

[儿童健康研究]

气候因素对儿童社区获得性肺炎影响的研究进展

陆玮芬^{1,2}, 刘 峰¹

(1. 南京医科大学附属儿童医院呼吸内科, 江苏 南京 210008; 2. 湖州市中心医院儿科, 浙江 湖州 313000)

[摘要] 社区获得性肺炎(CAP)是全球儿童群体中主要的呼吸道疾病之一, 气候变化被认为是影响其发病率和传播模式的重要因素。温度、湿度、降雨量、海拔等气候因素都可以通过对病原体存活、传播和人类行为及免疫等产生影响, 从而影响儿童肺炎的发病率及严重程度。在人为因素的驱动下, 当今气候千变万化, 公共卫生领域亟需关注气候因素对儿童呼吸道健康的影响, 并采取有效的干预措施以减少气候变化带来的健康负担。本综述总结了气候因素对儿童社区获得性肺炎的影响机制, 并提出了应对气候变化的公共卫生策略。

[关键词] 儿童; 社区获得性肺炎; 温度; 湿度; 降雨量; 海拔

Doi:10.3969/j.issn.1673-5293.2026.01.004

[中图分类号] R179

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-5293(2026)01-0025-06

Research progress on the effect of climatic factors on community-acquired pneumonia in children

LU Weifen^{1,2}, LIU Feng¹

(1. Department of Respiratory Medicine, Children's Hospital of Nanjing Medical University, Jiangsu Nanjing

210008, China; 2. Department of Pediatrics, Huzhou Central Hospital, Zhejiang Huzhou 313000, China)

[Abstract] Community-acquired pneumonia (CAP) is one of the major respiratory diseases among children worldwide. Climate change is considered an important factor influencing its incidence and transmission patterns. Climate factors such as temperature, humidity, rainfall amount, and altitude can affect the survival and transmission of pathogens, as well as human behavior and immunity, thereby influencing the incidence and severity of pneumonia in children. Driven by human factors, today's climate is highly variable. The public health sector urgently needs to pay attention to the impact of climate factors on children's respiratory health and take effective intervention measures to reduce the health burden caused by climate change. This review summarizes the mechanisms by which climate factors affect CAP in children and proposes public health strategies to address climate change.

[Key words] child; community-acquired pneumonia; temperature; humidity; rainfall amount; altitude

社区获得性肺炎(community-acquired pneumonia, CAP)目前仍是全球儿童群体最主要的呼吸道感染性疾病, 虽然随着社会经济、医疗水平的日益提升和儿童肺炎疫苗等的广泛应用, 儿童肺炎的发病率及严重程度有了大幅度的降低^[1], 但肺炎仍是5岁以下儿童感染性疾病的最主要死亡原因之一^[2]。儿童社区获得性肺炎的病原及病因复杂, 主要由病毒、细菌、不典型病原体等或其联合感染引起, 同时与儿童的免疫力、行为特点等因素亦密切相关。而近年的研究发现, 气候变化也是影响儿童社区获得性肺炎发病的重要因素之一, 气候因素包括温度、湿度、

降雨量、海拔、气压等, 尤其是在儿童群体中, 这些影响可能由于儿童的肺部发育不完全以及免疫系统的成熟等而显得更为突出。随着全球气候变化的加剧, 气候因素对儿童呼吸道感染的影响也变得更加复杂。

1 温度对儿童社区获得性肺炎的影响

1.1 日平均温度和最高温度

温度是各地对儿童社区获得性肺炎探究最多的气候因素之一, 已有巴西^[3]、坦桑尼亚^[4]、南非^[5]及我国^[6]等地专家的报道阐述: 低温环境显著增加了

[收稿日期] 2025-09-05

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(8227008)

[作者简介] 陆玮芬(1991—), 女, 主治医师, 主要从事儿科呼吸道感染疾病的诊治。

[通讯作者] 刘 峰, 主任医师、副教授。

儿童社区获得性肺炎的患病率且一定程度上延长了儿童肺炎的病程。其中,在温带气候区,这种影响会更加明显^[7]。马来西亚、巴西^[8]等地区学者亦有类似观点提出:冬季儿童社区获得性肺炎较其他季节发病率及死亡率显著增加。分析其可能原因,Pedder H 等^[5]认为可能与在低温条件下,细菌、病毒等的活性及复制能力、脱落率及传播率增高有关,例如儿童常见的呼吸道病毒感染有呼吸道合胞病毒、流感病毒、偏肺病毒、腺病毒等,低温条件下这些病毒感染性疾病的发病率显著升高。同时,低温可能会引起患儿局部或全身防御机制的损害,导致易感性增加。亦有报告分析指出,呼吸道吸入冷空气后,可诱导气道黏液分泌过多和纤毛超微结构异常^[9],另外,低温可兴奋交感神经,分泌儿茶酚胺等,使血管痉挛,血液黏稠度增加,同时致使肺部缺氧及血管收缩,造成肺部微循环障碍,病原体容易进入和滞留肺内,最终导致肺炎的发生及病程的迁延,同时使得白细胞吞噬作用减弱而使呼吸道防御最小化^[10],从而易得肺炎。

巴布亚新几内亚^[11]、孟加拉国^[12]、不丹^[13]等地区研究则提出日最高温度与儿童肺炎呈正相关,尤其沿海地区这种相关更加明显。我国也有类似的报道,高温对我国南方、亚热带季风气候区的居民呼吸道健康的影响更大,同时 18 岁以下儿童对高温的易感性更高^[14]。而突尼斯的一项研究发现,较高的环境温度下胸部 X 线上往往有更加广泛的病变范围,一定程度上表明较高的环境温度可加重肺炎的严重程度^[15]。这可能与部分病原体在温度升高时更有利于其生长和传播有关,例如早有文献报道的嗜肺军团菌^[16]、肺炎支原体^[17]等生长及传播皆需要温和的温度。另外,随着环境温度的升高,或损害宿主特异性细胞反应和抗体产生^[18],一定程度上削弱了儿童抵抗力而致病。学者 Feng 等^[19]比较了炎热的白天与炎热的夜晚对儿童肺炎住院的影响,对比发现炎热的夜晚可能更易导致患儿罹患肺炎,可能的解释有:炎热的夜晚往往伴随的是炎热的白天,日间的热应激在夜间还没有得到缓解,同时又接上了炎热的夜晚,而且,夜间没有日间阳光及紫外线的作用,使得病原体在炎热的夜间更加容易传播而导致肺炎。

综上发现,低温与高温皆可对儿童造成不良影响,学者 He^[20]等分析研究后提出“最佳环境温度”概

念,指出非最佳环境温度可增加各种传染性肺炎死亡的风险。Lam 等^[21]提出的观点类似:温暖合适的温度,对于所有年龄段的儿童皆有保护作用,环境温度与儿童肺炎入院率呈“U 型”关系,最低发病温度为 25℃。

综合分析低温与高温对儿童肺炎的不同影响的程度,我国兰州^[22]的一项研究发现,高温对呼吸道疾病的影响特点为急性、短期,而低温的影响则有较长的滞后期且影响时间更长久。整体而言,寒冷对呼吸道感染的影响比例高于炎热^[6]。由于儿童生理、代谢和行为特点等原因,相比较于成人,对冷热温度更加敏感,同时儿童的体温调节能力相对较弱,遂更易受到温度及温度变化的影响导致肺炎的发生,这种影响,幼龄儿童更加明显^[23]。还有可能的分析结合了家属和儿童的行为特点,温度过低或过高,都会减少儿童外出,使得儿童更多时间待在室内,同时,会更多的关闭门窗或开启空调、燃烧燃料取暖等,减少了暴露于阳光的机会的同时使得室内空气中病原体浓度升高,同时空气及室内人员的不流通,增加了儿童接触病原体的机会导致患病率增高^[24];而燃料取暖,可因增加室内空气污染,增强辅助型 T 细胞 2 (T helper 2 cells, Th2 cells)、辅助型 T 细胞 17 (T helper 17 cell, Th17 cells)等适应性免疫应答,使得机体抗微生物免疫失调而易患呼吸道疾病^[25]。而环境温度的过高或过低,必然使得室内室外温度差别大,儿童进出过程中可能经历骤冷骤热,儿童体温调节本就较成人弱,易使得温度调节的紊乱,同时,儿童自身及时增添或减少衣物的意识弱,易使得免疫力下降而易患肺炎^[26]。

1.2 每日温差与每两日温差

每日温差,即每天最高温度与最低温度间的差值。人体能很好的适应外界温度的变化,但仅限小温差的变化,对于突然、剧烈的温度变化可能无法立即适应,儿童尤甚。我国的一项全国性的时间序列研究提出,短时间(0~6 天)的暴露下,日温差每升高 1℃,对应肺炎入院率可增加 0.65%^[27],其中,女童及 4 岁以下儿童影响更加明显。分析每日温差对儿童肺炎患病率的影响,可能的原因有:温度的突发、剧烈变化可以引起呼吸道上皮的病理生理反应,例如气道痉挛和炎症变化等,增加呼吸道的工作负荷,

同时改变免疫系统抵抗感染的能力等^[28]。还有 Zheng 等^[29]研究发现在妊娠期间暴露的昼夜温度差越高,出生后的儿童肺炎患病率越高,尤其是妊娠前期及中期的暴露,可能与胎儿肺部发育始于妊娠第 4 周,气道分支形态的发生在妊娠前两个月内有关,此外,暴露在不同的昼夜温度差中将不同程度影响胎儿肺部发育,可能会诱发患儿日后呼吸道疾病感染风险,例如儿童肺炎、哮喘等。

每两日温差,即两天间的温度差别。巴西学者^[30]提出,这种温度变化越大,儿童肺炎住院风险就越大,除温度对免疫、病原等影响外,可能与行为因素密切相关,温度变化使得大部分人没有做好温度适应的准备。韩国学者^[31]研究了两日之间由冷到暖 and 由暖到冷的变化对儿童肺炎的影响,发现由冷到暖的变化显著增加了儿童肺炎感染的风险,分析原因可能与由冷到暖的过程儿童更容易松解衣物,增加室外活动却难控制程度等导致。

2 湿度和降雨量对儿童社区获得性肺炎的影响

湿度和降雨量一般可同时用于观察研究,降雨量的增多势必使得环境湿度的增加,对儿童肺炎也有着显著的影响。坦桑尼亚^[4]、巴布亚新几内亚^[11]、孟加拉国^[12]、不丹^[13]等国的研究发现高湿度和儿童肺炎患病率的升高呈正相关。一方面,降雨量的增加使得环境湿度增高,气溶胶中细菌存活率和病毒稳定性增加,例如呼吸道合胞病毒^[32]、肺炎球菌^[20]、嗜肺军团菌^[16]等;另一方面,湿度可以影响黏液的流变学特性,改变其渗透压,从而改变黏液纤毛的清除率,促进病原体的植入,增加对病原体的易感性^[34];此外,降雨的增多使得儿童更多待在室内,拥挤程度和病原暴露机会增加易导致肺炎^[24]。且降水的过多,即洪涝,洪水泛滥导致河道的扩张,水流速度的增快,地表层破坏,环境中的水浑浊且携带大量病原体,所以接触洪涝的孩子更加容易罹患呼吸道的感染^[35],5 岁以下儿童显著。

印度^[36]的研究则提出了湿度的降低明显增加了肺炎的发病率。分析其可能的原因是暴露于干燥的环境,导致上皮细胞损伤等受损和黏蛋白产生增加^[37],削弱呼吸道防御的机制,同时干燥的环境使飞沫在空气中停留更长的时间^[6],大大增加了儿童与

病原接触的机会,且干燥的环境可以增加大气污染物附着而损伤呼吸道及儿童免疫力,更易导致儿童肺炎的发生^[38]。

总结了高湿度与低湿度环境后,Lam 等^[21]再次提出了相对湿度与儿童肺炎入院率呈“U 型”相关,研究发现相对湿度为 65% 时风险最低,且高湿度环境比低湿度环境对儿童肺炎的影响更大。另外,He 等^[39]还提出一些社会因素的分析,部分地区尤其是农村贫困地区,干旱及洪涝皆有可能影响粮食安全,尤其是如果洪涝或干旱发生在粮食种植或收获期,温饱的无法保证导致了儿童营养不良而损害宿主免疫力,增加对感染性疾病的易感性,肺炎首当其冲。

3 海拔对儿童社区获得性肺炎的影响

高海拔,往往意味着气压低、大气氧含量低、温度低、温差大^[40]、湿度低、紫外线照射强^[41]等,且不同海拔地区的经济及卫生条件差别,引出了儿童不同的营养模式、免疫覆盖率、暴露于室内外的空气污染、微生物流行病学及疾病的遗传风险等,综合以上因素,Moschovis 等^[42]的一项多国研究发现高海拔地区肺炎患病率比低海拔地区更高,同时,高海拔地区儿童肺炎更容易因低氧血症而使肺炎恢复期延长。值得注意的是,高海拔地区因低氧环境使得呼吸频率基线升高,肺炎的严重程度评估会有偏差,需综合考虑。Wang 等^[43]进一步证实与低海拔地区相比,高海拔地区病毒的潜伏期、PCR 阳性持续时间均有不同程度的延长,使得肺炎的患病率增加及病程延长。另外,Zubieta 等^[44]提出高海拔氧气运输生理学:受感染的肺部无法进行合适的气体交换,病毒对肺泡血管膜的直接攻击导致逐渐增加的缺氧,而同时高海拔本身稀薄的氧气浓度可进一步加重肺炎。此外,高海拔地区的环境因素,可以过度刺激先天免疫系统并影响适应性免疫,特别是发展和保持免疫耐受方面,长期的过度刺激会使儿童免疫耐受的丧失而易患病^[45]。

高海拔的强紫外线辐射通过季节变化、地理位置及臭氧层变化等对人体健康产生影响。适量的紫外线照射可以帮助合成维生素 D,对免疫系统有正面作用,还有助于抑制某些病原微生物的生长,作为一种自然消毒^[46],有利于维持健康的肺部微生态。然而,过高的紫外线辐射则可能打破这种平衡,导致微

生物群落的失衡,从而增加儿童肺部感染的风险。

高海拔与儿童社区获得性肺炎的相关性,同时会掺杂人文因素在内,世界上大部分高海拔地区的经济相对不发达^[47],易伴随儿童出生体重低、缺乏母乳喂养、营养不良、卫生条件差、免疫接种不完全^[13]以及教育水平偏低、医疗资源的相对缺乏^[48]等,这些都可能是导致高海拔地区儿童社区活动性肺炎患病率高或病情偏重的原因。

4 公共卫生建议策略

理解气候变化对儿童社区获得性肺炎的影响,以便及时制定相应的公共卫生策略。公共卫生部门可以建立和完善监测系统,将气候变化指标(如高温天数、极端天气事件频率、过敏原浓度等)与儿童健康数据(如肺炎就诊及住院率、哮喘发病率等)关联起来,建立专门针对儿童的预警阈值和响应机制,如学校停课、户外活动限制等。

适时适当加大儿科医疗投入,保证医疗设备及药物的储备,医疗系统加强气候学习,使其能够识别、诊断和治疗与气候变化相关的健康问题,面对特殊气候变化,制定针对儿童的应急医疗预案。同时重点提高儿童整体免疫水平,例如全面婚前孕前检查,孕期定期产检,产检时医生及时给予孕期指导意见,鼓励顺产,优生优育;提倡母乳喂养,给予幼儿免疫支持;引导儿童及时接种疫苗,加强营养评估;注意个人卫生,勤洗手;适时适量增加户外活动及体育运动等,增强儿童体质,提高儿童对疾病的免疫能力及对于天气变化的应对能力;加强医学知识及常识的普及,保持儿童心情愉悦,做到“未病先防,既病防变,瘥后防复”。

公共卫生部门应大力倡导环境的保护,同时在制定城市规划、交通、能源、教育、环境政策时积极发声,确保儿童健康被充分纳入考量,如学校选址远离污染源和洪泛区,增加绿地和公园,加强水质、公共环境等的监测,尤其是儿童多聚集的地方及时消杀;此外,在异常天气变化发生时,保证水、电、食物等供应,如有极端天气造成部分地区粮食灾害等问题时及时给予支持和帮助等,努力让气候变化对儿童健康的影响最小化。

5 总结与展望

气候因素对儿童社区获得性肺炎的发生、传播、

人体的免疫反应、肺部微生态以及人群的行为选择都有重要影响,且往往同时存在多种气候因素共同影响,不止局限于以上所述温度、湿度、海拔等这些气候因素,例如风速与风型^[49]、日照时间、洋流等因素,皆可影响儿童社区获得性肺炎的患病率及严重程度。同时,气候的变化中还存在有很多人为驱动的因素,例如化石燃料的燃烧产生温室气体和污染物的排放,随之而来的温度、降水和极端天气的变化^[50]。因此,只有大家共同努力,才可以真正有效减少儿童社区获得性肺炎的发生,希望每一个孩子都健康、快乐的成长。

[参考文献]

- [1]Le Roux D M, Zar H J. Community-acquired pneumonia in children-a changing spectrum of disease[J]. *Pediatr Radiol*, 2017, 47(11):1392-1398.
- [2]Perin J, Mulick A, Yeung D, et al. Global, regional, and national causes of under-5 mortality in 2000-19; an updated systematic analysis with implications for the sustainable development goals[J]. *Lancet Child Adolesc Health*, 2022, 6(2):106-115.
- [3]Nascimento L F C, César A C G, Carvalho Junior J A. Ambient temperature and hospitalizations of children due to respiratory diseases in cuiabá-mt, brazil[J]. *Cien Saude Colet*, 2025, 30(1):e19972022.
- [4]Miyayo S F, Owili P O, Muga M A, et al. Analysis of pneumonia occurrence in relation to climate change in Tanga, Tanzania[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(9):4731.
- [5]Pedder H, Kapwata T, Howard G, et al. Lagged association between climate variables and hospital admissions for pneumonia in South Africa[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(12):6191.
- [6]Fang J, Song J, Wu R, et al. Association between ambient temperature and childhood respiratory hospital visits in Beijing, China: a time-series study (2013-2017)[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2021, 28(23):29445-29454.
- [7]Makrufardi F, Triasih R, Nurnaningsih N, et al. Extreme temperatures increase the risk of pediatric pneumonia: a systematic review and meta-analysis[J]. *Front Pediatr*, 2024, 12:1329918.
- [8]Nick L M, Nedel A S, Alonso M F, et al. Relationship between meteorological variables and pneumonia in chil-

- dren in the metropolitan region of Porto Alegre, Brazil [J]. *Int J Biometeorol*, 2022, 66(11): 2301-2308.
- [9] D'Amato M, Molino A, Calabrese G, et al. The impact of cold on the respiratory tract and its consequences to respiratory health [J]. *Clin Transl Allergy*, 2018, 8: 20.
- [10] Hossain M Z, Tong S, Bambrick H, et al. Weather factors, PCV intervention and childhood pneumonia in rural Bangladesh [J]. *Int J Biometeorol*, 2020, 64(4): 561-569.
- [11] Kim J, Kim J H, Cheong H K, et al. Effect of climate factors on the childhood pneumonia in Papua New Guinea; a time-series analysis [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2016, 13(2): 213.
- [12] Hossain M Z, Tong S, Khan M A F, et al. Impact of climate variability on length of stay in hospital for childhood pneumonia in rural Bangladesh [J]. *Public Health*, 2020, 183: 69-75.
- [13] Wangdi K, Penjor K, Tsheten T, et al. Spatio-temporal patterns of childhood pneumonia in Bhutan; a bayesian analysis [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 20422.
- [14] Wang Y, Liu Y, Ye D, et al. High temperatures and emergency department visits in 18 sites with different climatic characteristics in China: risk assessment and attributable fraction identification [J]. *Environ Int*, 2020, 136: 105486.
- [15] Kwas H, Rangareddy H, Rajhi Sr H H, et al. Impact of outdoor air pollutants exposure on the severity and outcomes of community-acquired pneumonia in Gabes region, Tunisia [J]. *Cureus*, 2024, 16(8): e66578.
- [16] Pampaka D, Gómez-Barroso D, López-Perea N, et al. Meteorological conditions and Legionnaires' disease sporadic cases-a systematic review [J]. *Environ Res*, 2022, 214(Pt4): 114080.
- [17] 袁欣琦, 蒋凤碧, 卢瑞鸽, 等. 儿童急性肺炎支原体感染与气候变化相关性分析 [J]. *中国妇幼健康研究*, 2022, 33(1): 24-28.
- [18] 黄晶一, 朱威, 颜仕星, 等. 基于临床大数据分析探讨成人社区获得性肺炎与气象因素的相关性 [J]. *中国中医基础医学杂志*, 2018, 24(6): 782-784.
- [19] Feng Y, Xu Z, Hossain M Z, et al. Impact of hot and cold nights on pneumonia hospitalisations in children under five years; evidence from low-, middle-, and high-income countries [J]. *Environ Int*, 2024, 192: 109041.
- [20] He Q, Liu Y, Yin P, et al. Differentiating the impacts of ambient temperature on pneumonia mortality of various infectious causes: a nationwide, individual-level, case-crossover study [J]. *EBioMedicine*, 2023, 98: 104854.
- [21] Lam H C Y, Chan E Y Y, Goggins III W B. Short-Term association between meteorological factors and childhood pneumonia hospitalization in Hong Kong; a time-series study [J]. *Epidemiology*, 2019, 30: S107-S114.
- [22] Chai G, He H, Su Y, et al. Lag effect of air temperature on the incidence of respiratory diseases in Lanzhou, China [J]. *Int J Biometeorol*, 2020, 64(1): 83-93.
- [23] Xu Z, Etzel R A, Su H, et al. Impact of ambient temperature on children's health; a systematic review [J]. *Environ Res*, 2012, 117: 120-131.
- [24] Paynter S, Ware R S, Weinstein P, et al. Childhood pneumonia; a neglected, climate-sensitive disease? [J]. *Lancet*, 2010, 376(9755): 1804-1805.
- [25] Glencross D A, Ho T R, Camina N, et al. Air pollution and its effects on the immune system [J]. *Free Radic Biol Med*, 2020, 151: 56-68.
- [26] 梁敏仪, 张敏怡, 范顺昌, 等. 2016—2019 年深圳市龙华区气温与 14 岁及以下人群流感发病的关联研究 [J]. *环境与职业医学*, 2023, 40(12): 1431-1436.
- [27] Tian Y, Wu J, Liu H, et al. Ambient temperature variability and hospital admissions for pneumonia; a nationwide study [J]. *Sci Total Environ*, 2023, 856 (Pt2): 159294.
- [28] Xu Z, Hu W, Tong S. Temperature variability and childhood pneumonia; an ecological study [J]. *Environ Health*, 2014, 13(1): 51.
- [29] Zheng X, Kuang J, Lu C, et al. Preconceptional and prenatal exposure to diurnal temperature variation increases the risk of childhood pneumonia [J]. *BMC Pediatr*, 2021, 21(1): 192.
- [30] Souza A, Fernandes W A, Pavão H G, et al. Potential impacts of climate variability on respiratory morbidity in children, infants, and adults [J]. *J Bras Pneumol*, 2012, 38(6): 708-715.
- [31] Sohn S, Cho W, Kim J A, et al. "Pneumonia weather": short-term effects of meteorological factors on emergency room visits due to pneumonia in Seoul, Korea [J]. *J Prev Med Public Health*, 2019, 52(2): 82-91.
- [32] Li Y, Wang X, Broberg E K, et al. Seasonality of respiratory syncytial virus and its association with meteorological factors in 13 European countries, week 40 2010

- to week 39 2019 [J]. *Euro Surveill*, 2022, 27 (16): 2100619.
- [33]Cheliotis K S, Jewell C P, Solórzano C, et al. Influence of sex, season and environmental air quality on experimental human pneumococcal carriage acquisition: a retrospective cohort analysis [J]. *ERJ Open Res*, 2022, 8 (2):00586-2021.
- [34]Guarnieri G, Olivieri B, Senna G, et al. Relative humidity and its impact on the immune system and infections [J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(11):9456.
- [35]Phung D, Huang C, Rutherford S, et al. Association between annual river flood pulse and paediatric hospital admissions in the Mekong Delta area [J]. *Environ Res*, 2014, 135:212-220.
- [36]Singh N, Mall R K, Banerjee T, et al. Association between climate and infectious diseases among children in Varanasi city, India: a prospective cohort study [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 796:148769.
- [37]Moriyama M, Hugentobler W J, Iwasaki A. Seasonality of respiratory viral infections [J]. *Annu Rev Virol*, 2020, 7(1):83-101.
- [38]Rocque R J, Beaudoin C, Ndjaboue R, et al. Health effects of climate change: an overview of systematic reviews [J]. *BMJ open*, 2021, 11(6):e046333.
- [39]He Y, Liu W J, Jia N, et al. Viral respiratory infections in a rapidly changing climate: the need to prepare for the next pandemic [J]. *EBio Medicine*, 2023, 93:104593.
- [40]Arias-Reyes C, Zubieta-DeUrioste N, Poma-Machicao L, et al. Does the pathogenesis of SARS-CoV-2 virus decrease at high-altitude? [J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2020, 277:103443.
- [41]Li J J, Zhang H Q, Li P J, et al. Case series of COVID-19 patients from the Qinghai-Tibetan Plateau area in China [J]. *World J Clin Cases*, 2021, 9(24):7032-7042.
- [42]Moschovis P P, Banajeh S, MacLeod W B, et al. Childhood anemia at high altitude: risk factors for poor outcome in severe pneumonia [J]. *Pediatrics*, 2013, 132(5): e1156-62.
- [43]Wang B, Peng M, Yang L, et al. Clinical and immunological characteristics of patients with adenovirus infection at different altitude areas in Tibet, China [J]. *Front Cell Infect Microbiol*, 2021, 11:739429.
- [44]Zubieta-Calleja G, Zubieta-DeUrioste N, Venkatesh T, et al. COVID-19 and pneumolysis simulating extreme high-altitude exposure with altered oxygen transport physiology; multiple diseases, and scarce need of ventilators: andean condor's-eye-view [J]. *Rev Recent Clin Trials*, 2020, 15(4):347-359.
- [45]Skevaki C, Nadeau K C, Rothenberg M E, et al. Impact of climate change on immune responses and barrier defense [J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2024, 153(5):1194-1205.
- [46]Segovia-Juarez J, Castagnetto J M, Gonzales G F. High altitude reduces infection rate of COVID-19 but not case-fatality rate [J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2020, 281:103494.
- [47]Holthof N, Wipplinger F, Lienert J, et al. Point-of-care ultrasound diagnosis of community-acquired pneumonia in a high-altitude, resource-poor setting [J]. *Prehosp Emerg Care*, 2021, 25(6):839-843.
- [48]Zeng J, Peng S, Lei Y, et al. Clinical and imaging features of COVID-19 patients: analysis of data from high-altitude areas [J]. *J Infect*, 2020, 80(6):e34-e36.
- [49]Boura D, Spanakis M, Markakis G, et al. Exploring the relationship between wind patterns and hospital admissions due to respiratory symptoms in children [J]. *Children (Basel)*, 2024, 11(6):717.
- [50]Burbank A J. Risk factors for respiratory viral infections; a spotlight on climate change and air pollution [J]. *J Asthma Allergy*, 2023, 16:183-194.

[专业责任编辑:孙欣荣]

[中文编辑:刘昕田;英文编辑:梁金露]