

· 综述 ·

人工智能在神经母细胞瘤辅助诊疗中的应用研究进展



全文二维码

李雅雯¹ 朱珠² 王金湖¹ 龚方威³¹ 浙江大学医学院附属儿童医院肿瘤外科, 杭州 310052; ² 浙江大学医学院附属儿童医院信息中心, 杭州 310052; ³ 浙江大学医学院附属儿童医院心内科, 杭州 310052

通信作者: 龚方威, Email: gongfangqi@zju.edu.cn

【摘要】 神经母细胞瘤作为儿童期最常见的颅外实体肿瘤, 恶性程度高, 总体生存率低, 临床预后差。近年来, 随着计算机运算能力的增强, 人工智能在疾病诊断、影像医学等领域取得了重大突破和进展。本文围绕人工智能在神经母细胞瘤早期诊断、分类分型、预后预测等辅助诊断方面的研究及应用进行综述, 并结合实际情况分析目前人工智能在临床应用所面临的挑战和困境, 展望其未来发展方向。

【关键词】 神经母细胞瘤; 诊断; 治疗; 人工智能; 机器学习; 深度学习

基金项目: 国家自然科学基金区域联合基金重点项目 (U20A20137)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202307027-018

Research advances of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of neuroblastoma

Li Yawen¹, Zhu Zhu², Wang Jinhu¹, Gong Fangqi³¹ Department of Surgical Oncology, Affiliated Children's Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310052, China; ² Information Center, Affiliated Children's Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310052, China; ³ Department of Cardiology, Affiliated Children's Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310052, China

Corresponding author: Gong Fangqi, Email: gongfangqi@zju.edu.cn

【Abstract】 As the most common extracranial solid tumor in children, neuroblastoma is a malignant tumor with a low overall survival rate and a poor clinical prognosis. With rapid advancements of computer technology, artificial intelligence (AI) has made significant breakthroughs in the fields of disease diagnosis and imaging medicine. This review summarized the applications and researches of AI in neuroblastoma, such as early diagnosis, classification, staging and prognostic prediction. It also discussed the current challenges and future prospects of AI applications in clinical practices.

【Key words】 Neuroblastoma; Diagnosis; Therapy; Artificial Intelligence; Machine Learning; Deep Learning

Fund program: Key Regional Allied Program of National Natural Science Foundation of China (U20A20137)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202307027-018

神经母细胞瘤 (neuroblastoma, NB) 是儿童期最常见的颅外恶性实体肿瘤, 发病率高, 恶性程度大, 确诊时即可发生全身转移, 临床预后较差。目前常规的辅助检查包括实验室、影像学及病理学检查等, 以病理活检为金标准, 结合发病年龄、转移部位、*N-myc* 基因扩增等, 可对 NB 进行危险度分层^[1]。不同风险等级决定不同的治疗方案, 高危患儿相比低危、中危患儿复发概率大, 获得再次缓解的机率更低^[2]。

人工智能 (artificial intelligence, AI) 是计算机领域中不断学习和更新运算, 以真切模拟人类反应的机器。虽然其发展史仅几十年, 却已衍生出深度学习、计算机视觉、人机交互等

多种技术类型^[3]。其中, 机器学习 (machine learning, ML) 可按照人类的思考方式模仿行为, 在人为干预下学习所输入数据的特点并构建预测模型, 较常见的算法有: 支持向量机法 (support vector machine, SVM)、K 近邻法、贝叶斯法、逻辑回归等。深度学习 (deep learning, DL) 是利用多种神经元组成的深度神经网络, 从复杂的样本数据中挖掘出不同层面的抽象特征, 研究其深层次规律, 不断自我学习、推断和优化, 在速度、算法等方面均有一定程度的提升^[4]。随着 AI 技术的提升, 许多模型也逐渐应用在医疗领域, 如早期筛查、辅助诊断治疗、预测预后等。作为与肿瘤诊疗结合最紧密的辅助技

术之一的影像组学,可以对医学图像的成像或纹理特征等进行高通量提取并创建数据集,用于分析疾病的进展及预后。此外,大数据时代的兴起让 AI 所使用的医疗数据也越来越多样化,如电子健康记录、蛋白质组学和基因组学等多模态数据,算法的分析模式也从单一模式拓展到多模态医学数据融合分析,更能满足患者多样化治疗的需求,提高疾病治愈率。

本文介绍 AI 在 NB 辅助诊疗中的研究进展,并结合实际情况分析目前其应用于临床所面临的挑战和困境,展望其在 NB 诊疗中的未来发展方向。

一、人工智能在 NB 辅助诊断中的应用

根据《儿童神经母细胞瘤诊疗专家共识 CCG-NB-2021 方案》,目前 NB 的确诊标准有两类:①肿瘤组织在光学显微镜下获得肯定的病理诊断;②骨髓活检或穿刺发现特征性 NB 细胞,或抗 GD2 抗体染色阳性,伴有尿香草扁桃酸(vanillylmandelic acid, VMA)、血神经元特异性烯醇化酶(neuron specific enolase, NSE)升高^[1]。其中病理学诊断是金标准,但属于一种有创操作,步骤繁琐,耗费时间较长;同时病理学检查在可见区域中选取较有代表性的几个区域采样,依赖于个人经验,结果具有主观性,可能对异质性较强的肿瘤产生误判。

数字病理学作为医学辅助诊断的一个重要研究方向,其图像分割和图像分类是研究的第一步。Sertel 等^[5]收集了 45 例确诊为 NB 的 H&E 染色切片,使用多分辨率法模拟病理学检查的读片方式,基于共现统计和局部二值模式所提取的纹理特征,对病理组织进行分类,根据施旺细胞基质发育程度分为基质贫瘠或基质丰富,并在测试集上进行独立测试,总体分类精度为 88.4%。同年,该团队在此基础上对 36 张 NB 的 H&E 染色切片进行分析,通过图像切割、人工标注等预处理,从基于聚类的分割法在颜色、纹理特征空间中识别不同的细胞成分,将图像转化为计算机可量化的参数,为人工智能分割和识别 NB 病理图像奠定了基础^[6]。此外,Homeyer 等^[7]增加了可量化的细胞学特征,以机器学习方法实现了肿瘤切片中坏死组织含量测定,与 k-近邻分类器和朴素贝叶斯传统模型相比,具有更好的分类性能,准确率可达 88%。不同于上述传统特征提取法,Zormpas-Petridis 等^[8]研究线性迭代聚类(simple linear iterative clustering, SLIC)超像素算法,以分割低分辨率图像,在 NB 转基因小鼠模型上训练深度学习模型-SuperHistopath,从而将病理学分析从定性分析转为定量分析,减少了诊断误判。

除了数字病理图像,影像学结果也可作为辅助诊断的重要依据。肿瘤分割是图像处理的关键步骤之一,Veiga-Canuto 等^[9]回顾性研究了 132 例 NB 患者的 MR 图像,使用深度学习架构 nnU-Net 检测和分割 MR 图像中的肿瘤组织,通过 250 次迭代的训练和调优,其自动分割模型的 Dice 相似性系数达 0.965,较人工方法消耗时间减少 92.8%,从而节约了临床医师对于疾病初筛的时间和经济成本。

目前,大量研究证实 AI 在 NB 诊断上的可行性,使得病

理学医师能够将更多时间用在高级别的决策中,如辨别与疾病相关的复杂特征。但当前研究仅限于 NB 的识别,尚未有模型能够在组织切片中筛查出 NB 或其他肿瘤。且无论是组织病理切片还是影像学数据,均需要临床医师与人工智能专家的积极配合、大规模的训练数据和不断更新的计算机技术,以提高图像分类、分割的准确性。AI 在肿瘤诊断领域尚属于起步阶段,如何建立精准分割、识别并筛选 NB 模型,将是医学研究的方向之一。

二、人工智能在 NB 分类分期中的应用

正确的分类、分期决定着肿瘤早期的治疗选择。根据病理形态学,NB 可分为神经母细胞瘤、节细胞神经母细胞瘤和节细胞神经瘤。根据核分裂指数(mitosis-karyorrhexis index, MKI),NB 分为 3 级:低度(核细胞分裂细胞数占比 <2.0%),中度(核细胞分裂细胞数占比为 2.0%~4.0%),高度(核细胞分裂细胞数占比 >4.0%)。NB 的分期常使用国际神经母细胞瘤分期系统(International Neuroblastoma Staging System, INSS),主要以手术活检结果来确定不同级别,包括 L1、L2、M 和 MS 期。由于 INSS 分期在判断肿瘤是否超过中线部位以及术中寻找淋巴结转移灶方面存在一定困难,对于某些原因不能或暂时未进行手术的患者,提出了国际神经母细胞瘤危险度研究组分期系统(International Neuroblastoma Risk Group Staging System, INRGSS),即术前以影像学资料进行分级,如 X 射线、计算机断层扫描(computed tomography, CT)、正电子发射计算机断层扫描显像(position emission tomography-CT, PET-CT)等,一定程度上弥补了 INSS 的不足^[10]。

Gheisari 等^[11]较早提出使用计算机辅助系统对 NB 病理切片进行肿瘤分型。他们收集了 1 043 张 NB 组织病理图像,在卷积深度信念网络(convolutional deep belief network, CDBN)结构的基础上添加特征编码,通过 SVM 输出 NB 的五种分型,其精度、召回率和加权平均 F 值均优于既往经典算法,提高了诊断效率。Liu 等^[12]受微观病理图像特殊性的启发,将 Unet 神经网络和纹理能量度量(texture energy measure, TEM)结合,在 73 例 NB 患者的病理切片上训练 DetexNet 模型,以专家知识作为先验,识别出 NB 的 7 种类型,所获性能较其他模型和病理学检查更好,能够减少病理学医师的技术差异所导致的判断误差。此外,Delli 等^[13]尝试用数字全息图对 NB 进行分型,通过 LeNet-like 深度神经网络训练,跳过经典的重构过程来提取其中信息,将 NB 分为 CHP-134、SK-N-SH 两种基因型,可用于生物样本全息采集过程中的实时分类,这提示可以通过使用非传统数据来进行肿瘤分类,从而产生具有更深维度的计算体系结构。在肿瘤分期上, Park 等^[14]搜索 GEO 数据库中 NB 临床样本共 280 例,结合患者的临床分期和基因表达谱数据,并构建深度神经网络结构(deep neural networks, DNN),可能受样本类型、数量的影响,该模型仅能划分出 NB 1 期和 4 期,测试集准确率为 55.56%,但证明了临床分期与基因表达数据之间的相关性。随着 AI 技术高通量信息分析能力的增强,现肿瘤分类分期的研究重点不再局限于常规临床病理特征,而延伸到更为复杂的基因

及其表型相关方向,从而提升模型对临床结果预测的精确性及可解释性,有助于 AI 在临床的应用和发展。

三、AI 在 NB 治疗及预后中的应用

目前,NB 的治疗手段包括手术切除、放化疗、造血干细胞移植、免疫治疗等。国际神经母细胞瘤风险组(International Neuroblastoma Risk Group, INRG)根据影响预后的 13 个因素,在统计学上将其分为 4 个危险层级:极低危组、低危组、中危组和高危组,随着危险度升高,总体生存率依次降低^[15]。随着癌症基因组图谱数据库(Cancer Genome Atlas, TCGA)、有效治疗方法适用性研究数据库(Therapeutically Applicable Research to Generate Effective Treatments, TARGET)等组学数据的发展,研究人员可以从更微观的角度分析肿瘤的复发概率、治疗效果及生存预后,评估患儿的疾病情况,预测复发的可能性,以指导治疗强度,提高长期生存率。而 AI 作为一项新兴的交叉学科,在大型数据集的分析中有着更加优越的性能和更大的发展潜力。

在肿瘤治疗方面,Bussola 等^[16]在常规 H&E 染色切片中加入免疫组化标记,检测 54 例 NB 患者组织切片中 CD3 T 细胞标记的阳性淋巴细胞,并训练带有 EfficientNet 编码器的 U-Net 网络,以量化肿瘤细胞内的免疫含量,客观评估整个切片的淋巴细胞密度,有助于临床医师选择合适的免疫疗法。Stoks 等^[17]基于玻连蛋白(vitronectin, VN)和整合素 $\alpha\beta 3$ 在肿瘤微环境中的作用,通过 QuPath 模型检测异位 HR-NB 移植瘤小鼠免疫切片,根据染色程度和完整性生成定量评分,可以客观评估肿瘤在不同药物处理下的生长速度,判定该药物能否作为肿瘤生长抑制剂。Su 等^[18]设计 LDAenDL 深度学习模型,以探究长链非编码 RNA(long non-coding RNA, lncRNA)与 NB 之间的联系,依次计算 lncRNA 和疾病的相似性网络,结合图卷积网络、图注意力网络、卷积神经网络学习生物特征,结果显示 HOTAIR、BNDF-AS 可能是 NB 的潜在生物标志物,为 NB 的靶向治疗提供了新思路。Ramesh 等^[19]则对 MIBG 扫描图像进行临床分析,使用 CNN 模型预测高危 NB 前期诱导化疗反应,尽管该研究队列的样本量有限,缺乏可验证度,但模型预测结果与目前临床前期化疗反应的性能是等效的,有利于临床医师对不同患者进行疗效预测,进而制定个性化治疗方案。

近期研究显示,深度学习模型还可提取癌症基因组数据,分析组间的生物学效应,进行临床预后相关分析^[20]。Tranchevent 等^[21]选用 GEO 高通量基因表达数据库中的转录组学数据,利用 DNN 深度神经网络提取拓扑特征,对原始数据降维,预测 NB 的生存结果,准确率达 85%~87%,均优于当前最先进的模型。同样,Wang 等^[22]针对小样本量、高异质性的多组学数据,提出递归特征消除的深度神经网络作为 NB 患者生存状态的预测指标,在 SEQC 和 TARGET 神经母细胞瘤数据集上分别取得了 79% 和 70% 的临床终点预测准确率,证明对于合并不同组学数据集的分析,网络级融合优于特征级融合,展现了多组学在临床预测中的应用潜力。Liu 等^[23]回顾性分析了 65 例 NB 患者的 CT 图像,使用深度

学习模型提取 105 个三维影像组学特征以表示肿瘤影像,判断其与 NB 患者死亡率、NB 分化程度、MKI 指数、有无 MYCN 基因扩增等预后因素之间的关系。Pereira 等^[24]则在 CT 影像学基础上,用随机森林(random forest, RF)模型评估患儿 MYCN 扩增状态,尽管该实验的数据集较小,限制了模型的预测能力,但仍然提示了影像组学预测基因型的可能性。

当前临床治疗和生存预后是肿瘤研究的重点,未来的医学方向可能是结合多模态测量,如蛋白质组学、基因组学、多重标记染色平台等,基于多组学大数据及合适的算法搭建复杂的 AI 模型,为肿瘤患者提供更全面的辅助诊断和治疗方法。

四、挑战与展望

(一)模型泛化能力受到限制

常规的 AI 算法依赖于大量数据进行验证,但由于医学行业的特殊性,以及患者隐私、医疗机构资源竞争等原因,能够共享的数据往往较少。因此,大多数关于 NB 的 AI 模型都是基于机构自身的数据进行训练和测试,样本量少,缺乏外部验证,导致模型的稳定性和泛化能力降低。

(二)模型结果缺乏可解释性

由于“黑箱”原因,许多 AI 算法因缺乏明确的可解释参数,难以保证性能的一致性。在大量数据的基础上,虽然计算机有较高的预测性能,但由于患者个体差异性,不同平台、不同模型所输出的结果标准不尽相同,可能导致 AI 系统作出错误的判断。近年来解释性的研究逐渐增多,无论是基于模型本身或基于结果对模型进行解释的研究,本质上都是针对单一模型的解释,具有一定的局限性。

(三)模型推广需伦理验证

从监管角度来看, AI 辅助诊疗将是一个全新的挑战。目前美国食品药品监督管理局(U. S. Food and Drug Administration, FDA)设立了 3 个等级来分级医疗器械认证^[25]。但基于伦理等原因,目前尚无统一标准用于人工智能预测模型的监管。对患者而言, AI 的功能尚不完善、精确度不高,一旦滥用将面临隐私泄露的问题;对医师而言,主观判断会影响所纳入数据的客观性,加上格式不统一性和有限的云储存设施,因而更难全面开展。

虽然目前人工智能在医疗领域的应用存在以上挑战,但随着算法的改进、大数据的积累、计算能力的提高,标准化 AI 模型最终能够帮助医师提高对 NB 的理解,改善肿瘤患儿的生活质量和生存预后,并大大节省医疗资源,缓解医师压力,促进临床医学治疗模式和进程的发展,成为开发新时代肿瘤诊疗技术的突破点。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 中国抗癌协会小儿肿瘤专业委员会,中华医学会小儿外科学分会肿瘤学组. 儿童神经母细胞瘤诊疗专家共识 CCCC-NB-2021 方案[J]. 中华小儿外科杂志, 2022, 43 (7): 588-598. DOI:10. 3760/cma. j. cn421158-20211227-00638. Pediatric Oncology Committee, Chinese Anti-Cancer Association,

- Oncology Group, Chinese Association of Pediatric Surgeons. Expert consensus on diagnosing and treating of neuroblastoma in children: CCCG - NB - 2021 regimen [J]. Chin J Pediatr Surg, 2022, 43 (7): 588-598. DOI: 10.3760/cma.j.cn421158-20211227-00638.
- [2] London WB, Castel V, Monclair T, et al. Clinical and biologic features predictive of survival after relapse of neuroblastoma: a report from the International Neuroblastoma Risk Group project [J]. J Clin Oncol, 2011, 29 (24): 3286-3292. DOI: 10.1200/JCO.2010.34.3392.
 - [3] 晏旭东. 人工智能的发展历程和应用简介 [J]. 中国科技纵横, 2019 (22): 65-66.
Yan XD. Introduction to the development history and applications of artificial intelligence [J]. China Sci Technol Overv, 2019 (22): 65-66.
 - [4] Esteva A, Robicquet A, Ramsundar B, et al. A guide to deep learning in healthcare [J]. Nat Med, 2019, 25 (1): 24-29. DOI: 10.1038/s41591-018-0316-z.
 - [5] Sertel O, Kong J, Shimada H, et al. Computer-aided prognosis of neuroblastoma on whole-slide images: classification of stromal development [J]. Pattern Recognit, 2009, 42 (6): 1093-1103. DOI: 10.1016/j.patcog.2008.08.027.
 - [6] Kong J, Sertel O, Shimada H, et al. Computer-aided evaluation of neuroblastoma on whole-slide histology images: classifying grade of neuroblastic differentiation [J]. Pattern Recognit, 2009, 42 (6): 1080-1092. DOI: 10.1016/j.patcog.2008.10.035.
 - [7] Homeyer A, Schenk A, Arlt J, et al. Practical quantification of necrosis in histological whole-slide images [J]. Comput Med Imaging Graph, 2013, 37 (4): 313-322. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2013.05.002.
 - [8] Zormpas-Petridis K, Noguera R, Ivankovic DK, et al. SuperHistopath: a deep learning pipeline for mapping tumor heterogeneity on low-resolution whole-slide digital histopathology images [J]. Front Oncol, 2021, 10: 586292. DOI: 10.3389/fonc.2020.586292.
 - [9] Veiga-Canuto D, Cerdà-Alberich L, Sangüesa Nebot C, et al. Comparative multicentric evaluation of Inter-Observer variability in manual and automatic segmentation of neuroblastic tumors in magnetic resonance images [J]. Cancers (Basel), 2022, 14 (15): 3648. DOI: 10.3390/cancers14153648.
 - [10] 李金男, 王威亚, 梁冬妮, 等. INSS 和 INRGSS 分期评估神经母细胞瘤预后的临床价值 [J]. 四川大学学报 (医学版), 2014, 45 (4): 720-723. DOI: 10.13464/j.scuxbyxb.2014.04.038.
Li JN, Wang WY, Liang DN, et al. Clinical values of INSS and INRGSS staging in assessing the prognosis of neuroblastoma [J]. J Sichuan Univ (Med Sci), 2014, 45 (4): 720-723. DOI: 10.13464/j.scuxbyxb.2014.04.038.
 - [11] Gheisari S, Catchpoole DR, Charlton A, et al. Convolutional deep belief network with feature encoding for classification of neuroblastoma histological images [J]. J Pathol Inform, 2018, 9: 17. DOI: 10.4103/jpi.jpi_73_17.
 - [12] Liu YH, Yin MZ, Sun SL. DetexNet: accurately diagnosing frequent and challenging pediatric malignant tumors [J]. IEEE Trans Med Imaging, 2021, 40 (1): 395-404. DOI: 10.1109/TMI.2020.3027547.
 - [13] Delli Priscoli M, Memmolo P, Ciaparrone G, et al. Neuroblastoma cells classification through learning approaches by direct analysis of digital holograms [J]. IEEE J Sel Top Quantum Electron, 2021, 27 (5): 1-9. DOI: 10.1109/jstqe.2021.3059532.
 - [14] Park A, Nam S. Deep learning for stage prediction in neuroblastoma using gene expression data [J]. Genomics Inform, 2019, 17 (3): e30. DOI: 10.5808/GI.2019.17.3.e30.
 - [15] Cohn SL, Pearson ADJ, London WB, et al. The international neuroblastoma risk group (INRG) classification system: an INRG task force report [J]. J Clin Oncol, 2009, 27 (2): 289-297. DOI: 10.1200/JCO.2008.16.6785.
 - [16] Bussola N, Papa B, Melaiu O, et al. Quantification of the immune content in neuroblastoma: deep learning and topological data analysis in digital pathology [J]. Int J Mol Sci, 2021, 22 (16): 8804. DOI: 10.3390/ijms22168804.
 - [17] Stoks M, Vieco-Martí I, Noguera I, et al. Digital image analysis workflows for evaluation of cell behavior and tumor microenvironment to aid therapeutic assessment in high-risk neuroblastoma [J]. Comput Biol Med, 2023, 164: 107364. DOI: 10.1016/j.combiomed.2023.107364.
 - [18] Su ZG, Lu HH, Wu Y, et al. Predicting potential lncRNA biomarkers for lung cancer and neuroblastoma based on an ensemble of a deep neural network and LightGBM [J]. Front Genet, 2023, 14: 1238095. DOI: 10.3389/fgene.2023.1238095.
 - [19] Ramesh S, Michael D, Liu L, et al. Predicting response to chemotherapy in neuroblastoma using deep learning: a report from the International Neuroblastoma Risk Group [J]. J Clin Oncol, 2021, 39 (S15): 10039. DOI: 10.1200/JCO.2021.39.15_suppl.10039.
 - [20] Feng Y, Wang XL, Zhang J. A heterogeneous ensemble learning method for neuroblastoma survival prediction [J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2022, 26 (4): 1472-1483. DOI: 10.1109/jbhi.2021.3073056.
 - [21] Tranchevent LC, Azuaje F, Rajapakse JC. A deep neural network approach to predicting clinical outcomes of neuroblastoma patients [J]. BMC Med Genomics, 2019, 12 (Suppl 8): 178. DOI: 10.1186/s12920-019-0628-y.
 - [22] Wang CH, Lue W, Kaalia R, et al. Network-based integration of multi-omics data for clinical outcome prediction in neuroblastoma [J]. Sci Rep, 2022, 12 (1): 15425. DOI: 10.1038/s41598-022-19019-5.
 - [23] Liu GB, Poon M, Zapala MA, et al. Incorporating radiomics into machine learning models to predict outcomes of neuroblastoma [J]. J Digit Imaging, 2022, 35 (3): 605-612. DOI: 10.1007/s10278-022-00607-w.
 - [24] Pereira T, Silva F, Claro P, et al. A random forest-based classifier for MYCN status prediction in neuroblastoma using CT images [J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2022, 2022: 3854-3857. DOI: 10.1109/embc48229.2022.9871349.
 - [25] Ahmed AA, Abouzid M, Kaczmarek E. Deep learning approaches in histopathology [J]. Cancers (Basel), 2022, 14 (21): 5264. DOI: 10.3390/cancers14215264.

(收稿日期: 2023-07-17)

本文引用格式: 李雅雯, 朱珠, 王金湖, 等. 人工智能在神经母细胞瘤辅助诊疗中的应用研究进展 [J]. 临床小儿外科杂志, 2025, 24 (4): 392-395. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202307027-018.

Citing this article as: Li YW, Zhu Z, Wang JH, et al. Research advances of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of neuroblastoma [J]. J Clin Ped Sur, 2025, 24 (4): 392-395. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202307027-018.