·综　　述·

保留比值的肺功能受损人群的肺功能及其演变表征的研究进展

张兴逸(综述),张国越,许　瑞*(审校)
(重庆医科大学附属第二医院呼吸与危重症医学科,重庆 400010)

[摘要] 慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease,COPD)作为一种异质性肺部状态,与多种致病因素相关。既往关于保留比值的肺功能受损(preserved ratio impaired spirometry,PRISm)的研究与定义已有很多,该名词于2023版慢性阻塞性肺疾病全球倡议(global initiative for chronic obstructive lung disease,GOLD)中被正式确定。PRISm被界定为吸入支气管舒张剂后,第一秒用力呼气量占用力肺活量百分率(percentage of forced expiratory volume in first second to forced vital capacity,FEV_1/FVC)≥0.7,但肺通气功能减损[吸入支气管舒张剂之后,FEV_1占预计值百分比(FEV_1%)<80%或用力肺活量占预计值的百分比(forced vital capacity percent predicted,FVC%)<80%]的人群。PRISm状态具有较高的异质性,部分研究者关注其向肺功能损失更严重的COPD转变的高危风险因素,但PRISm所产生的健康风险和其他疾病之间的联系独立存在。故越来越多的研究者提倡PRISm状态人群的早发现、早诊断和早管理。目前PRISm的诊断很大程度仍依赖于临床肺功能测定,本文通过梳理近年来有关PRISm人群肺功能特点研究的相关文献,针对该状态下肺功能测定相关参数的研究进展撰写综述,以期为PRISm人群的诊断预防提供参考。

[关键词] 肺疾病,慢性阻塞性;保留比值的肺功能受损;肺功能测定　　doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2025.09.016
[中图分类号] R563.9　　[文献标志码] A　　[文章编号] 1007-3205(2025)09-1091-06

慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease,COPD)是一种异质性疾病。2018年我国成人肺部健康研究结果提示全国COPD患者近1亿,给卫生保健系统带来沉重负担。故早期筛查和诊断,对COPD防控尤为重要。2023版慢性阻塞性肺疾病全球倡议(global initiative for chronic obstructive lung disease,GOLD)首次提出保留比值的肺功能受损(preserved ratio impaired spirometry,PRISm)的定义,并指出了该类人群的肺功能存在逐步演化为COPD的风险,早期筛查和干预存在积极的意义。本文重点对PRISm人群肺功能指标的特点作进一步阐述。

1　PRISm的基本特点

COPD是全球第三大死亡原因,2019年已导致323万余人死亡,给卫生保健系统带来沉重负担。考虑到COPD肺功能状态的不完全可逆性,早期干预可能是预防其发生或者进展的关键[1]。在被正式定义之前,保留比值的肺功能受损(preserved ratio impaired spirometry, PRISm)曾被称之为"restrictive spirometry"、"GOLD-unclassified"、"pre-COPD"等,直至GOLD2023正式将第一秒用力呼气量占用力肺活量百分率(percentage of forced expiratory volume in first second to forced vital capacity,FEV_1/FVC)≥0.7,但吸入支气管舒张剂之后FEV_1%<80%或FVC%<80%的肺功能状态定义为PRISm。该定义被写入2023年中国COPD诊治指南与专家共识中并确定中文名称为"保留比值的肺功能受损"[2]。与传统COPD不同,PRISm并不代表一种确定的肺疾病,而是代表一个具备特定肺功能减损的异质性群体。PRISm在真实人群中的患病率尚不明确,多项大型研究下的预计患病率在7%～13%不等[3-6]。不同于COPD,PRISm并非一种稳定的肺功能状态,PRISm可向肺功能正常或COPD进展。在Shiraishi等[3]研究随访的4.5年中,PRISm状态的受试者约有15.7%恢复正常肺功能,而49.4%的受试者进展为COPD。另一项针对人群的大型COPDgene研究[7]中,

[收稿日期]2024-12-25
[基金项目]重庆市自然科学基金(cstc2021jcyj-msxmX0216);重庆市科卫联合项目(2022MSXM144);重庆医科大学"未来青年创新团队"(W0118)
[作者简介]张兴逸(2000-),男,重庆万州人,重庆医科大学附属第二医院医学硕士研究生,从事呼吸与危重症疾病诊治研究。
*通信作者。E-mail:chongyixurui@163.com

PRISm人群在5年随访内，22.2%的人群恢复正常肺功能，而有25.1%进展为GOLD 1～4级的COPD。目前已经证实的PRISm罹患因素包括但不限于：女性、吸烟状态、高龄、肥胖或高体重指数(body mass index，BMI)、结核病史、全身性炎症、粉尘及生物燃料暴露史等；多项研究也表明PRISm增加了心血管疾病[8-9]、糖尿病[10]、痴呆[11]等合并症的死亡风险。

2 PRISm人群的肺功能指标特征

PRISm曾被视作COPD的前期状态，也被认为是容易发展为COPD或经历其急性加重的一个亚型。而后者表现为经典的阻塞性通气功能障碍，及FVC、FEV_1、FEV_1/FVC指标下降等特点。然而，PRISm有着独特的异质性，其本身有向正常肺功能发展或向COPD转化的双向演变属性，故其肺功能指标有着区别于传统阻塞性肺疾病的特点，多篇文献也指出其在FVC、肺总量(total lung capacity，TLC)等限制性通气指标方面的特殊表现。目前临床常用肺功能检查及主要检测指标，见表1。

表1 常用肺功能检查项目、主要指标及临床应用

项目	主要指标	临床应用
肺容量检查	肺活量(vital capacity，VC)、深吸气量(inspiratory capacity，IC)、补呼气量(expiratory reserve volume，ERV)、潮气量(tidal volume，VT)、功能残气量(functional residual capacity，FRC)、胸腔气量(thoracic gas volume，TGV)、残气量(residual volume，RV)、TLC、RV/TLC	①TLC指标的早期变化可用于预测PRISm向COPD转变的高危人群；②较低的TLC是PRISm人群肺功能恶化的重要预测因素；③PRISm患者表现恶化倾向的患者中，具备更低的FVC/TLC基线水平
肺通气功能检查	每分钟通气量(minute ventilation，VE)、呼吸频率(respiratory frequency，RF)、无效通气量(dead space volume，VD)、最大自主通气量(maximal voluntary ventilation，MVV)、用力肺活量(FVC)、第1秒用力呼气容积(FEV_1)、一秒率(FEV_1/FVC)、用力呼气中期流量(forced expiratory flow 25%～75%，FEF 25%～75%)、最大呼气流量(peak expiratory flow，PEF)	①FEV_1%预测值作为PRISm的定义指标已被写入指南，但较低的基线FEV_1%预测值并非进展为COPD的显著影响因素；②PRISm状态下较低的FVC值及加速下降的FEV_1可用于预测人群转化；③可基于FEV_1和FVC的降低程度划分具体PRISm分型
肺换气功能检查	肺一氧化碳弥散量(diffusing capacity of the lung for carbon monoxide，DLCO)、肺泡毛细血管膜弥散量(membrane diffusing capacity，Dm)、弥散系数(Krogh常数)、氧分压(partial pressure of arterial oxygen，PaO_2)、血氧饱和度(saturation of peripheral oxygen，SpO_2)、酸碱度(pondus hydrogenii，pH)	①持续PRISm人群表现为低水平DLCO及DLCO/VA的显著升高；②可以将DLCO视作早期识别PRISm人群的潜在指标，但该指标易受多项因素影响，在实际临床应用中效果欠佳
呼吸阻力检查	气道阻力(airway resistance，Raw)、呼吸阻抗(respiratory impedance，Zrs)、N振荡频率下的气道阻力(respiratory resistance at oscillation frequency N，RN)、胸肺顺应性(respiratory compliance，C)	①呼吸阻力可反映小气道功能障碍对PRISm的影响，但受限于检验方式，临床多采用呼气流速相关指标；②高水平的气道阻力与小气道功能障碍正相关，该状态下PRISm人群罹患COPD的风险增加
支气管反应性检查	气道高反应性和分级、FEV_1改善率、FEV_1增加值	①支气管舒张及激发试验可用于评估早期哮喘样发作PRISm人群的气道反应性及可逆程度；②结合FeNO可有助于评估PRISm人群气道炎症反应强度
呼出气体分析	CO_2浓度、NO浓度、CO浓度、白三烯、白介素、前列腺素、血栓素等	①PRISm早期有类似哮喘表征，但仅有部分人群表现为FeNO水平的升高；②FeNO水平可能于阻塞型的气道表型有提示作用

2.1 肺容量检查指标 肺容量检查指标包括多项，如TLC、RV和VT。这些指标主要用于评估个体的通气功能及储备能力，残气量的增加可能提示气流受限，这在COPD和哮喘患者中较为常见[12-13]。而另一方面，通过测量TLC，可以评估患者是否存在气道阻塞或限制性通气障碍，前者常伴TLC正常或增加，而后者则通常表现为TLC减少[14]。

2.1.1 TLC在PRISm状态下的特点及其影响因素 TLC可用于预测PRISm向COPD转变的高危人群，该观点早在2016年就曾提出[15]：限制性肺活量测定模式(restrictive spirometry pattern，RSP)中，TLC的较低水平可能与其转变为COPD有关。同样有学者指出[7]，即使在调整BMI等影响因素后，PRISm组别中较低水平的TLC也是一个重要的进展预测因素。TLC在PRISm人群中的变化可能存在多种原因，支气管亚段管壁面积测量值、气道壁厚度及平均肺密度(mean emphysema density，MLD)等对相关结果的影响被多篇文献报道[16-19]，而影响因素本身亦可相互交叉。一项结合影像学的研究[20]证实了这一点，该研究认为：与肺功能正常的慢性支气管炎人群相比，PRISm组的支气管管壁面积百分比(percentage of the wall area，WA%)升高，平均肺密度升高，PRISm组的肺活量下降和MLD增加可能是由于努力克服小气道阻力增加而

导致的早期组织学变化[21]。其实，无论是管壁面积或者肺密度，一定程度上都反映了早期阻塞性肺疾病的小气道病变可能，而后者正是 PRISm 病理生理的一个重要机制。

2.1.2　FVC/TLC 在 PRISm 人群中的特殊应用　FVC/TLC 代表了一种复合测量方法，不同于传统测定组合，其能够识别隐蔽性的阻塞性通气缺陷。Celli 等[22]认为，PRISm 患者较低水平的 FVC/TLC 数值与气体潴留和肺气肿增加有关，且与 COPD 的 5 年进展率有关，该比值的降低可能导致症状加重、影像学肺气肿表现和气体潴留。如前文所述，PRISm 患者的 TLC 水平与其转变相关，其研究进一步指出，TLC 可有助于区分 PRISm 人群中的限制性和阻塞性通气障碍，使用 FVC/TLC 代替 RV/TLC 可以更敏感地识别小气道病变的存在。此外，还有研究提出[23-24]，RPISm 患者表现恶化倾向的组别中，FVC/TLC 的基线水平更低，气体潴留现象更明显，其损失可能与 FEV_1/FVC 的下降有关，但关于该指标与前者是否存在明显同步表现及其能否作为评估 PRISm 转归的独立预测因素有待更大样本量的队列研究证实。

2.2　肺通气功能检查指标　肺通气功能指标通常包括 FEV_1、FVC 和 FEV_1/FVC 比值，这些指标是评估气道阻塞性和限制性通气功能障碍的基础。FEV_1 和 FVC 的降低常提示气流受限（airflow limitation，AFL），而 FEV_1/FVC 比值的下降更是气道阻塞性病变的重要指标[25]，通过肺通气功能测定，可以更好地了解限制性肺疾病的严重程度及进展，FEV_1 的下降幅度直接与气道狭窄程度相关，是 COPD 等级划分和严重程度评定的标志[26]，FVC 也被证实在多种疾病中的诊断与评估价值。

2.2.1　PRISm 状态下 FEV_1 及 FVC 特点　PRISm 人群中的低 FVC 水平已被多项研究注意到，并指出其可能与增加人群死亡风险相关[17]。基于 COPDGene 的大型研究[7]发现，PRISm 受试者 FEV_1 和 FVC 平均下降速率更高，但 PRISm 状态仍与 FEV_1 的加速下降速率独立相关。另一项研究[27]也提出：PRISm 组的 FVC 明显低于正常组和 COPD 组，低水平的 FVC 是预测 COPD 转变的重要预测因素。PRISm 人群肺功能比值保留，提示该部分人群可能有较高水平的 FEV_1，持续 PRISm 状态的人群往往具有更高的 FEV_1/FVC 比值中位数，加速的 FEV_1 下降速率而非较低的 FEV_1 水平才是 PRISm 进展的预测因素。其他学者的研究[18]支持这一观点。在临床实际操作中，由于 FEV_1 的测量可能相比于 FVC 有更好的重复性，低质控的肺功能检查结果可能导致 PRISm 患者 FVC 指标的错误判读[28]。因此，PRISm 人群存在较低的 FVC 值且 FEV_1 的加速下降更有可能预测这类人群的转化倾向，这点在吸烟者中更为明显。

2.2.2　FEV_1%预测值在 PRISm 条件下的意义　PRISm 作为一种异质性状态，多项研究已证实其向不同肺功能状态发展的趋势。较低的基线 FEV_1% 预测值并非 PRISm 进展为 COPD 的显著影响因素，然而其对预测 PRISm 向 COPD 进展可能有一定的提示作用。目前指南推荐将 FEV_1%预测值＜80%作为定义 PRISm 的 cutoff 值，但也有学者[29]认为使用该指标预测 COPD 进展的最佳临界值为 86%，在此数值下的受试者工作曲线敏感度及特异度最佳（曲线下面积＝0.706，95% *CI*：0.617～0.794）。考虑到该项研究受限于样本量较小，且针对人群限定于亚裔范围，所得相关结论可能存在一定偏倚，该结论欲对指南定义 PRISm 的 FEV_1% cutoff 值发起挑战，可能需要纳入更多人群样本的研究。

2.2.3　小气道功能障碍对 PRISm 的影响　PRISm 的一个重要发病机制涉及小气道功能障碍（small airway dysfunction，SAD）。气流受限作为其重要的临床表现，当前已被证实与 PRISm 状态下的高水平肺气肿、FRC、气道壁厚度有关[24]。气流受限合并呼吸困难患者在 PRISm 状态下的人群占比为 8%，伴有亚临床呼吸功能障碍的个体，5 年内发生 COPD 风险显著增加[30]。国内也有学者指出[31]，PRISm 组的 SAD 相关肺功能参数：包括最大呼气中期流速（maximum mid-expiratory flow，MMEF）、FEF50%、FEF75%均有明显降低，但作为一项观察性横断面研究，PRISm 与 SAD 及 TLC 降低的因果关系仍有待进一步考究。

2.2.4　基于肺通气功能测定的 PRISm 分型　一项基于人群的横断面研究[7]中通过聚类分析将 PRISm 分为 3 个亚组："COPD 亚型"、"限制性通气障碍亚型"、"代谢疾病为主要表现的亚型"。类似研究[3]报告称，PRISm 包括至少 3 个不同的临床组别：第一组为进展为 COPD 的高风险组；第二组为高心血管疾病负担和早期死亡高风险组；第三组是持续 PRISm 和正常年龄相关性肺功能下降组。PRISm 定义上是肺功能指标的划分，就单纯肺功能指标方面而言，曾有文献提出，可以根据 FEV_1 和 FVC 的不同降低程度来确定 PRISm 的分型，人为将 PRISm 分为轻度（FEV_1 或 FVC＜80%预测值，

$FEV_1/FVC \geqslant 0.7$)和重度(FEV_1 和 FVC 均<80%预测值,$FEV_1/FVC \geqslant 0.7$)。Yang 等[32]研究亦融合了类似观点,将 PRISm 根据是否存在限制性通气功能异常分为非限制性 PRISm 组($FEV_1/FVC \geqslant 0.7$,$FEV_1 < 80\%$,$FVC \geqslant 80\%$)和限制性 PRISm ($FEV_1/FVC \geqslant 0.7$,$FEV_1 < 80\%$,$FVC < 80\%$)。也有研究[33]进一步指出,相对于限制性 PRISm,非限制性 PRISm 在临床中更容易被低估,其进展为 COPD 的风险更高,该组别不符合阻塞性和限制性通气异常的常规标准,更可能是 COPD 的前兆,值得加强随访。

2.2.5 肺通气功能与 PRISm 并发症 除了影响 PRISm 本身的状态演变外,肺通气功能指标与 PRISm 并发症之间的联系亦受到不少研究者关注。迄今的研究表明,PRISm 人群似乎具有更高的罹患心血管疾病、糖尿病、慢性肾病、甲状腺疾病、痴呆等诸多并发症的风险。此前构建的模型[11]中,FVC%预测值在最低四分位数的 PRISm 受试者中发生痴呆事件的比例明显增加,较低的 FVC%预测值与罹患阿尔兹海默病(Alzheimer's disease,AD)的风险增加显著相关,而 FEV_1/FVC 则与发生痴呆事件无关。但该研究未能解释这种关联之间的因果关系,并未说明 PRISm 如何促进痴呆的发病机制。既往研究[34-35]已经提出,体重增加或肥胖水平对肺功能测定结果的影响作用。在 PRISm 群体中,超重或者肥胖人群的 FEV_1 和 FVC 的降低虽然差异有统计学意义,但降低幅度通常很小,即使是极度肥胖的情况下,FEV_1 和 FVC 的值通常仍保持较高的水平。与此同时,在 PRISm 组中 TLC 减少的程度与肥胖单独引起的 TLC 减少的程度不成比例,PRISm 人群也没有观察到 FRC 的减少,而该指标通常是肥胖对肺功能较为显著的影响[36],肥胖受试者尽管在基线时 FRC 较低,但后续随访中 FRC 通常不会进一步降低[37]。这部分研究中非裔美国人的高比例可能会对结果判读产生偏倚,PRISm 人群中 BMI 水平与呼吸障碍的相互作用暂不全面。

2.3 其他肺功能研究指标 临床上,常使用 DLCO 来评估肺弥散能力,其反映了肺泡膜对气体的交换能力。通常,将 DLCO 的变化用于评估间质性肺疾病(如特发性肺纤维化等)[14,38]的严重程度,DLCO 的下降可提示肺泡蛋白沉积、膜厚度增加或肺泡与毛细血管间距异常。反应小气道功能障碍的肺功能指标 MMEF、FEF50%及 FEF75%在 COPD 研究中广泛涉及,但受限于检验流程及独立诊断性价值,当前对于 PRISm 状态下上述肺功能检查指标的相关工作开展有限。

2.3.1 PRISm 与 DLCO 持续 PRISm 状态相比于正常肺活量人群,其 DLCO 水平较低,DLCO/肺泡通气量(ventilation of alveolar,VA)显著升高。两项指标联合分析表明,PRISm 人群在气体交换与肺实际通气能力方面的不足。此外,亚组分析 PRISm 患者合并心力衰竭所致的水钠潴留及肥胖的高患病率也可能是观察到上述结果的原因[38]。同样,Lu 等[19]研究观察到 PRISm 组与轻中度 COPD 组在 DLCO 参数上差异无统计学意义,但 PRISm 组与正常组的差异显著大于其与重度 COPD 组。从影像学角度进一步分析,可解释上述现象:PRISm 在小气道与血管病变时与肺功能正常的受试组差异有统计学意义,然而其肺实质衰减并没有增加,更类似于 COPD。参数响应映射(parametric response mapping,PRM)作为肺功能中反应肺气肿和空气潴留的定量分析指标,在该研究中观察到 PRM 功能性小气道疾病百分比在正常组和 PRISm 组之间差异有统计学意义,这点与 DLCO 的变化同步,可作为 PRISm 及早期 COPD 的预测因子。因此,虽然 DLCO 可作为早期识别 PRISm 与正常人群的潜在预测指标,但其水平受限于多项因素(包括吸烟、肥胖、贫血等),实际收集数据可能存在混杂因素,其在肺功能进展过程中的相关作用仍待进一步研究。

2.3.2 PRISm 与呼气中流量 作为 SAD 相关肺功能参数,包括 MMEF、FEF50%、FEF75%等指标在既往的研究中鲜有提及。研究[31]表明,与健康对照组相比,PRISm 组的上述三指标均降低,进一步证实了在小气道功能障碍在 PRISm 早期进展中的重要作用。上述三种指标在社区研究中有较强的实用性及可行性,但其可重复性及可比性有限,近年来脉冲震荡肺功能测定(impulse oscillometry,IOS)多被提及,其相比于肺活量测定更易操作,能直观反映气道阻力及小气道功能,但该方法在基线人口数据较大时可能难以落实。一项基于中国人群搭建的模型[39]研究中,将低 MMEF、FEF50%和 FEF75%视为 COPD 进展的风险因素,进一步分析了 PRISm 群体与慢性支气管炎的相关关系,证实了 PRISm 与小气道功能障碍的正相关,并提出了 PRISm 对罹患 COPD 风险增加,依赖于低 MMEF、低 FEF50%及慢性支气管炎持续存在的观点。

2.3.3 PRISm 与呼出气一氧化氮(fractional exhaled nitric oxide,FeNO) FeNO 可以帮助鉴别慢性气道症状患者(尤其是哮喘性疾病),其在临床中多用于评估气道炎症性反应强度,广泛用于评估

哮喘的控制水平，特别对于嗜酸性粒细胞性气道炎症的检测意义较大[40]。PRISm 在早期，由于气道功能障碍的可逆性，在一定程度上类似于哮喘表征，嗜酸粒细胞在 PRISm 状态下的作用此前已有研究[41-42]。PRISm 状态下有约 13%患者对支气管扩张剂有反应[43]，该部分人群 FeNO 水平没有增加，而阻塞性疾病对照组中约 31%患者表现为 FeNO 的升高，在单独使用吸入性糖皮质激素（inhaled corticosteroids，ICS）或联用长效 β_2-肾上腺素能激动剂（long-acting β_2-agonist，LABA）时，2 组的 FeNO 均有下降，这一点也提示了 FeNO 的增加可能在阻塞性气道表型中发挥了重要作用。

3　未来研究展望

肺功能测定技术以及诊断技术的发展为肺功能减损患者的早期筛查提供了更为精确和便捷的诊断方式。目前，肺功能筛查的研究热点集中于无创便携式测定方案的研发，可穿戴式设备及遥感检测的设计，以及基于人工智能分析算法的逐步推进[44]。在精准医学不断发展的今日，随着 COPD 防治节点的不断迁移，PRISm 领域的研究也在近 10 年呈指数级增长。肺功能检查结合高分辨率计算机断层扫描的影像组学后，实现功能学－形态学的全覆盖，有望提供目前单一检测手段无法获取的精确解剖和功能信息[45]，为甄别 PRISm 进展高危人群提供优化方案。总体来看，未来肺功能测定技术的研究将在个性化医疗、预防医学和远程健康管理中发挥更为重要的作用。PRISm 的定义及细化分型也在不断完善中，融合 AI 以及拟合大数据模型，并进一步整合更多生物标志物后进行精细风险评估，有助于提高 PRISm 诊断性能及评估的准确性。充分了解 PRISm 的特征，对于 PRISm 肺功能的精准化评价，将在早期检测及治疗 COPD 方面发挥重要作用。

[参考文献]

[1] Christenson SA, Smith BM, Bafadhel M, et al. Chronic obstructive pulmonary disease[J]. Lancet, 2022, 399(10342): 2227-2242.

[2] 中华医学会，中华医学会杂志社，中华医学会全科医学分会，等. 中国慢性阻塞性肺疾病基层诊疗与管理指南（2024 年）[J]. 中华全科医师杂志，2024，23(6)：578-602.

[3] Shiraishi Y, Shimada T, Tanabe N, et al. The prevalence and physiological impacts of centrilobular and paraseptal emphysema on computed tomography in smokers with preserved ratio impaired spirometry[J]. ERJ Open Res, 2022, 8(2): 00063-2022.

[4] Wan ES, Hokanson JE, Regan EA, et al. Significant spirometric transitions and preserved ratio impaired spirometry among ever smokers[J]. Chest, 2022, 161(3): 651-661.

[5] Mkorombindo T, Balkissoon R. Journal club-respiratory impairment with a preserved spirometric ratio[J]. Chronic Obstr Pulm Dis, 2022, 9(1): 103-110.

[6] Ora J, Giorgino FM, Bettin FR, et al. Pulmonary function tests: Easy interpretation in three steps[J]. J Clin Med, 2024, 13(13): 3655.

[7] Rega NEA, Lowe ME, Make BJ, et al. Use of the spirometric "Fixed-Ratio" underdiagnoses COPD in african-Americans in a Longitudinal cohort study[J]. J Gen Intern Med, 2023, 38(13): 2988-2997.

[8] Ramalho SHR, Claggett BL, Washko GR Jr, et al. Association of pulmonary function with late-life cardiac function and heart failure risk: The ARIC study[J]. J Am Heart Assoc, 2022, 11(14): e023990.

[9] Eckhardt CM, Balte PP, Barr RG, et al. Lung function impairment and risk of incident heart failure: The NHLBI pooled cohorts study[J]. Eur Heart J, 2022, 43(23): 2196-2208.

[10] Li G, Jankowich MD, Wu L, et al. Preserved ratio impaired spirometry and risks of macrovascular, microvascular complications and mortality among individuals with type 2 diabetes[J]. Chest, 2023, 164(5): 1268-1280.

[11] Park H, Lee CH. The impact of pulmonary disorders on neurological health (lung-brain axis)[J]. Immune Netw, 2024, 24(3): e20.

[12] 中华医学会，中华医学会杂志社，中华医学会全科医学分会，等.中国常规肺功能检查基层指南（2024 年）[J].中华全科医师杂志，2025，24(2)：121-137.

[13] 段昊玮，梁斌苗. 慢性阻塞性肺疾病患者肺容量与弥散能力评估[J].中国呼吸与危重监护杂志，2023，22(6)：381-386.

[14] 孟燊，叶盛，杨晋，等.肺功能检查在慢性阻塞性肺疾病诊断中的应用进展[J].山东医药，2023，63(34)：111-115.

[15] Lim JU, Kang HS, Yeo CD, et al. Low pre-immunotherapy forced vital capacity is associated with poor outcomes in non-small cell lung cancer patients receiving immunotherapy regardless of prior treatment history[J]. Ther Adv Med Oncol, 2024, 16: 17588359241281480.

[16] Bakker JT, Hartman JE, Klooster K, et al. Automated evaluation of diaphragm configuration based on chest CT in COPD patients[J]. Eur Radiol Exp, 2024, 8(1): 87.

[17] Higbee DH, Granell R, Davey Smith G, et al. Prevalence, risk factors, and clinical implications of preserved ratio impaired spirometry: A UK biobank cohort analysis[J]. Lancet Respir Med, 2022, 10(2): 149-157.

[18] Cho MH, Hobbs BD, Silverman EK. Genetics of chronic obstructive pulmonary disease: Understanding the pathobiology and heterogeneity of a complex disorder[J]. Lancet Respir Med, 2022, 10(5): 485-496.

[19] Lu J, Ge H, Qi L, et al. Subtyping preserved ratio impaired spirometry (PRISm) by using quantitative HRCT imaging

characteristics[J]. Respir Res,2023,24(1):31.
[20] Ding Q, Mi BB, Wei X, et al. Small airway dysfunction in chronic bronchitis with preserved pulmonary function[J]. Can Respir J,2022,24:4201786.
[21] Baraghoshi D, Strand M, Humphries SM, et al. Quantitative CT evaluation of emphysema progression over 10 years in the COPDGene study[J]. Radiology,2023,307(4):e222786.
[22] Celli B, Fabbri L, Criner G, et al. Definition and nomenclature of chronic obstructive pulmonary disease: Time for its revision [J]. Am J Respir Crit Care Med,2022,206(11):1317-1325.
[23] Strand M, Khatiwada A, Baraghoshi D, et al. Predicting COPD progression in current and former smokers using a joint model for forced expiratory volume in 1 second and forced expiratory volume in 1 second to forced vital capacity ratio[J]. Chronic Obstr Pulm Dis,2022,9(3):439-453.
[24] 吴杨,陈丽丽,陈营营,等.肺功能测定鉴别支气管哮喘,慢阻肺及哮喘慢阻肺重叠综合征的临床价值分析[J].系统医学,2023,8(18):92-95.
[25] 朱蕾,陈荣昌.成人常规肺功能测定规范中国专家共识[J].临床肺科杂志,2022,27(11):1621-1633.
[26] Martinez FJ, Han MK, Lopez C, et al. Discriminative accuracy of the CAPTURE tool for identifying chronic obstructive pulmonary disease in us primary care settings[J]. JAMA, 2023,329(6):490-501.
[27] Stewart NJ, Higano NS, Mukthapuram S, et al. Initial feasibility and challenges of hyperpolarized (129) Xe MRI in neonates with bronchopulmonary dysplasia[J]. Magn Reson Med,2023,90(6):2420-2431.
[28] Backman H, Sawalha S, Nilsson U, et al. All-cause and cause-specific mortality by spirometric pattern and sex-a population-based cohort study [J]. Ther Adv Respir Dis, 2024, 18: 17534666241232768.
[29] Kanetake R, Takamatsu K, Park K, et al. Prevalence and risk factors for COPD in subjects with preserved ratio impaired spirometry[J]. BMJ Open Respir Res,2022,9(1):e001298.
[30] Kogo M, Sato S, Muro S, et al. Development of airflow limitation, dyspnoea, and both in the general population: The Nagahama study[J]. Sci Rep,2022,12(1):20060.
[31] Zhao N, Wu F, Peng J, et al. Preserved ratio impaired spirometry is associated with small airway dysfunction and reduced total lung capacity[J]. Respir Res,2022,23(1):298.
[32] Yang S, Chan CK, Wang MH, et al. Association of spirometric restriction with mortality in the silicotics: A cohort study[J]. BMC Pulm Med,2023,23(1):327.
[33] Miura S, Iwamoto H, Omori K, et al. Preserved ratio impaired spirometry with or without restrictive spirometric abnormality[J]. Sci Rep,2023,13(1):2988.
[34] BermÚdez BarÓn N, Kankaanranta H, Hedman L, et al. Body mass index increase: A risk factor for forced expiratory volume in 1 s decline for overweight and obese adults with asthma[J]. ERJ Open Res,2022,8(4):00110-2022.
[35] Mathews AM, Riley I, Henderson R, et al. Subgroup analysis of a randomized trial of the effects of positive messaging on patient-reported outcomes with asthma-effect of obesity[J]. J Asthma Allergy,2022,15:1743-1751.
[36] Shah NM, Kaltsakas G. Respiratory complications of obesity: From early changes to respiratory failure [J]. Breathe (Sheff),2023,19(1):220263.
[37] Leung C, Tang M, Huang BK, et al. A novel air trapping segment score identifies opposing effects of obesity and eosinophilia on air trapping in asthma[J]. Am J Respir Crit Care Med,2024,209(10):1196-1207.
[38] Tang X, Lei J, Li W, et al. The relationship between BMI and lung function in populations with different characteristics: A cross-sectional study based on the enjoying breathing program in China[J]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2022, 17: 2677-2692.
[39] Fan J, Fang L, Cong S, et al. Potential pre-COPD indicators in association with COPD development and COPD prediction models in Chinese: A prospective cohort study[J]. Lancet Reg Health West Pac,2024,44:100984.
[40] 黄叶,蒋华,蒋忠.AECOPD和急性稳定期COPD患者呼出气一氧化氮水平与炎症及肺功能相关性研究[J].河北医药,2022,44(14):2129-2132,2137.
[41] Shim JS, Kim H, Kwon JW, et al. A comparison of treatment response to biologics in asthma-COPD overlap and pure asthma: Findings from the PRISM study[J]. World Allergy Organ J,2023,16(12):100848.
[42] Kermani NZ, Li CX, Versi A, et al. Endotypes of severe neutrophilic and eosinophilic asthma from multi-omics integration of U-BIOPRED sputum samples[J]. Clin Transl Med,2024,14(7):e1771.
[43] Cousins M, Hart K, Kotecha SJ, et al. Characterising airway obstructive, dysanaptic and PRISm phenotypes of prematurity-associated lung disease[J]. Thorax,2023,78(9): 895-903.
[44] 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.
[45] 黄锦海,李允,高怡.保留比值受损肺功能人群胸部CT特征的研究进展[J].中国全科医学,2024,27(29):3679-3684.

(本文编辑:何祯)