

论 著

保留比值的肺功能减损患者的肺功能与肺高分辨率CT参数关系*

李秀艳 李国锋 郭俊玲
殷兴艳 张玉华*
中国人民武装警察部队特色医学中心
呼吸内科(天津 300162)

【摘要】目的 探讨保留比值的肺功能减损(PRIsm)患者的肺功能与肺高分辨率CT参数关系。**方法** 回顾性分析2020年1月至2022年12月于我中心就诊的接受肺功能和吸气呼气双相CT扫描的189例受试者临床资料。根据肺功能,分为肺功能正常组(n=92)、PRIsm组(n=49)、轻-中度慢性阻塞性肺疾病(COPD)组(n=48)。使用自动分割软件(Aview)测量CT图像上肺实质、参数反应图谱(PRM)、气道和血管参数。采用Spearman相关分析CT定量参数与肺功能参数相关性。使用Logistic回归分析高分辨率CT和临床参数中影响PRIsm发生的独立危险因素。使用受试者工作特征曲线(ROC)及曲线下面积(AUC)分析危险因素预测PRIsm的价值。**结果** 正常组、PRIsm组、轻-中度COPD组患者肺功能参数、差异均有统计学意义(P均<0.05)。与正常组相比, PRIsm组的Normal%、支气管管腔面积、血管数量、5mm²以下血管数量水平更低; fSAD(%), Pi10、壁面积百分比水平更高(P均<0.05)。大多数肺部定量CT参数与肺功能参数呈轻、中度相关,其中FEV1/FVC与多个CT肺实质参数的相关程度较高。使用Logistic回归分析可见MLD(OR=1.312, P=0.004, AUC=0.688)和fSAD%(OR=1.154, P<0.001, AUC=0.713)增加为发生PRIsm独立危险因素,不吸烟(OR=0.347, P=0.015)、管腔面积(OR=0.809, P=0.011, AUC=0.684)增加是PRIsm的保护因素。**结论** PRIsm存在明显小气道、血管病变,而无明显肺实质改变。基于高分辨率CT定量参数MLD、fSAD(%)和管腔面积均具有一定预测水平。

【关键词】 保留比值的肺功能减损; 肺功能检查; 计算机断层扫描; 慢性阻塞性肺疾病

【中图分类号】 R563

【文献标识码】 A

【基金项目】 天津市科技计划项目(15ZXLCSY00040)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.12.017

The Relationship between Lung Function and High-resolution CT Parameters in Patients with Impaired Reserve Ratio*

LI Xiu-yan, LI Guo-feng, GUO Jun-ling, YIN Xing-yan, ZHANG Yu-hua*.

Department of Respiratory Medicine, Characteristic Medical Center of the Chinese People's Armed Police Force, Tianjin 300162, China

ABSTRACT

Objective To investigate the relationship between lung function and high-resolution CT parameters in patients with preserved ratio impaired lung function (PRIsm). **Methods** Retrospective analysis of clinical data from 189 subjects who underwent lung function and inspiratory-expiratory dual-phase CT scanning at our center from January 2020 to December 2022. According to lung function, the subjects were divided into three groups: normal lung function group (n=92), PRIsm group (n=49), and mild-to-moderate chronic obstructive pulmonary disease (COPD) group (n=48). Automatic segmentation software (Aview) was used to measure lung parenchyma, parameter response map (PRM), airway, and vascular parameters on CT images. Spearman correlation analysis was used to investigate the correlation between CT quantitative parameters and lung function parameters. Logistic regression analysis was used to identify independent risk factors for PRIsm in high-resolution CT and clinical parameters. Receiver operating characteristic (ROC) curve and area under the curve (AUC) were used to analyze the predictive value of risk factors for PRIsm. **Results** There were significant differences in lung function parameters among the normal group, PRIsm group, and mild-to-moderate COPD group (all P<0.05). Compared with the normal group, the PRIsm group had lower levels of Normal%, bronchial lumen area, number of blood vessels, and number of blood vessels below 5mm²; higher levels of fSAD (%), Pi10, and wall area percentage (all P<0.05). Most quantitative CT parameters of the lungs were mildly or moderately correlated with lung function parameters, among which FEV1/FVC had a higher degree of correlation with multiple CT lung parenchyma parameters. Logistic regression analysis showed that MLD (OR=1.312, P=0.004, AUC=0.688) and fSAD %(OR=1.154, P<0.001, AUC=0.713) increased as independent risk factors for PRIsm, while non-smoking(OR=0.347, P=0.015), lumen area(OR=0.809, P=0.011, AUC=0.684) increased as protective factors for PRIsm. **Conclusion** PRIsm has obvious small airway and vascular lesions without obvious changes in lung parenchyma. Quantitative parameters based on high-resolution CT, such as MLD, fSAD (%) and lumen area, have certain predictive value.

Keywords: Preserved Ratio Impaired Lung Function; Pulmonary Function Test; Computed Tomography; Chronic Obstructive Pulmonary Disease

慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)是一种由小传导气道阻力增加和肺顺应性增加引起的以气流受限和通气功能下降为表现的慢性呼吸系统疾病^[1]。最新数据显示,我国COPD患者总数已达总人口的1/14^[2]。由于COPD患者的临床表现个体差异性较大,早期诊断仍是临床一个挑战。COPD的诊断主要基于肺功能检查,但只有当肺组织破坏超过30%且小气道阻塞超过75%时,肺功能检查才会出现异常^[3-4]。一些患者在早期可无任何呼吸道症状,因此,肺功能检查对这些患者早期诊断存在明显不足。已证实,COPD患者越早接受治疗,其肺功能的恢复就越好,这突出了早期诊断的重要性^[5]。

保留比值的肺功能减损(preserved ratio impaired spirometry, PRIsm)是指使用支气管舒张剂后一秒率(percentage of forced expiratory volume in first second to forced vital capacity, FEV1/FVC≥70%)正常,但肺通气功能减损(FEV1和/或FVC小于80%参考值)的一种肺功能减损^[6]。国外研究发现,正常人群中PRIsm发病率约为7.1-12.3%,这其中近50%者会发展成为COPD患者^[7-8]。一项COPD Gene研究^[9]发现, PRIsm患者较轻度COPD患者出现更频繁、更严重地症状恶化。另一方面,肺部CT检查时COPD患者支气管、肺血管结构是测量的关键参数。但目前为止关于PRIsm患者早期诊断相关的定量CT研究较少。基于深吸气和呼气的肺高分辨率CT图像与PRIsm患者的肺功能、支气管和肺血管定量关系尚未完全明确。基于此,本研究并结合肺功能测试,探讨PRIsm患者肺高分辨率CT影像学特征,以及对早期诊断的价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2020年1月至2022年12月于我中心就诊的接受肺功能受试者。

纳入标准: (1)接受吸气呼气双相CT扫描; (2)CT检查前后1个月内接受了肺功能检查。排除标准如下: (1)呼吸系统急性发作; (2)肺内肿物、胸外科病史; (3)严重胸廓畸形、肺实变、肺不张、大量胸腔积液或严重肺间质纤维化; (4)CT扫描图像质量差。本研究开始前获得我中心伦理委员会批准。

1.2 患者分组方法 全部患者根据慢性阻塞性肺疾病全球倡议(global initiative for

【第一作者】 李秀艳,女,医师,主要研究方向:肺功能。E-mail:lixu8101@163.com

【通讯作者】 张玉华,男,主任医师,主要研究方向:支气管哮喘,慢性阻塞性肺疾病,肺癌等。E-mail: beprodoctor@sina.com

chronic obstructive lung disease, GOLD)对肺功能进行分级,分为正常组(n=92)、PRISm患者(n=49)、轻-中度COPD患者(n=48)(包括GOLD 1级和2级)、重度和极重度患者(包括GOLD 3级和4级)。由于本研究纳入重度和极重度患者相对较少,并且重症患者与PRISm患者临床症状、肺功能参数差异相对较大、易于相互鉴别,因此本研究并未纳入此部分重度和极重度患者。

1.3 肺功能检查及临床资料收集 全部患者肺功能检查均使用德国JAEGER肺功能仪进行。在吸入支气管扩张剂后测量第一秒用力呼气容积(forced expiratory volume in one second, FVE1)、第一秒用力呼气体积占预计值百分比(percentage predicted forced expiratory volume in one second, FEV1%pred)、用力肺活量(forced vital capacity, FVC)、一秒率(FEV1/FVC)、肺活量(vital capacity, VC)、肺一氧化碳弥散量(carbon monoxide diffusion capacity, DLCO)占预计值%和残气量与肺总量的比值(ratio of residual volume to total lung capacity, RV/TLC)。最多进行了三次测量,记录测量最佳值。此外还收集了患者年龄、性别、身体质量指数、吸烟情况。

1.4 CT技术和定量参数 收集全部受试者的吸气呼气双相CT扫描,研究全部CT扫描均由我院影像科64排CT机进行采集,患者CT扫描前均接受多次呼吸训练。使用自动分割软件(Aview)对图像进行分析。肺气肿指数(emphysema index, EI)为深吸气阶段低密度区域占总肺容积的百分比,阈值为-950 HU。通过吸气、呼气CT图像获得的空气滞留指数(air trapping index, ATI),使用吸气末图像与呼气末图像利用参数反应图法(parametric response mapping, PRM)测量参数,包括正常肺组织区域(Normal%)、小气道病变(fsAD%)、肺气肿(Emph%):定义CT图像上呼气相>-856 HU,吸气相>-950 HU像素占全肺容积比例为Normal%,呈现为绿色;吸气相>-950 HU,呼气相<-856 HU像素占全肺比为fsAD%,呈现为黄色;吸气相<-950 HU,呼气相<-856 HU像素占全肺比为Emph%,呈现为红色。如图1。

常肺组织区域的正常百分比为1.5%、11%和87.5%;第六级支气管管腔面积为10.4mm²。PRISm患者为52岁的男性(FEV1% pred = 76.4%, FEV1/FVC% = 70.63%)。MLD为-798.0HU;肺气肿、小气道病变和正常肺组织区域的正常百分比12%、24%和64%;第六级支气管管腔面积为5.4mm²。轻-中度COPD组患者为68岁的男性(FEV1% pred = 58%, FEV1/FVC% = 69.11%)。MLD为-863.6HU;肺气肿、小气道病变和正常肺组织区域的正常百分比为29%、36%和35%;第六级支气管管腔面积为5.8mm²。

使用像素直方图测量吸气相平均肺密度(measure the mean lung density, MLD)。在气道参数方面,测量假设气道管径周长为10 mm的支气管壁截面积平方根(the square root of wall area of hypothetical airway with internal perimeter of 10 mm, Pi10)和壁厚度、壁面积百分比和第六级支气管管腔面积。血管参数方面,测量距离胸膜表面6 mm处的总肺血管体积和血管参数,包括血管数量,5mm²以下血管数量,血管平均直径,血管面积和肺低衰减区面积(low attenuation areas, LAA)。所有定量参数均根据《慢性阻塞性肺疾病胸部CT检查及评价中国专家共识》原则进行^[10],并由软件自动测量、由具有图像处理经验的放射科医生监督和审核。

1.5 统计分析 所有统计分析均使用SPSS 25进行。分类变量以n(%)进行描述,采用 χ^2 检验。连续变量相关以($\bar{x} \pm s$)进行描述,多组比较采用ANOVA分析进行,两组比较使用LSD法。当方差不均匀时,不符合正态分布的计量资料采用中位数(四分位数间距)进行描述,以M(Q₁, Q₃)表示,组间差异使用Mann-Whitney U检验。采用Spearman秩相关分析分析CT定量指标与肺功能参数的相关性。使用Logistic回归分析高分辨率CT和临床参数中影响PRISm发生的独立危险因素。使用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic, ROC)分析危险因素预测PRISm的价值,并用曲线下面积(area under curve, AUC)进行判断。以P<0.05为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 纳入受试者一般资料和肺功能情况 本研究共纳入189例受试者,包括正常组(n=92)、PRISm组(n=49)和轻-中度COPD组(n=48)。三组患者的年龄、吸烟状况、肺功能参数差异均有统计学意义(P<0.05)。

组间两两比较可见,轻-中度COPD组较另外两组年龄均更大。与正常组比较,PRISm组和轻-中度COPD组的吸烟者比例更高,FEV1、FEV1%pred、FVC、FEV1/FVC、VC占预计值%、DLco占预计值%均更低,RV/TLC更高。与PRISm组比较,轻-中度COPD组的FVC、VC占预计值%、RV/TLC更高。详见表1。

2.2 三组间肺部高分辨率CT资料情况对比 三组间CT肺实质衰减参数以及部分气道、血管参数差异均有统计学意义(P<0.05)。两两比较可见,与正常组相比,PRISm组的Normal%、支气管管腔面积、吸气相MLD、血管数量、5mm²以下血管数量水平更低;fsAD(%)、Pi10、壁面积百分比、血管平均直径水平更高;与PRISm组的比较,轻-中度COPD组吸气相EI、Emph(%)、LAA水平均更低,吸气相MLD、Normal%(%)水平更低。详见表2。

2.3 CT参数与肺功能检查结果之间的相关性 使用Spearman相关性分析表1和表2中三组存在差异肺功能参数与高分辨率CT参数的相关性关系可见,大多数肺高分辨率CT参数与肺功能参数呈轻、中度相关性,其中FEV1/FVC与多个CT肺实质参数的相关程度较高,多为中等程度相关。其他参数中,FEV1和RV/TLC与CT气道和血管参数存在相对较高相关性,详见图2。

2.4 影响PRISm发生的Logistic回归分析 由于PRISm的诊断是基于肺功能进行,因此仅以正常组和PRISm组差异具有统计学意义的高分辨率CT和临床资料参数为因变量,以PRISm发生为自变量,采用向后逐步回归法Logistic回归探讨影响PRISm发生的独立危险因素,结果可见MLD(OR=1.312, P=0.004)和fsAD(OR=1.154, P<0.001)增加为发生PRISm独立危险因素,不吸烟(OR=0.347, P=0.015)、管腔面积(OR=0.809, P=0.011)增加是PRISm的保护因素,详见表3。



图1 不同分组中典型患者CT测量图。

正常组患者为56岁的男性(FEV1% pred = 121.0%, FEV1/FVC% = 94.27%)。MLD为-851.7HU;肺气肿、小气道病变和正

表1 三组人口统计学、肺功能检查特征和CT参数比较(n=189)

项目	正常组	PRISm组	轻-中度COPD组	F/ x ²	P值
n	92	49	48		
年龄(岁)	62.58±9.92	65±12.08	68.01±8.51*	6.889	0.008
性别(n%)				2.278	0.204
男性	57(61.96)	29(59.18)	36(75.00)		
女性	35(38.04)	20(40.82)	12(25.00)		
身体质量指数(kg/m ²)	23.3±3.22	23.18±3.39	23.21±3.45	0.027	0.924
吸烟(n%)	32(34.78)	33(67.35)*	33(68.75)*	20.939	<0.001
肺功能参数					
FEV1(L)	2.69±0.55	1.63±0.42*	1.54±0.42*	25.167	<0.001
FEV1%pred (%)	110.44±19.29	70.5±9.92*	66.56±12.73*	82.072	<0.001
FVC(L)	2.87±0.98	1.92±0.62*	2.55±0.51*#	19.732	<0.001
FEV1/FVC(%)	90.21±6.62	85.27±10.18*	60.01±6.88*#	36.711	<0.001
VC占预计值(%)	99.67±14.72	75.34±14.07*	86.78±17.45*#	15.897	<0.001
DLco占预计值(%)	85.76±19.51	66±18.91*	66.53±25.93*	21.401	<0.001
RV/TLC(%)	46.63±7.78	52.88±8.75*	56.35±6.08*#	14.269	<0.001

注: *, 为正常组对比P<0.05; #, 为PRISm组对比P<0.05。FEV1。

表2 三组间肺部高分辨率CT资料情况对比

项目	正常组	PRISm组	轻-中度COPD组	F/ x ²	P值
n	92	49	48		
CT肺实质参数					
EI(%)	6.03±4.92	6.62±7.76	19.53±11.61*#	56.125	<0.001
ATI(%)	30.9±24.29	42.09±27.64	49.24±25.50*	51.824	<0.001
吸气相MLD(HU)	-821.7±29.38	-844.08±37.74*	-867.82±38.55*#	19.418	<0.001
PRM参数					
Emph(%)	3.55±3.36	4.51±6.22	16.65±11.51*#	73.242	<0.001
fSAD(%)	15.41±10.25	21.85±13.92*	29.76±19.35*	37.952	<0.001
Normal(%)	81.38±12.72	73.8±17.99*	53.12±24.45*#	36.519	<0.001
CT气道参数					
Pi10(mm)	3.12±0.32	3.63±1.29*	3.77±0.96*	16.832	<0.001
气道壁厚度(mm)	0.92±0.53	0.95±0.29	1.05±0.28*	3.856	0.065
壁面积百分比(%)	54.81±9.98	60.68±10.3*	63.27±8.93*	25.352	<0.001
支气管管腔面积(mm ²)	11.46±5.19	9.29±3.95*	9.35±4.72*	6.710	0.009
CT血管参数					
总肺血管体积(ml)	218.84±76.49	211.7±124.08	239.69±103.94	1.479	0.336
血管数量(支)	1592.08±680.44	1308.63±697.45*	1269.89±750.29*	6.301	0.012
5mm ² 以下血管数量	1437.13±649.6	1138.79±639.47*	1086.59±721.62*	7.891	0.004
血管平均直径(mm)	1.61±0.33	1.74±0.49*	1.83±0.75*	7.304	0.006
血管面积(mm ²)	4173.74±1854.21	3821.93±1915.59	4088.99±2015.99	0.721	0.568
LAA(mm ²)	13377.07±12151.6	15252.2±21489.13	51750.19±36007.03*#	78.673	<0.001

使用ROC曲线分析显示, MLD(AUC=0.688)、fSAD(%) (AUC=0.713)和管腔面积(AUC=0.684)均具有一定预测价值, MLD的最佳诊断切点为-831 HU, fSAD(%)为20.2%和管腔面积为19.32 mm², 详见图3。

表3 Logistic回归分析影响PRISm发生的高分辨率CT和临床因素

影响因素	β	SE	Wald值	P值	OR	95%CI
吸烟(否=1)	-1.058	0.432	6.003	0.015	0.347	0.148-0.809
吸气相MLD	0.272	0.097	7.837	0.004	1.312	1.084-1.586
管腔面积(mm ²)	-0.212	0.084	6.367	0.011	0.809	0.686-0.953
fSAD(%)	0.143	0.039	13.489	<0.001	1.154	1.069-1.245

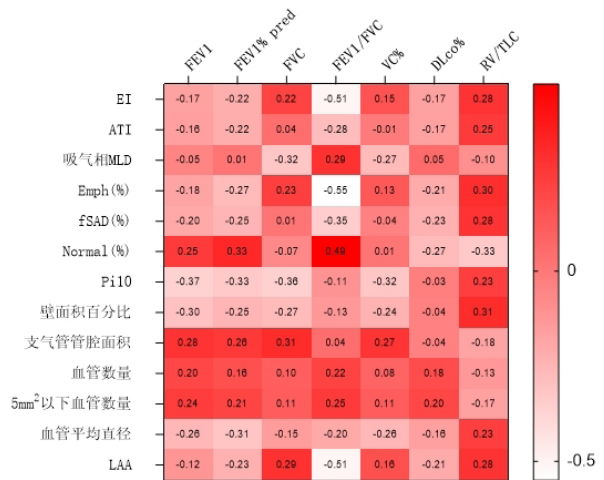


图2 CT参数与肺功能参数的相关性分析。红色程度越深正相关性越强, 颜色程度越浅负相关性越强, 颜色内数字为Spearman相关系数。

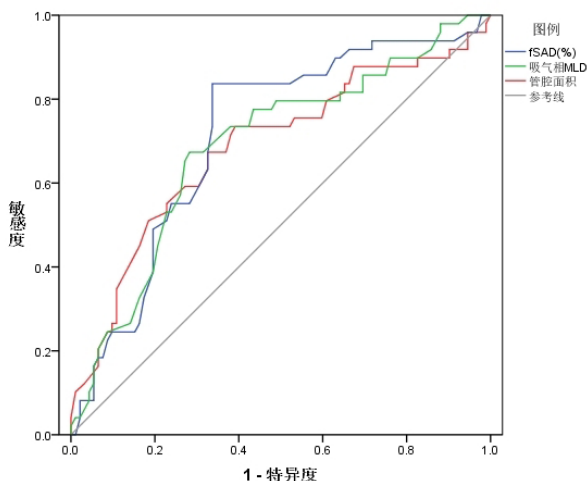


图3 不同参数预测PRISm的ROC曲线。

3 讨论

PRISm人群是发生COPD的高危人群, PRISm与肺功能减退、气道疾病和肺气肿之间存在关联, 这些发现对于理解COPD的异质性和PRISm的自然病程具有重要意义^[11-12]。本研究探讨了肺功能正常者、PRISm患者及轻-中度COPD患者的肺部高分辨率CT参数与肺功能参数的关系。

吸烟是导致PRISm的主要危险因素之一, 有研究也显示, 持续吸烟是PRISm和COPD患者生活质量下降的独立预测因素^[13]。本研究的Logistic回归分析中同样发现, 吸烟是区分PRISm患者与正常患者的独立预测因素。PRISm组与正常组患者在CT上的肺实质衰减参数差异无统计学意义, 而轻-中度COPD组较另外两组患者差异较大, 这与既往Wei等人^[14]研究结果类似。这些提示PRISm组在肺实质组织病变方面与正常组差异较小, 这与轻-中度COPD者不同。通过结果中相关性分析可见, FEV1/FVC与肺实质衰减参数的相关性较强, 而与气道参数相关性较弱。这也说明了PRISm病变主要累及小气道病变, 对其他肺实质影响相关较小。而COPD则以小气道管腔狭窄和数目减少、进而增加气道阻力为主要特征。因此, 学者认为PRISm属于COPD发展的早期阶段^[11]。

既往COPD Gene研究^[13]发现, 与正常组相比, PRISm患者肺气肿的发生率更高, 认为肺气肿是PRISm的主要危险因素之一。本研究同样证实了PRISm组的RV/TLC水平高于对照组。Wei等人研究^[14]报道, PRISm组的肺气肿百分比与正常组无显著差异, 对于这一结论仍需要一步进行研究。吸气相MLD在三组中存在差异, 且吸气相MLD也是区分正常组和PRISm组的预测因子。MLD反映的是小气道的通气功能, 而COPD患者终末细支气管破坏导致肺通气不足是造成上述差异的可能原因^[15]。既往Wei等人^[14]的研究表明, 当呼吸困难发生时, 身体会进行代偿性调整以缓解症状。本研究中观察到PRISm和COPD患者肺活量的减少和平均肺密度的增加可能是克服小气道阻力增加而形成的早期组织学变化。

CT在早期COPD的诊断中起着重要作用, 但在CT图像上很难直接测量小气道的改变^[16]。而通过PRM技术可以测算出肺部小气道病变和肺气肿区域比例。本研究发现, PRM在正常组、PRISm组和轻-中度COPD组中差异明显, 且PRM与多个肺功能参数相关程度较高。Emph%也是PRISm与正常组的独立预测因子。既往Hogg等人^[17]也提出在肺实质尚未破坏的COPD早期阶段, 小气道已经出现变化。而在肺部血管方面, 三组也同样存在一定差异。但三组受试者的总血管个数差异不明显, 这可能与早期病变主要发生在小血管中, 对整个血管数量的测量影响不大有关。由上述结论可见, 与正常组相比, PRISm的小气道和小血管均发生了一定变化, 但肺实质改变并不明显。既往Synn AJ等^[18]也表明, 早期细微肺血管病变与气流受限相关, 与本研究结果一致。

这项研究有一些局限性。首先, 受限于研究性质为单中心回顾性研究, 纳入患者数量相对较少。其次, 虽然受试者在CT扫描前接受了呼吸训练, 但受试者的吸气、呼气程度仍然不同, 微小的差异可能会影响某些定量CT参数的测量。再次, 本研究并未纳入重度和极重度COPD患者。未来需要更大样本量的多中心、标准化研究和探索高PRISm的高分辨率CT与肺功能关系, 以更早的识别和诊断患者。

综上所述, PRISm组、正常组和轻-中度COPD组CT定量参数差异显著, 且大多与肺功能参数相关性较好。吸烟、吸气相MLD、fSAD(%)和管腔面积可对区分PRISm组和正常组具有一定价值。本研究将有助于提高高分辨率CT对PRISm患者的早期识别能力, 及早干预患者。

参考文献

- [1] Li LC, Han YY, Zhang ZH, et al. Chronic obstructive pulmonary disease treatment and pharmacist-led medication management[J]. *Drug Des Devel Ther*, 2021, 15: 111-124.
- [2] Wang C, Xu J, Yang L, et al. Prevalence and risk factors of chronic obstructive pulmonary disease in China (the China pulmonary health [CPH] study): a national cross-sectional study[J]. *Lancet*, 2018, 391(10131): 1706-1717.
- [3] 郭建婷, 龙怀聪. 慢性阻塞性肺疾病小气道的检测方法及其研究进展[J]. *国际呼吸杂志*, 2022, 42(14): 1109-1114.
- [4] Şerifoğlu İ, Ulubay G. The methods other than spirometry in the early diagnosis of COPD[J]. *Tuberkuloz Ve Toraks*, 2019, 67(1): 63-70.
- [5] 慢性阻塞性肺疾病急性加重诊治专家组. 慢性阻塞性肺疾病急性加重诊治中国专家共识(2023年修订版)[J]. *国际呼吸杂志*, 2023, 43(2): 132-149.
- [6] Wan ES, Balte P, Schwartz JE, et al. Association between preserved ratio impaired spirometry and clinical outcomes in US adults[J]. *JAMA*, 2021, 326(22): 2287-2298.
- [7] Wijnant SRA, De Roos E, Kavousi M, et al. Trajectory and mortality of preserved ratio impaired spirometry: the Rotterdam study[J]. *Eur Respir J*, 2020, 55(1): 1901217.
- [8] 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.
- [9] Dransfield MT, Kunisaki KM, Strand MJ, et al. Acute exacerbations and lung function loss in smokers with and without chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 195(3): 324-330.
- [10] 中华医学会放射学分会心胸学组. 慢性阻塞性肺疾病胸部CT检查及评价中国专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2023, 57(6): 600-607.
- [11] Higbee DH, Graneli 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.
- [12] Marott JL, Ingebrigtsen TS, Colak Y, et al. Trajectory of preserved ratio impaired spirometry: natural history and long-term prognosis[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2021, 204(8): 910-920.
- [13] Wan ES, Fortis S, Regan EA, et al. Longitudinal phenotypes and mortality in preserved ratio impaired spirometry in the COPD Gene study[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2018, 198(11): 1397-1405.
- [14] Wei X, Ding Q, Yu N, et al. Imaging features of chronic bronchitis with preserved ratio and impaired spirometry (PRISm)[J]. *Lung*, 2018, 196(6): 649-658.
- [15] Dey S, Eapen MS, Chia C, et al. Pathogenesis, clinical features of asthma COPD overlap, and therapeutic modalities[J]. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*, 2022, 322(1): L64-L83.
- [16] 姚若娣, 成孟瑜. 高分辨率CT定量在慢性阻塞性肺疾病评估中的应用价值[J]. *中华老年多器官疾病杂志*, 2023, 22(11): 877-880.
- [17] Hogg JC. A pathologist's view of airway obstruction in chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2012, 186(5): 5-7.
- [18] Synn AJ, Li W, San José Estépar R, et al. Radiographic pulmonary vessel volume, lung function and airways disease in the Framingham heart study[J]. *Eur Respir J*, 2019, 54(3): 1900408.

(收稿日期: 2024-06-11)

(校对编辑: 翁佳鸿)