

Nutr,2021,40(5):2898-2913.

[28] Wischmeyer P E, Carli F, Evans D C, et al. American society for enhanced recovery and perioperative quality initiative joint consensus statement on nutrition screening and therapy within a surgical enhanced recovery pathway[J]. Anesth Analg,2018,126(6):1883-1895.

[29] 黄子菁,王颖,朱丽,等.胃肠道肿瘤患者术前口服营养补充护理干预方案的构建及应用[J]. 护理学杂志,2023,38(9):1-5.

[30] Awasthi R, Minnella E M, Ferreira V, et al. Supervised exercise training with multimodal pre-habilitation leads to earlier functional recovery following colorectal cancer resection[J]. Acta Anaesthesiol Scand,2019,63(4):461-467.

[31] Chen B P, Awasthi R, Sweet S N, et al. Four-week prehabilitation program is sufficient to modify exercise behaviors and improve preoperative functional walking capacity in patients with colorectal cancer[J]. Support Care Cancer,2017,25(1):33-40.

[32] Thomas G, Tahir M R, Bongers B C, et al. Prehabilitation before major intra-abdominal cancer surgery: a systematic review of randomised controlled trials[J]. Eur J Anaesthesiol,2019,36(12):933-945.

[33] 丛明华,石汉平.中国恶性肿瘤患者运动治疗专家共识[J].中国科学:生命科学,2022,52(4):587-602.

[34] 陈军,李杨,范朝刚.术前预康复在腹部肿瘤病人中的应用探讨[J].肠外与肠内营养,2017,24(4):201-204.

(本文编辑 黄辉,吴红艳)

吸入装置电子监测设备在呼吸系统疾病患者中的应用进展

段吉隆,崔熾熾,丁小梅,马腾亲,常昊奇,田林

摘要:对吸入装置电子监测设备在呼吸系统疾病患者吸入药物管理中的应用进行综述,主要介绍吸入装置电子监测设备在呼吸系统疾病患者吸入药物管理中的功能、应用效果及挑战,以期为我国应用或开发相关的吸入装置电子监测设备提供参考。

关键词:吸入装置; 电子监测; 呼吸系统; 慢性阻塞性肺疾病; 哮喘; 药物吸入; 用药依从性; 用药护理

中图分类号:R473.5 **DOI:**10.3870/j.issn.1001-4152.2025.04.125

Application progress of electronic inhaler monitoring devices in patients with respiratory diseases

Duan Jilong, Cui Yanyan, Ding Xiaomei, Ma Tengqin, Chang Haoqi, Tian Lin. Department of Critical Care Medicine, The first affiliated hospital of Zhengzhou university, Zhengzhou 450003, China

Abstract: This paper reviews the application of electronic inhaler monitoring devices in the management of inhaled drugs in patients with respiratory diseases, and mainly introduces the functions, application effects and challenges of electronic inhaler monitoring devices in the management of inhaled drugs in patients with respiratory diseases, in order to provide reference for the application or development of related electronic inhaler monitoring devices in China.

Keywords:inhalation devices; electronic monitoring; respiratory system; chronic obstructive pulmonary disease; asthma; drug inhalation; medication compliance; medication care

吸入治疗直接作用于肺部,具有药物起效快、用药剂量小、不良反应少等优势,已成为 COPD 或哮喘等呼吸系统疾病患者的核心治疗方法^[1]。良好的用药依从性行为 and 正确的吸入器技术是成功将药物输送到肺部和外周气道的必要条件^[2]。然而,呼吸系统疾病患者的吸入技术掌握情况及用药依从性较差,研究显示,30%~70%的哮喘患者吸入用药依从性水平不足,14%~92%的哮喘或 COPD 患者不能正确使用吸入装置^[3]。吸入装置使用错误会影响递送药物

的有效性,从而导致呼吸系统疾病患者疾病控制欠佳^[4]。吸入装置电子监测设备(Electronic Inhaler Monitoring Devices, EIMDs)可通过内置传感器、外配移动应用程序等软硬件客观监测呼吸系统疾病患者使用吸入装置的依从性和吸入技术能力,为患者和医护人员提供客观数据反馈^[5-6]。研究指出,吸入装置电子监测设备通过对患者的用药依从性和吸入技术能力进行实时监测,有利于构建远程呼吸系统疾病吸入药物管理新模式,突破传统管理模式的局限,进一步规范患者吸入药物的应用^[7]。因此,本文对吸入装置电子监测设备在呼吸系统疾病患者药物管理中的应用进行综述,以期为我国后续开展吸入药物管理提供参考。

1 吸入装置电子监测设备概述

1.1 吸入装置电子监测设备功能发展 初始设计的吸入装置电子监测设备功能相对局限,仅具备提

作者单位:郑州大学第一附属医院重症医学部(河南 郑州, 450003)

通信作者:田林,jboshi007@163.com

段吉隆:男,硕士,护士,1219441903@qq.com

科研项目:郑州市科技局基础研究与应用基础研究(2024ZZJCY J053)

收稿:2024-09-06;修回:2024-11-16

供吸入用药启动的具体日期、时间及频次等客观性量化数据的功能^[8-9]。吸入装置电子监测设备问世已有 30 余年,但直到现在才逐渐成为慢性呼吸系统疾病患者吸入药物管理电子医疗的重要组成部分^[10]。传感技术的发展,极大地丰富了吸入装置电子监测设备的功能,最初作为简单计数工具的吸入装置电子设备,现在可通过附加或嵌入压力、温度、声学、流量等多种传感器附件,为患者和医护人员提供视听提醒、吸气持续时间、吸气流量和用力呼气容积等客观评估患者吸入技术和用药依从性的呼吸监测数据^[11-13]。

1.2 吸入装置电子监测设备数据展现形式发展

吸入装置电子监测设备监测数据最初仅可通过设备自带的小型显示器展现^[13]。伴随技术发展,吸入装置电子监测设备收集的吸入技术信息和给药记录数据可通过数据线导入计算机内,并可通过生成系列图表进行查看和打印^[14]。蓝牙、互联网等无线传输、存储技术以及智能手机设备和软件开发技术的成熟,丰富了监测数据的展现形式,吸入装置电子监测设备可将收集的数据传输到与监测设备配套的应用程序和医护端后台中,并可以各种图形进行展示^[12, 15]。患者和医护人员均可浏览,护士可依据反馈数据,协同患者共同确立每日药物使用监测的具体时段,并依据后台系统定期汇聚的反馈信息,实施具有针对性的吸入技巧教育指导策略,以优化患者的治疗体验与效果。

2 吸入装置电子监测设备在呼吸系统疾病吸入药物管理中的作用

2.1 记录吸入装置驱动时间和使用次数 记录吸入装置驱动时间,监测吸入装置使用次数是吸入装置电子监测设备的基础功能。Advanced Technology Products 公司开发的雾化器计时日志(Nebulizer Chronolog)是为加压定量吸入装置设计的小型、便携式的电子设备,可兼容大多数设计标准的加压定量吸入装置药罐,该设备能够记录吸入器驱动的日期和时间,并可存储大约 4 000 条数据,但该设备设计成本较高,目前仅在学术研究中应用,推广性较差,且该设备后续的升级版本在其监测可靠性方面受到批评,并不建议用于临床^[16-17]。Fagerstrom 等^[18]开发的尝试客观监测干粉吸入装置使用情况的电子监测设备可监测吸入装置扭转相关声音及患者吸入的声音,当患者吸气流量达到预设数值,设备可记录该次使用时间,有效吸入次数和日期数据可存储到芯片中。护士可将数据下载到计算机中查看,基于数据对患者进行针对性的指导^[19]。

2.2 监测吸气流速 患者掌握并正确达到合适的吸气流速是掌握吸入技术的核心,吸气流速不能满足吸入装置的要求可导致吸入药物肺部沉积不足,

降低吸入药物疗效^[20-21]。Teva 公司开发的 Digiha-ler 是一款针对干粉吸入装置的吸入装置电子监测设备^[22],Chrystyn 等^[23]通过对 150 例哮喘和 COPD 患者分别应用吸入曲线记录仪和 Digiha-ler 测量患者吸气流速,以此评价 Digiha-ler 设备电子模块测量吸气流速等吸入参数的准确性,结果显示,Digiha-ler 在患者使用时能够准确测量吸入流速等参数。

2.3 记录吸气持续时间 吸气持续时间是评估患者产生关键吸入技术错误步骤的重要因素之一^[24]。Ditcham 等^[25]开发的加压定量吸入装置数据记录器(pMDI Datalogger),主要由监测装置激活的超声波传感器、监测吸入装置振动的加速度计及可揭示患者重要吸入特征数据的空气流量传感器构成,可记录患者使用吸入装置过程中的呼吸数据(包括吸气流速、吸入量、吸气持续时间和呼气持续时间)、装置驱动时间等。该设备的缺点是不提供无线存储或通信等实时反馈功能。此外,Respiro 设备可通过记录与吸入装置使用相关的振动模式监测吸气流量、吸气持续时间和吸入装置方向等多种数据,为多种吸入装置的吸入使用步骤提供数字反馈^[24]。相较于 pMDI Datalogger,Respiro 设备可对患者进行吸入装置使用实时反馈,但该设备不可充电,无法重复使用,未来该设备在电池续航方面有待进一步升级。

2.4 提供视听反馈 多种吸入装置电子监测设备在患者使用过程中均可对患者的操作步骤提供视觉或听觉反馈提醒。微处理器控制的设备(SmartMist)是手持、由呼吸驱动、微处理器控制的具备传感能力的装置,可装载一个标准的定量吸入装置药罐,形成便携、完全集成系统^[26]。该设备可通过预先编程,在患者吸入周期内完成自动给药,并记录装置驱动时间,患者需要达到预设合适的吸气量(250~500 mL)和吸气流速(25~60 L/min),SmartMist 设备才可驱动定量吸入装置给药。该设备通过指示灯为患者提供视觉反馈,当吸气流速合适时,设备闪烁绿灯;吸气流速超过预设流速范围流速时,设备闪烁红灯,低于则设备指示灯不亮。此外,该设备还可通过语音提醒患者在吸入后屏住呼吸 10 s,确保药物获得最佳肺部沉积效果。

2.5 明确吸入装置使用位置 确定患者使用吸入装置的地理空间信息,对识别哮喘急性发作诱因有重要作用^[27]。螺旋桨传感器是一种连接在定量吸入装置药罐顶部或干粉吸入装置侧边的吸入装置电子监测设备,该设备可通过全球定位系统监测每个吸入器驱动的位置和时间,旨在提供有用的哮喘发作的地理空间信息,以帮助患者和医护人员识别病情恶化的诱因^[28]。该设备成本较为昂贵,但可充电,兼容性强,可重复利用。

3 吸入装置电子监测设备在呼吸系统疾病患者吸入药物管理中的应用效果

3.1 改善患者用药依从性,增强疾病管理效果 研究指出,吸入药物依从性差是慢性呼吸系统疾病管理中的主要障碍^[29],改善慢性呼吸系统疾病患者的用药依从性,有助于提高疾病管理水平。Sulaiman 等^[30]应用吸入装置依从性评估设备对 218 例哮喘患者开展为期 3 个月的随机对照研究,结果显示,与对照组相比,干预组患者在应用设备后,实际依从率提高至 73%,但该研究未评估患者健康结局指标,无法确定干预对患者疾病急性加重的影响。一项 Meta 分析显示,基于吸入装置电子监测设备的干预措施对哮喘或 COPD 患者的吸入用药依从性具有积极影响^[31],未来可纳入其他类型的呼吸系统疾病患者,进一步探究基于吸入装置电子监测设备的干预措施对患者用药依从性的影响。

3.2 识别吸入步骤错误,提高患者的吸入技术 吸入装置电子监测设备能够客观、持续地监测并记录患者在吸入药物过程中可能发生的步骤错误,通过提供实时的反馈和数据分析,促进患者提高自身吸入技术水平^[32]。CapMedic 作为一种适用于大多数定量吸入器(Metered Dose Inhalers, MDI)的吸入装置电子监测设备,可通过记录测量平均吸气流速、声音引导患者使用前摇匀药液、鼓励患者延长吸入时间等 7 个吸入步骤,应用灯光与声音的双重指导机制,有效促进患者遵循正确的吸入装置使用方法,从而提升其操作准确性及治疗效果。Biswas 等^[33]开展一项验证 CapMedic 设备监测门诊患者使用定量吸入装置技术准确性的研究,该研究纳入 23 例患者(19 例哮喘、4 例 COPD),发现所有患者在使用 pMDI 时至少犯了 1 个错误,74% 的患者至少犯了 3 个错误,CapMedic 设备被认为在识别和量化吸入技术错误方面比医护人员单独观察更敏感。目前,国内应用吸入装置电子监测设备开展吸入药物管理研究的较少,因此,护理研究人员可针对呼吸系统疾病患者设计吸入装置电子监测设备干预,以期提高我国呼吸系统疾病患者吸入技术掌握能力。

3.3 预测患者疾病急性加重风险 研究指出,吸入装置电子监测设备监测的吸入峰流速、吸入量和吸入持续时间等吸入参数改变有助于识别患者急性加重前的肺部生理变化,从而预测疾病急性加重^[34]。Lugogo 等^[34]招募 360 例哮喘患者开展一项为期 12 周的开放标签研究,应用 Digihaler 设备收集患者吸气峰流速、吸气流速、吸入持续时间等数据,通过机器学习算法将收集的吸入参数和部分人口学信息生成哮喘急性加重风险预测模型并通过验证数据集信息对模型评估,结果显示,该模型可预测患者未来 5 d 内即将发生急性加重的风险,模型预测准确性较高。尽管当前的数据量尚不足以完全支撑模型进行精准预

测,但预测模型的开发为从传统的被动护理模式向积极主动的护理模式转变奠定了基础。

3.4 促进医护患共享决策,提高吸入药物管理水平

医护患共享决策的基础是共享信息^[35]。吸入装置电子监测设备可通过移动应用程序平台为医生、护士和患者提供准确和客观的吸入药物治疗数据信息^[12]。此外,通过吸入装置电子监测设备配套移动应用程序平台提供的吸入技术教育信息可使患者积极参与临床呼吸治疗管理与护理决策过程,以此改善疾病预后和提高患者的生活质量^[36]。Van Sickel 等^[37]将 125 例哮喘患者随机分成干预组和对照组,干预组接受吸入装置电子监测设备及配套应用程序等干预措施,电子监测设备监测吸入药物利用数据,移动应用程序提供数据可视化、提醒以及基于指南推荐的个性化教育,临床护士同步访问患者的吸入数据,并根据数据对患者指导;对照组仅接受电子监测设备使用,干预 6 个月后,干预组的用药依从性、每日吸入药物利用率、哮喘控制情况均优于对照组。吸入装置电子监测设备可通过共享个性化数据为患者和临床医护人员之间建立更广泛的联系,鼓励患者了解吸入用药情况,促进患者参与疾病管理,在一定程度上提高了患者的吸入药物管理水平。

4 不足与挑战

4.1 吸入装置电子监测设备设计尚不完善 吸入装置电子监测设备设计有待进一步完善,主要体现在监测设备物理特性、监测功能等方面。监测设备的尺寸和体积等物理特性会影响患者对监测设备的使用意愿^[38]。研究指出,部分患者认为电子监测设备可使吸入装置更加笨重且繁琐^[39]。此外,吸入装置电子监测设备能够评估患者使用吸入装置前是否摇晃及使用过程中的吸气流速、吸入持续时间等数据,但对于吸入用药后是否屏气及实际屏气时间等能够增加药物肺部沉积的重要步骤的识别尚不能有效完成^[40]。因此,未来设备开发人员应当积极引入目标用户群体(患者、医生和护士等)深度参与设计流程,通过目标用户的直接参与和反馈,精准把握用户需求,进而开发出更为便携、用户友好、且功能全面的电子监测设备。

4.2 设备兼容性差 吸入装置电子监测设备的兼容性不足体现在 2 个方面。首先,目前临床医疗环境下,可供选择的吸入装置类型数量众多,使得工程师难以设计开发一种适配于所有吸入装置的电子监测设备,现存的部分吸入装置电子监测设备只兼容于一种或同一类吸入装置;其次,吸入装置电子监测设备与其各自的移动应用程序高度匹配,将每个电子监测设备的移动应用程序集成到统一的医疗电子管理系统,完成多种电子监测设备数据共享尚有难度^[10, 12]。因此,开发能够适配不同类型吸入设备的电子监测设

备或提高现存电子检测设备的兼容性,实现多设备数据共享,是未来研究的探索方向。

4.3 患者的安全保障挑战 吸入装置监测设备存在技术故障可能导致患者出现安全问题,研究指出,患者在应用吸入装置电子监测设备过程中报告了多种技术故障、破损和丢失^[9]。因此,在患者开始使用电子监测设备之前,医护人员应当进行健康宣教,宣教内容应明确涵盖设备使用中可能出现的常见技术问题,并预先制定应对策略,以便在出现问题时能够迅速而有效地解决,从而改善患者的使用体验。此外,患者的数据收集、传输以及存储安全依然是尚未得到有效解决的关键问题。未来开展吸入装置电子监测设备相关干预研究时,须持续重视并加强患者数据隐私和安全的保护,确保患者数据在整个使用过程中的安全性与可靠性。

4.4 成本效益有效性尚待考虑 成本效益是将吸入装置电子监测设备应用于临床时需要考虑的基础问题^[31]。一方面电子监测设备及其配套移动应用程序的开发与维护成本较高,尚未有确切的研究报告患者承担吸入装置电子监测设备相关费用的意愿;另一方面,电子监测设备可增加临床医生或护士的工作量,医护人员需额外查看患者的吸入相关数据并根据数据对患者进行指导,该部分的工作成本需进一步探究^[41-42]。此外,在目前临床情境下,电子监测设备是否可以通过提高呼吸系统疾病患者的吸入用药依从性及吸入技术水平,进而有效降低患者因疾病急性加重带来的医疗成本,仍需更多高质量的卫生经济学研究进行评估。

5 小结

吸入装置电子监测设备能够提高呼吸系统疾病患者吸入技术掌握能力,改善患者吸入用药依从性,预测患者急性加重发作的风险并促进开展医护患共享决策,以此提高患者吸入用药管理水平。但目前吸入技术监测设备在物理外观特性、监测功能丰富度、设备兼容性、患者安全性及成本效益方面尚存在不足。未来医护人员应该进一步了解患者使用监测设备的体验与感受,结合本国国情,整理相关需求并反馈给开发工程师,协助其开发更具兼容性的本土化电子监测设备。同时,医护人员应借鉴国外相关研究,积极开展大样本、多中心的吸入装置电子监测设备相关研究,为提高我国呼吸系统疾病患者吸入用药管理水平提供参考。

参考文献:

- [1] Levy M L, Bacharier L B, Bateman E, et al. Key recommendations for primary care from the 2022 Global Initiative for Asthma (GINA) update[J]. NPJ Prim Care Respir Med, 2023, 33(1):7.
- [2] 赵茜,钮美娥,韩燕霞,等. COPD 患者吸入剂使用指导严肃游戏的开发与评价[J]. 护理学杂志, 2023, 38(23): 98-102.
- [3] Chrystyn H, Van Der Palen J, Sharma R, et al. Device errors in asthma and COPD: systematic literature review and meta-analysis[J]. NPJ Prim Care Respir Med, 2017, 27(1):22.
- [4] 彭咏怡,高怡. 慢性气道疾病吸入疗法评估技术研究进展[J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2022, 21(11): 832-836.
- [5] Schnoor K, Versluis A, Bakema R, et al. A pharmacy-based ehealth intervention promoting correct use of medication in patients with asthma and COPD: nonrandomized pre-post study[J]. J Med Internet Res, 2022, 24(6):e32396.
- [6] Volerman A, Kan K, Carpenter D, et al. Strategies for improving inhalation technique in children: a narrative review[J]. Patient Prefer Adherence, 2021, 15:665-675.
- [7] Alshabani K, Attaway A A, Smith M J, et al. Electronic inhaler monitoring and healthcare utilization in chronic obstructive pulmonary disease[J]. J Telemed Telecare, 2020, 26(7-8):495-503.
- [8] Makhecha S, Chan A, Pearce C, et al. Novel electronic adherence monitoring devices in children with asthma: a mixed-methods study[J]. BMJ open respi Res, 2020, 7(1):e000589.
- [9] Chrystyn H, Audibert R, Keller M, et al. Real-life inhaler adherence and technique: time to get smarter! [J]. Respir Med, 2019, 158:24-32.
- [10] Toelle B G, Marks G B, Dunn S M. Validation of the inhaler adherence questionnaire[J]. BMC Psychol, 2020, 8(1):95.
- [11] Eikholt A A, Wiertz M B R, Hew M, et al. Electronic monitoring devices to support inhalation technique in patients with asthma: a narrative review[J]. Curr Treat Options Allergy, 2023, 10(1):28-52.
- [12] Dhruve H, Jackson D J. Assessing adherence to inhaled therapies in asthma and the emergence of electronic monitoring devices[J]. Eur Respir Rev, 2022, 31(164): 210271.
- [13] Kikidis D, Konstantinos V, Tzovaras D, et al. The Digital asthma patient: the history and future of inhaler based health monitoring devices[J]. J Aerosol Med Pulm Drug Deliv, 2016, 29(3):219-232.
- [14] Julius S M, Sherman J M, Hendeles L. Accuracy of three electronic monitors for metered-dose inhalers[J]. Chest, 2002, 121(3):871-876.
- [15] Sloots J, Bakker M, Van Der Palen J, et al. Adherence to an ehealth self-management intervention for patients with both COPD and heart failure: results of a pilot study[J]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2021, 16: 2089-2103.
- [16] Wamboldt F S, Bender B G, O'connor S L, et al. Reliability of the model MC-311 MDI chronolog[J]. J Allergy Clin Immunol, 1999, 104(1):53-57.
- [17] Gong H, Jr., Simmons M S, Clark V A, et al. Me-

- tered-dose inhaler usage in subjects with asthma: comparison of Nebulizer Chronolog and daily diary recordings[J]. *J Allergy Clin Immunol*, 1988, 82(1):5-10.
- [18] Fagerstrom P, Marnfeldt G, Lindgren S. TIC, an instrument for compliance measurement of patients using inhaler: proceedings of the Proc AAMI 27th Annual Meeting[C]. Anaheim: AAMI Publisher, 1992.
- [19] Normansell R, Kew K M, Stovold E. Interventions to improve adherence to inhaled steroids for asthma[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2017, 4(4):Cd012226.
- [20] 中国医学装备协会呼吸病学专委会吸入治疗与呼吸康复学组. 稳定期慢性气道疾病吸入装置规范应用中国专家共识(2023 版)[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2023, 46(11):1055-1067.
- [21] Chen S Y, Huang C K, Peng H C, et al. Inappropriate peak inspiratory flow rate with dry powder inhaler in chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1):7271.
- [22] Mehta P P. Dry powder inhalers: a concise summary of the electronic monitoring devices[J]. *Ther Deliv*, 2021, 12(1):1-6.
- [23] Chrystyn H, Saralaya D, Shenoy A, et al. Investigating the accuracy of the digihaler, a new electronic multidose dry-powder inhaler, in measuring inhalation parameters[J]. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv*, 2022, 35(3):166-177.
- [24] Sportel E T, Oude Wolcherink M J, Van Der Palen J, et al. Does immediate smart feedback on therapy adherence and inhalation technique improve asthma control in children with uncontrolled asthma? A study protocol of the IMAGINE I study[J]. *Trials*, 2020, 21(1):801.
- [25] Ditcham W, Murdzoska J, Zhang G, et al. Lung deposition of 99mTc-radiolabeled albuterol delivered through a pressurized metered dose inhaler and spacer with face-mask or mouthpiece in children with asthma[J]. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv*, 2014, 27 Suppl 1:S63-75.
- [26] Lavorini F, Levy M L, Corrigan C, et al. The ADMIT series-issues in inhalation therapy. 6) Training tools for inhalation devices[J]. *Prim Care Respir J*, 2010, 19(4):335-341.
- [27] Chan Y Y, Wang P, Rogers L, et al. The asthma mobile health study, a large-scale clinical observational study using researchkit[J]. *Nat Biotechnol*, 2017, 35(4):354-362.
- [28] Pearce C J, Fleming L. Adherence to medication in children and adolescents with asthma: methods for monitoring and intervention[J]. *Expert Rev Clin Immunol*, 2018, 14(12):1055-1063.
- [29] Janjua S, Pike K C, Carr R, et al. Interventions to improve adherence to pharmacological therapy for chronic obstructive pulmonary disease (COPD) [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 9(9):Cd013381.
- [30] Sulaiman I, Greene G, Machale E, et al. A randomised clinical trial of feedback on inhaler adherence and technique in patients with severe uncontrolled asthma[J]. *Eur Respir J*, 2018, 51(1).
- [31] Garin N, Zarate-Tamames B, Gras-Martin L, et al. Clinical impact of electronic monitoring devices of inhalers in adults with asthma or COPD: a systematic review and meta-analysis[J]. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2023, 16(3):414.
- [32] Ma J, Sun X, Wang X, et al. Factors affecting patient adherence to inhalation therapy: an application of SEIPS Model 2.0[J]. *Patient Prefer Adherence*, 2023, 17:531-545.
- [33] Biswas R, Patel G, Mohsin A, et al. Measuring competence in metered dose inhaler use using capmedic electronic inhaler monitoring tool[J]. *Chest*, 2016, 150(4):14A.
- [34] Lugogo N L, Depietro M, Reich M, et al. A predictive machine learning tool for asthma exacerbations: results from a 12-week, open-label study using an electronic multi-dose dry powder inhaler with integrated sensors [J]. *J Asthma Allergy*, 2022, 15:1623-1637.
- [35] Kew K M, Malik P, Aniruddhan K, et al. Shared decision-making for people with asthma[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2017, 10(10):Cd012330.
- [36] Capstick T G D, Gudimetla S, Harris D S, et al. Demystifying dry powder inhaler resistance with relevance to optimal patient care[J]. *Clin Drug Investig*, 2024, 44(2):109-114.
- [37] Van Sickle D, Barrett M, Humblet O, et al. Randomized, controlled study of the impact of a mobile health tool on asthma SABA use, control and adherence[J]. *Eur Respir J*, 2016, 48(Suppl 60):PA1018.
- [38] 宗旭倩, 李丹钰, 袁长蓉, 等. 设计思维及其在护理领域中的应用与展望[J]. *护理学杂志*, 2023, 38(13):124-129.
- [39] Howard S, Lang A, Sharples S, et al. What are the pros and cons of electronically monitoring inhaler use in asthma? A multistakeholder perspective[J]. *BMJ Open Respir Res*, 2016, 3(1):e000159.
- [40] Carpenter D M, Roberts C A, Sage A J, et al. A review of electronic devices to assess inhaler technique[J]. *Curr Allergy Asthma Rep*, 2017, 17(3):17.
- [41] Pleasants R A, Chan A H, Mosnaim G, et al. Integrating digital inhalers into clinical care of patients with asthma and chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Respir Med*, 2022, 205:107038.
- [42] Lee J, Tay T R, Radhakrishna N, et al. Nonadherence in the era of severe asthma biologics and thermoplasty [J]. *Eur Respir J*, 2018, 51(4):1701836.

(本文编辑 黄辉, 吴红艳)