

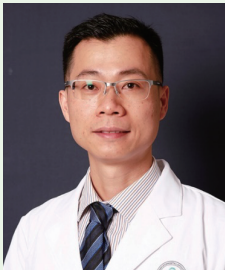
· 综述 ·

DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2024.07.002

人工智能在儿童耳鼻咽喉头颈外科中应用的系统综述

欢迎扫码观看
文章视频简介许溪^{1,2}, 康宁^{1,2}, 罗敏婷^{1,2}, 杨钦泰^{1,2}, 吴庆武^{1,2}✉

(1. 中山大学附属第三医院耳鼻咽喉头颈外科, 广东 广州 510630; 2. 中山大学附属第三医院变态反应(过敏)科, 广东 广州 510630)



通信作者简介: 吴庆武, 医学博士, 博士后, 副研究员, 硕士生导师。任职于中山大学附属第三医院耳鼻咽喉头颈外科, 师从杨钦泰教授和张革化教授。研究方向: 慢性鼻部疾病的人工智能与大数据研究。入选2022年中山大学附属第三医院“重大人才工程培育计划”, 获2021年广东省科技进步二等奖。科研业绩: 主持国家自然科学基金面上项目和省部级项目3项, 以第一/通信作者在*BMJ*、*JACI*和*EBioMedicine*等SCI期刊发表论文10篇, 在《中华耳鼻咽喉头颈外科杂志》发表论文4篇, 获得3项专利授权。担任*iScience*、*Heliyon*和*Current Molecular Medicine*等杂志审稿人。E-mail: wuqw8@mail2.sysu.edu.cn。

【摘要】 **目的** 系统综述国内外儿童耳鼻咽喉头颈外科领域人工智能的应用情况, 重点分析其进展, 以期为未来发展与临床实践提供参考。**方法** 在PubMed、Web of Science、Embase数据库中检索人工智能应用于儿童耳鼻咽喉头颈外科的相关文献, 检索日期为2024年6月, 检索范围不受研究类型、发表日期以及手稿原始语言的限制。依据国家心肺血液研究所研究质量评估工具(NHI-SQAT)和2011版牛津循证医学证据分级(LOE)对文章质量施行评估, 遴选出真实有效的文献。提取文献内容并对人工智能在该领域的应用现状与发展前景进行系统综述。**结果** 经过初步筛选摘要与标题、阅读全文、追溯补充检索、筛除质量不符合标准的文献后, 最终纳入38篇文献。人工智能被广泛应用于儿童耳鼻咽喉头颈外科疾病的诊疗中, 其形式不一, 通过机器学习和大数据处理等方法, 实现了手术辅助、诊疗模型建立等, 在临床应用方面具有巨大潜力。其中, 儿童中耳炎的诊疗、儿童听力损伤测定、术前规划与术后指导、远程医疗等成为近年来人工智能探索及应用的主要方向。**结论** 人工智能在国内外儿童耳鼻咽喉头颈外科中的应用越来越广泛, 人工智能的疾病辅助诊疗已逐渐被医患群体所接受, 未来人工智能的应用形式将更为多元化。

【关键词】 耳鼻咽喉头颈外科; 人工智能; 儿童; 机器学习; 深度学习

Application of artificial intelligence in pediatric otolaryngology-head and neck surgery: a systematic review

Xu Xi^{1,2}, Kang Ning^{1,2}, Luo Minting^{1,2}, Yang Qintai^{1,2}, Wu Qingwu^{1,2}✉

(1. Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, the Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China; 2. Department of Allergy, the Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China)

Corresponding author: WU Qingwu, E-mail: wuqw8@mail2.sysu.edu.cn

【Abstract】 **Objective** To systematically review the progress in the application of artificial intelligence in the field of pediatric otolaryngology-head and neck surgery at home and abroad, aiming to provide reference for the development and clinical practice in the future. **Methods** Literature related to the application of artificial intelligence in otolaryngology, head and neck surgery were searched from PubMed, Web of Science and Embase databases in June 2024, regardless of the research type, publication date and language restrictions. Subsequently, using the National Heart, Lung, and Blood Institute Study Quality Assessment Tools (NHI-SQAT) and the Oxford 2011 Levels of Evidence (LOE), tables were designed to assess the quality of the articles and select authentic and effective literature. Literature content was extracted, and a systematic review of current status and future prospects of artificial intelligence in

收稿日期: 2024-06-14

基金项目: 国家自然科学基金(82271191, 82271148, U20A20399); 广东省基础与应用基础研究基金(2021A1515110739); 广东省自然科学基金(2021A1515011764); 中山大学临床研究5010计划项目(2019006); 中山大学附属第三医院“五个五”项目(2023ww601)

第一作者: 许溪, 硕士研究生, 研究方向: 慢性鼻窦炎机制研究, E-mail: XuXi0317@outlook.com

this field was conducted. **Results** After preliminary screening of abstracts and titles, full-text reading, supplementary retrieval, and exclusion of literature that did not meet quality standards, a total of 38 articles were finally included. Artificial intelligence has been widely used in the diagnosis and treatment of pediatric otolaryngological diseases in various forms. Significant clinical effects have been achieved through methods such as machine learning and big data processing, enabling surgical assistance and the establishment of diagnostic and treatment models. In recent research, the diagnosis and treatment of pediatric otitis media, assessment of pediatric hearing loss, preoperative planning and postoperative guidance, and telemedicine are becoming the main directions of exploration and application of artificial intelligence. **Conclusions** Application of artificial intelligence in pediatric otolaryngology head and neck surgery at home and abroad has been gradually extended in recent years. As the use of artificial intelligence in assisted diagnosis and treatment has been gradually accepted by the medical community, the application platform for artificial intelligence will become diversified in the future.

【Key words】 Otolaryngology-head and neck surgery; Artificial intelligence; Children; Machine learning; Deep learning

人工智能的应用涵盖多个医疗领域，包括机器人治疗、智能诊断、辅助医疗决策和图像分析等。随着计算机算法技术的不断提高，人工智能日益发展，尤其是在新兴的机器学习及深度学习领域上。机器学习领域是人工智能的一个子领域，是从现有信息中预测新信息^[1]，即通过大量的数据进行“训练”，利用各种算法从数据中学习如何完成任务，并据此对真实世界中的事件作出决策和预测。深度学习是机器学习的一个子集，是通过数据库的自动处理、学习和训练来形成同人类一般的通过评估数据特征得出诊断的能力。例如，本团队的前期研究显示了人工智能应用于鼻息肉方面的创新与突破，并证实人工智能不仅有较高的准确性，而且能提高诊断效率^[24]。

近年来，随着人工智能应用领域的不断开拓，数以万计的新方法和新技术涌现，人工智能在疾病诊疗过程中的作用逐渐突显，然而有关人工智能应用于儿童耳鼻咽喉头颈外科的综述较少，且现有的相关综述多聚焦于某项特定技术的发展或特定疾病的诊疗，专科化和细分化的趋势较为明显，缺乏对其系统化、整体化的分析。因此，基于本团队将人工智能应用于耳鼻咽喉头颈外科的前期经验^[5-7]，文章旨在总结以往有关人工智能在儿童耳鼻咽喉头颈外科的研究，并对人工智能在本学科的应用前景进行展望，为人工智能于儿童耳鼻咽喉头颈外科中的应用赋能。

1 资料与方法

1.1 文献检索

于2024年6月在PubMed、Web of Science、Embase

数据库中进行全面检索。使用的检索词包括人工智能 (artificial intelligence)、儿童 (children/child)、深度学习 (deep learning)、耳鼻咽喉头颈外科 (otolaryngology, head and neck surgery)、机器学习 (machine learning)。关于这一主题的现有文献有限，因此检索范围不受研究类型、发表日期以及手稿原始语言的限制。导出检索到的文献并手动筛选。

1.2 文献纳入及排除标准

纳入标准：①研究对象为6~14岁儿童；②发表于同行评审的期刊；③研究具体描述了人工智能在儿童耳鼻咽喉头颈外科中的应用。排除标准：①没有摘要和全文；②非期刊论文，如会议论文、学位论文等；③诊断或治疗时没有使用人工智能或自动化技术进行资料收集、分析；④病例报道、文献综述或荟萃分析。

2 文献筛选流程及质量评估

2.1 文献筛选流程

由2名研究者独立筛选文献，文献筛选时首先阅读题目和摘要，在排除明显不相关的文献后，进一步阅读全文，确定最终纳入的文献。文献筛选流程见图1。

2.2 文献质量评估

依据国家心肺血液研究所研究质量评估工具 (National Heart, Lung, and Blood Institute Study Quality Assessment Tools, NHI-SQAT) 和2011版牛津循证医学证据分级 (the Oxford 2011 Levels of Evidence, LOE) 设计表格，依次对文献质量进行评估，遴选出真实有效的文献。

3 结果

3.1 纳入文献基本情况

经过初步筛选摘要与标题、阅读全文、追溯补充检索, 筛除质量不符合标准的文献后, 最终纳入 38 篇文献, 见图 1。这些文献发表于 2007 年 1 月至 2024 年 6 月, 集中于 2023 年 ($n = 10$), 其次为 2024 年 ($n = 8$)。用于训练机器学习算法模型的数据主要来自单中心 ($n = 35$), 少数为多中心 ($n = 3$)。38 篇文献中所描述的研究在 9 个国家进行, 其中研究数量最多的国家是美国 ($n = 19$), 其次是中国 ($n = 9$) 和加拿大 ($n = 3$)。这些研究涵盖了耳科学、鼻科学、咽喉科学和头颈外科学 4 个领域, 最常见的领域是耳科 ($n = 23$), 其次是咽喉科 ($n = 9$)、头颈外科 ($n = 3$) 和鼻科 ($n = 2$)。见表 1。

3.2 文献偏倚风险评估和证据水平

根据 NHI-SQAT, 纳入文献的研究质量大部分为质量一般 ($n = 26$), 部分为质量良好 ($n = 12$)。根据 LOE, 纳入文献的研究中主要为 4 级证据 ($n = 30$), 其次为 5 级证据 ($n = 7$)。见表 1。

3.3 纳入文献分析

3.3.1 人工智能在儿童耳科学中的应用

人工智能在儿童耳科学中的应用主要涉及人工耳蜗 (cochlear implant, CI) [25, 36, 44]、儿童中耳炎诊断 [12, 18-20]、数字耳镜以及听力损失检测 [32, 36, 46-47]。

1) 人工智能在 CI 方面的应用。听力障碍是最常见的感觉缺陷, 对全球超过 4.66 亿人产生了深远的影响 [48]。自 1971 年被开创性引入以来, 基于优秀的神经仿生功能, CI 技术已成为中重度感音神经性听力损失患者的首选治疗方法 [49]。在过去几年中, CI 技术在人工智能的帮助下实现了极大的进步, 也从最初的针对成人逐渐向应用于儿童转变 [50]。Skidmore 等 [25] 纳入 23 例耳蜗神经缺损患儿和 29 名耳蜗大小正常者的听神经负荷电位参数, 通过线性回归、支持向量机回归和 Logistic 回归建立预测模型, 准确评估患者的神经网络 (cochlear nerve, CN) 功能状态并对其进行分层, 该模型有助于了解使用了 CI 患儿的预后。Feng 等 [36] 和 Tan 等 [44] 采用支持向量回归算法建模, 利用术前神经解剖形态学数据来预测 CI 激活后使用者的语言发展状况, 分别获得了 76% 和 93.8% 的分类准确率。Abousetta 等 [9] 针对儿童进行了一项回顾性研究, 其将成功建立的新的机器学习分类模型用于

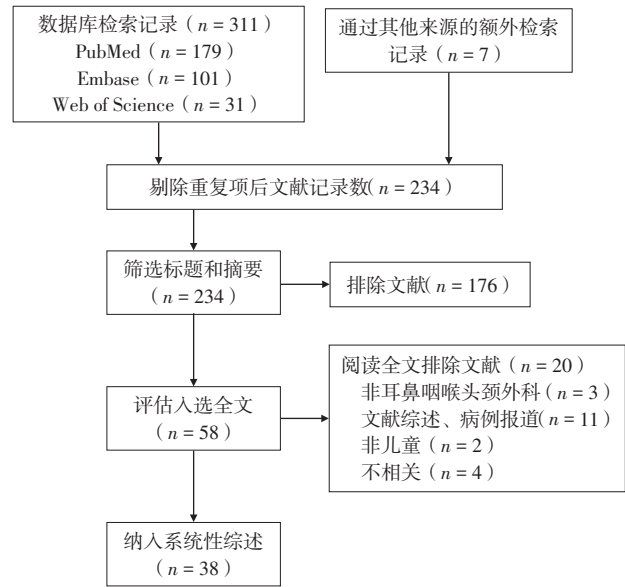


图 1 文献筛选流程

Figure 1 Literature screening process

预测 CI 激活后使用者的表现, 随着数据的不断累积, 模型预测的准确度也进一步提升, 有望于未来辅助 CI 使用者进行客观决策。上述各项结果证实了 CI 与机器学习算法尤其是深度学习之间的关系正在不断加强。

2) 人工智能在中耳炎方面的应用。Ngombu 等 [51] 回顾近十年的文献发现辅助诊断中耳炎的自动化计算机算法不断增加。在儿童中耳炎的诊断中, Shaikh 等 [8]、Tran 等 [12]、Crowson 等 [19] 及 Wu 等 [20] 通过深度学习算法构建了诊断中耳炎的模型, 分别在临床医疗决策、患者自我检测与持续监测、优化诊断结果、智能手机联合等方面展现了各自优势, 且各具创新性, 为医疗领域带来了新的机遇。

3) 人工智能在耳科学其他方面的应用。有研究者通过计算机视觉图像分类算法建立了人工智能模型, 从耳镜图像中识别特定的耳部疾病, 且准确率相当高 (80% 以上), 提示人工智能的使用在提供远程医疗和社区初级保健方面可以发挥重要作用 [13, 16]。目前, 人工智能已被应用于耳科特定疾病的诊疗, 如前庭导水管综合症的诊断 [52], 此外鼓膜造瘘置管 [40]、先天性胆脂瘤的机器人辅助经鼻内镜耳部手术也有报道 [53]。

3.3.2 人工智能在儿童鼻科学中的应用

人工智能在儿童鼻科学中的应用报道相对较少, 主要受限于鼻科学图像数据的获取。儿童鼻

表1 纳入文献的发表年份、国家、领域和研究质量的系统总结

Table 1 A systematic summary of the included literature by publication year, country, field, and research quality

第一作者	发表年份	国家	领域	数据	质量	LOE
SHAIKH N ^[8]	2024	美国	1	2	1	4
ABOSETTA A ^[9]	2023	埃及	1	2	2	4
ZENG J ^[10]	2022	中国	1	2	1	4
YE P ^[11]	2023	中国	1	1	2	4
TRAN T T ^[12]	2018	中国	1	1	2	5
MOTHERSHAW A ^[13]	2021	澳大利亚	1	1	2	5
MOISE A ^[14]	2024	加拿大	3	1	2	5
MOISE A ^[15]	2023	加拿大	1	1	2	5
HABIB A R ^[16]	2022	澳大利亚	1	1	2	4
GOFFI-GOMEZ M V S ^[17]	2024	巴西	1	1	2	4
DHAR S ^[18]	2024	美国	3	1	2	5
CROWSON M G ^[19]	2023	美国	1	1	1	4
WU Z ^[20]	2021	中国	1	1	2	4
WU Y ^[21]	2022	中国	3	1	1	4
WIMALARATHNA H ^[22]	2021	加拿大	1	1	1	4
TESSLER I ^[23]	2024	以色列	5	1	2	4
SURESH K ^[24]	2024	美国	1	1	1	4
SKIDMORE J ^[25]	2021	美国	1	1	1	4
QIN H ^[26]	2024	中国	3	1	2	4
PITATHAWATCHAI P ^[27]	2022	泰国	1	1	1	4
MU Y ^[28]	2024	中国	1	1	2	4
LI Y ^[29]	2022	中国	2	1	2	4
LEONARDIS R L ^[30]	2013	美国	3	1	1	4
JOHNSTON D R ^[31]	2023	美国	3	1	2	4
JIN F Q ^[32]	2023	美国	1	1	1	4
HENNOQQ Q ^[33]	2023	法国	1	1	2	4
GOYAL N ^[34]	2022	美国	3	1	2	3
FU R ^[35]	2023	美国	2	1	2	4
FENG G ^[36]	2018	中国	1	1	1	4
FAUST R A ^[37]	2008	美国	3	1	2	5
CROWSON M G ^[38]	2021	美国	1	1	1	4
CROWSON M G ^[39]	2023	美国	3	1	2	4
CHANG K M ^[40]	2024	美国	1	1	2	4
CAMALAN S ^[41]	2020	美国	1	1	2	4
ZDANSKI C J ^[42]	2017	美国	4	1	2	4
THOTTAM P J ^[43]	2015	美国	4	1	2	4
TAN L ^[44]	2015	美国	1	1	2	5
RAHBAR R ^[45]	2007	美国	4	1	2	4

注：领域 1= 耳科，2= 鼻科，3= 咽喉科，4= 头颈外科，5= 均包含；数据 1= 单中心研究，2= 多中心研究；质量 1= 良好，2= 一般；LOE 1= 最高级别，5= 最低级别。

腔、鼻窦及其相邻器官生理解剖学具有复杂性和多变性，同时，儿童鼻科图像数据来源较少且质量不稳定，这些因素大大增加了儿童鼻科学图像数据收集和分析的难度。

目前已有的研究主要涉及鼻窦图像数据的重建^[29]。随着重建技术的不断发展，如何在显著降低辐射剂量的情况下保证获得高质量的诊断

图像成为目前研究的热点^[54-55]。Li 等^[29]引入一种新的深度学习图像重建方法（deep learning image reconstruction, DLIR），并将其与目前临床最先进的自适应统计迭代重建算法进行比较，结果显示，在图像质量评估方面 DLIR 总体优于后者，提示了将 DLIR 应用于儿童鼻窦低剂量 CT 扫描的可能性。Fu 等^[35]开发了一款人工智能自动化预测软件，

对 56 例鼻窦炎继发骨膜下眶脓肿患儿的 CT 图像进行三维可视化和定量评估,实现了对肿物体积的准确预测,有望对手术治疗规划及临床决策提供有效帮助。在相关疾病预后方面, Montevicchi 等^[56]报道了经腺样体切除术治疗失败的 3 例患儿,在通过经口机器人手术(transoral robotic surgery, TORS)后解除了舌底梗阻,腺样体切除术后预后不良症状得到改善。

3.3.3 人工智能在儿童咽喉科学中的应用

人工智能在儿童咽喉科学中的应用主要涉及儿童阻塞性睡眠呼吸暂停(obstructive sleep apnea, OSA)的检测^[11, 21, 26]、儿童扁桃体切除术中辅助和术后指导^[14, 30-31],以及喉气管重建术的技术优化^[37, 57]。

1) 人工智能在 OSA 中的应用。OSA 是一种严重的阻塞性睡眠呼吸障碍,在儿童中的患病率约为 1%~5%^[58]。其诊断的金标准——多导睡眠图的花费高昂且耗时长,难以适应疑似病例的大规模筛查,这会造成对 OSA 患儿病情的忽视以及错失诊疗时机,增加了儿童心血管系统和代谢系统紊乱、神经认知和行为功能障碍等不良后果的发生风险^[59]。Ye 等^[11]建立了基于儿童夜间心率和血氧特征的 XGBoost 算法诊断模型,在简化了诊断过程的同时还实现了对不同程度 OSA 患儿的准确识别,研究表明该机器学习模型在轻度 OSA 分类任务中展现出良好的性能(受试者操作特征曲线的曲线下面积达 0.92)。Wu 等^[21]开发了一种基于单通道夜间氧饱和度的多层感知器模型,比较并选取了单通道夜间氧饱和度信号的最优特征,可靠地诊断了中重度 OSA 患儿,尤其是在儿科睡眠实验室资源有限的环境中,该模型可减少未被识别和未经治疗的 OSA 的长期并发症,并有助于改善医疗资源的分配和使用。Qin 等^[26]对 2 464 例 OSA 患儿进行了临床特征数据的收集、选择和分析,验证了基于儿童临床特征预测 OSA 的 ML 模型的有效性,与多导睡眠图筛查问卷相比,ML 模型具有更好的预测能力,其中,有效临床特征组合的方法为临床快速经济地识别 OSA 提供了新思路。Crowson 等^[39]利用 OSA 患儿在多导睡眠监测(polysomnography, PSG)中获得的鼻气压测量数据进行建模,结果显示机器学习通过鼻气压跟踪睡眠呼吸暂停事件具有可行性,甚至可能超越临床专家的诊断性能,建议未来的研究应着重优化

各项预测模型的实用特性以更适用于临床。

2) 人工智能与扁桃体相关的应用。自从 TORS 问世以来,其安全性和有效性已被证实^[60],尤其是在传统手术难以观察到的隐匿解剖位置,TORS 展现出巨大的潜力,如在舌扁桃体的切除或活组织检查(活检)方面^[61]。Leonardis 等^[30]对 16 例接受 TORS 切除舌扁桃体的患儿进行了回顾性分析,评估了手术时间、出血量和术后并发症等数据并制作机器学习曲线,结果显示,达芬奇机器人在执行力方面的表现令人鼓舞。Moise 等^[14]利用 ChatGPT 进行儿童扁桃体切除术后指导,并将其反馈结果与美国耳鼻咽喉头颈外科学会(American Academy of Otolaryngology Head and Neck Surgery, AAO-HNSF)制定的《临床实践指南》进行比较,其中 93.8% 的 ChatGPT 反馈结果具有高度的可靠性和准确性,该项研究验证了 ChatGPT 在增强医疗服务方面的良好性能,类似的研究也已在儿童鼓膜造瘘术的术后指导中开展^[15]。

3.3.4 人工智能在头颈外科学中的应用

头颈部机器人手术拥有三维内窥镜视野、微型器械的自由运动和震颤过滤等重要优势^[30]。早于十多年前已有研究者试图运用人工智能进行儿童头颈部手术,Rahbar 等^[45]成功地进行了 2 例喉裂 TORS,并首次提出 TORS 是儿童气道手术的可行选择,标志着儿童头颈部手术选择范围的显著扩大。近年来机器人手术不断被成功应用于儿童头颈部手术的多个领域,从睡眠手术到气道重建再到咽肿块切除^[42-43]。但前述研究者的观点,他们均认为,相较于人工智能在其他方面的突出表现,目前 TORS 在儿童中的应用仍处于起步阶段,其原因可能包括:①儿童患者头颈部解剖结构的特殊性;②机器人手术视觉限制和器械操作空间不足;③设备和培训的初始成本高昂。

鉴于 TORS 的应用受到多重限制,未来进一步开发更小的仪器以及进行充分而先进的术前实践已成为必要^[62]。虚拟现实手术演练最初被引入外科训练中的目的是增强受训者的信心,随着虚拟现实技术在触觉反馈方面的提高,其用途已扩展至术前规划。研究显示,从虚拟现实到三维打印模型再到计算机辅助优化算法,利用人工智能制定先进的术前手术计划可以进一步增强手术的可视化及安全性^[57]。

4 讨论

本系统综述显示,人工智能已逐渐被深入应用于儿童耳鼻咽喉头颈外科,呈现了快速发展的趋势,应用前景广阔。在儿童耳科学方面,人工智能的应用不限于传统的人工耳蜗改良,研究者们正逐步将视线放宽至整个耳科学的各类疾病和诊疗技术上,例如中耳炎及一些少见病的诊治。此外,人工智能在推进儿童耳科学诊疗发展的同时也为其他相关领域的人工智能应用提供了新基础和新思路。但在儿童鼻科学方面,碍于个体差异的客观存在,以及相关优秀算法的匮乏,人工智能的应用仍存在巨大困难,也相对少人涉足。但基于前述个别先驱者的大胆尝试,本团队相信,在未来更多优秀算法涌现和迭代的情况下,个体差异等困难将迎刃而解,人工智能在克服复杂性、多变异性等现存问题困难后,将会在儿童鼻科学图像采集与手术技术创新方面得到更广泛的应用。在儿童咽喉学方面,多个OSA模型的建立为高效、经济诊断OSA提供了新的思路与方向。此外,对于咽喉部隐匿的解剖位置,TORS展现出了较大优势,而2022年底问世的生成式人工智能ChatGPT在优化术后指导、增强医疗服务方面也具有巨大潜力^[15]。对于儿童头颈外科学,TORS的应用由于受到多种因素的限制仍处于初始阶段,但虚拟现实技术在优化术前手术方案中则颇具优势。

综上所述,近年来人工智能已逐渐渗透于耳鼻咽喉头颈外科疾病的诊断及治疗,且不囿于传统的耳科、鼻科、咽喉科、头颈外科等成人领域,而是在儿童疾病中横向拓宽、纵深发展,并在临床实践中开始了初具规模的规范化应用。其中在儿童耳科学、咽喉科学的疾病早期诊断和预后预测方面尤为突出,儿童中耳炎的诊疗、儿童听力损伤测定、术前规划与术后指导、远程医疗等成为近年来的主要应用方向。人工智能在儿童耳鼻咽喉头颈外科呈现的应用方向还囊括了人工智能参与的医疗保健、人工智能参与的远程医疗协助等,且存在大片的空白领域有待探究。在精准医疗已成为行业焦点的契机上,人工智能有助于提高精准性的优势使得其在儿童耳鼻咽喉头颈外科疾病中的发展势不可挡,但在施行的可行性以及相关的伦理方面依然具有挑战性,例如,缺乏及时有效的反馈机制、安全隐私的责任监察体系、完备的法律法规等。再者,高昂的开发成本、维

护工作的高风险等压力也使大多数医疗机构望而却步。然而伴随着信息技术的跨步发展,人工智能在医疗保健和儿童患者教育方面的应用前景将更加明朗。立足当今医学科学研究的角度展望未来,人工智能在儿童耳鼻咽喉头颈外科相关领域的应用,技术上亟须在优化术前实践、术后教育等方面寻求突破,同时应进一步加强机器学习算法应用的交互性以及实用性以将其更好地融入临床指导。在伦理上,随着人工智能应用于临床实践的深入化,尤其是针对儿童疾病的诊疗,是否会逾越现今的伦理审查标准,是否应制定针对人工智能的更为全面的规范制度,值得商榷。归根结底,人工智能在儿童耳鼻咽喉头颈外科中的应用具有广阔的前景,但仍存在多个有待探索的真真空领域,其研究以及实践兼具创新性以及挑战性,有待医学研究者及临床工作者的深入探索。

参 考 文 献

- [1] CROWSON M G, LIN V, CHEN J M, et al. Machine learning and cochlear implantation-a structured review of opportunities and challenges[J]. *Otol Neurotol*, 2020, 41 (1): e36-e45. DOI: 10.1097/MAO.0000000000002440.
- [2] WU Q, CHEN J, DENG H, et al. Expert-level diagnosis of nasal polyps using deep learning on whole-slide imaging[J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2020, 145 (2): 698-701.e6. DOI: 10.1016/j.jaci.2019.12.002.
- [3] WU Q, CHEN J, REN Y, et al. Artificial intelligence for cellular phenotyping diagnosis of nasal polyps by whole-slide imaging[J]. *EBioMedicine*, 2021, 66: 103336. DOI: 10.1016/j.ebiom.2021.103336.
- [4] KONG W, WU Q, CHEN Y, et al. Chinese central compartment atopic disease: the clinical characteristics and cellular endotypes based on whole-slide imaging[J]. *J Asthma Allergy*, 2022, 15: 341-352. DOI: 10.2147/JAA.S350837.
- [5] WU Q, WANG X, LIANG G, et al. Advances in image-based artificial intelligence in otorhinolaryngology-head and neck surgery: a systematic review[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2023, 169 (5): 1132-1142. DOI: 10.1002/ohn.391.
- [6] 吴庆武, 杨钦泰. 深度学习在耳鼻咽喉头颈外科的应用[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2020, 55 (10): 980-984. DOI: 10.3760/cma.j.cn115330-20200217-00097
- [7] WU Q W, YANG Q T. A contemporary review of deep learning in otorhinolaryngology-head and neck surgery[J]. *Chin J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*, 2020, 55 (10): 980-984. DOI: 10.3760/cma.j.cn115330-20200217-00097.
- [7] 周文豪, 罗新, 梁桂贤, 等. 人工智能在鼻科学图像中的应用[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2024, 59 (3): 277-283. DOI: 10.3760/cma.j.cn115330-20231025-00169

- ZHOU W H, LUO X, LIANG G X, et al. Application of artificial intelligence in rhinology images [J]. *Chin J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*, 2024, 59 (3): 277-283. DOI: 10.3760/cma.j.cn115330-20231025-00169.
- [8] SHAIKH N, CONWAY S J, KOVACEVIC J, et al. Development and validation of an automated classifier to diagnose acute otitis media in children [J]. *JAMA Pediatr*, 2024, 178 (4): 401-407. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2024.0011.
- [9] ABOUSETTA A, EL KHOLY W, HEGAZY M, et al. A scoring system for cochlear implant candidate selection using artificial intelligence [J]. *Hear Balance Commun*, 2023, 21 (2): 114-121. DOI: 10.1080/21695717.2023.2165371.
- [10] ZENG J, KANG W, CHEN S, et al. A deep learning approach to predict conductive hearing loss in patients with otitis media with effusion using otoscopic images [J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2022, 148 (7): 612-620. DOI: 10.1001/jamaoto.2022.0900.
- [11] YE P, QIN H, ZHAN X, et al. Diagnosis of obstructive sleep apnea in children based on the XGBoost algorithm using nocturnal heart rate and blood oxygen feature [J]. *Am J Otolaryngol*, 2023, 44 (2): 103714. DOI: 10.1016/j.amjoto.2022.103714.
- [12] TRAN T T, FANG T Y, PHAM V T, et al. Development of an automatic diagnostic algorithm for pediatric otitis media [J]. *Otol Neurotol*, 2018, 39 (8): 1060-1065. DOI: 10.1097/MAO.0000000000001897.
- [13] MOTHERSHAW A, SMITH A C, PERRY C F, et al. Does artificial intelligence have a role in telehealth screening of ear disease in indigenous children in Australia [J]. *Aust J Otolaryngol*, 2021, 4 : 38. DOI: 10.21037/ajo-21-14.
- [14] MOISE A, CENTOMO-BOZZO A, ORISHCHAK O, et al. Can ChatGPT replace an otolaryngologist in guiding parents on tonsillectomy [J]. *Ear Nose Throat J*, 2024 : 1455613241230841. DOI: 10.1177/01455613241230841.
- [15] MOISE A, CENTOMO-BOZZO A, ORISHCHAK O, et al. Can ChatGPT guide parents on tympanostomy tube insertion [J]. *Children*, 2023, 10 (10): 1634. DOI: 10.3390/children10101634.
- [16] HABIB A R, CROSSLAND G, PATEL H, et al. An artificial intelligence computer-vision algorithm to triage otoscopic images from Australian aboriginal and torres strait islander children [J]. *Otol Neurotol*, 2022, 43 (4): 481-488. DOI: 10.1097/MAO.0000000000003484.
- [17] GOFFI-GOMEZ M V S, CORRÊA F M D S, MAGALHÃES A T, et al. Is the spread of excitation different between adults and children cochlear implants users [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2024, 281 (7): 3491-3498. DOI: 10.1007/s00405-024-08451-0.
- [18] DHAR S, KOTHARI D, VASQUEZ M, et al. The utility and accuracy of ChatGPT in providing post-operative instructions following tonsillectomy: a pilot study [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2024, 179 : 111901. DOI: 10.1016/j.ijporl.2024.111901.
- [19] CROWSON M G, BATES D W, SURESH K, et al. "Human vs machine" validation of a deep learning algorithm for pediatric middle ear infection diagnosis [J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2023, 169 (1): 41-46. DOI: 10.1177/01945998221119156.
- [20] WU Z, LIN Z, LI L, et al. Deep learning for classification of pediatric otitis media [J]. *Laryngoscope*, 2021, 131 (7): E2344-E2351. DOI: 10.1002/lary.29302.
- [21] WU Y, JIA Y, NING X, et al. Detection of pediatric obstructive sleep apnea using a multilayer perceptron model based on single-channel oxygen saturation or clinical features [J]. *Methods*, 2022, 204 : 361-367. DOI: 10.1016/j.ymeth.2022.04.017.
- [22] WIMALARATHNA H, ANKMNAL-VEERANNA S, ALLAN C, et al. Comparison of machine learning models to classify auditory brainstem responses recorded from children with auditory processing disorder [J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2021, 200 : 105942. DOI: 10.1016/j.cmpb.2021.105942.
- [23] TESSLER I, WOLFOVITZ A, ALON E E, et al. ChatGPT's adherence to otolaryngology clinical practice guidelines [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2024, 281 (7): 3829-3834. DOI: 10.1007/s00405-024-08634-9.
- [24] SURESH K, WU M P, BENBOUJJA F, et al. AI model versus clinician otoscopy in the operative setting for otitis media diagnosis [J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2024, 170 (6): 1598-1601. DOI: 10.1002/ohn.559.
- [25] SKIDMORE J, XU L, CHAO X, et al. Prediction of the functional status of the cochlear nerve in individual cochlear implant users using machine learning and electrophysiological measures [J]. *Ear Hear*, 2021, 42 (1): 180-192. DOI: 10.1097/AUD.0000000000000916.
- [26] QIN H, ZHANG L, LI X, et al. Pediatric obstructive sleep apnea diagnosis: leveraging machine learning with linear discriminant analysis [J]. *Front Pediatr*, 2024, 12 : 1328209. DOI: 10.3389/fped.2024.1328209.
- [27] PITATHAWATCHAI P, CHAICHULEE S, KIRTSREESAKUL V. Robust machine learning method for imputing missing values in audiograms collected in children [J]. *Int J Audiol*, 2022, 61 (1): 66-77. DOI: 10.1080/14992027.2021.1884909.
- [28] MU Y, JIANG W, LIN H, et al. Wideband acoustic immittance characteristics and machine learning-based diagnostic model for children with large vestibular aqueduct syndrome [J]. *J Clin Otorhinolaryngol Head Neck Surg*, 2024, 38 (3): 207-211, 216. DOI: 10.13201/j.issn.2096-7993.2024.03.005.
- [29] LI Y, LIU X, ZHUANG X H, et al. Assessment of low-dose paranasal sinus CT imaging using a new deep learning image reconstruction technique in children compared to adaptive statistical iterative reconstruction V (ASiR-V) [J]. *BMC Med Imaging*, 2022, 22 (1): 106. DOI: 10.1186/s12880-022-00834-1.
- [30] LEONARDIS R L, DUVVURI U, MEHTA D. Transoral robotic-assisted lingual tonsillectomy in the pediatric population [J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2013, 139 (10): 1032-1036. DOI: 10.1001/jamaoto.2013.4924.
- [31] JOHNSTON D R, MAURRASSE S E, MADDALAZZO J M.

- Avascular midline oropharyngeal anatomy allows for expanded indications for transoral robotic surgery in pediatric patients [J]. *J Robot Surg*, 2023, 17 (4): 1803-1808. DOI: 10.1007/s11701-023-01603-0.
- [32] JIN F Q, HUANG O, KLEINDIENST ROBLER S, et al. A hybrid deep learning approach to identify preventable childhood hearing loss [J]. *Ear Hear*, 2023, 44 (5): 1262-1270. DOI: 10.1097/AUD.0000000000001380.
- [33] HENNOQ Q, BONGIBAUT T, MARLIN S, et al. AI-based diagnosis in mandibulofacial dysostosis with microcephaly using external ear shapes [J]. *Front Pediatr*, 2023, 11: 1171277. DOI: 10.3389/fped.2023.1171277.
- [34] GOYAL N, GOLDENBERG D, RUSZKAY N, et al. Can a flexible surgical robot be used in the pediatric population: a feasibility study [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2022, 159: 111206. DOI: 10.1016/j.ijporl.2022.111206.
- [35] FU R, BANDOS A, LEADER J K, et al. Artificial intelligence automation of proptosis measurement: an indicator for pediatric orbital abscess surgery [J]. *Ophthalmol Ther*, 2023, 12 (5): 2479-2491. DOI: 10.1007/s40123-023-00754-5.
- [36] FENG G, INGVALSON E M, GRIECO-CALUB T M, et al. Neural preservation underlies speech improvement from auditory deprivation in young cochlear implant recipients [J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2018, 115 (5): E1022-E1031. DOI: 10.1073/pnas.1717603115.
- [37] FAUST R A, RAHBAR R. Robotic surgical technique for pediatric laryngotracheal reconstruction [J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2008, 41 (5): 1045-1051, xi. DOI: 10.1016/j.otc.2008.04.005.
- [38] CROWSON M G, HARTNICK C J, DIERCKS G R, et al. Machine learning for accurate intraoperative pediatric middle ear effusion diagnosis [J]. *Pediatrics*, 2021, 147 (4): e2020034546. DOI: 10.1542/peds.2020-034546.
- [39] CROWSON M G, GIPSON K S, KADOSH O K, et al. Paediatric sleep apnea event prediction using nasal air pressure and machine learning [J]. *J Sleep Res*, 2023, 32 (4): e13851. DOI: 10.1111/jsr.13851.
- [40] CHANG K M, SURAPANENI S S, SHAIKH N, et al. Pediatric tympanostomy tube assessment via deep learning [J]. *Am J Otolaryngol*, 2024, 45 (4): 104334. DOI: 10.1016/j.amjoto.2024.104334.
- [41] CAMALAN S, NIAZI M K K, MOBERLY A C, et al. OtoMatch: content-based eardrum image retrieval using deep learning [J]. *PLoS One*, 2020, 15 (5): e0232776. DOI: 10.1371/journal.pone.0232776.
- [42] ZDANSKI C J, AUSTIN G K, WALSH J M, et al. Transoral robotic surgery for upper airway pathology in the pediatric population [J]. *Laryngoscope*, 2017, 127 (1): 247-251. DOI: 10.1002/lary.26101.
- [43] THOTTAM P J, GOVIL N, DUVVURI U, et al. Transoral robotic surgery for sleep apnea in children: is it effective [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2015, 79 (12): 2234-2237. DOI: 10.1016/j.ijporl.2015.10.010.
- [44] TAN L, HOLLAND S K, DESHPANDE A K, et al. A semi-supervised Support Vector Machine model for predicting the language outcomes following cochlear implantation based on pre-implant brain fMRI imaging [J]. *Brain Behav*, 2015, 5 (12): e00391. DOI: 10.1002/brb3.391.
- [45] RAHBAR R, FERRARI L R, BORER J G, et al. Robotic surgery in the pediatric airway: application and safety [J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 2007, 133 (1): 46-50; discussion 50. DOI: 10.1001/archotol.133.1.46.
- [46] PETRONE P, BIROCCHI E, MIANI C, et al. Diagnostic and surgical innovations in otolaryngology for adult and paediatric patients during the COVID-19 era [J]. *Acta Otorhinolaryngol Ital*, 2022, 42 (Suppl. 1): S46-S57. DOI: 10.14639/0392-100X-suppl.1-42-2022-05.
- [47] EZZIBDEH R, MUNJAL T, AHMAD I, et al. Artificial intelligence and tele-otoscopy: a window into the future of pediatric otology [J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2022, 160: 111229. DOI: 10.1016/j.ijporl.2022.111229.
- [48] BLEBEA C M, UJVARY L P, NECULA V, et al. Current concepts and future trends in increasing the benefits of cochlear implantation: a narrative review [J]. *Medicina*, 2022, 58 (6): 747. DOI: 10.3390/medicina58060747.
- [49] ESHRAGHI A A, NAZARIAN R, TELISCHI F F, et al. The cochlear implant: historical aspects and future prospects [J]. *Anat Rec*, 2012, 295 (11): 1967-1980. DOI: 10.1002/ar.22580.
- [50] TESSLER I, GECEL N A, GLICKSBERG B S, et al. A five-decade text mining analysis of cochlear implant research: where we started and where we are heading [J]. *Medicina*, 2023, 59 (11): 1891. DOI: 10.3390/medicina59111891.
- [51] NGOMBU S, BINOL H, GURCAN M N, et al. Advances in artificial intelligence to diagnose otitis media: state of the art review [J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2023, 168 (4): 635-642. DOI: 10.1177/01945998221083502.
- [52] DUAN B, XU Z, PAN L, et al. Prediction of hearing prognosis of large vestibular aqueduct syndrome based on the PyTorch deep learning model [J]. *J Healthc Eng*, 2022, 2022: 4814577. DOI: 10.1155/2022/4814577.
- [53] SIMON F, NGUYEN Y, LOUNDON N, et al. Robot-assisted transcanal endoscopic ear surgery for congenital cholesteatoma [J]. *J Vis Exp*, 2023 (202). DOI: 10.3791/64861.
- [54] SZCZYKUTOWICZ T P. Invited commentary on "advanced CT techniques for decreasing radiation dose, reducing sedation requirements, and optimizing image quality in children" [J]. *Radiographics*, 2019, 39 (3): 727-728. DOI: 10.1148/rg.2019180211.
- [55] NAGAYAMA Y, ODA S, NAKAURA T, et al. Radiation dose reduction at pediatric CT: use of low tube voltage and iterative reconstruction [J]. *Radiographics*, 2018, 38 (5): 1421-1440. DOI: 10.1148/rg.2018180041.
- [56] MONTEVECCHI F, BELLINI C, MECCARIELLO G, et al. Transoral robotic-assisted tongue base resection in pediatric obstructive sleep apnea syndrome: case presentation, clinical

- and technical consideration [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2017, 274 (2): 1161-1166. DOI: 10.1007/s00405-016-4269-x.
- [57] KONUTHULA N, PARIKH S R, BLY R A. Robotics in pediatric otolaryngology-head and neck surgery and advanced surgical planning [J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2020, 53 (6): 1005-1016. DOI: 10.1016/j.otc.2020.07.011.
- [58] MARCUS C L, BROOKS L J, DRAPER K A, et al. Diagnosis and management of childhood obstructive sleep apnea syndrome [J]. *Pediatrics*, 2012, 130 (3): 576-584. DOI: 10.1542/peds.2012-1671.
- [59] TAN H L, GOZAL D, KHEIRANDISH-GOZAL L. Obstructive sleep apnea in children: a critical update [J]. *Nat Sci Sleep*, 2013, 5: 109-123. DOI: 10.2147/NSS.S51907.
- [60] HOCKSTEIN N G, O'MALLEY B W, Jr, WEINSTEIN G S. Assessment of intraoperative safety in transoral robotic surgery [J]. *Laryngoscope*, 2006, 116 (2): 165-168. DOI: 10.1097/01.mlg.0000199899.00479.75.
- [61] VICINI C, DALLAN I, CANZI P, et al. Transoral robotic surgery of the tongue base in obstructive sleep Apnea-Hypopnea syndrome: anatomic considerations and clinical experience [J]. *Head Neck*, 2012, 34 (1): 15-22. DOI: 10.1002/hed.21691.
- [62] MEHTA D, DUVVURI U. Robotic surgery in pediatric otolaryngology: emerging trends [J]. *Laryngoscope*, 2012, 122 (Suppl 4): S105-S106. DOI: 10.1002/lary.23806.
- (责任编辑: 洪悦民)

