



## 双气相定量CT对轻中度COPD的评估价值研究

王雄慧, 潘娟, 牛媛, 沈敏, 阴玮灵, 李建龙, 黄晓旗, 郭佑民

### The Research Value of Biphasic Registration Quantitative Computed Tomography Emphysema Index in the Evaluation of Mild to Moderate COPD

WANG Xionghui, PAN Juan, NIU Yuan, SHEN Min, YIN Weiling, LI Jianlong, HUANG Xiaoqi, and GUO Youmin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15953/j.ctta.2022.189>

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

#### 定量胸部CT检测Pi10在COPD患者治疗反应中的预测价值

Predictive Value of Quantitative CT Detection of Pi10 in Treatment Response of COPD Patients

CT理论与应用研究. 2020, 29(6): 726–732

#### 计算机辅助评价急性肺栓塞严重度的可靠性研究

Reliable Study on Computer-aided Evaluation of the Severity of Acute Pulmonary Embolism

CT理论与应用研究. 2020, 29(4): 456–464

#### 计算机辅助检测低剂量CT早期肺癌筛查可行性研究

Computer-aided Detection Low-dose CT for Early Lung Cancer Screening: A Feasibility Study

CT理论与应用研究. 2019, 28(1): 39–44

#### 肺亚实性结节CT图像定量变化对浸润的判断

Quantitative Feature Change of Pulmonary Subsolid Nodule on CT Image to Determine Its Invasiveness

CT理论与应用研究. 2019, 28(5): 541–548

#### PET/CT影像辅助CT引导下肺穿刺活检的应用

Application of PET/CT Image Assisted CT Guided Lung Biopsy

CT理论与应用研究. 2020, 29(4): 503–510

#### 肺类癌的CT表现分析

CT Findings of Pulmonary Carcinoid

CT理论与应用研究. 2021, 30(4): 519–524



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王雄慧, 潘娟, 牛媛, 等. 双气相定量 CT 对轻中度 COPD 的评估价值研究[J]. CT 理论与应用研究 (中英文), 2024, 33(2): 189-196. DOI:10.15953/j.ctta.2022.189.

WANG X H, PAN J, NIU Y, et al. The Research Value of Biphasic Registration Quantitative Computed Tomography Emphysema Index in the Evaluation of Mild to Moderate COPD[J]. CT Theory and Applications, 2024, 33(2): 189-196. DOI:10.15953/j.ctta.2022.189. (in Chinese).

## 双气相定量 CT 对轻中度 COPD 的评估价值研究

王雄慧<sup>1</sup>, 潘娟<sup>2✉</sup>, 牛媛<sup>1</sup>, 沈敏<sup>1</sup>, 阴玮灵<sup>1</sup>, 李建龙<sup>1</sup>, 黄晓旗<sup>1</sup>, 郭佑民<sup>1</sup>

1. 延安大学附属医院影像中心, 陕西 延安 716000

2. 延安市人民医院老年病科, 陕西 延安 716000

**摘要:** 目的: 通过配准的双气相定量 CT 对轻中度慢性阻塞性肺疾病 (COPD) 患者肺气肿定量指标的对比分析, 寻找最优肺气肿定量指标。方法: 回顾性收集健康体检对照组 55 例和慢性阻塞性肺疾病全球倡议 (GOLD) 1 级 21 例, GOLD 2 级 31 例。将 CT 原始 DICOM 数据导入“数字肺”分析平台, 测定深吸气末 LAA%<sub>-950</sub> 和深呼气末 LAA%<sub>-910</sub>。将呼气相与吸气相 CT 图像配准, 根据阈值法计算出肺气肿区域百分比 (PRM<sup>Emph%</sup>)、功能性小气道病变区域百分比 (PRM<sup>fSAD%</sup>) 和正常区域百分比 (PRM<sup>Normal%</sup>)。肺功能指标包括 FVC、FEV<sub>1</sub>%、FEV<sub>1</sub>/FVC。组间一般资料、CT 定量指标和肺功能差异采用独立样本 *t* 检验、Mann-Whitney *U* 检验或卡方检验, 相关性采用 Spearman 相关分析。绘制受试者工作特征 (ROC) 曲线分析 CT 定量参数对轻中度 COPD 患者肺气肿的诊断效能。结果: 轻中度 COPD 患者与正常对照组间性别、吸烟指数、FEV<sub>1</sub>%、FEV<sub>1</sub>/FVC、吸气相 LAA%<sub>-950</sub>、呼气相 LAA%<sub>-910</sub>、PRM<sup>Emph%</sup>、PRM<sup>fSAD%</sup> 及 PRM<sup>Normal%</sup> 差异均有统计学意义。吸气相 LAA%<sub>-950</sub> 与 FEV<sub>1</sub>/FVC 呈负相关, 呼气相 LAA%<sub>-910</sub>、PRM<sup>Emph%</sup> 与 FVC、FEV<sub>1</sub>%、FEV<sub>1</sub>/FVC 均呈负相关。ROC 曲线分析结果显示吸气相 LAA%<sub>-950</sub>、呼气相 LAA%<sub>-910</sub> 及 PRM<sup>Emph%</sup> 曲线下面积分别为 0.742、0.861、0.876, 其中 PRM<sup>Emph%</sup> 指标的曲线下面积最大, 对应临界值为 9.84%, 敏感度 76.90%, 特异度 94.50%。结论: 定量 CT 肺气肿指标吸气相 LAA%<sub>-950</sub>、呼气相 LAA%<sub>-910</sub> 及双气相 PRM<sup>Emph%</sup> 都能够客观评估轻中度 COPD 患者的肺气肿情况, 其中 PRM<sup>Emph%</sup> 是最优评估指标。

**关键词:** 定量 CT; 计算机辅助图像处理; 慢性阻塞性肺疾病; 肺气肿

DOI:10.15953/j.ctta.2022.189 中图分类号: R814 文献标识码: A

慢性阻塞性肺疾病 (chronic obstruction pulmonary disease, COPD) 是一种以小气道病变和肺气肿为主要特征的异质性疾病, 其发生率男性高于女性, 目前是世界第 3 大死亡原因, 并且发病率和死亡率一直在上升<sup>[1-3]</sup>。目前 COPD 诊断的最佳标准仍然是肺功能检查<sup>[4]</sup>, 临床上用肺功能来判断 COPD 严重程度, 但是肺功能无法区分气流阻塞的病理类型, 也无法区分肺气肿及小气道病变的贡献程度<sup>[5]</sup>。肺功能正常的吸烟者通常会被认为没有疾病, 但吸烟者有呼吸道症状和急性加重病史, 并且此类患者在 CT 上常有肺气肿和支气管壁增厚, 而在此类人群中 CT 发现肺气肿可以预测进行性肺气肿、肺功能丧失和更高的死亡率<sup>[6]</sup>, 所以早期发现 COPD 易感人群肺气肿的分布比例对于其病情评估及预后具有重要作用。

师美娟等<sup>[7]</sup>通过分析 CT 双气相不同肺气肿阈值低衰减区 (low attenuation area, LAA) 占全肺体积百分比 LAA%<sub>-950</sub> 和 LAA%<sub>-910</sub> 可以评估不同严重程度肺气肿分布比例的不同; Galbán 等<sup>[8]</sup>首次提出参数反应图 (parameter response mapping, PRM) 应用到 CT 扫描的可行性; 此后研究表明双气相 CT 配准可以精确的区分及定量测量功能性小气道病变 (fSAD)、肺气肿 (Emph) 和正常 (Normal) 区域<sup>[9]</sup>; 本课题组前期研究<sup>[10-12]</sup>表明胸部定量 CT 能够早期、精准、客观的评估 COPD 严重程度, 并且优于传统肺功能检查; 梁志冉等<sup>[13]</sup>研究结果显示在无症状青年女性中存在少量肺气肿。因此我们推测在轻中度 COPD 中, 肺气肿指标在判断疾病严重程度及早期诊断中具有极大临床实用价值, 很有必要在 COPD 早期阶段筛选出最优 CT 定量肺气肿指标。

收稿日期: 2022-09-25。

基金项目: 陕西省重点研发计划一般项目 (基于体素对吸烟者肺结构损伤的定量研究 (2021SF-254))。

既往研究基本都是基于单气相 CT 定量指标来评估肺气肿, 本研究纳入双气相 CT 配准新的定量指标进行评估肺气肿并与既往的指标比较。本研究纳入正常人群和轻中度 COPD 患者, 来探讨双气相不同阈值和配准两种方法对轻中度 COPD 患者肺气肿的诊断效能及准确性, 以筛选出最优的诊断轻中度 COPD 患者肺气肿的定量 CT 指标。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性收集延安大学附属医院 2018 年 6 月至 2021 年 6 月进行呼、吸双相胸部 CT 检查的吸烟人群, 其中包括 52 例确诊 COPD 患者, 纳入参加体检的正常对照者 (肺功能检查未达 COPD 诊断标准 ( $FEV_1/FVC \geq 0.7$ )) 55 例。

纳入标准: 所纳入的受试者年龄不低于 40 岁; 双气相图像清晰完整, 软件能够进行肺裂的正确分割。排除标准: 年龄小于 40 岁或大于 80 岁; 不能配合双气相扫描者; 具有肺部手术、创伤史以及胸廓畸形等; 大面积炎症、肺肿瘤、结核及大量胸腔积液患者; 支气管哮喘、肺结核、支气管扩张及肺动脉高压等其他呼吸系统疾病患者; 职业性粉尘接触史。

本研究通过延安大学附属医院伦理委员会批准 [2018032], 所有受试者知情同意并签署了知情同意书。

### 1.2 CT 检查

所有患者在检查前均进行深吸气末与深呼气末的屏气训练, 采用联影 UCT-760 128 层螺旋 CT 对入选患者分别在深吸气及深呼气末行肺尖至肺底行全肺低剂量扫描。

扫描参数: 管电压 120 kV, 自适应动态管电流 (选择剂量等级 2, 范围 30~40 mAs, 符合胸部低剂量参考推荐<sup>[14]</sup>), 准直器宽度  $128 \times 0.625$  mm, 螺距 1.0875, 转速 0.5 s/圈, 扫描层厚 5 mm, 双气相图像行骨算法 1 mm 薄层 KARL 迭代重建<sup>[11]</sup>, 视野 350~450 mm, 矩阵  $512 \times 512$ 。

根据剂量报告并采用成人胸部有效剂量权重因子  $K=0.014$ , 得出有效辐射剂量为  $(3.71 \pm 0.28)$  mSv<sup>[10]</sup>。

### 1.3 图像处理及分析

原始 DICOM 数据导入“数字肺”测试平台进行分析, 基于肺裂为片状, 利用 Hough 变换进行分割来获得 5 个肺叶, 计算吸气相  $< -950$  HU 像素占全肺的比值 (吸气相  $LAA\%_{-950}$ )、呼气相  $< -910$  HU 像素占全肺的比值 (呼气相  $LAA\%_{-910}$ )<sup>[9]</sup>。然后进行双气相图像配准, 吸气和呼气图像的体积是空间上对齐到一个单一的几何框架使用一个薄板样条, 以相互信息为对象函数。

每个实质体素 (即图像数据集中最小的体积单位) 使用肺气肿指数和空气捕捉阈值进行分类, 吸气扫描时由 COPDGene 定义为  $-950$  HU, 呼气扫描时为  $-856$  HU, 并用于生成体素成对实质体素 HU 值的联合密度直方图。这使得每个体素被分类为正常、肺气肿或功能性小气道疾病。

通过将一个分类中的所有体素求和并归一化为总肺体积, 计算出每个分类的相对体积<sup>[15]</sup>: 吸气相 CT 值  $> -950$  HU, 呼气相 CT 值  $\leq -856$  HU 的像素占全肺容积的百分比 (the percentage of the area of functional small airway disease,  $PRM^{fSAD\%}$ ) 为小气道病变区, 标记为黄色区; 吸气相  $\leq -950$  HU, 呼气相  $\leq -856$  HU 的像素占全肺容积的百分比 (the percentage of the area of emphysema,  $PRM^{Emph\%}$ ) 为肺气肿区, 标记为红色区; 吸气相  $> -950$  HU, 呼气相  $> -856$  HU 的像素占全肺容积的百分比 (the percentage of the area of normal,  $PRM^{Normal\%}$ ) 为正常区, 标记为绿色区。 $PRM^{fSAD\%}$ 、 $PRM^{Emph\%}$  和  $PRM^{Normal\%}$  3 种区域总和并不等于 100%, 剩余区域不在阈值范围内, 约占 10%, 被证实和肺功能无相关性, 怀疑是噪音或是由于配准带来的误差, 因而没有进行颜色编码<sup>[16]</sup> (图 1)。

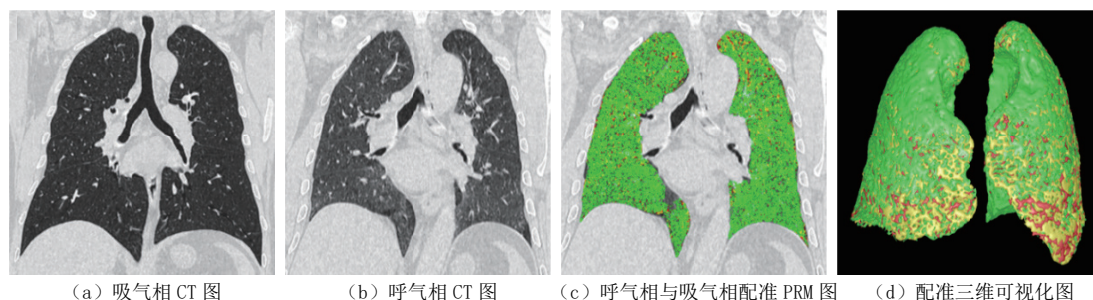


图 1 男, 58 岁, GOLD 1 级  
Fig.1 Male, 58 years old, GOLD grade 1

## 1.4 肺功能检查

患者均需在 CT 检查后的 3 天内且情况稳定时进行肺功能 (pulmonary function test, PFT) 检查, 分别测量: 用力肺活量 (FVC)、第 1 秒用力呼气容积占预计值的百分比 ( $FEV_1\%$ )、 $FEV_1$  占用力肺活量的百分比 ( $FEV_1/FVC$ )。

根据 2023 年慢性阻塞性肺疾病全球倡议 (global initiative for chronic obstructive lung disease, GOLD) 诊断标准<sup>[17]</sup>对 COPD 患者进行分级: GOLD 1 级 21 例、GOLD 2 级 31 例。

## 1.5 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。计量资料符合正态分布时用 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 符合非正态分布时采用  $M(Q)$  表示; 组间一般临床资料和肺功能差异采用独立样本  $t$  检验、Mann-Whitney  $U$  检验或卡方检验; 采用 Spearman 相关分析吸气相  $LAA\%_{-950}$ 、呼气相  $LAA\%_{-910}$ 、 $PRM^{Emph\%}$  与 FVC、 $FEV_1\%$ 、 $FEV_1/FVC$  的相关性。绘制受试者工作特征 (receiver operating characteristic curve, ROC) 曲线分析 CT 定量参数对轻中度 COPD 患者肺气肿评估的诊断效能。  $P < 0.05$  有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般资料比较

轻中度 COPD 患者与正常对照组, 年龄、BMI 及 FVC 组间无统计学差异; 正常对照组女性占比显著低于轻中度 COPD 患者, 轻中度 COPD 患者吸烟指数较正常对照组增大, 轻中度 COPD 患者  $FEV_1\%$ 、 $FEV_1/FVC$  数值小于正常对照组, 组间存在统计学差异 (表 1)。

表 1 一般资料结果比较  
Table 1 Comparison of general information and results

项目	正常对照组 ( $n = 55$ )	轻中度 COPD 患者 ( $n = 52$ )	统计检验	
			$t/\chi^2/Z$	$P$
年龄/岁	58.130 ± 8.228	58.700 ± 9.622	-0.735	0.464
性别(男/女)	53/2	40/12	8.883	0.003
BMI/(kg/m <sup>2</sup> )	24.573 ± 2.975	23.380 ± 2.507	1.684	0.096
吸烟指数	400.000 (392.000)	655.000 (800.000)	-3.327	0.001
FVC/L	3.461 ± 0.769	3.270 ± 1.052	1.248	0.215
$FEV_1\%$	81.570 ± 14.395	69.640 ± 13.654	3.008	0.003
$FEV_1/FVC\%$	81.030 ± 10.000	58.880 ± 9.771	12.236	< 0.001

注: 正态资料用  $\bar{x} \pm s$  表示, 偏态资料用  $M(Q)$  表示。

### 2.2 组间 CT 定量指标比较

轻中度 COPD 患者相比于正常对照组, 吸气相 LAA%<sub>-950</sub>、呼气相 LAA%<sub>-910</sub>、PRM<sup>Emph%</sup>、PRM<sup>fSAD%</sup> 四项指标均增大, PRM<sup>Normal%</sup> 减小, 且组间差异均有统计学意义 (表 2、图 2 和图 3)。

表 2 正常对照与轻中度 COPD 组间 CT 定量指标比较  
Table 2 Comparison of CT quantitative indexes between the normal control and mild to moderate COPD groups

项目	正常对照组 (n = 55)	轻中度 COPD 患者 (n = 52)	统计检验	
			Z	P
吸气相 LAA% <sub>-950</sub> /%	19.210 (7.890)	28.160 (12.080)	-4.323	< 0.001
呼气相 LAA% <sub>-910</sub> /%	10.380 (10.360)	26.210 (26.680)	-6.439	< 0.001
PRM <sup>Emph%</sup> /%	4.055 (3.570)	15.610 (18.590)	-6.697	< 0.001
PRM <sup>fSAD%</sup> /%	14.685 (11.640)	27.810 (15.280)	-4.806	< 0.001
PRM <sup>Normal%</sup> /%	59.615 (15.120)	37.340 (37.490)	-5.273	< 0.001

注: 偏态资料用 M(Q) 表示。

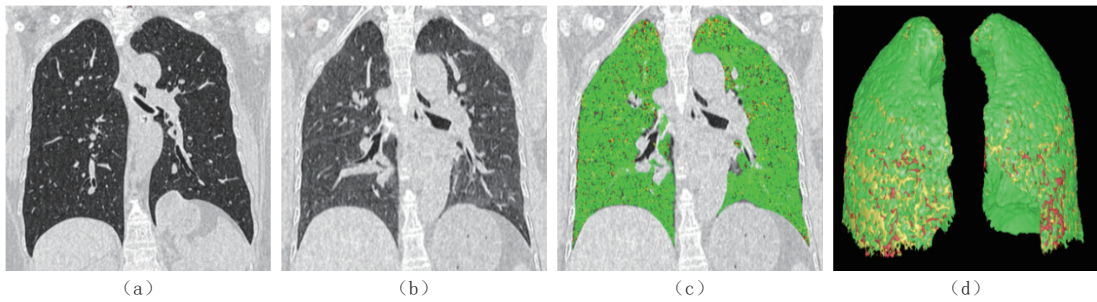


图 2 女, 57 岁, 正常对照受试者  
Fig.2 Female, 57 years old, normal control subject

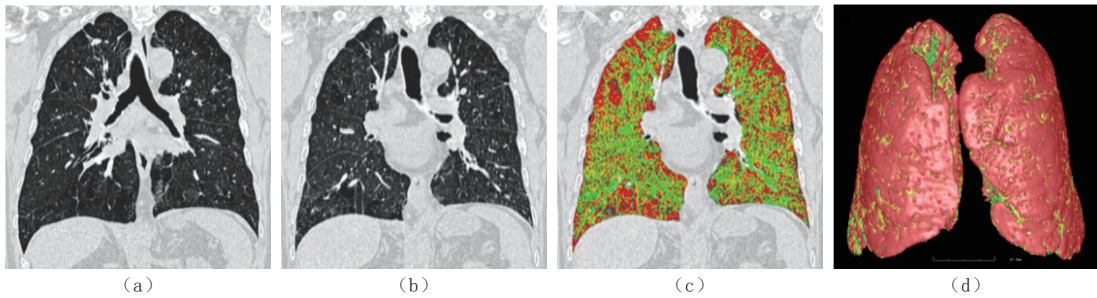


图 3 男, 63 岁, GOLD 2 级。正常对照受试者与轻中度 COPD 患者 PRM<sup>Emph%</sup> (红色区域) 存在差异, 轻中度 COPD 患者病变明显加重  
Fig.3 Male, 63 years old, GOLD grade 2. There was a difference in PRM<sup>Emph%</sup> (red area) between normal controls and patients with mild to moderate COPD, and the lesions of patients with mild to moderate COPD were significantly aggravated

### 2.3 CT 定量参数与 PFT 的相关性

呼气相 LAA%<sub>-910</sub>、PRM<sup>Emph%</sup> 与 FVC、FEV<sub>1</sub>%、FEV<sub>1</sub>/FVC 均呈负相关, 吸气相 LAA%<sub>-950</sub> 与 FEV<sub>1</sub>/FVC 呈负相关, 吸气相 LAA%<sub>-950</sub> 与 FVC、FEV<sub>1</sub>% 无线性相关 (表 3)。

### 2.4 CT 定量参数区分正常人群与轻中度 COPD 患者的价值

吸气相 LAA%<sub>-950</sub>、呼气相 LAA%<sub>-910</sub>、PRM<sup>Emph%</sup> 区分轻中度 COPD 的曲线下面积分别为 0.742、0.861 和 0.876, 其中 PRM<sup>Emph%</sup> 指标的曲线下面积最大, 对应的临界值为 9.84%, 敏感度 76.90%, 特异度 94.50% (图 4)。

表 3 CT 定量参数与肺功能的相关性  
Table 3 Correlations between CT quantitative parameters and pulmonary function

CT 定量参数	相关系数及其检验 $r_s(P)$		
	FVC/L	FEV <sub>1</sub> %/%	FEV <sub>1</sub> /FVC/%
吸气相 LAA% <sub>-950</sub> /%	0.044 (0.655)	-0.150 (<0.122)	-0.512 (<0.001)
呼气相 LAA% <sub>-910</sub> /%	-0.301 (0.002)	-0.394 (<0.001)	-0.668 (<0.001)
PRM <sup>Emph%</sup> /%	-0.269 (0.005)	-0.361 (<0.001)	-0.696 (<0.001)

### 3 讨论

COPD 的特征是呼吸道和肺实质的慢性炎症, 不可避免地导致(部分不可逆的)肺改变。胸部 CT 的发展为 COPD 疾病异质性了解提供新的视角。目前 CT 检查是 COPD 患者重要的影像学检查方法<sup>[18]</sup>, 且双气相 CT 定量参数是 COPD 患者肺气肿的重要指标, CT 上肺气肿范围的变化可以预测 COPD 患者的死亡率, 因此为早期 COPD 筛选出最优 CT 定量肺气肿指标有重要意义<sup>[19-20]</sup>。

本研究结果显示年龄与 BMI 组间无统计学差异, 减小了由年龄与 BMI 对组间受试者的影响。组间性别有差异, 轻中度 COPD 患者组女性占比显著高于正常对照组, 轻中度 COPD 患者的吸烟指数显著高于正常对照组。结果说明女性较男性更容易受到吸烟的有害影响<sup>[21-22]</sup>, 吸烟是导致 COPD 的危险因素之一, 故年龄高于 40 岁且吸烟的人群是 COPD 的易感人群<sup>[1]</sup>, 通过双气相 CT 定量可以更好的评估病变程度。

本研究使用吸气相 LAA%<sub>-950</sub>、呼气相 LAA%<sub>-910</sub>、PRM<sup>Emph%</sup> 来研究 COPD 患者肺气肿的诊断效能, 其中 PRM<sup>Emph%</sup> 不仅可以区分 COPD 的主要病理生理学

(肺气肿) 改变, 还可以可视化定量分析正常区域、功能性小气道区域及肺气肿区域等。既往研究<sup>[23]</sup>表明吸气相 LAA%<sub>-950</sub> 是量化肺气肿的最佳阈值, 且与肺功能相关性良好。本文中呼气相 LAA%<sub>-910</sub> 与 FEV<sub>1</sub>% 的相关性最高, 而 FEV<sub>1</sub>% 是 COPD 分级的指标, 因此可以说明呼气相 LAA%<sub>-910</sub> 对评估 COPD 的严重程度比较敏感, 这与本团队之前的研究<sup>[12]</sup>结果一致。双气相定量 PRM 能够可视化及量化肺气肿的改变, 与肺功能指标相关联<sup>[24]</sup>, 另有研究证实 PRM<sup>Emph%</sup> 与肺气肿相关, 且与吸气相 LAA%<sub>-950</sub>、呼气相 LAA%<sub>-910</sub> 两项指标相比, PRM<sup>Emph%</sup> 与 FEV<sub>1</sub>/FVC 相关性更好<sup>[9-25]</sup>。吸气相 LAA%<sub>-950</sub>、呼气相 LAA%<sub>-910</sub>、PRM<sup>Emph%</sup> 3 项指标分别区分正常对照组和 COPD 轻中度患者的肺气肿, ROC 结果的曲线下面积分别为 0.742、0.861 和 0.876, 并且都有一定意义, 诊断效能均比较好。其中 PRM<sup>Emph%</sup> 的 AUC 最大, 且考虑到其包含的信息较多, 诊断效能优于吸气相 LAA%<sub>-950</sub> 和呼气相 LAA%<sub>-910</sub>。

本研究在相关分析的基础上绘制了 ROC 曲线, 结果论证了双气相配准指标优于单气相指标。由于肺气肿是 COPD 中晚期的主要病变, 目前对早期 COPD 的研究主要是小气道, 而本研究主要针对轻中度 COPD 患者的肺气肿情况, 寻找诊断轻中度 COPD 患者肺气肿的最优定量 CT 指标, 而筛选最优肺气肿定量分析指标也是本研究最大创新点。

本研究团队之前的研究表明呼气相 LAA%<sub>-910</sub> 是准确评估 COPD 严重程度的敏感指标, 并且与临床肺功能具有良好的相关性, 这与本研究的结论一致, 可以对 COPD 患者进行更全面的评估提供参考<sup>[15]</sup>。研究表明<sup>[26]</sup>PRM 增加了目前已知的 CT 测量在诊断 COPD 方面的价值, 其与临床参数的强相关性表明,

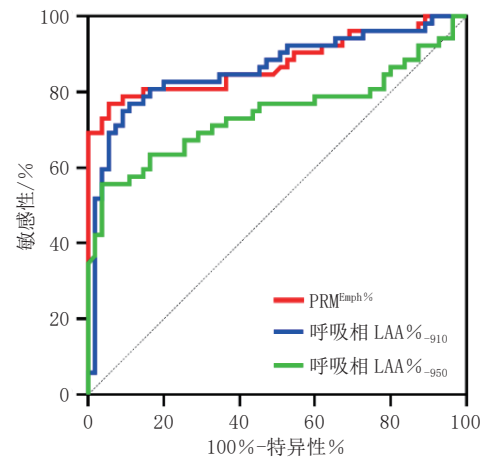


图 4 CT 定量参数区分轻中度 COPD 患者肺气肿的 ROC

Fig. 4 ROC of CT quantitative parameters to differentiate emphysema in patients with mild to moderate COPD

PRM 可以提供关于疾病表型和严重程度的重要信息。因此 PRM 的优点是能够区分肺气肿和非肺气肿的空气滞留, 从而能够更真实地评估 COPD 患者的肺气肿情况。PRM<sup>Emph%</sup>可以区分以肺气肿为特征的 COPD 的临床异质性, 这是 PRM 的一个重要特征, 因为不同的表型可能会有不同的生命过程及结果, 因此可以用来确定患者的特征, 且可以为不能行肺功能检查的患者进行肺功能的检测及分级, 并在未来制定个性化治疗方案。

随着胸部低剂量 CT 技术的发展, 不仅应用于肺癌筛查, 也可用于肺部其他疾病, 对于 COPD 易感人群行双气相扫描也符合伦理要求<sup>[10]</sup>, 定量 CT 可以更加精确、客观的分析肺部异常, 在早期有效的发现病变, 且可用于不能进行肺功能检查的特殊人群。综上, 我们认为 PRM 是一种很有前途且优于单气相的 CT 指标。

本研究的局限性是样本量较少, 后续研究可以增加样本量, 尤其是女性患者, 对 COPD 患者进行性别分组研究。此外, 本研究只区分正常对照组和轻中度 COPD 患者, 之后可以进行跟踪随访, 进一步对疾病严重程度进行诊断。

综上所述, 吸气相 LAA%<sub>-950</sub>、呼气相 LAA%<sub>-910</sub>、PRM<sup>Emph%</sup>都能很好地诊断轻中度 COPD 患者的肺气肿, 其中 PRM<sup>Emph%</sup>可以更为准确、敏感地识别轻中度 COPD 患者肺气肿的改变, 可作为轻中度 COPD 患者肺气肿诊断的可靠指标, 有效的应用于临床实践。

## 参考文献

- [1] LABAKI W W, ROSENBERG S R. Chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Annals of Internal Medicine*, 2020, 173(3): ITC17-ITC32.
- [2] HALPIN D M G, CELLI B R, CRINER G J, et al. The GOLD Summit on chronic obstructive pulmonary disease in low- and middle-income countries[J]. *International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 2019, 23(11): 1131-1141.
- [3] 李小平, 欧阳辉, 袁浩. 慢性阻塞性肺疾病与体质量指数、甘油三酯、胆固醇的相关性研究[J]. *国际呼吸杂志*, 2021, 41(7): 489-493.  
LI X P, OUYANG H, YUAN H. Study on the relationship between chronic obstructive pulmonary disease and body mass index, triglyceride and cholesterol[J]. *International Journal of Respiration*, 2021, 41(7): 489-493. (in Chinese).
- [4] ZHOU J, LI X, WANG X, et al. Accuracy of portable spirometers in the diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease a Meta-analysis[J]. *NPJ Primary Care Respiratory Medicine*, 2022, 32(1): 15.
- [5] ANDREEVA E, POKHAZNIKOVA M, LEBEDEV A, et al. Spirometry is not enough to diagnose COPD in epidemiological studies: A follow-up study[J]. *NPJ Primary Care Respiratory Medicine*, 2017, 27(1): 62.
- [6] GRENIER P A. Emphysema at CT in smokers with normal spirometry: Why it is clinically significant[J]. *Radiology*, 2020, 296(3): 650-651.
- [7] 师美娟, 沈聪, 于楠, 等. 基于 CT 定量探讨不同级别慢性阻塞性肺疾病患者肺气肿肺叶分布[J]. *西安交通大学学报(医学版)*, 2019, 40(2): 182-186.  
SHI M J, SHEN C, YU N, et al. Quantitative study of lobar distribution of emphysema in patients with different grades of chronic obstructive pulmonary disease based on CT[J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University (Medical Sciences)*, 2019, 40(2): 182-186. (in Chinese).
- [8] GALBÁN C J, CHENEVERT T L, MEYER C R, et al. The parametric response map is an imaging biomarker for early cancer treatment outcome[J]. *Nature Medicine*, 2009, 15(5): 572-576.
- [9] 金晨望, 梁志冉, 段海峰, 等. 基于体素的空气滞留定量测量方法的建立及初步临床应用[J]. *中华放射学杂志*, 2019, (1): 21-25.  
JIN C W, LIANG Z R, DUAN H F, et al. Establishment and preliminary clinical application of voxel-based quantitative measurement of air retention[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2019, (1): 21-25. (in Chinese).
- [10] 黄晓旗, 牛媛, 雷禹, 等. 基于 CT 双气相定量研究吸烟合并慢性阻塞性肺疾病患者的肺叶小气道病变及肺气肿损伤程度[J]. *中华放射学杂志*, 2022, 56(5): 536-541.  
HUANG X Q, NIU Y, LEI Y, et al. Quantitative study on the degree of small airway disease and emphysema injury in pulmonary lobes of patients with smoking combined with chronic obstructive pulmonary disease based on biphasic CT[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2022, 56(5): 536-541. (in

- Chinese).
- [11] 黄晓旗, 祁鑫华, 王雷, 等. 基于 KARL 迭代算法对 COPD 低剂量 CT 扫描条件下肺气肿定量测量的影响[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2020, 41(3): 410-414, 467.  
HUANG X Q, QI X H, WANG L, et al. Effect of KARL iterative algorithm on quantitative measurement of emphysema under COPD low dose CT scan[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University (Medical Sciences), 2020, 41(3): 410-414, 467. (in Chinese).
- [12] 黄晓旗, 闫苗苗, 王雷, 等. 基于呼气相不同阈值分析慢性阻塞性肺疾病严重程度与肺功能的相关性[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(3): 350-355.  
HUANG X Q, YAN M M, WANG L, et al. Analysis of the correlation between severity of chronic obstructive pulmonary disease and pulmonary function based on different expiratory thresholds[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2020, 36(3): 350-355. (in Chinese).
- [13] 梁志冉, 师美娟, 段海峰, 等. 基于双气相定量 CT 评估无症状青年女性空气滞留程度的研究[J]. 实用放射学杂志, 2017, 33(12): 1831-1835.  
LIANG Z R, SHI M J, DUAN H F, et al. Evaluation of air retention in asymptomatic young women based on biphasic quantitative CT[J]. Journal of Practical Radiology, 2017, 33(12): 1831-1835. (in Chinese).
- [14] 梁瑞鹏, 张秀富, 王芋霖, 等. 低剂量 CT 在早期肺癌筛查中的研究进展[J]. 医学综述, 2021, 27(20): 4113-4117.  
LIANG R P, ZHANG X F, WANG Y L, et al. Research progress of low-dose CT in early lung cancer screening[J]. Medical Recapitulate, 2021, 27(20): 4113-4117. (in Chinese).
- [15] BOES J L, BULE M, HOFF B A, et al. The impact of sources of variability on parametric response mapping of lung CT scans[J]. Tomography, 2015, 1(1): 69-77.
- [16] GALBÁN C J, HAN M K, BOES J L, et al. Computed tomography-based biomarker provides unique signature for diagnosis of COPD phenotypes and disease progression[J]. Nature Medicine, 2012, 18(11): 1711-1715.
- [17] Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (2023 REPORT)[EB/OL]. (2022-11-16) [2023-04-07]. <https://www.goldcopd.org>.
- [18] CHENG T, LI Y, PANG S, et al. Emphysema extent on computed tomography is a highly specific index in diagnosing persistent airflow limitation: A real-world study in China[J]. International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, 2018, 14: 13-26.
- [19] 郭佑民, 沈聪. CT 定量技术在慢性阻塞性肺疾病中的研究现状与展望[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2019, 40(2): 173-177.  
GUO Y M, SHEN C. Research status and prospect of CT quantitative technology in chronic obstructive pulmonary disease[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University (Medical Sciences), 2019, 40(2): 173-177. (in Chinese).
- [20] PARK J, KIM E K, LEE S H, et al. Phenotyping COPD Patients with emphysema distribution using quantitative CT measurement; more severe airway involvement in lower dominant emphysema[J]. International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, 2022, 17: 2013-2025.
- [21] NTRITSOS G, FRANEK J, BELBASIS L, et al. Gender-specific estimates of COPD prevalence: A systematic review and metaanalysis[J]. International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, 2018, 13: 1507-1514.
- [22] FOREMAN M G, ZHANG L, MURPHY J, et al. Early-onset chronic obstructive pulmonary disease is associated with female sex, maternal factors, and African American race in the COPD Gene study[J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2011, 184(4): 414-420.
- [23] AMAZA I P, O' SHEA A M J, FORTIS S, et al. Discordant quantitative and visual CT assessments in the diagnosis of emphysema[J]. International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, 2021, 16: 1231-1242.
- [24] 王雯婷, 王晓华, 贺蓓, 等. CT 参数效应图在慢性阻塞性肺疾病诊疗中的应用进展[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2021, 44(4): 409-412.  
WANG W T, WANG X H, HE B, et al. Progress in the application of CT parameter effect map in the diagnosis and treatment of chronic obstructive pulmonary disease[J]. Chinese Journal of Tuberculosis and Respiratory Diseases, 2021, 44(4): 409-412. (in Chinese).
- [25] VASILESCU D M, MARTINEZ F J, MARCHETTI N, et al. Noninvasive imaging biomarker identifies small airway damage in severe chronic obstructive pulmonary disease[J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2019, 200(5): 575-581.
- [26] HWANG H J, SEO J B, LEE S M, et al. New method for combined quantitative assessment of air-

trapping and emphysema on chest computed tomography in chronic obstructive pulmonary disease: Comparison with parametric response mapping[J]. *Korean Journal of Radiology*, 2021, 22(10): 1719-1729.

## The Research Value of Biphasic Registration Quantitative Computed Tomography Emphysema Index in the Evaluation of Mild to Moderate COPD

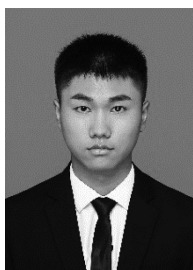
WANG Xionghui<sup>1</sup>, PAN Juan<sup>2✉</sup>, NIU Yuan<sup>1</sup>, SHEN Min<sup>1</sup>,  
YIN Weiling<sup>1</sup>, LI Jianlong<sup>1</sup>, HUANG Xiaoqi<sup>1</sup>, GUO Youmin<sup>1</sup>

1. Imaging Center, Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an, 16000, China

2. Department of Geriatrics, Yan'an People's Hospital, Yan'an, 16000, China

**Abstract:** Objective: To find the optimal quantitative index of emphysema by comparing and analyzing the quantitative indexes of emphysema in patients with mild to moderate chronic obstruction pulmonary disease (COPD) via registered biphasic quantitative computed tomography (QCT). Methods: We retrospectively collected 55 healthy controls, 21 Global Initiative for Chronic Obstructive Pulmonary Disease (GOLD) 1 case, and 31 GOLD 2 cases in our hospital. We imported the CT raw DICOM data into the "Digital Lung" analysis platform and measured the LAA<sub>%.950%</sub> at the end of deep inspiration and the LAA<sub>%.910%</sub> at the end of deep expiration. The expiratory and inspiratory CT images were registered. Then, the percentage of emphysema area (PRM<sup>Emph%</sup>), the percentage of functional small airway disease area (PRM<sup>SAD%</sup>), and the percentage of the normal area (PRM<sup>Normal%</sup>) were calculated according to the threshold method. Pulmonary function indicators included FVC, FEV<sub>1%</sub>, and FEV<sub>1</sub>/FVC. Differences in general data, CT quantitative indexes, and pulmonary function between groups were assessed using the independent sample t-test, Mann-Whitney U test, or chi-square test, and the correlation was analyzed using Spearman correlation. The receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the diagnostic performance of CT quantitative parameters for emphysema in patients with mild to moderate COPD. Results: There were significant differences in sex, smoking index, FEV<sub>1%</sub>, FEV<sub>1</sub>/FVC, inspiratory phase LAA<sub>%.950%</sub>, expiratory phase LAA<sub>%.910%</sub>, PRM<sup>Emph%</sup>, PRM<sup>SAD%</sup>, and PRM<sup>Normal%</sup> between the mild to moderate COPD patients and normal control groups. The inspiratory phase LAA<sub>%.950%</sub> was negatively correlated with FEV<sub>1</sub>/FVC, the expiratory phase LAA<sub>%.910%</sub> and PRM<sup>Emph%</sup> were negatively correlated with FVC, FEV<sub>1%</sub>, and FEV<sub>1</sub>/FVC. ROC curve analysis results showed that the areas under the curve of inspiration phase LAA<sub>%.950%</sub>, expiratory phase LAA<sub>%.910%</sub>, and PRM<sup>Emph%</sup> were 0.742, 0.861, and 0.876, respectively. Among them, the area under the curve of the PRM<sup>Emph%</sup> index was the largest, with a corresponding critical value of 9.84%, a sensitivity of 76.90%, and a specificity of 94.50%. Conclusion: Quantitative CT emphysema index LAA<sub>%.950%</sub> in the inspiratory phase, LAA<sub>%.910%</sub> in the expiratory phase, and PRM<sup>Emph%</sup> in biphasic can objectively evaluate emphysema in patients with mild to moderate COPD, among which PRM<sup>Emph%</sup> is the best evaluation index.

**Keywords:** quantitative CT; computer assisted image processing; chronic obstructive pulmonary disease; emphysema



**作者简介:** 王雄慧, 男, 延安大学在读硕士, 研究方向为胸部影像学, E-mail: [1563059126@qq.com](mailto:1563059126@qq.com); 潘娟<sup>✉</sup>, 女, 延安市人民医院副主任医师, 主要从事临床诊断工作, E-mail: [745778215@qq.com](mailto:745778215@qq.com)。