

## ◆ 综述

## Current status and application progresses of artificial intelligence in pediatric ultrasound

JING Han<sup>1</sup>, GENG Chao<sup>1</sup>, FU Manli<sup>2</sup>, YUAN Li<sup>2\*</sup>

(1. Department of Medicine, School of Medicine, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430016, China; 2. Department of Pediatric Ultrasound, Wuhan Children's Hospital [Wuhan Maternal and Child Healthcare Hospital], Tongji Medical College, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430014, China)

**[Abstract]** Children and adults have quite different disease spectrum. In recent years, with the standardization of pediatric ultrasonic diagnosis and treatment, artificial intelligence (AI) had been applied more and more widely in ultrasonic-assisted diagnosis of pediatric diseases. The current status and application progresses of AI in pediatric ultrasound were reviewed in this article.

**[Keywords]** child; ultrasonography; artificial intelligence

**DOI:**10.13929/j.issn.1003-3289.2024.12.030

## 人工智能用于儿科超声现状及研究进展

景涵<sup>1</sup>, 耿超<sup>1</sup>, 付曼丽<sup>2</sup>, 袁莉<sup>2\*</sup>

[1. 武汉科技大学医学部医学院, 湖北 武汉 430016; 2. 华中科技大学同济医学院附属武汉儿童医院(武汉市妇幼保健院)儿童超声科, 湖北 武汉 430014]

**[摘要]** 儿童与成人疾病谱差异较大。近年来,随着儿科超声诊疗的规范化,人工智能(AI)在超声辅助诊断儿科疾病中的应用越来越广泛。本文围绕 AI 用于儿科超声现状及研究进展进行综述。

**[关键词]** 儿童; 超声检查; 人工智能

**[中图分类号]** R72;R445.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2024)12-1949-04

随着医学影像数据的扩增及人工智能(artificial intelligence, AI)算法的优化,越来越多 AI 辅助诊断技术用于超声领域,有效提高了诊断相关疾病的准确率和效率。机器学习(machine learning, ML)为 AI 核心技术,可根据训练集是否采用标签数据分为监督学习和无监督学习方式。深度学习(deep learning, DL)及迁移学习(transfer learning, TL)均为 ML 的子领域。DL 通过具有隐藏结构的神经网络完成学习任务,适用于处理大规模及高维度数据,典型代表卷积神

经网络(convolutional neural network, CNN)尤其擅长处理图像及视频数据;TL 可利用数据、任务或模型间的相似性将旧领域学习过的知识迁移至新领域。超声 AI 已在诊断成人疾病方面展现出良好效能;但儿科与成人疾病谱差异显著,且儿科超声诊疗规范化进程相对缓慢,相关 AI 研究及应用较为滞后。本文就 AI 用于儿科超声现状及研究进展进行综述。

### 1 新生儿颅脑疾病

AI 可通过学习二维超声及多普勒图像辅助诊断

**[基金项目]** 武汉市科技局知识创新专项(2022010801010568)、湖北省科技计划重点研发项目(2023BCB007)、武汉市教育局市属高校教研课题(2021006)。

**[第一作者]** 景涵(1999—),女,湖北孝感人,在读硕士,医师。研究方向:儿科超声。E-mail: 2429613530@qq.com

**[通信作者]** 袁莉,华中科技大学同济医学院附属武汉儿童医院(武汉市妇幼保健院)儿童超声科,430014。E-mail: yuanli1206@163.com

**[收稿日期]** 2024-05-16 **[修回日期]** 2024-08-07

新生儿颅脑疾病。HYUN 等<sup>[1]</sup>采用 CNN 联合无监督学习自然语言处理训练的新生儿颅脑超声二分类模型鉴别正常与异常图像的准确率为 76%。SEKER 等<sup>[2]</sup>以无归一化补偿模糊神经网络提取并分析大脑前动脉频谱的峰值波形主成分,进而判断足月儿是否存在异常脑血流动力学,其辅助诊断新生儿缺血缺氧性脑病的准确率为 75.9%~76.6%,高于归一化 AI 模型。生发基质-脑室内出血为新生儿颅内出血最常见类型,临床表现及体征均缺乏特异性。KIM 等<sup>[3]</sup>将 CNN 与 TL 相结合,利用数据增强法于丘脑尾状核沟水平矢状位颅脑超声图像中检测新生儿生发基质出血的准确率及特异度分别为 87.5%及 90.0%,有助于早期筛查新生儿生发基质-脑室内出血并改善预后。

## 2 发育性髋关节发育不良

超声 Graf 技术可基于髋关节标准冠状切面测量髋关节  $\alpha$  角及  $\beta$  角,是诊断 0~6 月龄儿童发育性髋关节发育不良 (developmental dysplasia of the hip, DDH) 的经典方法,但因对标准扫查切面及测量角度要求较高,导致近半数病例出现漏、误诊。HAREENDRANATHAN 等<sup>[4]</sup>构建 MEDO-Hip AI 系统以评估二维及三维髋关节超声切面质量并以 10 分制赋分,以 0~7 分及 8~10 分切面图像诊断 DDH 的准确率分别为 57%及 89%。QUADER 等<sup>[5]</sup>利用随机森林算法提取髋关节二维声像图骨与软骨边界,测量  $\alpha$ 、 $\beta$  角及股骨头覆盖率 (femoral head coverage, FHC),由此评估 DDH 分型的受试者工作特征曲线下面积 (area under the curve, AUC) 高达 0.985。另有学者<sup>[6]</sup>基于多尺度超像素图构建 DL 模型提取髋臼轮廓和顶点、测量  $\alpha$  角与髋臼顶点曲率半径,其鉴别正常与发育不良髋关节的 AUC 为 0.86。此外,AI 还可通过评估 Graf 分型辅助诊断 DDH。SEZER 等<sup>[7]</sup>利用 CNN 对 Graf 标准平面超声图像进行散斑去噪,无需测量髋关节  $\alpha$ 、 $\beta$  角即可鉴别诊断正常髋关节、轻度 DDH 及重度 DDH,其准确率达 97.7%。CHEN 等<sup>[8]</sup>开发的 DDH 辅助诊断 DL 模型包含检测解剖结构、标准平面评分和角度测量 3 个模块,其通过静态及动态检测模式评估 Graf I 型与 II 型髋关节的准确率分别为 94.71%和 89.51%,动态运行速度可达 31 帧/s。

髋关节的立体结构增加了采集超声图像过程中探头方向和位置变换的难度,部分学者因此尝试开发基于三维声像图的 DDH AI 辅助诊断模型。EL-HARIRI 等<sup>[9]</sup>采用机械扫描装置采集股骨头三维容积数据,并以 3D UNet 模型标注骨盆表面、自动分割股

骨头,为基于三维超声测量髋关节窝深度奠定了基础。QUADER 等<sup>[10]</sup>利用 ML 于股骨头三维容积图像自动提取骨与软骨边界及髋臼发育参数 ( $\alpha$ 3D 角和 FHC3D),其观察者内及观察者间变异度相比  $\alpha$ 2D 角及 FHC2D 降低 70%,使测值更为可靠。

## 3 儿童肺部疾病

3.1 新生儿呼吸窘迫综合征 (neonatal respiratory distress syndrome, NRDS) NRDS 为新生儿常见死亡病因之一,及早诊断、治疗对改善预后至关重要。根据肺滑动征减弱、胸膜线缺失或断裂、肺实变及胸腔积液等肺超声表现早期诊断 NRDS 的敏感度有限<sup>[11]</sup>。有学者<sup>[12]</sup>利用 TL 训练的肺超声神经网络模型可准确进行肺超声评分 (lung ultrasound score, LUS),其预测持续气道正压通气及肺泡表面活性物质治疗必要性的 AUC 为 0.84~0.89。

3.2 肺炎 虽然绝大多数儿童肺炎经及时诊治后预后良好,但延误治疗所致肺炎相关死亡仍为 5 岁以下儿童常见死亡原因之一。CORREA 等<sup>[13]</sup>构建的神经网络模型可分析肺超声图像亮度分布模式,其诊断大叶性肺炎的敏感度及特异度分别为 90.9%及 100%。NTI 等<sup>[14]</sup>指出,在床旁肺超声 DL 系统辅助下,低年资医师诊断儿童肺炎的准确率及特异度可不逊于高年资医师。

## 4 儿童泌尿系统疾病

4.1 肾积水 肾积水分级和测量肾盂前后径 (anterior-posterior diameter, APD) 为临床常用诊断儿童肾积水方法,但前者主观性强、后者测量变异度高<sup>[15]</sup>。超声 AI 模型可自动分割肾脏和集合系统,提取形态学特征、测量肾积水参数以辅助诊断肾积水,减少常规方法的测量误差。LIN 等<sup>[16]</sup>利用注意力 UNet 模型基于二维超声图像自动分割肾脏和集合系统的戴斯相似系数 (Dice similarity coefficient, DCS) 分别为 0.92 及 0.83,基于此测量 APD 及肾积水指数 (hydronephrosis index, HI) 诊断肾积水的敏感度和特异度分别为 90%及 80%。另一方面,基于二维超声肾积水参数测值难以真实反映实际肾容积。CERROLAZA 等<sup>[17]</sup>开发的新型 AI 模型分割三维超声肾脏和集合系统的 DCS 分别为 0.86 及 0.74,所获三维 HI 更为客观、准确。

4.2 先天性肾脏和尿路畸形 (congenital abnormalities of kidney and urinary tract, CAKUT) CAKUT 占全部先天畸形的 15%~20%,是导致儿童终末期肾病的主要原因;目前临床主要通过超声所示肾脏大小、对称

性、积水程度及皮髓质回声等对其进行综合诊断。ZHENG 等<sup>[18]</sup>基于支持向量机算法构建的超声-影像组学联合模型诊断单侧或双侧 CAKUT 的 AUC 为 0.88~0.92,且提取图像特征及诊断仅需数秒,极大提高了诊断效率。YIN 等<sup>[19]</sup>于肾脏超声图像中提取影像组学特征构建的 DL 模型鉴别后尿道瓣膜与单侧肾积水的 AUC 达 0.96。

## 5 儿童急腹症

儿童急腹症起病急、进展快,需及时处置;但儿童表达能力和依从性差,为诊断及鉴别诊断带来困难。当前超声 AI 模型用于儿童急腹症主要聚焦于肠套叠及阑尾炎。

5.1 阑尾炎 既往研究<sup>[20]</sup>基于临床资料及超声参数构建的模型诊断儿童单纯性阑尾炎及复杂性阑尾炎的准确率分别为 90%及 51%,有助于减少不必要的手术,但易忽视阑尾坏疽或穿孔风险。MARCINKEVICS 等<sup>[21]</sup>分别基于阑尾、肠管、淋巴结及卵巢声像图提取影像组学特征构建的 ML 模型预测儿童阑尾炎坏疽或穿孔的 AUC 为 0.84~0.91,可为制定个体化治疗方案提供有力支持。

5.2 肠套叠 急性肠套叠多见于 2 岁以下幼儿,常规超声易漏、误诊。LI 等<sup>[22]</sup>以 Faster-RCNN DL 算法自动检测超声图像所示“同心圆征”诊断儿童肠套叠的准确率为 93%。CHEN 等<sup>[23]</sup>构建的端到端的 CIDNet 超声诊断网络系统可于 15 s 左右诊断儿童肠套叠,其 AUC 达 0.97。PEI 等<sup>[24]</sup>在此基础上结合超声视频数据开发的肠套叠综合诊疗系统可有效诊断儿童肠套叠(AUC 为 0.972),其预测患儿接受保守或手术治疗的 AUC 达 0.956。

## 6 儿童心脏疾病

AI 辅助超声心动图诊断儿童心脏病的主要任务包括优化图像、识别切面、分割心脏结构及自动测量心功能参数等。新近研究<sup>[25]</sup>构建的 Swim Transformer 2 模型自动分类 2D 心尖二腔、胸骨旁左心室长轴、大动脉短轴、左心室短轴、3D 及 CDFI 等 11 类超声心动图切面的效能良好,其准确率为 92.56%,可为检出心脏疾病提供重要依据。REDDY 等<sup>[26]</sup>于儿童心尖四腔、胸骨旁左心室短轴切面超声视频中提取特征构建的 EchoNet-Peds 模型分割左心室 DSC 为 0.89,并可利用面积-长度法估测左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF),其识别左心室收缩功能障碍的效能(AUC 为 0.95)高于 M 型超声心动图 DL 模型(AUC 为 0.87)<sup>[27]</sup>。近年 AI 去噪及

去伪影工具开发及应用均属广泛,使儿童经胸超声心动图更为标准化。WANG 等<sup>[28]</sup>基于 5 个标准超声心动图切面视频构建的神经网络模型诊断室间隔/房间隔缺损的准确率达 92.3%。

## 7 挑战与展望

儿科超声 AI 相关研究已逐渐用于辅助诊断儿童神经、骨骼、胸部、泌尿、腹部及心脏等多器官/系统疾病,并展现出良好的效能,大幅提高了检测效率;同时,AI 辅助诊断系统有助于辅助经验不足的医师进行阅片及诊断,可用于医学教育及培训。目前 AI 用于儿科超声仍存在局限性,为开发超声 AI 模型并用于临床带来挑战:①超声操作者依赖性强,测量数据存在误差,对 AI 模型的通用性构成限制;②AI 提供的是输入特征与结果间的概率关联而非直接对应关系,模型可能存在过拟合、欠拟合;③构建 AI 模型需分析大规模规范化数据,但目前超声图像存储形式多样,存储不规范、不完整、结构数据少等问题较为常见,影响模型精度;④儿童生长发育迅速,不同阶段各器官、系统超声表现存在明显差异,极大增加了数据处理难度。

总体而言,在儿科超声医师人员匮乏、各地儿科诊疗服务能力不均衡的背景下,AI 用于儿科超声有望提高疾病诊疗效率、降低医疗成本,值得进一步推广。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:景涵撰写文章;耿超查阅文献;付曼丽审阅文章;袁莉审阅和修改文章。

## [参考文献]

- [1] HYUN D, BRICKSON L. Classification of neonatal brain ultrasound scans using deep convolutional neural networks[J/OL]. (2017-09-23) [2023-09-23]. <https://cs229.stanford.edu/proj2016/report/HyunBrickson-ClassificationofNeonatalBrainUltrasoundScansUsingDeepConvolutionalNeuralNetworks-report.pdf>.
- [2] SEKER H, EVANS D H, AYDIN N, et al. Compensatory fuzzy neural networks-based intelligent detection of abnormal neonatal cerebral Doppler ultrasound waveforms [J]. IEEE Trans Inf Technol Biomed, 2001, 5(3):187-194.
- [3] KIM K Y, NOWRANGI R, MCGEHEE A, et al. Assessment of germinal matrix hemorrhage on head ultrasound with deep learning algorithms[J]. Pediatr Radiol, 2022, 52(3):533-538.
- [4] HAREENDRANATHAN A R, CHAHAL B, GHASSEMIA S, et al. Impact of scan quality on AI assessment of hip dysplasia ultrasound[J]. J Ultrasound, 2022, 25(2):145-153.
- [5] QUADER N, HODGSON A J, MULPURI K, et al. Automatic evaluation of scan adequacy and dysplasia metrics in 2-D ultrasound images of the neonatal hip[J]. Ultrasound Med Biol,

- 2017, 43(6):1252-1262.
- [6] HAREENDRANATHAN A R, ZONOBI D, MABEE M, et al. Toward automatic diagnosis of hip dysplasia from 2D ultrasound[C]// 2017 IEEE 14th International Symposium on Biomedical Imaging. Los Angeles: IEEE, 2017:982-985.
- [7] SEZER A, SEZER H B. Deep convolutional neural network-based automatic classification of neonatal hip ultrasound images: A novel data augmentation approach with speckle noise reduction[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46(3):735-749.
- [8] CHEN T, ZHANG Y, WANG B, et al. Development of a fully automated graf standard plane and angle evaluation method for infant hip ultrasound scans [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022, 12(6):1423.
- [9] EL-HARIRI H, HODGSON A J, MULPURI K, et al. Automatically delineating key anatomy in 3-D ultrasound volumes for hip dysplasia screening [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2021, 47(9):2713-2722.
- [10] QUADER N, HODGSON A J, MULPURI K, et al. 3-D ultrasound imaging reliability of measuring dysplasia metrics in infants[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2021, 47(1):139-153.
- [11] 薛静, 张周龙, 陈胜江, 等. 肺超声评分评估新生儿呼吸窘迫综合征 [J]. *中国医学影像技术*, 2022, 38(7):1013-1016.
- [12] PERRI A, SBORDONE A, PATTI M L, et al. The future of neonatal lung ultrasound: Validation of an artificial intelligence model for interpreting lung scans: A multicentre prospective diagnostic study[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2023, 58(9):2610-2618.
- [13] CORREA M, ZIMIC M, BARRIENTOS F, et al. Automatic classification of pediatric pneumonia based on lung ultrasound pattern recognition[J]. *PLoS One*, 2018, 13(12):e206410.
- [14] NTI B, LEHMANN A S, HADDAD A, et al. Artificial intelligence-augmented pediatric lung pocus: A pilot study of novice learners [J]. *J Ultrasound Med*, 2022, 41(12):2965-2972.
- [15] 沈志云, 陈亚青, 蒋珺, 等. 三维超声体积自动测量技术评估小儿肾积水患肾功能 [J]. *中国医学影像技术*, 2013, 29(9):1505-1508.
- [16] LIN Y, KHONG P L, ZOU Z, et al. Evaluation of pediatric hydronephrosis using deep learning quantification of fluid-to-kidney-area ratio by ultrasonography[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2021, 46(11):5229-5239.
- [17] CERROLAZA J J, SAFDAR N, BIGGS E, et al. Renal segmentation from 3D ultrasound via fuzzy appearance models and patient-specific alpha shapes[J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2016, 35(11):2393-2402.
- [18] ZHENG Q, FURTH S L, TASIANG E, et al. Computer-aided diagnosis of congenital abnormalities of the kidney and urinary tract in children based on ultrasound imaging data by integrating texture image features and deep transfer learning image features[J]. *J Pediatr Urol*, 2019, 15(1):75.e1-75.e7.
- [19] YIN S, PENG Q, LI H, et al. Multi-instance deep learning of ultrasound imaging data for pattern classification of congenital abnormalities of the kidney and urinary tract in children [J]. *Urology*, 2020, 142:183-189.
- [20] REISMANN J, ROMUALDI A, KISS N, et al. Diagnosis and classification of pediatric acute appendicitis by artificial intelligence methods: An investigator-independent approach[J]. *PLoS One*, 2019, 14(9):e222030.
- [21] MARCINKEVICS R, REIS WOLFERTSTETTER P, WELLMANN S, et al. Using machine learning to predict the diagnosis, management and severity of pediatric appendicitis[J]. *Front Pediatr*, 2021, 9:662183.
- [22] LI Z, SONG C, HUANG J, et al. Performance of deep learning-based algorithm for detection of pediatric intussusception on abdominal ultrasound images [J]. *Gastroenterol Res Pract*, 2022, 2022:9285238.
- [23] CHEN X, YOU G, CHEN Q, et al. Development and evaluation of an artificial intelligence system for children intussusception diagnosis using ultrasound images[J]. *iScience*, 2023, 26(4):106456.
- [24] PEI Y, WANG G, CAO H, et al. A deep-learning pipeline to diagnose pediatric intussusception and assess severity during ultrasound scanning: A multicenter retrospective-prospective study[J]. *NPJ Digit Med*, 2023, 6(1):182.
- [25] 陈雯雯, 朱业, 张易薇, 等. 深度学习模型用于自动分类超声心动图切面 [J]. *中国医学影像技术*, 2024, 40(8):1124-1129.
- [26] REDDY C D, LOPEZ L, OUYANG D, et al. Video-based deep learning for automated assessment of left ventricular ejection fraction in pediatric patients[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2023, 36(5):482-489.
- [27] 张丽, 徐楠, 邢佳怡, 等. 解剖 M 型超声人工智能模型测量儿童左室收缩功能的研究 [J]. *中国超声医学杂志*, 2023, 39(5):531-535.
- [28] WANG J, LIU X, WANG F, et al. Automated interpretation of congenital heart disease from multi-view echocardiograms [J]. *Med Image Anal*, 2021, 69:101942.