

人工智能在儿童支气管哮喘诊治与管理中的应用进展

谭红¹, 周雪花², 吴华杰², 王敏², 周晗², 苏慧³, 孙新²

1. 西安医学院研究生工作部, 陕西 西安 710068; 2. 空军军医大学西京医院儿科; 3. 空军军医大学西京医院老年病二科

摘要: 人工智能作为一种可以辅助甚至是替代人类某些功能的新型技术, 其在疾病诊断、治疗和管理中的应用, 对于提高疾病诊断的准确率、实现个体化治疗和管理均有很大作用。支气管哮喘是最常见的气道慢性炎症性疾病之一, 其诊断、治疗和管理与监测方面一直备受关注。人工智能可通过表示学习、机器学习、深度学习和自然语言处理等技术收集并分析大量的文字、图像和听觉数据, 建立复杂、非线性的关系, 以此构建模型, 来协助医生对支气管哮喘进行识别、治疗和管理。本文主要从支气管哮喘的诊断分型、治疗和管理与监测角度论述了人工智能在儿童支气管哮喘中的应用及研究进展, 并简要分析各种智能辅助方法的优势和局限性。

关键词: 支气管哮喘; 人工智能; 诊断; 管理

中图分类号: R562.25 文献标识码: A 文章编号: 1008-6579(2025)05-0529-04 doi:10.11852/zgetbjzz2024-1284

Application of artificial intelligence in the diagnosis and management of bronchial asthma in children

TAN Hong¹, ZHOU Xuehua², WU Huajie², WANG Min², ZHOU Han², SU Hui³, SUN Xin²

1. Department of Postgraduate Studies, Xi'an Medical University, Xi'an, Shaanxi 710068, China;

2. Department of Pediatrics, Xijing Hospital, Air Force Medical University;

3. Department of Geriatrics, Xijing Hospital, Air Force Medical University

Corresponding author: SUN Xin, E-mail: sunxin6@fmmu.edu.cn

Abstract: Artificial intelligence (AI), as an emerging technology capable of augmenting or even replacing certain human functions, has significant potential in enhancing the accuracy of disease diagnosis, enabling personalized treatment, and improving disease management. Bronchial asthma, one of the most prevalent chronic inflammatory airway diseases, has long been a focus in terms of its diagnosis, treatment, and management. AI can utilize techniques such as representation learning, machine learning, deep learning, and natural language processing to collect and analyze vast amounts of textual, visual, and auditory data. By establishing complex, non-linear relationships, AI can construct models to assist physicians in the identification, treatment, and management of bronchial asthma. This paper primarily discusses the application and research progress of AI in pediatric bronchial asthma from the perspectives of diagnostic classification, treatment, and management and monitoring. Additionally, it briefly analyzes the advantages and limitations of various intelligent assistance methods.

Keywords: bronchial asthma; artificial intelligence; diagnosis; management

支气管哮喘(bronchial asthma, 以下简称哮喘)是一种以慢性气道炎症和气道高反应性为特征的异质性疾病, 全球约有 3 亿人罹患哮喘^[1-2]。随着我国工业化的发展, 20 岁及以上成人哮喘患病率高达 4.2%^[3]。哮喘是一种高异质性疾病, 临床漏诊和过度诊断现象较为普遍^[4]。城市 14 岁以下儿童哮喘累积患病率高达 3.02%, 近 20 年内, 儿童哮喘患病率以每 10 年增加 50% 以上的幅度上升^[5]。在哮喘

管理方面, 一些儿童的哮喘症状控制不理想, 家长对哮喘急性发作的风险了解不够充分。在所有哮喘儿童中, 使用吸入性激素的比例仅为 58.7%, 使用支气管舒张剂的比例仅为 71.4%^[6]。由此可见, 哮喘的诊断、治疗和管理仍有很大的进步空间, 迫切需要一种新的手段来改变这一局面。

人工智能(artificial intelligence, AI)是使机器智能化, 并能以类似于人类的方式来处理、学习和响

基金项目: 陕西省技术创新引导专项(S2022-YD-QFY-0063); 西安市科技局医学研究一般项目(24YXYJ0145)

作者简介: 谭红(1998—), 女, 硕士在读, 主要研究方向为儿童呼吸系统疾病、过敏性疾病。

通信作者: 孙新, E-mail: sunxin6@fmmu.edu.cn

应从数据中获得的信息。相较于人类智能, AI 的优势在于它可以在短时间内整合大量数据, 自动提取其中有价值的信息, 学习“输入”与“输出”之间的内在关系, 并将其转化为相应的模型。为了提高哮喘诊断的精确度, 加强哮喘管理力度, 降低哮喘急性发作的频率, 许多研究团队基于 AI 技术开发了用于哮喘诊疗和管理的模型。本文现从哮喘的诊断分型、治疗和管理与监测方面, 就 AI 技术在儿童哮喘中的应用及研究进展进行综述, 分析各种智能辅助方法的优势和局限性, 旨在为研究团队开发辅助诊疗和管理哮喘的 AI 技术提供一定参考。

1 AI 在哮喘诊断分型中的应用

1.1 基于临床症状的 AI 目前 AI 在哮喘的诊断中已经得到了广泛应用, 不同研究者基于 AI 技术开发出的模型用于诊断哮喘时的效率各不相同。有研究者开发出一款可以收集哮喘患者清醒和睡眠时间段咳嗽频率的智能手机应用程序, 并且认为该款程序可能是在临床环境中客观监测咳嗽的一种新方案^[7]。Porter 等^[8]从真实临床环境中收集 29d~12 岁儿童的咳嗽音, 采用时延神经网络(time delay neural network, TDNN)分析咳嗽音的特征, 开发出一款基于咳嗽音分析的包括哮喘在内的呼吸系统疾病辅助诊断算法, 并对该算法的准确性进行了验证, 结果显示该算法在哮喘诊断上与儿科医生具有高度一致性(阳性预测符合率为 97%、阴性预测符合率为 91%)。同样的, Balamurali 等^[9]利用双向长短期记忆网络开发出一种区分儿童生理性咳嗽和病理性咳嗽的模型, 经过训练后, 结果显示该模型在区分生理性咳嗽和病理性咳嗽时的准确率为 84%, 在区分三种病理性咳嗽(哮喘、上呼吸道感染和下呼吸道感染)时的准确率为 91%。机器学习可基于电子病历信息来识别儿童哮喘等慢性咳嗽疾病, 可以模拟人类思维, 通过提取电子病历信息中与哮喘有关的特征来诊断哮喘, 并且准确率和精确率均较高^[10]。

通过分析咳嗽音和电子病历信息诊断哮喘, 不仅操作简单、成本低廉, 可以应用于医疗资源相对缺乏的地区。但这些算法均有一定的局限性, 基于咳嗽音的算法局限性在于: 咳嗽音的采集需要持续录音, 而医疗机构的患者较多, 尤其是儿童的依从性差, 难以实现。基于电子病历信息的算法局限性在于: 不仅需要庞大的信息储存和数据分析的仪器, 还需要同时擅长信息挖掘技术和哮喘诊断技术的复合型人才, 以便于对各种信息进行筛选。

1.2 基于哮喘体征的 AI 肺部出现哮鸣音是哮喘患者气流受限的主要表现。AI 能高效并快速区分儿童哮喘患者的正常和异常呼吸音, 并且有很大潜

力被患者在家中使用^[11]。深度学习可以采用深度神经网络来模拟人脑的决策和分析能力, 自动提取事物的特征。Rietveld 等^[12]收集了 50 例急性发作期和临床缓解期的哮喘儿童以及 10 名健康儿童的呼吸音, 随机选取呼吸周期, 计算出傅里叶功率谱, 比较人工神经网络和人类检验员分辨光谱向量的准确率, 发现人工神经网络的准确率达 95%, 远远超过了人类检验员的准确率。Enseki 等^[13]也发现呼吸音分析在婴幼儿气道监测和支气管可逆性诊断中具有使用价值。尽管深度学习在辅助医生对呼吸音的听诊上发挥了作用, 但一项研究使用医学人工智能评估清单评估了 82 项基于深度学习开发的儿童哮喘智能辅助听诊模型的质量, 得分均为差至中等^[14], 因此, 深度模型在哮喘呼吸音识别和分析方面还需要进一步优化。此外, 机器学习与一种以自供电传感器为关键部位的智能口罩结合起来在区分健康和哮喘人群上的准确率高达 95.55%^[15]。

基于呼吸音诊断哮喘的 AI 辅助工具的开发和应用, 可以辅助非呼吸科医生或非专业技术人员诊断哮喘, 对于降低儿童哮喘漏诊、误诊和快速识别急性发作等均有一定作用。但是应进一步扩大样本量, 同时应进行真实的临床实验来进一步优化模型, 以提高大众对此类智能辅助工具的认可度。

1.3 基于哮喘辅助检查的 AI 肺功能检测是评估哮喘控制情况和病情严重程度的重要依据之一。有研究证实, 在解读肺功能检测报告时, AI 与呼吸科医生联合解读的正确率明显高于单独呼吸科医生和单独 AI 解读的正确率^[16]。张晓波团队运用目标光学字符识别结合自然语言处理技术, 对以图片形式存储的肺功能报告进行解析和结构化转换, 成功构建出肺功能报告数据库, 同时依据哮喘的诊断原则, 开发出肺功能辅助诊断系统, 并对数据库和系统进行准确性评价, 结果显示, 该数据库的数据提取准确性达到 100%, 肺功能辅助诊断系统的准确性达到 91.5%^[17]。此外, 有研究证明采用人工神经网络开发的模型可根据患者的二氧化碳波形来预测其第一秒用力呼气容积水平^[18], 该模型的应用可在不依赖患者配合的情况下评估患者的气道阻塞水平, 在危重症或昏迷病人中具有有良好的应用前景。

基于肺功能、二氧化碳波形等数据开发出的哮喘诊断模型, 可以在没有专业技师的情况下诊断哮喘, 提高结果判读的准确性, 减少人为误差, 对于推动基层医院的发展有一定作用, 经优化后有望在基层医院中推广。但是也存在一定的局限性: 这些算法模型只是对哮喘的初步诊断, 还需要进一步确定这类算法是否可以用来进行哮喘分型, 且肺功能检测仪器的性能也会对结果的准确性产生影响。

2 AI 在哮喘治疗中的应用

糖皮质激素、支气管扩张剂是哮喘治疗最常用的药物,有研究证实 AI 对于减少儿童哮喘患者抗生素及全身糖皮质激素滥用方面有重要的临床价值^[19]。哮喘表型的划分对于精准治疗有很大帮助, Ross 等^[20]开发出一种机器学习模型,基于儿童哮喘患者对不同哮喘控制药物的反应来识别哮喘表型,最终确定了过敏性肥胖哮喘、过敏性非肥胖哮喘、肥胖非过敏性哮喘和非过敏性非肥胖哮喘 4 种完全独立的哮喘表型,该模型在短期和长期哮喘控制预测方面的表现明显优于传统的机器学习算法。有研究者使用无监督的多视图学习方法发现哮喘表型、肺功能水平和基线嗜酸性粒细胞水平等因素与患者对糖皮质激素的临床应答相关^[21]。该类模型的开发为临床医生在是否使用全身性糖皮质激素的选择上提供了理论依据,从而减轻了儿童哮喘患者因长期使用全身性糖皮质激素而可能产生的负面影响。过敏原特异性免疫治疗 (allergen immunotherapy, AIT) 是治疗儿童呼吸系统过敏性疾病的重要方式,但存在治疗时间长、费用较高、疗效因人而异的局限性。有研究者基于机器学习提出了一种关于儿童哮喘 AIT 的疗效预测模型,该模型在预测儿童 AIT 疗效方面的准确率为 87.18%,灵敏度为 93.55%,还发现嗜碱性粒细胞计数、sIgE/tIgE(Der p) 和 sIgE/tIgE(Der f) 在疗效预测中发挥着关键作用^[22]。此外, Inselman 等^[23]通过研究表明弹性网络逻辑回归、随机森林和梯度提升机器均可在预测停止哮喘生物制剂后哮喘恶化的风险方面发挥作用,并且梯度提升机器模型的效率最高 (AUC 为 0.74)。

AI 在哮喘治疗方面的应用,不仅可以减少医疗资源的浪费,为医生在选择这两类药物时提供更多的现实依据;还在一定程度上提高了患者的用药依从性,减轻了患者的心理负担和经济压力。但是,这些算法模型是基于患者某一时刻或某一阶段某种单一的辅助检查结果给出的治疗建议,并未达到时间和空间跨越,因此,此类方法需要进一步完善。

3 AI 在哮喘管理与监测中的应用

哮喘管理是一个医生和患者双方长期交流的过程。鉴于此,众多研究者开发出了用于哮喘管理与监测的智能辅助工具。机器学习在哮喘等慢性疾病的管理方面具有良好的应用前景。Khasha 等^[24]利用机器学习开发了一项集成算法,准确率达到了 91.66%。除此之外,机器学习也可与家用听诊器和电子病历信息结合起来预测哮喘儿童的哮喘急性发作^[25-26]。但是, Anne 等^[27]比较了基于机器学习开

发出的模型和 Logistic 回归模型在儿童哮喘患者家庭管理中的应用性能,结果发现 Logistic 回归模型的表现更优 (AUC 为 0.88),并且认为机器学习模型提供的风险预测较为极端。此外,有研究表明多层感知器 (一种深度学习方法) 在预测重症哮喘患者住院率方面的灵敏度和特异度优于机器学习^[28]。由此可见,基于机器学习开发出的哮喘管理工具尚需更多的样本进行验证。上海的一项横断面研究表明较少的绿地暴露与儿童哮喘患病率降低有关^[29]。Hwang 等^[30]采用循环神经网络和长短时记忆网络开发的模型,基于空气污染物、天气变化、花粉浓度等信息来预测急诊和门诊儿童哮喘患者的数量,结果表明长短时记忆网络预测急诊和门诊儿童哮喘患者人数的 R^2 值分别为 0.650 和 0.723。同样, Li 等^[31]也利用机器学习发现了丙烯酸、亚乙基二氯等空气毒物与儿童哮喘患者的每日控制药物使用、急诊就诊和住院治疗相关。此外,有研究者通过深度学习发现接触树木可能会降低儿童哮喘的患病率,而接触草可能会增加儿童哮喘的患病率^[32]。这类模型的开发与利用,一方面可以帮助哮喘患者根据环境信息对自身哮喘急性发作的风险有直观认识,减少雷暴哮喘患者去医院就诊的频率;另一方面,该模型对每日急诊和门诊哮喘患者数量的预测,可以优化医院的管理,在恶劣天气发生时适当增加出诊医生人数,减少医患比例失调带来的不良影响,提高患者的就诊体验。

综上, AI 可以处理大量的数据,并且在短时间内提取出相应的特征,对哮喘的诊断、治疗和管理提出意见,对实现精准化、个性化治疗,缩短患者就诊时间,减轻疾病负担等均有作用,因此 AI 在辅助儿童哮喘的诊治与管理方面有极大的发展潜力。尽管大部分研究都证实将 AI 应用于儿童哮喘中的准确性、有效性高,但是其在临床实际应用中仍存在一些问題,如 AI 与医学复合型人才的缺乏、隐私伦理问题、法律法规不完善以及设备造价高等问题,尚有待进一步优化。

参考文献

- [1] Vianello A, Caminati M, Andretta M, et al. Prevalence of severe asthma according to the drug regulatory agency perspective: An Italian experience[J]. World Allergy Organ J, 2019, 12(4): 100032.
- [2] Reddel HK, Bacharier LB, Bateman ED, et al. Global initiative for asthma strategy 2021: Executive summary and rationale for key changes[J]. Eur Respir J, 2021, 59(1): 2102730.
- [3] Huang K, Yang T, Xu J, et al. Prevalence, risk factors, and management of asthma in China: A national cross-sectional study[J]. Lancet, 2019, 394(10196): 407-418.
- [4] Shaw D, Green R, Berry M, et al. A cross-sectional study

- of patterns of airway dysfunction, symptoms and morbidity in primary care asthma[J]. *Prim Care Respir J*, 2012, 21(3):283-287.
- [5] 刘传合, 陈育志. 儿童哮喘流行病学及防治现状分析[J]. *中国实用儿科杂志*, 2013, 28(11):809-811.
- Liu CH, Chen YZ. Analysis of the epidemiology, prevention and treatment of childhood asthma[J]. *Chin J Pract Pediatr*, 2013, 28(11):809-811. (in Chinese)
- [6] 全国儿科哮喘协作组, 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所. 第三次中国城市儿童哮喘流行病学调查[J]. *中华儿科杂志*, 2013, 51(10):729-735.
- The National Cooperative Group on Childhood Asthma, Institute of Environmental Health and Related Product Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention. Third nationwide survey of childhood asthma in urban areas of China[J]. *Chin J Pediatr*, 2013, 51(10):729-735. (in Chinese)
- [7] Shim J, Kim B, Kim S, et al. A smartphone-based application for cough counting in patients with acute asthma exacerbation[J]. *J Thorac Dis*, 2023, 15(7):4053-4065.
- [8] Porter P, Abeyratne U, Swarnkar V, et al. A prospective multicentre study testing the diagnostic accuracy of an automated cough sound centred analytic system for the identification of common respiratory disorders in children[J]. *Respir Res*, 2019, 20(1):81.
- [9] Balamurali BT, Hee HI, Kapoor S, et al. Deep neural network-based respiratory pathology classification using cough sounds[J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(16):5555.
- [10] Wu C, Sleiman J, Fakhry B, et al. Novel machine learning identifies 5 asthma phenotypes using cluster analysis of real-world data[J]. *J Allergy Clin Immunol Pract*, 2024, 12(8):2084-2091.
- [11] Hafke-Dys H, Kuźnar-Kamińska B, Grzywalski T, et al. Artificial intelligence approach to the monitoring of respiratory sounds in asthmatic patients[J]. *Front Physiol*, 2021, 12:745635.
- [12] Rietveld S, Oud M, Dooijes EH. Classification of asthmatic breath sounds; Preliminary results of the classifying capacity of human examiners versus artificial neural networks[J]. *Comput Biomed Res*, 1999, 32(5):440-448.
- [13] Enseki M, Nukaga M, Tabata H, et al. A clinical method for detecting bronchial reversibility using a breath sound spectrum analysis in infants[J]. *Respir Investig*, 2017, 55(3):219-228.
- [14] Ruchonnet-Métraiiller I, Siebert JN, Hartley M, et al. Automated interpretation of lung sounds by deep learning in children with asthma: Scoping review and strengths, weaknesses, opportunities, and threats analysis[J]. *J Med Internet Res*, 2024, 26:e53662.
- [15] Zhang K, Li Z, Zhang J, et al. Biodegradable smart face masks for machine learning-assisted chronic respiratory disease diagnosis[J]. *ACS sensors*, 2022, 7(10):3135-3143.
- [16] Das N, Happaerts S, Gyselinck I, et al. Collaboration between explainable artificial intelligence and pulmonologists improves the accuracy of pulmonary function test interpretation[J]. *Eur Respir J*, 2023, 61(5):2201720.
- [17] 傅唯佳, 汤梁峰, 叶成杰, 等. 运用人工智能技术进行肺功能数据库构建并辅助诊断实践[J]. *中国医疗器械信息*, 2022, 28(14):147-150.
- Fu WJ, Tang LF, Ye CJ, et al. Implementation of an artificial intelligence based clinical decision support system on historical pulmonary function reports[J]. *China Med Device Inf*, 2022, 28(14):147-150. (in Chinese)
- [18] Pertzov B, Ronen M, Rosengarten D, et al. Use of capnography for prediction of obstruction severity in non-intubated COPD and asthma patients[J]. *Respir Res*, 2021, 22(1):154.
- [19] Yu G, Li Z, Li S, et al. The role of artificial intelligence in identifying asthma in pediatric inpatient setting[J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(21):1367.
- [20] Ross MK, Yoon J, van der Schaar A, et al. Discovering pediatric asthma phenotypes on the basis of response to controller medication using machine learning[J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2018, 15(1):49-58.
- [21] Wu W, Bang S, Bleecker ER, et al. Multiview cluster analysis identifies variable corticosteroid response phenotypes in severe asthma[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(11):1358-1367.
- [22] Yao H, Wang L, Zhou X, et al. Predicting the therapeutic efficacy of AIT for asthma using clinical characteristics, serum allergen detection metrics, and machine learning techniques[J]. *Comput Biol Med*, 2023, 166:107544.
- [23] Inselman JW, Jeffery MM, Maddux JT, et al. A prediction model for asthma exacerbations after stopping asthma biologics[J]. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 2023, 130(3):305-311.
- [24] Khasha R, Sepehri MM, Mahdavi SA. An ensemble learning method for asthma control level detection with leveraging medical knowledge-based classifier and supervised learning[J]. *J Med Syst*, 2020, 43(6):158.
- [25] Jiao T, Schnitzer ME, Forget A, et al. Identifying asthma patients at high risk of exacerbation in a routine visit: A machine learning model[J]. *Respir Med*, 2022, 198:106866.
- [26] Emeryk A, Derom E, Janeczek K, et al. Home monitoring of asthma exacerbations in children and adults with use of an AI-aided stethoscope[J]. *Ann Fam Med*, 2023, 21(6):517-525.
- [27] de Hond AAH, Kant IMJ, Honkoop PJ, et al. Machine learning did not beat logistic regression in time series prediction for severe asthma exacerbations[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1):20363.
- [28] Lopez K, Li H, Lipkin-Moore Z, et al. Deep learning prediction of hospital readmissions for asthma and COPD[J]. *Respir Res*, 2023, 24(1):311.
- [29] Hu Y, Chen Y, Liu S, et al. Residential greenspace and childhood asthma: An intra-city study[J]. *Sci Total Environ*, 2023, 857(Pt 3):159792.
- [30] Hwang H, Jang J, Lee E, et al. Prediction of the number of asthma patients using environmental factors based on deep learning algorithms[J]. *Respir Res*, 2023, 24(1):302.
- [31] Li Y, Hsu HL, Chun Y, et al. Machine learning-driven identification of early-life air toxic combinations associated with childhood asthma outcomes[J]. *J Clin Invest*, 2021, 131(22):e152088.
- [32] Yu H, Zhou Y, Wang R, et al. Associations between trees and grass presence with childhood asthma prevalence using deep learning image segmentation and a novel green view index[J]. *Environ Pollut*, 2021, 286:117582.