

·综述 General review·

人工智能在介入放射学中的运用前景及挑战

何梓君, 孔 健

【摘要】 随着人工智能在医学领域的研究逐步深入,未来将极大地改变介入诊疗的工作流程。本文围绕人工智能在介入诊疗中的应用展开详述,涵盖了使用预测模型对高危患者的筛查、治疗方案的选择、通过增强现实技术改善手术治疗、对年轻医生的培养等方面,同时也分析了目前人工智能在临床实际应用中遇到的困难与挑战。

【关键词】 人工智能; 机器学习; 介入放射学

中图分类号: R445 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2023)-12-1251-05

The application prospects and challenges of artificial intelligence in interventional radiology HE Zijun, KONG Jian. Second Clinical Medical College of Jinan University, Shenzhen, Guangdong Province 518020, China

Corresponding author: KONG Jian, E-mail: Kongjian@mail.sustech.edu.cn

【Abstract】 With the gradual deepening of artificial intelligence (AI) research in the medical field, the workflow of interventional diagnosis and treatment will be greatly changed. This paper aims to make a detailed introduction about the application of AI in interventional diagnosis and treatment, focusing on the use of predictive model for the screening of high-risk patients, the selection of treatment options, the use of augmented reality (AR) technology for improving surgical treatment, the training of young physicians, etc. Besides, the difficulties and challenges currently encountered in the clinical practice of AI are also discussed. (J Intervent Radiol, 2023, 32: 1251-1255)

【Key words】 artificial intelligence; machine learning; interventional radiology

人工智能(artificial intelligence, AI)是一类研究用计算机模仿人类智能行为的学科,涵盖了机器学习(machine learning, ML)、深度学习(deep learning, DL)、自然语言处理(natural language processing, NLP)、计算机视觉等方面,可用于大型生物医学数据的挖掘、解释和实现自动化等^[1-2]。其中机器学习是人工智能的核心,与多个学科领域交叉重叠,包括医学图像分析、自然语言处理、生物特征识别等^[3]。深度学习是机器学习的子方向,通过学习数据内部的模式自行选择和正确表达特征而不需人类定义的干预,能识别与分析文字、图像等数据并解决较为复杂的难题。

人工智能目前在无人驾驶汽车、大数据追踪等领域蓬勃发展,但在医学领域仍处于初级阶段。人工智能在临床医学领域中的应用前景较为广泛,包

括精准医疗人工智能决策系统的开发、辅助手术进行、术后疗效评估和护理等多方面^[4]。在介入放射学领域,尽管临床上有大量可用的病例数据,但鲜少文献对人工智能在介入诊疗中的应用展开描述。本文详述人工智能算法在介入放射学中的潜在应用及未来所面临的挑战。

1 人工智能在介入放射学中的应用

1.1 术前

在手术前期的准备工作中,人工智能算法可以在对高危患者的筛选、选择治疗方案和治疗前预测疗效等方面为医生提供客观的证据支持。

对某些具有高危因素的群体而言,及早进行疾病预防是改善患者生活质量重要的一步。Fu 等^[5]通过临床、图像数据和放射学信息构建了人工神经

网络模型,预测肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)患者未来大血管侵犯的可能性,该深度学习网络模型在训练集和验证集中的曲线下面积(area under curve, AUC)分别为 0.877 和 0.836,为筛选出高危患者并给予干预措施提供有力证据。Audureau 等^[6]构建随机森林预测模型对感染了丙型肝炎病毒并患有肝硬化的患者进行癌症风险的筛选,预测未来 5 年发生 HCC 的风险,从而实现个性化的风险预测,筛选出高危患者并进行定期医学监测。张岩等^[7]应用机器学习构建模型预测前交通动脉瘤破裂的可能性,通过收集动脉瘤深度、动脉瘤宽度、年龄、动脉瘤不规则、A1 优势等特征分别构建了决策树预测模型、随机森林预测模型、Xgboost 梯度提升模型, AUC 分别为 0.737、0.675、0.758。此模型能为医生筛选出高危患者并对其进行积极干预。

对肿瘤患者而言,可选择的干预治疗方法较多,现在临床上普遍使用的多学科协助诊疗模式,根据疾病治疗指南为患者提供合适的诊疗方案,但不同疾病在不同时期或地区都有不同的临床治疗指南,临床医生按照指南上的推荐步骤实施治疗过于繁琐且不灵活。利用机器学习开发人工智能决策支持系统,可以将个人基因、环境与生活习惯及经济状况考虑在内,通过自动分析患者的临床症状、检验指标、影像组学等数据,再制定诊疗方案进行个体化的疾病预防与治疗,从而实现“同病异治、异病同治”的理念,减轻医生的工作量,降低患者的治疗负担,极大地提升了治疗效果^[8-9]。

Choi 等^[10]考虑到 HCC 初始治疗方案的选择与巴塞罗那分期系统推荐的方案之间可能存在差异,开发了基于机器学习的临床决策支持系统,使用随机森林方法分别训练诊疗方案决策模型和生存预测模型。在临床决策支持系统中构建了六个分类器模型,其准确率均高于 75%,而且每种推荐治疗对应的生存预测模型的 C 指数均大于 0.6,证实该模型推荐的治疗方案与实际的诊疗方案、患者的生存预测与实际结果的一致性均较高。此诊疗方案推荐系统能为患者提供最佳的治疗建议,以及预测每次治疗的效果,医生也能够根据患者病情或经济状况提供备选方案。

目前人工智能在介入学科应用的难点在于如何利用术前获取的数据预测治疗效果。在术前预测疗效可以做到最大程度地降低患者的治疗风险,从而减少不必要的干预,降低医疗成本^[11]。Peng 等^[12]通过基于 CT 纹理分析的卷积神经网络模型,在术

前评估接受肝动脉化疗栓塞术(transcatheter arterial chemoembolization, TACE)的中期 HCC 患者的不同治疗反应,训练组对完全缓解、部分缓解、稳定疾病和进展性疾病的预测准确率为 84.3%,其 AUC 分别为 0.97、0.96、0.95 和 0.96,两个验证组预测准确率分别达到 85.1%和 82.8%,医生可基于此判断 TACE 治疗是否适合患者。

1.2 术中

人工智能技术可以从多个方面改善介入手术的质量,如增强现实(augmented reality, AR)导航技术,它是真实世界信息与虚拟世界信息的桥梁,能将患者术前获得的三维 CT 或磁共振血管造影图像叠加到现实手术中^[13-14]。在操作前收集三维的肝脏图像,术中将三维图像导入显示器中,当操作者戴上头戴式显示器后,通过追踪操作者头部、手部或身体的运动,使三维图像与现实世界同步,三维图像即可通过实时配准覆盖到受试者身上,并且通过跟踪工具包跟踪带有探头的穿刺针移动与虚拟的三维图像配准,最后通过 CT 扫描校准即可进行手术^[15]。Yang 等^[16]用模型实验和动物实验来研究使用 AR 技术引导经颈静脉肝内门体分流术的可行性,在模型实验中,从肝静脉到门静脉的穿刺时间为 5~10 s,在动物实验中为 10~30 s。Auloge 等^[17]利用 AR 技术在经皮椎体成形术中识别椎骨/椎弓根并生成最佳的入针路径指导手术,实现了精确、实时的图像引导。如果将此技术应用到临床上,三维图像能够更加清晰的展示出感兴趣的病变及解剖部位,可用于辅助规划手术路径,理论上可以减少医务工作者的辐射损伤、降低并发症的发生风险、减少碘化造影剂剂量并提高复杂手术安全性和效率。

另一方面,也可以通过加速校正数字减影血管造影来改善手术质量。在扫描期间患者运动可能会导致减影图像质量下降,为了避免伪影带来的影响,采用特征提取的方法,只需通过生成对抗网络就能生成减影图像,不需要蒙片采集^[18]。

在介入手术中,对于病变血管的判断与手术材料的选择通常受到主刀医生的主观影响。为了降低对医生主观意识的依赖,Cho 等^[19]在血管造影术中利用监督式机器学习算法对病变的冠状动脉血流储备分数进行分类,提高了血流储备分数在临床上的实际应用,避免在术中由于医生对血管狭窄的视觉评估误差导致的不良事件发生。利用深度学习识别并分割目标血管,准确预测血管面积并确定血管

的最狭窄段,能快速选择与之相匹配的支架型号,为医生提供较为客观的建议^[20]。

1.3 术后

人工智能在介入术后效果评价、术后护理和年轻医生的培养方面也发挥着重要作用。

在介入手术后,医生需要观察患者的术后反应、影像或检验指标来评估手术是否达到预期疗效,预测患者是否出现早期并发症,但这对医生的专业知识依赖性极强,医生的疏漏很可能导致患者术后疗效不佳或出现严重并发症甚至威胁生命。

依据患者围术期的指标、图像特征的变化,使用深度学习算法建立预测模型,可以预测患者的手术疗效,改善患者生活质量、提高生存率。尤其是对影像图像的纵向分析,机器学习可以通过自主学习容易被忽略的图像数据来评估治疗效果,不需人工干预定义分类规则^[21-22]。Wu 等^[23]收集接受了射频消融患者围术期内的多项指标,建立 4 个人工神经网络模型分别预测 1、2 年的无病生存率(disease free survival, DFS)。在 1 年 DFS 预测模型中发现,使用 15 个临床特征建立的模型比只用 8 个显著特征的模型准确度高(85%比 75%),在 2 年 DFS 预测模型中为 68%比 64%,证明即使是目前临床上认为不敏感的临床特征也可能会影响患者的预后,该神经网络模型可以为患者的后续治疗提供证据支持。Qiu 等^[24]为预测接受 TACE 的自发性肿瘤破裂患者的术后情况,构建 1 年总生存期的预测模型,在验证集上 AUC 高达 0.88,性能较传统评分系统高。尽管首次接受支气管动脉栓塞(bronchial artery embolization, BAE)术的患者手术成功率较高,但术后的反复咯血率也较高。Xu 等^[25]开发人工神经网络和列线图预测模型,对接受 BAE 手术的患者进行复发咯血的风险预测,使用年龄 60 岁或以上、肺癌、支气管肺分流的存在、非支气管系统动脉受累这 4 个预测因子,构建人工神经网络预测模型,成功地预测患者术后出现复发咯血的风险。在心血管介入方面,王颖晶等^[26]收集接受经皮冠状动脉介入治疗患者的临床检验指标、基本信息、手术相关特征等,构建一种基于机器学习的多模型融合预测模型,以预测经皮冠状动脉介入治疗术后的复发风险。同样可以将此类模型用于预测急性缺血性脑卒中血管介入治疗的预后^[27]。

自然语言处理对改善术后护理也有贡献。其是集语言学、计算机学、数学于一体的学科,能够识别

人们日常使用的语言文字,目前已被用于电子病历、影像诊断学等大规模数据库分析^[28]。可以从文字报告中提取数据并进行整合分析,并结合深度学习算法将实验室数据纳入,有助于检测患者的健康状况并预测未来发生的医疗事件,而且通过识别敏感词汇和发起警报处理,能够降低医生忽略重大事件发生的风险,并辅助制定下一步诊治方案^[29-30]。

另外,可以运用 AR 技术和虚拟现实(virtual reality, VR)技术培训学生或年轻医生。因为介入材料较昂贵,将崭新的介入设备提供给学员了解学习会导致教育成本增高。而利用 AR 场景模拟技术将手术材料叠加在真实世界背景上,学员可以通过触摸或旋转真实世界的物品全方位观察手术材料,国内已有研究报道将 AR 技术应用到介入学科的学生培养上并探讨其可行性^[31]。年轻医生还可以通过 VR 眼镜观看手术过程,通过收集患者图像数据来生成 VR 模拟机,可以使用语音命令、手势在 VR 模拟机上练习手术技能^[13, 32-33]。对于上级医生而言,能够确保手术顺利进行的同时兼顾对年轻医生的教育,降低了患者的手术风险并且避免学员接受辐射的伤害;对于学员而言,有较强的手术参与感,能够弥补手术经验不足的缺点。人工智能未来将会彻底改变目前临床上的教学与实践方式。

2 人工智能面临的挑战

虽然现在对人工智能的研究较多,但是在临床实际应用上微乎其微。因为人工智能算法相当于一个“黑盒”的存在,无法阐明机制如何形成,需要医生应用医学知识反向推导,所以充满着不确定性和不可控制性^[4]。而且人工智能产品想要在临床上应用,并不是简单地在实践前进行最后一次验证,而是在整个应用周期中,需要随着临床实践的不断变化而不断验证、更新,才能获取医生、患者和国家监管机构的信任,但按照目前所掌握的技术和经验来看很难评估其有效性和安全性^[34]。这些都是导致其在医学领域应用发展缓慢的原因。

大部分针对机器学习的医学研究都有一个共同的弊端,就是样本数据过少、数据分布不平衡,并且缺乏多中心临床试验^[35]。人工智能训练算法需大量数据支撑,数据集过小会导致预测模型出现过拟合现象。Abajian 等^[36]仅使用 36 例 HCC 患者来构建随机森林预测模型,在术前预测 HCC 患者接受 TACE 术后的疗效,样本量非常小,并且治疗无反应的人数超过了治疗有反应的人数,这种模型很可能

会出现过拟合现象并导致模型可靠度降低。上述研究同样出现这种问题,2 年 DFS 组的病例数较 1 年 DFS 组少,导致 2 年 DFS 模型的预测准确性较 1 年 DFS 模型差^[23]。解决此类问题应采用迁移学习或合成少数过采样技术增加样本量。种族的多样性、地区的差异性也会导致其推广性较差^[10]。临床上疑难杂症较多和缺乏特征表现会导致罕见病的发现较难、误诊率较高等问题。此外,大多是回顾性研究,无法评估预测模型应用到临床上的安全性。对 AR 技术在临床手术中的应用也受到多种实际因素的阻碍,例如实时配准问题,患者运动、呼吸等动态过程都会影响实时配准,需要更精准和动态的计算方案才能解决此问题。

由于现在医疗电子档案的广泛应用,病例数据爆发式增长,图像质量差、噪声多、纵向数据丢失和不同人员收集数据的偏差等,也会导致人工智能在医学领域的发展停滞不前。例如影像组学拥有大量的原始数据并在机器学习的研究上占有优势,但如果直接从原始数据层面上开展研究往往会导致实验结果出现偏差,众多不具有代表性的数据对于研究的开展有阻碍作用。因此不可忽略在研究之前的数据预处理,将所收集到的数据标准化、随机化^[37]。

总之,介入诊疗中几个重要领域的发展都离不开人工智能。随着人工智能技术不断的发展与完善,未来有望成为临床医学的研究主流。机器学习对改进目前的临床决策系统、在术前预测患者的治疗效果、改善术中图像质量和术后对患者的护理方面都有着巨大的影响力。需强调的是,人工智能的出现并不是意味着要取代医生,而是帮助医生减少一些低级的繁琐的任务,能够让医生专注于对疑难杂症的诊断、改进手术流程和改善患者预后^[37]。医生仍然是手术的主导者,尤其是在手术期间,可能发生的任何意外都需要医生的随机应变,而人工智能需要反复循环训练才能产出解决方案,这个过程所需的时间远比我们想像的要长。如何提高人工智能的准确性和安全性,使其能应用在前瞻性研究中是目前最大的挑战。

[参考文献]

- [1] Syeda - Mahmood T. Role of big data and machine learning in diagnostic decision support in radiology[J]. J Am Coll Radiol, 2018, 15: 569-576.
- [2] Mintz Y, Brodie R. Introduction to artificial intelligence in medicine[J]. Minim Invasive Ther Allied Technol, 2019, 28: 73-81.
- [3] Iezzi R, Goldberg SN, Merlino B, et al. Artificial intelligence in interventional radiology: a literature review and future perspectives [J]. J Oncol, 2019, 2019: 6153041.
- [4] Shahid N, Rappon T, Berta W. Applications of artificial neural networks in health care organizational decision - making: a scoping review[J]. PLoS One, 2019, 14: e0212356.
- [5] Fu S, Lai H, Huang M, et al. Multi-task deep learning network to predict future macrovascular invasion in hepatocellular carcinoma [J]. EclinicalMedicine, 2021, 42: 101201.
- [6] Audureau E, Carrat F, Layese R, et al. Personalized surveillance for hepatocellular carcinoma in cirrhosis: using machine learning adapted to HCV status[J]. J Hepatol, 2020, 73: 1434-1445.
- [7] 张 岩,孙成建,张照龙,等.基于机器学习的前交通动脉瘤破裂预测模型的构建[J]. 介入放射学杂志, 2021, 30:412-417.
- [8] Sardar P, Abbott JD, Kundu A, et al. Impact of artificial intelligence on interventional cardiology: from decision - making aid to advanced interventional procedure assistance[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2019, 12: 1293-1303.
- [9] Nam D, Chapiro J, Paradis V, et al. Artificial intelligence in liver diseases: improving diagnostics,prognostics and response prediction [J]. JHEP Rep, 2022, 4: 100443.
- [10] Choi GH, Yun J, Choi J, et al. Development of machine learning-based clinical decision support system for hepatocellular carcinoma[J]. Sci Rep, 2020, 10: 14855.
- [11] Park SH, Han K. Methodologic guide for evaluating clinical performance and effect of artificial intelligence technology for medical diagnosis and prediction[J]. Radiology, 2018, 286: 800-809.
- [12] Peng J, Kang S, Ning Z, et al. Residual convolutional neural network for predicting response of transarterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma from CT imaging[J]. Eur Radiol, 2020, 30: 413-424.
- [13] Elsayed M, Kadom N, Ghobadi C, et al. Virtual and augmented reality: potential applications in radiology[J]. Acta radiol, 2020, 61: 1258-1265.
- [14] Meek RD, Lungren MP, Gichoya JW. Machine learning for the interventional radiologist[J]. AJR Am J Roentgenol, 2019, 213: 782-784.
- [15] Park BJ, Hunt SJ, Martin C, et al. Augmented and mixed reality: technologies for enhancing the future of IR[J]. J Vasc Interv Radiol, 2020, 31: 1074-1082.
- [16] Yang J, Zhu J, Sze DY, et al. Feasibility of augmented reality-guided transjugular intrahepatic portosystemic shunt[J]. J Vasc Interv Radiol, 2020, 31: 2098-2103.
- [17] Auloge P, Cazzato RL, Ramamurthy N, et al. Augmented reality and artificial intelligence -based navigation during percutaneous vertebroplasty: a pilot randomised clinical trial[J]. Eur Spine J, 2020, 29: 1580-1589.
- [18] Gao YF, Song Y, Yin XR, et al. Deep learning -based digital subtraction angiography image generation[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2019, 14: 1775-1784.
- [19] Cho H, Lee JG, Kang SJ, et al. Angiography -based machine

- learning for predicting fractional flow reserve in intermediate coronary artery lesions[J]. J Am Heart Assoc, 2019, 8: e011685.
- [20] Yang S, Kweon J, Roh JH, et al. Deep learning segmentation of major vessels in X-ray coronary angiography[J]. Sci Rep, 2019, 9: 16897.
- [21] Spieler B, Sabottke C, Moawad AW, et al. Artificial intelligence in assessment of hepatocellular carcinoma treatment response[J]. Abdom Radiol(NY), 2021, 46: 3660-3671.
- [22] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning[J]. Nature, 2015, 521: 436-444.
- [23] Wu CF, Wu YJ, Liang PC, et al. Disease-free survival assessment by artificial neural networks for hepatocellular carcinoma patients after radiofrequency ablation[J]. J Formos Med Assoc, 2017, 116: 765-773.
- [24] Qiu Y, Wang T, Yang X, et al. Development and validation of artificial neural networks for survival prediction model for patients with spontaneous hepatocellular carcinoma rupture after transcatheter arterial embolization[J]. Cancer Manag Res, 2021, 13: 7463-7477.
- [25] Xu S, Guan LJ, Shi BQ, et al. Recurrent hemoptysis after bronchial artery embolization: prediction using a nomogram and artificial neural network model[J]. AJR Am J Roentgenol, 2020, 215: 1490-1498.
- [26] 王颖晶,倪连超,陈珊黎,等. 经皮冠状动脉介入治疗术后复发预警模型研究[J]. 医学信息学杂志, 2022, 43:40-43, 71.
- [27] Asadi H, Dowling R, Yan B, et al. Machine learning for outcome prediction of acute ischemic stroke post intra-arterial therapy[J]. PLoS One, 2014, 9: e88225.
- [28] Pons E, Braun LM, Hunink MG, et al. Natural language processing in radiology: a systematic review[J]. Radiology, 2016, 279: 329-343.
- [29] Esteva A, Robicquet A, Ramsundar B, et al. A guide to deep learning in healthcare[J]. Nat Med, 2019, 25: 24-29.
- [30] Ueda D, Shimazaki A, Miki Y. Technical and clinical overview of deep learning in radiology[J]. Jpn J Radiol, 2019, 37: 15-33.
- [31] 尹任其,郭洪波,曲乐丰,等. AR 技术配合 3 D 打印模型在介入手术教学培训中的应用研究[J]. 中国医学教育技术, 2020, 34:378-381.
- [32] Uppot RN, Laguna B, McCarthy CJ, et al. Implementing virtual and augmented reality tools for radiology education and training, communication, and clinical care[J]. Radiology, 2019, 291: 570-580.
- [33] Verhey JT, Haglin JM, Verhey EM, et al. Virtual, augmented, and mixed reality applications in orthopedic surgery[J]. Int J Med Robot, 2020, 16: e2067.
- [34] Ben Ali W, Pesaraghader A, Avram R, et al. Implementing machine learning in interventional cardiology: the benefits are worth the trouble[J]. Front Cardiovasc Med, 2021, 8: 711401.
- [35] Seah J, Boeken T, Sapoval M, et al. Prime time for artificial intelligence in interventional radiology[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2022, 45: 283-289.
- [36] Abajian A, Murali N, Savic LJ, et al. Predicting treatment response to intra-arterial therapies for hepatocellular carcinoma with the use of supervised machine learning: an artificial intelligence concept[J]. J Vasc Interv Radiol, 2018, 29: 850-857.
- [37] Kocak B, Durmaz E, Ates E, et al. Radiomics with artificial intelligence: a practical guide for beginners[J]. Diagn Interv Radiol, 2019, 25: 485-495.

(收稿日期:2023-02-15)

(本文编辑:新 宇)