

FeNO在不同炎症表型支气管哮喘及气道高反应性程度中的应用研究

赵容军

江山贝林医院呼吸与危重症医学科, 浙江 江山 324100

DOI:10.61369/MRP.2025120030

摘 要 : 目的: 探究呼出气一氧化氮 (FeNO) 在不同炎症表型支气管哮喘及气道高反应性程度中的应用。方法: 本研究共纳入 2024 年 7 月 -2025 年 6 月期间本院收治的支气管哮喘患者 100 例, 同时选取同期 100 例门诊健康志愿者作为对照组。所有哮喘患者于治疗前接受血常规检测, 依据嗜酸性粒细胞计数 (EOS) 及中性粒细胞绝对值 (NEU) 将其分为 EA、NA、MA、PA 四组, 健康志愿者设为 E 组。对比各组 FeNO 水平、肺功能 (FEV1%) 及气道高反应性 (AHR) 程度, 分析 FeNO 与 FEV1% 及 AHR 的相关性, ROC 曲线分析 FeNO 测定在不同表型支气管哮喘中的诊断价值。结果: 相比于 EA 组, NA、MA、PA 组及健康对照组 FeNO 水平较低, FEV1% 及 AHR 水平较高 ($P<0.05$); 相比于 NA 组, MA 组 FeNO 水平较高, FEV1% 及 AHR 水平较低, PA 组及健康对照组 FeNO 水平较低, PA 组 FEV1% 及 AHR 水平较高 ($P<0.05$); 相比于 MA 组, PA 组及健康对照组 FeNO 水平较低, PA 组 FEV1% 及 AHR 水平较高; 相比于 PA 组, 健康对照组 FeNO 水平较低 ($P<0.05$); 结果显示, FeNO 与 FEV1% 指标呈负相关, 与 AHR 呈正相关 ($P<0.05$); ROC 结果显示, FeNO 测定在不同表型支气管哮喘中的诊断 AUC 为 0.927 (95%CI: 0.876–0.989), 灵敏度为 84.42%, 特异度为 97.06%, 具有较高的诊断价值。结论: FeNO 在不同炎症表型哮喘中表达具有差异性, 尤其在 EA 型中显著升高, 可作为哮喘炎症表型分型的辅助指标。FeNO 与 AHR 程度密切相关, 具有良好的预测价值, 可用于哮喘的病情评估与治疗反应监测。

关 键 词 : 呼出气一氧化氮; 不同炎症表型; 支气管哮喘; 气道高反应性

Research on the Application of FeNO in Bronchial Asthma with Different Inflammatory Phenotypes and Degrees of Airway Hyperresponsiveness

Zhao Rongjun

Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Jiangshan Beilin Hospital, Jiangshan, Zhejiang 324100

Abstract : Objective: To explore the application of fractional exhaled nitric oxide (FeNO) in bronchial asthma with different inflammatory phenotypes and degrees of airway hyperresponsiveness (AHR). Methods: A total of 100 patients with bronchial asthma admitted to our hospital from July 2024 to June 2025 were included in this study, along with 100 healthy outpatient volunteers selected as the control group during the same period. All asthma patients underwent routine blood tests before treatment and were divided into four groups—EA, NA, MA, and PA—based on eosinophil count (EOS) and absolute neutrophil count (NEU), with healthy volunteers designated as Group E. FeNO levels, lung function (FEV1%), and the degree of AHR were compared among the groups. The correlation between FeNO and FEV1% as well as AHR was analyzed, and the diagnostic value of FeNO measurement in bronchial asthma with different phenotypes was evaluated using ROC curve analysis. Results: Compared with the EA group, the NA, MA, PA groups, and the healthy control group had lower FeNO levels and higher FEV1% and AHR levels ($P<0.05$). Compared with the NA group, the MA group had higher FeNO levels and lower FEV1% and AHR levels, while the PA group and the healthy control group had lower FeNO levels. The PA group had higher FEV1% and AHR levels than the NA group ($P<0.05$). Compared with the MA group, the PA group and the healthy control group had lower FeNO levels, and the PA group had higher FEV1% and AHR levels. Compared with the PA group, the healthy control group had lower FeNO levels ($P<0.05$). The results showed a negative correlation between FeNO and FEV1% and a positive correlation with AHR ($P<0.05$). The ROC results indicated that the diagnostic area under the curve (AUC) for FeNO measurement in bronchial asthma with different phenotypes was 0.927 (95% CI: 0.876–0.989), with a sensitivity of 84.42% and a specificity of 97.06%, demonstrating high

diagnostic value. Conclusion: FeNO expression varies among different inflammatory phenotypes of asthma, particularly increasing significantly in the EA type, and can serve as an auxiliary indicator for classifying asthma inflammatory phenotypes. FeNO is closely related to the degree of AHR and has good predictive value, making it useful for assessing asthma severity and monitoring treatment response.

Keywords : fractional exhaled nitric oxide; different inflammatory phenotypes; bronchial asthma; airway hyperresponsiveness

引言

支气管哮喘是以慢性气道炎症、可逆性气流受限和气道高反应性（AHR）为特征的异质性疾病^[1]。根据诱导痰炎症细胞分类，哮喘可分为嗜酸性粒细胞型（EA）、中性粒细胞型（NA）、混合细胞型（MA）和寡细胞型（PA）等不同炎症表型，其在发病机制与治疗反应上差异显著。因此，精准识别炎症表型对个体化治疗具有重要意义。呼出气一氧化氮（FeNO）作为一种无创、重复性好的气道炎症标志物，主要由气道上皮细胞在 Th2型炎症因子诱导下经 iNOS 产生。研究表明^[3]，近年来，FeNO 在哮喘诊断、表型识别、治疗反应预测及病情监测中的应用价值受到广泛关注，但其在不同炎症表型及 AHR 程度中的具体作用尚存争议。基于此，本研究纳入 100 例门诊健康志愿者及 100 例哮喘患者，通过同步检测 FeNO、肺功能及 AHR 程度，旨在分析 FeNO 在鉴别哮喘炎症表型及评估 AHR 严重程度中的价值，为 FeNO 在哮喘精准医疗中的应用提供更多依据。

一、资料与方法

（一）一般资料

本研究共纳入 2024 年 7 月–2025 年 6 月期间本院收治的支气管哮喘患者 100 例，同时选取同期 100 例门诊健康志愿者作为对照组。所有哮喘患者于治疗前接受血常规检测，依据嗜酸性粒细胞计数（EOS）及中性粒细胞绝对值（NEU）将其分为 EA、NA、MA、PA 四组，健康志愿者设为 E 组。其中，哮喘患者 EA 组 28 例；男/女（13/15）例；年龄（ 43.81 ± 12.12 ）岁；NA 组 20 例；男/女（11/9）例；年龄（ 43.92 ± 12.35 ）岁；MA 组 29 例；男/女（14/15）例；年龄（ 43.56 ± 12.41 ）岁；PA 组 23 例；男/女（12/11）例；年龄（ 43.12 ± 13.07 ）岁；健康对照 E 组男/女（45/55）例；年龄（ 43.97 ± 13.11 ）岁。对比两组患者一般资料，均衡可比（ $P > 0.05$ ）。

纳入标准：支气管哮喘患者均符合《中国支气管哮喘防治指南（2020 年版）》^[2] 诊断标准；②年龄 ≥ 12 岁；③具有典型哮喘症状；④就诊前无上呼吸道感染；⑤就诊前 72 小时内未使用激素或支气管舒张剂；⑥在肺功能、BPT 或 BDT 检查之前进行 FeNO 测试。所有检查均由同一临床医生同时开出，并且在两天内完成。

排除标准：①合并其他嗜酸性粒细胞疾病；②严重心肺疾病；③近期使用激素或支气管舒张剂；④患有过敏性鼻炎的患者；⑤无法行 FeNO 测定和肺通气功能检查者；⑥有吸烟史。

（二）方法

对 100 例哮喘患者按血常规 EOS/NEU 分型（EA/NA/MA/PA 组）并设健康对照 E 组，所有受试者在治疗前接受 FeNO 测

定、肺功能检查及哮喘控制测试（ACT），哮喘组在治疗 1 周、1 月后复查上述指标。FeNO 检测采用符合 ATS/ERS 指南的 FeNO 检测仪，受试者坐位，以 50ml/s 流速呼气，记录 FeNO 值（单位：ppb）。肺功能与气道反应性测试使用 Jaeger 肺功能仪进行肺活量测定、支气管激发试验（BPT）和支气管舒张试验（BDT）。BPT 阳性标准为 $PD_{20}-FEV_1 < 2.5\text{mg}$ ，BDT 阳性标准为 FEV_1 改善率 $\geq 12\%$ 且绝对值增加 $\geq 200\text{ml}$ 。哮喘控制测试（ACT）采用中文版 ACT 问卷评估患者近 4 周哮喘控制情况。

（三）观察指标

①记录并比较各组研究对象的 FeNO 水平、肺功能指标及 AHR 程度。②采用 Pearson 相关分析 FeNO 与 $FEV_1\%$ 及 AHR 的相关性。③绘制 ROC 曲线明确 FeNO 测定在不同表型支气管哮喘中的诊断价值。

（四）统计学处理

采用统计软件 SPSS26.0 进行分析。计量资料以（ $\bar{x} \pm s$ ）表示，组间比较采用独立样本 t 检验，组内比较采用配对 t 检验，计数资料采用百分比表示，组间比较采用 χ^2 检验， $P < 0.05$ 具有统计学差异。

二、结果

（一）各组 FeNO 水平、肺功能及 AHR 程度比较

如表 1 所示，相比于 EA 组，NA、MA、PA 组及健康对照组 FeNO 水平较低， $FEV_1\%$ 及 AHR 水平较高，有差异性（ $P < 0.05$ ）；相比于 NA 组，MA 组 FeNO 水平较高， $FEV_1\%$ 及 AHR 水平较低，PA 组及健康对照组 FeNO 水平较低，PA 组

FEV1%及 AHR 水平较高,有差异性 (P<0.05); 相比于 MA 组, PA 组及健康对照组 FeNO 水平较低, PA 组 FEV1%及 AHR 水平较高,有差异性 (P<0.05); 相比于 PA 组, 健康对照组 FeNO 水平较低,有差异性 (P<0.05)。

表1 各组 FeNO 水平、肺功能及 AHR 程度比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数 (n)	FeNO	FEV1%	AHR
EA 组	28	63.79 \pm 22.81	72.45 \pm 8.81	0.19 \pm 0.14
NA 组	20	22.51 \pm 8.56	81.55 \pm 7.64	1.29 \pm 0.57
MA 组	29	37.99 \pm 11.26	75.82 \pm 8.23	0.53 \pm 0.28
PA 组	23	19.82 \pm 6.52	84.17 \pm 6.35	1.51 \pm 0.57
健康对照组	100	15.37 \pm 4.83	—	—
F 值		122.421	89.369	107.814
P 值		0.001	0.001	0.001

(二) FeNO 与 FEV1% 及 AHR 的相关性分析

如表2所示, 结果显示, FeNO 与 FEV1% 指标呈负相关, 与 AHR 呈正相关, 有差异性 (P < 0.05)。

表2 FeNO 与 FEV1% 及 AHR 的相关性分析

指标	FeNO	
	r 值	P 值
FEV1%	- 0.631	- 0.021
AHR	0.731	0.013

(三) ROC 曲线分析 FeNO 测定在不同表型支气管哮喘中的诊断价值

如表3所示, ROC 结果显示, FeNO 测定在不同表型支气管哮喘中的诊断 AUC 为 0.927 (95%CI: 0.876-0.989), 灵敏度为 84.42%, 特异度为 97.06%, 具有较高的诊断价值。

表3 ROC 曲线分析 FeNO 测定在不同表型支气管哮喘中的诊断价值

检测方法	AUC 值	Z 值	P 值	灵敏度 (%)	特异度 (%)	95%CI
FeNO	0.927	0.815	0.001	84.42%	97.06%	0.876-0.989

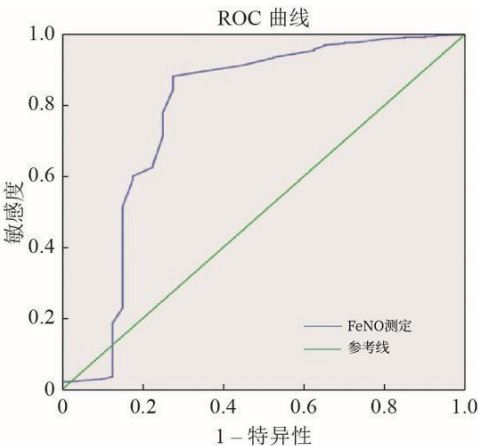


图1 ROC 曲线分析 FeNO 测定在不同表型支气管哮喘中的诊断价值

参考文献

[1] 潘桂梅, 陈真真, 刘瑞海, 等. 支气管哮喘急性发作患者小气道功能障碍与 FeNO 的相关性研究 [C]//2025 智慧科技赋能健康管理发展交流论文集. 2025:1-4.
[2] Savin IA, Zenkova MA, Sen' kova AV. Bronchial Asthma, Airway Remodeling and Lung Fibrosis as Successive Steps of One Process[J]. Int J Mol Sci. 2023;24(22):16042.
[3] 王导新, 熊伟, 王勤, 等. 《中国支气管哮喘防治指南 (2020 年版)》[J]. 西部医学, 2022, 34(1):1-4.
[4] 徐英, 王晶莉, 尹虹雷, 等. 呼气一氧化氮 (FeNO)、肺功能及外周血嗜酸性粒细胞 (Eos) 在支气管哮喘急性发作期患者病情评估中的应用 [J]. 中国农村卫生, 2021, 13(16):27, 29.
[5] 黄烈坤, 卓奕春, 陈雪丽. FeNO 联合血清 ECP 及 IgE 对支气管哮喘的诊断价值 [J]. 中国卫生标准管理, 2021(20):41-43.

三、讨论

支气管哮喘作为一种常见的慢性呼吸系统疾病, 其发病率在全球范围内呈现逐年上升的趋势, 该病不仅损害健康, 亦带来沉重经济负担。其主要病理特征包括气道慢性炎症、气道阻塞与重塑, 并与气道高反应性密切相关, 严重影响患者生活质量^[4]。因此, 深入研究哮喘炎症表型及气道高反应性程度, 对优化疾病管理具有重要意义。

FeNO 作为一种无创性检测指标, 能够有效反映气道嗜酸性粒细胞炎症水平, 并在区分不同炎症表型方面展现出独特优势^[5]。本研究结果显示, 相比于 EA 组, NA、MA、PA 组及健康对照组 FeNO 水平较低, FEV1% 及 AHR 水平较高; 相比于 NA 组, MA 组 FeNO 水平较高, FEV1% 及 AHR 水平较低, PA 组及健康对照组 FeNO 水平较低, PA 组 FEV1% 及 AHR 水平较高; 相比于 MA 组, PA 组及健康对照组 FeNO 水平较低, PA 组 FEV1% 及 AHR 水平较高; 相比于 PA 组, 健康对照组 FeNO 水平较低。行其分析原因可知, FeNO 水平差异主要源于不同炎症表型的主导免疫通路不同: EA 组以 Th2 炎症为主, FeNO 显著升高; 而 NA、MA、PA 组及健康对照组 Th2 炎症较弱或缺失, 故 FeNO 水平较低, 肺功能相对较好。

本研究表明, FeNO 与 FEV1% 指标呈负相关, 与 AHR 呈正相关。ROC 结果显示, FeNO 测定在不同表型支气管哮喘中的诊断 AUC 为 0.927 (95%CI: 0.876-0.989), 灵敏度为 84.42%, 特异度为 97.06%, 具有较高的诊断价值。表明, FeNO 在鉴别不同炎症表型支气管哮喘方面具有卓越的临床诊断效能, 与肺功能指标及气道高反应性程度密切相关, 其高灵敏度和特异度为哮喘的精准分型提供了可靠依据。

综上所述, FeNO 可作为区分哮喘炎症表型、评估气道高反应性的有效生物标志物, 具有较高的临床推广应用价值。本研究样本量较小, 可能影响结果准确性。未来研究需扩大样本量, 分析患者预后, 增加研究内容, 以提供更精准的临床数据支持。