

# 医疗人工智能:知识引导与数据挖掘联合驱动

巫嘉陵 韩建达

**【摘要】** 医疗人工智能将人工智能技术应用于医疗领域,面向临床需求,结合医师临床经验,依靠人工智能技术计算、分析和决策能力,为临床诊断与治疗提供精确的智能辅助。目前医疗人工智能基于知识引导和数据驱动两大类方法,各有优缺点。将知识引导型和数据驱动型人工智能结合,利用各自优势,有望突破医疗人工智能的应用瓶颈,推进医疗人工智能的发展与创新。本文概述知识引导与数据挖掘联合驱动的医疗人工智能应用进展并展望未来发展方向,以期推动人工智能技术在医疗领域的创新和应用。

**【关键词】** 人工智能; 医学; 知识; 数据科学; 综述

## Medical artificial intelligence: driven by the fusion of knowledge-guided and data-mining methodologies

WU Jia-ling<sup>1</sup>, HAN Jian-da<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Neurology, Tianjin Key Laboratory of Cerebral Vascular and Neurodegenerative Diseases, Tianjin Huanhu Hospital, Tianjin 300350, China

<sup>2</sup>College of Artificial Intelligence, Engineering Research Center of Trusted Behavior Intelligence, Ministry of Education, Nankai University, Tianjin 300350, China

Corresponding authors: WU Jia-ling (Email: wywj2009@hotmail.com);

HAN Jian-da (Email: hanjianda@nankai.edu.cn)

**【Abstract】** Medical artificial intelligence (AI) applies AI technology to the medical field to meet clinical needs, combines with the experience of doctors, and relies on the computing, analysis and decision-making ability of AI to provide accurate intelligent assistance for clinical diagnosis and treatment. At present, medical AI is based on knowledge guided and data driven approaches, but each has its own advantages and disadvantages. Combining knowledge-guided AI with data-driven AI and utilizing their respective advantages is expected to break through the application bottle neck of medical AI and promote the development and innovation of medical AI. This paper summarizes the application of medical AI driven by knowledge guidance and data mining and looks forward to the future development direction, in order to promote the innovation and application of AI technology in the medical field.

**【Key words】** Artificial intelligence; Medicine; Knowledge; Data science; Review

This study was supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2022YFB4702800), the National Natural Science Foundation of China (No. U1913208), Natural Science Foundation of Tianjin (No. 21JCZDJC00170), and Tianjin Medical Key Discipline (Specialty) Construction Project (No. TJYXZDXK-052B).

**Conflicts of interest:** none declared

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2023.01.001

基金项目:国家重点研发计划项目(项目编号:2022YFB4702800);国家自然科学基金资助项目(项目编号:U1913208);天津市自然科学基金资助项目(项目编号:21JCZDJC00170);天津市医学重点学科(专科)建设项目(项目编号:TJYXZDXK-052B)

作者单位:300350 天津市环湖医院神经内科 天津市脑血管与神经变性重点实验室(巫嘉陵);300350 天津,南开大学人工智能学院 可信行为智能算法与系统教育部工程研究中心(韩建达)

通讯作者:巫嘉陵,Email:wywj2009@hotmail.com;韩建达,Email:hanjianda@nankai.edu.cn

人工智能(AI)理论建模、技术创新、软硬件升级等的整体推进正在引发链式突破,加速各学科的智能化发展<sup>[1-4]</sup>。医疗领域是人工智能的重要应用领域和前沿探索方向。医疗人工智能(medical artificial intelligence)面向临床需求,结合医师临床经验,依靠人工智能技术精准高效的计算、分析与决策能力,从临床数据中挖掘疾病发生、治疗和康复机制,为临床诊断与治疗提供精准的智能辅助。得益于人工智能技术的突破和医疗数据样本的积累,医疗人工智能发展迅速,在医学影像学、辅助诊断与治疗、康复等领域得到广泛应用,优化医疗服务模式,提高诊断与治疗水平和效率,为促进智慧医疗发展、建设健康中国提供重要支撑。医疗人工智能是主要以数据或知识为核心构建数据驱动或知识引导的人工智能技术。数据驱动型人工智能具有良好的性能和算法通用性,无需精确建模,但存在黑盒效应,使算法决策和运行过程缺乏可解释性,难以形成因果结论;知识引导型人工智能具有完备的理论支撑和良好的可解释性,但知识获取成本较高,无法挖掘隐藏模式,难以获得良好效能。中国工程院院士潘云鹤教授指出,将数据驱动和知识引导结合至机器学习算法中将是人工智能 2.0 的显著特征<sup>[5]</sup>。图灵奖获得者 Judea Pearl 认为,机器学习算法应利用大量现有的科学知识,结合收集的数据,以解决各领域中的关键问题<sup>[6]</sup>。浙江大学吴飞教授建议,现有的机器学习算法应引入先验假设、逻辑规则和方程公式等知识,建立数据和知识双轮驱动的人工智能方法<sup>[7]</sup>。鉴于此,笔者认为,将知识引导与数据驱动两大类人工智能技术结合,充分发挥二者优势,可以形成知识引导与数据挖掘联合驱动的医疗人工智能。本文概述知识引导与数据挖掘联合驱动的医疗人工智能进展,以期推动人工智能在医疗领域的应用和创新。

### 一、知识引导与数据挖掘联合驱动的医疗人工智能应用

医疗过程涉及疾病的检测、诊断、治疗和康复。影像学技术广泛应用于疾病早期识别与诊断,针对疾病发病机制的研究有助于精准干预,手术与康复治疗有助于消除病灶和恢复功能。医疗人工智能已在上述几方面展现出巨大潜力并发挥重要作用。

1. 基于医学影像学的智能诊断 基于医学影像学的智能诊断是将人工智能技术应用于医学影像学辅助诊断领域,通过分析影像学 and 病理学特性,

结合影像学数据,训练人工智能学习模型,以提高疾病诊断的准确性。现有的智能诊断技术主要从海量的医学影像学数据出发,利用深度学习模型挖掘影像学数据的隐藏模式,辅助临床医师进行更有效的疾病诊断。然而,医学影像学数据获取成本较高、基于医学影像学的深度学习模型可解释性较差是限制其在辅助诊断领域应用的关键因素,因此引入医学知识(即疾病诊断依据,并将其编码为算法所理解的形式输入至模型中)与之结合,可以降低深度学习模型对数据的依赖,提高结果的可解释性。例如,将血流、血管扩张等融入神经网络中,结合血管影像学,可提高对血管病变的识别能力<sup>[8]</sup>;将肺部疾病特点结合 X 线数据,设计多标签分类模型,可实现对肺部疾病的精准识别<sup>[9]</sup>;结合病理学和眼底影像学数据,设计深度学习网络,可实现对重大慢性疾病的诊断及风险追踪<sup>[10]</sup>。医学影像学知识具有层次结构和动作结构,可以降低深度学习模型对大规模医学影像学数据的依赖,提高结果的可解释性,有助于实现更精准的智能诊断。将医学影像学知识与目前数据驱动下的深度学习模型进行深层次融合是未来重要研究方向。

2. 神经系统功能障碍和运动障碍分析 神经系统变性疾病是威胁人类健康的常见神经系统疾病之一,对其进行中枢机制和外周机制分析,有助于制定有效的康复治疗策略,提高患者生活质量。以帕金森病为例,将帕金森病相关量表[主要是国际运动障碍学会(MDS)统一帕金森病评价量表(UPDRS)]融入神经网络中,结合患者步行视频数据,可实现对帕金森病运动障碍严重程度的精准识别<sup>[11]</sup>;将帕金森病患者大脑生理学信息编码成特征,结合神经影像学数据,可实现对其功能障碍发生机制的分析<sup>[12]</sup>。医学知识与数据的结合有助于临床医师对神经系统变性疾病的病理生理学机制进行深层次研究,探究更精准、有效的诊断与治疗方法。

3. 手术机器人系统 手术机器人系统可以辅助术者完成微创、精准、安全的手术。手术机器人系统需依据医学知识引导,辅助术者制定手术方案,确定手术靶点和路径等;智能控制系统需依据临床应用场景构建约束(即限制条件的数学表达),设计机器人运动轨迹和导航策略,结合机器人控制理论模型和多模态传感数据反馈,设计机器人控制策略。首都医科大学附属北京天坛医院张建国教授

团队将 3D 智能结构光注册技术用于 77 例机器人辅助神经外科手术,以 3D 智能结构光快速扫描患者头面部获得点云数据,结合医学影像学知识,采用迭代就近点算法进行配准,与基于 CT 和 MRI 注册相比,该注册技术可缩短注册时间,减少定位误差和手术创伤,简化操作流程,提高手术效率和病变定位精度,从而提高手术效果<sup>[13]</sup>。南开大学韩建达教授团队提出一种面向人工耳蜗精准植入的机器人术像一体化手术路径规划与导航技术,即在手术损伤病理生理学机制引导下,采用深度学习模型行多模态信息融合和影像分割、识别与重建,以实现多目标多约束规划,经模拟测试验证,与传统人工耳蜗植入相比,该手术路径规划与导航技术可降低手术入路损伤和神经损伤风险,提高手术安全性<sup>[14]</sup>。中山大学彭键清教授团队提出一种用于机器人辅助手术的内镜视野自主跟踪方法,构建运动学模型和远心不动点约束方程,并利用深度学习模型对手术器械尖端进行分割和定位,建立内镜视野智能调控模型,从而提高手术机器人系统的安全性和稳定性<sup>[15]</sup>。医学知识引导为手术机器人系统提供目标和约束,数据驱动有效提高基于医学影像学的术前规划、术中实时导航等应用的精度,二者联合驱动是保障机器人系统安全、提高性能的有效方法。

4. 康复机器人 康复机器人可以辅助康复治疗师执行重复繁重的康复任务,提供灵活、精确、智能的康复训练,提高康复治疗效果,缓解医疗资源压力。康复机器人需在病理学特点、康复机制、临床需求等知识引导下,制定机器人任务和策略,在人机交互中通过关节角度、人机交互力等物理信号以及肌电、脑电等人体生理信号构建运动意图识别算法,将运动意图映射为机器人运动的期望轨迹,并用于人机交互控制。康复治疗过程中应结合临床量表和人体生理数据传感反馈,评估患者康复水平并调整康复方案。南开大学韩建达教授团队提出一种单通道肌电信号驱动的外骨骼式康复机器人控制策略,将生理学知识编码成特征并与卷积神经网络进行融合,估计的髌关节运动轨迹精度与多通道方法近似,可降低康复机器人的复杂性,提高兼容性,从而拓展其临床应用对象和场景<sup>[16]</sup>。在康复机器人轨迹跟踪控制中将数据驱动的 Koopman 算子线性近似人机交互中的非线性动力学,并利用基于知识的模糊逻辑控制器训练线性回归模型,可提高轨迹跟踪精度,从而提高康复机器人的性能<sup>[17]</sup>。

在基于脑机接口的康复训练中,将脑电信号的功能连接和功率谱作为知识引导并输入卷积神经网络,可预测康复效果,指导早期个性化康复治疗<sup>[18]</sup>。基于知识引导的方法理论支撑,可以保证康复机器人运行稳定,以深度学习为代表的驱动方法可以为提高机器人性能和患者康复水平提供更多可能,因此,知识引导与数据挖掘联合驱动有望推动康复机器人的变革与创新。

二、知识引导与数据挖掘联合驱动的医疗人工智能展望

知识引导与数据挖掘联合驱动是推动医疗人工智能发展的重要思想,从深化理论、推动应用落地等角度看,知识与数据的迭代进化、医疗系统的数字化、元学习及医疗机器人的智能发育是未来重要发展方向。

1. 知识与数据的迭代进化 在医学知识引导下构建数据驱动模型,从临床数据中进行数据挖掘并将结果进行循证医学验证,可增强临床可解释性,进而归纳生成新的知识,用于进一步引导数据挖掘,形成知识与数据的交替迭代进化,为实现可引导、可解释、可学习、可进化的医疗人工智能提供方法支撑。

2. 医疗系统的数字化 医疗系统的数字化是医疗人工智能发展的基础。将信息技术应用于临床检测、诊断、治疗和康复过程,建立数字化健康档案,为医疗人工智能提供数据基础<sup>[19-20]</sup>。通过远程诊断与治疗技术,突破地理位置限制,利用有限的医疗资源,覆盖更广泛的患者群体。建立信息标准化体系,规范数据接口,促进医疗数据的互联互通、实时共享,为验证医疗人工智能的通用性提供数据支撑。

3. 元学习 元学习是一种模仿生物利用已习得知识快速学习新知识的学习方式,在小样本学习和零样本学习上已开展大量研究和探索<sup>[21]</sup>。近年来,元学习发展迅速,为知识引导与数据挖掘联合驱动的人工智能提供新的视野。将元学习引入神经科学与医疗领域,在有限的医疗数据上训练可靠的人工智能模型,提高基于脑成像的精准医疗效果<sup>[22]</sup>。元学习可利用已有的知识和经验,使人工智能模型在学习新任务时更容易,所需样本量更少,同时还可保证一定精度,在医疗人工智能领域具有广阔的应用前景。

4. 医疗机器人的智能发育 医疗机器人存在应

用场景单一、技能迁移困难等问题,而机器人智能发育技术有望突破这一瓶颈。机器人的智能发育系机器人利用其感知能力,在与人和环境的实时动态交互中增量式、渐进性提高自身自主行为能力,使其智能程度不断提高的过程<sup>[3]</sup>。机器人的智能发育有望提高机器人的环境自主理解能力、对人合作意图的认知能力、自主行为的决策能力及安全协作的控制能力。将智能发育应用于医疗机器人,有望突破医疗机器人的瓶颈,推动医疗机器人的智能化发展。

综上所述,知识引导与数据挖掘联合驱动理论体系不断完善,应用场景不断拓展,必将成为医疗人工智能发展的新引擎,推动疾病诊断与治疗水平的提高,造福患者。

利益冲突 无

### 参 考 文 献

- [1] Qiao C, Li D, Liu Y, Zhang S, Liu K, Liu C, Guo Y, Jiang T, Fang C, Li N, Zeng Y, He K, Zhu X, Lippincott-Schwartz J, Dai Q, Li D. Rationalized deep learning super-resolution microscopy for sustained live imaging of rapid subcellular processes [J]. *Nat Biotechnol*, 2022. [Epub ahead of print]
- [2] Callaway E. 'The entire protein universe': AI predicts shape of nearly every known protein[J]. *Nature*, 2022, 608:15-16.
- [3] Han JD, Fang YC, Zhao X, Liu JT. Intelligent development of robots[J]. *Ren Gong Zhi Neng*, 2018:28-35.[韩建达, 方勇纯, 赵新, 刘景泰. 机器人的智能发育[J]. *人工智能*, 2018:28-35.]
- [4] Raissi M, Yazdani A, Karniadakis GE. Hidden fluid mechanics: learning velocity and pressure fields from flow visualizations[J]. *Science*, 2020, 367:1026-1030.
- [5] Pan YH. Heading toward artificial intelligence 2.0 [J]. *Engineering*, 2016, 2:409-413.
- [6] Pearl J. Radical empiricism and machine learning research[J]. *J Causal Infer*, 2021, 9:78-82.
- [7] Jin Z, Zhang Y, Wu F, Zhu WW, Pan YH. Data-driven and knowledge-guided models for artificial intelligence algorithms [J]. *Dian Zi Yu Xin Xi Xue Bao*, 2022, 44:1-15.[金哲, 张引, 吴飞, 朱文武, 潘云鹤. 数据驱动与知识引导下人工智能算法模型[J]. *电子与信息学报*, 2022, 44:1-15.]
- [8] Wang Y, Ji MQ, Jiang SW, Wang XK, Wu JM, Duan F, Fan JT, Huang LQ, Ma SH, Fang L, Dai QH. Augmenting vascular disease diagnosis by vasculature-aware unsupervised learning [J]. *Nat Mach Intell*, 2020, 2:337-346.
- [9] Wang G, Liu X, Shen J, Wang C, Li Z, Ye L, Wu X, Chen T, Wang K, Zhang X, Zhou Z, Yang J, Sang Y, Deng R, Liang W, Yu T, Gao M, Wang J, Yang Z, Cai H, Lu G, Zhang L, Yang L, Xu W, Wang W, Olvera A, Ziyar I, Zhang C, Li O, Liao W, Liu J, Chen W, Chen W, Shi J, Zheng L, Zhang L, Yan Z, Zou X, Lin G, Cao G, Lau LL, Mo L, Liang Y, Roberts M, Sala E, Schönlieb CB, Fok M, Lau JY, Xu T, He J, Zhang K, Li W, Lin T. A deep-learning pipeline for the diagnosis and discrimination of viral, non-viral and COVID-19 pneumonia from chest X-ray images[J]. *Nat Biomed Eng*, 2021, 5:509-521.
- [10] Zhang K, Liu X, Xu J, Yuan J, Cai W, Chen T, Wang K, Gao Y, Nie S, Xu X, Qin X, Su Y, Xu W, Olvera A, Xue K, Li Z, Zhang M, Zeng X, Zhang CL, Li O, Zhang EE, Zhu J, Xu Y, Kermany D, Zhou K, Pan Y, Li S, Lai IF, Chi Y, Wang C, Pei M, Zang G, Zhang Q, Lau J, Lam D, Zou X, Wumaier A, Wang J, Shen Y, Hou FF, Zhang P, Xu T, Zhou Y, Wang G. Deep-learning models for the detection and incidence prediction of chronic kidney disease and type 2 diabetes from retinal fundus images[J]. *Nat Biomed Eng*, 2021, 5:533-545.
- [11] Lu M, Zhao Q, Poston KL, Sullivan EV, Pfefferbaum A, Shahid M, Katz M, Kouhsari LM, Schulman K, Milstein A, Niebles JC, Henderson VW, Fei-Fei L, Pohl KM, Adeli E. Quantifying Parkinson's disease motor severity under uncertainty using MDS-UPDRS videos[J]. *Med Image Anal*, 2021, 73:102179.
- [12] Lu J, Wang Y, Shu Z, Zhang X, Wang J, Cheng Y, Zhu Z, Yu Y, Wu J, Han J, Yu N. fNIRS-based brain state transition features to signify functional degeneration after Parkinson's disease[J]. *J Neural Eng*, 2022, 19:046038.
- [13] Liu HG, Fan SY, Liu YY, Zhang H, Hu WH, Wu DL, Liu DF, Zhang K, Zhang JG, Yang AC. Preliminary application of 3D-intelligent structured light registration in robot-assisted neurosurgical operations [J]. *Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2021, 37:880-884.[刘焕光, 范世莹, 刘钰晔, 张华, 胡文瀚, 吴德龙, 刘德峰, 张凯, 张建国, 杨岸超. 3D智能结构光注册技术在机器人辅助神经外科手术中的初步应用[J]. *中华神经外科杂志*, 2021, 37:880-884.]
- [14] Wang HP, Shen L, Zhao H, Fan CS, Li ZX, Zheng FJ, Zhang C, Han JD. Operation and image integrated surgery path planning for robotic cochlear precise implantation [J]. *Ji Qi Ren*, 2021, 43:443-452.[王鸿鹏, 申林, 赵辉, 范崇山, 黎正鑫, 郑凡君, 张晨, 韩建达. 人工耳蜗精准植入机器人术像一体化手术路径规划[J]. *机器人*, 2021, 43:443-452.]
- [15] Peng JQ, Zhang C, Kang L, Feng GD. Endoscope FOV autonomous tracking method for robot-assisted surgery considering pose control, hand-eye coordination, and image definition[J]. *IEEE Trans Instrum Measure*, 2022, 71:1-16.
- [16] Zhang S, Lu J, Huo W, Yu N, Han J. Estimation of knee joint movement using single-channel sEMG signals with a feature-guided convolutional neural network [J]. *Front Neurobot*, 2022, 16:978014.
- [17] Goyal T, Hussain S, Martinez-Marroquin E, Brown NAT, Jamwal PK. Learning koopman embedding subspaces for system identification and optimal control of a wrist rehabilitation robot [J]. *IEEE Trans Ind Electron*, 2022:1-9.
- [18] Lin PJ, Jia T, Li C, Li T, Qian C, Li Z, Pan Y, Ji L. CNN-based prognosis of BCI rehabilitation using EEG from first session BCI training [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2021, 29:1936-1943.
- [19] Chan P, Zhang QH. Importance of digital health in patient management of Parkinson's disease [J]. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2022, 22:127-130.[陈彪, 张齐皓. 应重视数字医疗在帕金森病患者管理中的作用[J]. *中国现代神经疾病杂志*, 2022, 22:127-130.]
- [20] Liu WS. Ge Le: "Huan Hu" rising[J]. *Zhongguo Yi Yuan Yuan Zhang*, 2022, 18:62-65.[刘文生. 葛乐:“环湖”日新[J]. *中国医院院长*, 2022, 18:62-65.]
- [21] Hospedales T, Antoniou A, Micaelli P, Storkey A. Meta-learning in neural networks: a survey[J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 2022, 44:5149-5169.
- [22] He T, An L, Chen P, Chen J, Feng J, Bzdok D, Holmes AJ, Eickhoff SB, Yeo BTT. Meta-matching as a simple framework to translate phenotypic predictive models from big to small data [J]. *Nat Neurosci*, 2022, 25:795-804.

(收稿日期:2023-01-19)

(本文编辑:袁云)