVID-19 流行高峰期及其规模,且用数据呈现了我国在 2020 年 1 月 23 日对湖北实施的封城措施对于减少最终的 COVID-19 流行规模具有非常重要的作用。此外,社交媒体搜索索引 (Social Media Search Index, SMSI) 能提前预测 COVID-19 疑似病例,从而协助政府对潜在高风险地区进行早防控。如 Qin 等^[49]在收集了干咳、发热、胸闷、冠状病毒和肺炎数据的基础上,采用 SMSI 进行预测,发现可以提早 6~9 天发现 COVID-19 疑似病例,且其预测的数据与 10 天后确诊的病例具有相关性。

3 人工智能在疾病追踪方面的应用

在疫情爆发初期,中国开始以人工智能方法跟踪疾病,依靠类似的面部识别摄像头来跟踪有旅行史的感染患者^[50]。浙江省杭州市率先推出互联网健康码模式,对市民和拟进入杭州人员实施“绿码、红码、黄码”三色动态管理。“健康码”以真实数据为基础,由市民或者返工返岗人员通过自行网上申报,经后台审核后,即可生成属于个人的二维码。该二维码作为个人在当地出入通行的一个电子凭证,实现一次申报,全市通用。健康码的推出,让复工复产更加精准、科学、有序^[51]。

针对 COVID-19,韩国疾病预防控制中心部署了名为 COVID-19 智能管理系统 (COVID-19 sms) 的联系人追踪系统,该系统使用来自安全摄像头画面、信用卡记录甚至汽车和手机的 GPS 数据来追踪 COVID-19 感染者的移动。对于可能接触过 COVID-19 的人,卫生官员会向他们发出通知。在检测呈阳性的人群中,需要治疗的人在收治 COVID-19 患者的定点医院里住院治疗,无症状感染者被要求在 14 天内保持自我隔离,并积极监测他们对隔离的遵守情况。迄今为止,韩国在没有采取封锁措施的情况下成功遏制了 COVID-19 的扩散^[52]。

在非洲国家,由于卫生系统薄弱、监测不足、实验室能力不足和公共卫生基础设施有限,未能有效发现和报告病例。获得准确的诊断、监测和疫情报告需要一个资源充足的保健系统。而有证据表明,大多数资源有限的国家缺乏有效、快速的监测系统。针对 COVID-19 的爆发,迅速开发和部署用于筛查的护理点 (Point-of-Care, POC) 诊断有助于遏制疾病的传播,减轻卫生系统的负担。新兴的健康创新技术,如区块链和人工智能技术,可以与 POC 诊断相结合,

使暴露于 COVID-19 的隔离患者能够自我测试^[53]。

4 人工智能在药物研发方面的作用

COVID-19 目前尚无疫苗,无特效药,新药研究是一个非常漫长的过程,老药新用是目前治疗的首选。目前已用于治疗 COVID-19 的药物有羟基氯喹 (Hydroxychloroquine, HCQ)、替考拉宁 (Teicoplanin)、阿比朵尔 (Arbidol) 和洛匹那韦/利托那韦 (Lopinavir/Ritonavir, LPV/RTV) 等^[54-55]。然而大部分药物临床试验显示其疗效不佳^[56-57],因此研究者应用人工智能技术对已上市的具有治疗 COVID-19 潜力的药物进行筛选,使人们更快、更便宜、更有效地寻找新药^[34, 58]。如 Ke 等^[28]用两个不同的学习数据库,建立了一个人工智能平台,用于识别具有抗冠状病毒活性的潜在已有药物;经过几轮人工智能学习和预测过程,人工智能系统识别出 80 种具有市场潜力的药物。其中,8 种药物 (贝达奎林、灯盏花素、塞来昔布、氯法嗪、康尼伐普坦、吉西他滨、托卡彭和维斯莫吉布) 对猫传染性腹膜炎 (FIP) 病毒在 Fcwf-4 细胞中的增殖有抑制作用。此外,5 种其他药物 (博塞普利韦、氯喹、高三尖杉酯碱、替罗酮和盐霉素) 在人工智能方法的练习中也被发现是有用的。此外,谷歌 DeepMind 开发 AlphaFold^[59] 深度学习系统快速预测了 COVID-19 的蛋白质结构,从而为 COVID-19 疫苗设计提供了有价值的信息,而如果使用传统的实验方法获得蛋白质结构可能需要数月的时间^[58]。

5 结语

人工智能作为一种辅助工具,其主要优点在于代替医务人员或政府工作人员完成重复冗杂的工作,有效提升他们的工作效率。此外,在诊断时,它的准确率甚至要高于专家,也不会出现高强度工作下的效率下降问题^[39, 41-42, 54]。同时,这次疫情也推动了人工智能应用的发展,在将来,随着社会的进步,会有更好的机制推动人工智能服务于人类。但是,人工智能仍有其局限性,主要包括受试者隐私和数据的安全性^[60]。随着时间的推移,人工智能在其准确性、工作效率和 workflows 方面可能会显著改进,但其伦理问题,数据提取与再利用导致可能的泄密仍然难以解决,此外,人工智能替代医生可能会加剧医患矛盾^[22]。总之,“AI+医疗”将成为未来医疗的发展方向,协助医生做出更精准、更有效的决策方案,但是对患者隐私的保护和数据安全等问题需要人工智能技术的不断完善和医护人员的共同努力去攻克。

【参考文献】

- [1] HUANG C, WANG Y, LI X, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China[J]. *Lancet*, 2020, 395(10223): 497-506.
- [2] KANNAN S, SHAIK SYED ALI P, SHEEZA A, et al. COVID-19 (Novel Coronavirus 2019)-recent trends[J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2020, 24(4): 2006-2011.
- [3] ZHAI P, DING Y B, WU X, et al. The epidemiology, diagnosis and treatment of COVID-19[J]. *Int J Antimicrob Agents*, 2020, 55(5): 105955.
- [4] ATZRODT C L, MAKNOJIA I, MC CARTHY R D P, et al. A guide to COVID-19: a global pandemic caused by the novel coronavirus SARS-CoV-2[J]. *FEBS J*, 2020-03-23. Online ahead of print.
- [5] SHI Y, WANG G, CAI X P, et al. An overview of COVID-19[J]. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2020, 21(5): 343-360.
- [6] World Health Organization. Coronavirus disease (COVID-19) [EB/OL]. 2020-06-27. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>.
- [7] ZHENG N, DU S Y, WANG J J, et al. Predicting COVID-19 in China using hybrid AI model[J]. *IEEE Trans Cybern*, 2020, 50(7): 2891-2904.
- [8] WU D, WU T T, LIU Q, et al. The SARS-CoV-2 outbreak: what we know[J]. *Int J Infect Dis*, 2020, 94: 44-48.
- [9] ZHANG L L, WANG D C, HUANG Q H, et al. Significance of clinical phenomes of patients with COVID-19 infection: a learning from 3795 patients in 80 reports[J]. *Clin Transl Med*, 2020, 10(1): 28-35.
- [10] LIU K, CHEN Y, LIN R Z, et al. Clinical features of COVID-19 in elderly patients: a comparison with young and middle-aged patients [J]. *J Infect*, 2020, 80(6): e14-e18.
- [11] ZHOU F, YU T, DU R H, et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study[J]. *Lancet*, 2020, 395(10229): 1054-1062.
- [12] CORRALES-MEDINA V F, MUSER D M, SHACHKINA S, et al. Acute pneumonia and the cardiovascular system[J]. *Lancet*, 2013, 381(9865): 496-505.
- [13] BLACKBURN R, ZHAO H X, PEBODY R, et al. Laboratory-confirmed respiratory infections as predictors of hospital admission for myocardial infarction and stroke: time-series analysis of english data for 2004-2015[J]. *Clin Infect Dis*, 2018, 67(1): 8-17.
- [14] WANG B L, LI R B, LU Z, et al. Does comorbidity increase the risk of patients with COVID-19: evidence from meta-analysis[J]. *Aging (Albany NY)*, 2020, 12(7): 6049-6057.
- [15] DU Y Z, TU L, ZHU P J, et al. Clinical features of 85 fatal cases of COVID-19 from Wuhan. A retrospective observational study[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2020, 201(11): 1372-1379.
- [16] SHAHID Z, KALAYANAMITRA R, MC CLAFFERTY B, et al. COVID-19 and older adults: what we know[J]. *J Am Geriatr Soc*, 2020, 68(5): 926-929.
- [17] LAKE M A. What we know so far: COVID-19 current clinical knowledge and research[J]. *Clin Med (Lond)*, 2020, 20(2): 124-127.
- [18] MEI X Y, LEE H C, DIAO K Y, et al. Artificial intelligence-enabled rapid diagnosis of patients with COVID-19[J]. *Nat Med*, 2020 -05-19. Online ahead of print.
- [19] BELFIORE M P, URRARO F, GRASSI R, et al. Artificial intelligence to codify lung CT in COVID-19 patients[J]. *Radiol Med*, 2020, 125(5): 500-504.
- [20] LIANG H Y, TSUI B Y, NI H, et al. Evaluation and accurate diagnoses of pediatric diseases using artificial intelligence[J]. *Nat Med*, 2019, 25(3): 433-438.
- [21] SRINIVASA RAO A S, DIAMOND M P. Deep learning of markov model-based machines for determination of better treatment option decisions for infertile women[J]. *Reprod Sci*, 2020, 27(2): 763-770.
- [22] TOPOL E J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence[J]. *Nat Med*, 2019, 25(1): 44-56.
- [23] HANSON C W 3rd, MARSHALL B E. Artificial intelligence applications in the intensive care unit[J]. *Crit Care Med*, 2001, 29(2): 427-435.
- [24] RAJALAKSHMI R, SUBASHINI R, ANJANA R M, et al. Automated diabetic retinopathy detection in smartphone-based fundus photography using artificial intelligence[J]. *Eye (Lond)*, 2018, 32(6): 1138-1144.
- [25] ARABASADI Z, ALIZADEHSANI R, ROSHANZAMIR M, et al. Computer aided decision making for heart disease detection using hybrid neural network-Genetic algorithm [J]. *Comput Methods Programs Biomed*, Epub 2017-01-18.
- [26] SRINIVASA RAO A S, VAZQUEZ J A. Identification of COVID-19 can be quicker through artificial intelligence framework using a mobile phone-based survey when cities and towns are under quarantine [J]. *Infect Control Hosp Epidemiol*, 2020-03-03. Online ahead of print.
- [27] MAK K K, PICHKA M R. Artificial intelligence in drug development: present status and future prospects[J]. *Drug Discov Today*, 2019, 24(3): 773-780.
- [28] KE Y Y, PENG T T, YE H T K, et al. Artificial intelligence approach fighting COVID-19 with repurposing drugs[J]. *Biomed J*, 2020-05-15. Online ahead of print.
- [29] BISHOP C M. Model-based machine learning[J]. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*, 2013, 371(1984): 20120222.
- [30] VO PHAM T, HART J E, LADEN F, et al. Emerging trends in geospatial artificial intelligence (geoAI): potential applications for environmental epidemiology[J]. *Environ Health*, 2018, 17(1): 40.
- [31] LEE J G, JUN S, CHO Y W, et al. Deep learning in medical imaging: general overview[J]. *Korean J Radiol*, 2017, 18(4): 570-584.
- [32] HAMET P, TREMBLAY J. Artificial intelligence in medicine[J]. *Metabolism*, 2017, 69S: S36-S40.
- [33] 罗凤, 陈金鹰, 李果村, 等. 人工智能技术在医学领域的应用分析[J]. *通信与信息技术*, 2018(6): 27-28.
- [34] LUO F, CHEN J Y, LI G C, et al. Application analysis of artificial intelligence technology in medical field [J]. *Communication & Information Technology*, 2018(6): 27-28.
- [35] CHAN H C, SHAN H B, DAHOUN T, et al. Advancing drug discovery via artificial intelligence[J]. *Trends Pharmacol Sci*, 2019, 40(10): 801.
- [36] JOHNSON K W, TORRES SOTO J, GLICKSBERG B S, et al. Artificial intelligence in cardiology[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 71(23): 2668-2679.
- [37] KRITTANAWONG C, ZHANG H J, WANG Z, et al. Artificial intelligence in precision cardiovascular medicine [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 69(21): 2657-2664.
- [38] BI W L, HOSNY A, SCHABATH M B, et al. Artificial intelligence in cancer imaging: clinical challenges and applications[J]. *CA Cancer J Clin*, 2019, 69(2): 127-157.
- [39] LI L, QIN L, XU Z, et al. Artificial intelligence distinguishes COVID-19 from community acquired pneumonia on chest CT[J]. *Radiology*, 2020: 200905.
- [40] SHI F, WANG J, SHI J, et al. Review of artificial intelligence techniques in imaging data acquisition, segmentation and diagnosis for COVID-19[J]. *IEEE Rev Biomed Eng*, 2020-04-16. Online ahead of print.
- [41] DADARIO A M, PAIVA J P, CHATE R C, et al. Regarding "artificial intelligence distinguishes COVID-19 from community acquired pneumonia on chest CT"[J]. *Radiology*, 2020: 201178. Online ahead

- of print.
- [41] MURPHY K, SMITS H, KNOOPS A J, et al. COVID-19 on the chest radiograph: a multi-reader evaluation of an AI system[J]. *Radiology*, 2020: 201874. Online ahead of print.
- [42] BAI H X, WANG R B, XIONG Z, et al. AI augmentation of radiologist performance in distinguishing COVID-19 from pneumonia of other etiology on chest CT[J]. *Radiology*, 2020: 201491. Online ahead of print.
- [43] 李欢, 程尼涛, 孙文博, 等. 人工智能辅助定量分析新型冠状病毒肺炎的 CT 进展类型[J]. *武汉大学学报(医学版)*, 2020-05-15.
LI H, CHENG N T, SUN W B, et al. Artificial intelligence assisted quantitative novel coronavirus pneumonia CT progress type[J]. *Medical Journal of Wuhan University*, 2020-05-15.
- [44] 邓靓娜, 薛彩强, 林晓强, 等. 新型冠状病毒肺炎的影像学应用及进展[J]. *中国医学物理学杂志*, 2020, 37(6): 727-729.
DENG J N, XUE C Q, LIN X Q, et al. Application progress of imaging in COVID-19[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2020, 37(6): 727-729.
- [45] FANG Y C, ZHANG H Q, XIE J C, et al. Sensitivity of chest CT for COVID-19: comparison to RT-PCR[J]. *Radiology*, 2020, 296(2): E115-E117.
- [46] AI T, YANG Z L, HOU H Y, et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing in coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: a report of 1 014 cases[J]. *Radiology*, 2020, 296(2): E32-E40.
- [47] ITO R, IWANO S, NAGANAWA S. A review on the use of artificial intelligence for medical imaging of the lungs of patients with coronavirus disease 2019 [J]. *Diagn Interv Radiol*, 2020-05-21. Online ahead of print.
- [48] YANG Z F, ZENG Z Q, WANG K, et al. Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions[J]. *J Thorac Dis*, 2020, 12(3): 165-174.
- [49] QIN L, SUN Q, WANG Y D, et al. Prediction of number of cases of 2019 novel coronavirus (COVID-19) using social media search index [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(7): 2365.
- [50] KUMAR A, GUPTA P K, SRIVASTAVA A. A review of modern technologies for tackling COVID-19 pandemic[J]. *Diabetes Metab Syndr*, 2020, 14(4): 569-573.
- [51] 杨震. 信息通信技术在抗击新冠肺炎疫情中的重要作用[J]. *前进论坛*, 2020(5): 49-53.
YANG Z. The important role of novel coronavirus pneumonia in information and communication technology [J]. *Forum For Advancement*, 2020(5): 49-53.
- [52] LIN L, HOU Z Y. Combat COVID-19 with artificial intelligence and big data[J]. *J Travel Med*, 2020-05-21. Online ahead of print.
- [53] MASHAMBA-THOMPSON T P, CRAYTON E D. Blockchain and artificial intelligence technology for novel coronavirus disease-19 self-testing[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2020, 10(4): 198.
- [54] 袁钦涓, 洪志令, 王星, 等. 人工智能在精神疾病中的应用[J]. *国际精神病学杂志*, 2020, 47(1): 4-7.
YUAN Q M, HONG Z L, WANG X, et al. Application of artificial intelligence in mental diseases[J]. *Journal Of International Psychiatry*, 2020, 47(1): 4-7.
- [55] 邢亚茹, 李迎迎, 尹林, 等. 新型冠状病毒肺炎治疗药物监测研究进展[J]. *生命科学研究*, 2020.
- XING Y R, LI Y Y, YI L, et al. Progress in therapeutic drug monitoring of 2019 novel coronavirus pneumonia[J]. *Life Science Research*, 2020.
- [56] TANG W, CAO Z, HAN M, et al. Hydroxychloroquine in patients with mainly mild to moderate coronavirus disease 2019: open label, randomised controlled trial[J]. *BMJ*, 2020, 369: m1849.
- [57] MEHRA M R, DESAI S S, RUSCHITZKA F, et al. Hydroxychloroquine or chloroquine with or without a macrolide for treatment of COVID-19: a multinational registry analysis [J]. *Lancet*, 2020.
- [58] ALIMADADI A, ARYAL S, MANANDHAR I, et al. Artificial intelligence and machine learning to fight COVID-19[J]. *Physiol Genomics*, 2020, 52(4): 200-202.
- [59] SENIOR A W, EVANS R, JUMPER J, et al. Improved protein structure prediction using potentials from deep learning[J]. *Nature*, 2020, 577(7792): 706-710.
- [60] NAUDÉ W. Artificial intelligence vs COVID-19: limitations, constraints and pitfalls[J]. *AI Soc*, 2020-04-28. Online ahead of print.

(编辑:薛泽玲)