

论 著

呼吸双相CT定量参数对COPD患者肺功能的评估价值分析*

周 君 马玉萍 薛志伟*

新疆医科大学附属中医医院医学影像科
(新疆 乌鲁木齐 830000)

【摘要】目的 分析呼吸双相CT定量参数对慢性阻塞性肺疾病(COPD)患者肺功能的评估价值。**方法** 选取2022年12月至2023年12月期间72例COPD患者作为研究对象(纳入COPD组),同时期健康志愿者50例(纳入对照组),均行多层螺旋呼吸双相CT扫描及肺功能测试,比较两组呼吸双相CT定量参数及肺功能指标[第1s用力呼气容积占预计值百分比(FEV1%)、用力肺活量(FVC)、FEV1/FVC],分析呼吸双相CT定量参数与肺功能指标的相关性。**结果** COPD组吸气相气道壁厚度、气道壁面积占气道总截面百分比(WA%)均大于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$);COPD组吸气相、呼气相低衰减区域占全肺百分比(LAA%)及差值 Δ LAA%均大于对照组,吸气相、呼气相平均肺密度(MLD)及差值 Δ MLD均小于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$);COPD组第1s用力呼气容积占预计值百分比(FEV1%)、用力肺活量(FVC)、FEV1/FVC%均小于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$);Pearson相关性分析显示,COPD患者吸气相气道壁厚度、吸气相WA%、吸气相LAA%、呼气相LAA%、 Δ LAA%与FEV1%、FVC、FEV1/FVC均呈负相关性,MLDin、MLDex、 Δ MLD与FEV1%、FVC、FEV1/FVC均呈正相关性,差异均有统计学意义($P<0.05$)。**结论** COPD患者呼吸双相CT定量参数与肺功能测试指标具有显著相关性,可为COPD的诊断和评估提供参考。

【关键词】 呼吸双相CT; 定量参数;
慢性阻塞性肺疾病; 肺功能

【中图分类号】R563

【文献标识码】A

【基金项目】新疆维吾尔自治区自然科学

基金资助项目(2019D01C177);

新疆医科大学附属中医医院院级

课题(ZYY202005)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.05.017

Analysis of the Evaluation Value of Respiratory Dual-phase CT Quantitative Parameters on Lung Function in Patients with COPD*

ZHOU Jun, MA Yu-ping, XUE Zhi-wei*

Department of Medical Imaging, Affiliated Traditional Chinese Medicine Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective To analyze the evaluation value of respiratory dual-phase CT quantitative parameters on lung function in patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD). **Methods** 72 COPD patients were selected as the study subjects (COPD group) from December 2022 to December 2023, along with 50 healthy volunteers (control group) during the same period. Both groups underwent multi-slice spiral respiratory dual-phase CT scans and lung function tests. The study compared the respiratory dual-phase CT quantitative parameters and lung function indicators [the percentage of Forced Expiratory Volume in one second to the predicted value (FEV1%), Forced Vital Capacity (FVC), and FEV1/FVC ratio] between the two groups, analyzing the correlation between respiratory dual-phase CT quantitative parameters and lung function indicators. **Results** In the COPD group, the airway wall thickness and the percentage of airway wall area to total cross-sectional area (WA%) during the inspiratory phase were significantly greater than those in the control group, with statistically significant differences ($P<0.05$). The percentage of low attenuation areas (LAA%) during both inspiratory and expiratory phases and the difference in LAA% (Δ LAA%) were also greater in the COPD group, while the mean lung density (MLD) during both inspiratory and expiratory phases and the difference in MLD (Δ MLD) were lower than those in the control group, with statistically significant differences ($P<0.05$). The FEV1%, FVC, and FEV1/FVC% in the COPD group were lower than those in the control group, with statistically significant differences ($P<0.05$). Pearson correlation analysis showed that in COPD patients, inspiratory airway wall thickness, inspiratory WA%, inspiratory LAA%, expiratory LAA%, Δ LAA% were negatively correlated with FEV1%, FVC, and FEV1/FVC, while MLDin, MLDex, and Δ MLD were positively correlated with FEV1%, FVC, and FEV1/FVC, with statistically significant differences ($P<0.05$). **Conclusion** Respiratory dual-phase CT quantitative parameters have significant correlations with lung function test indicators in COPD patients, providing references for the diagnosis and assessment of COPD.

Keywords: Respiratory Dual-phase CT; Quantitative Parameters; Chronic Obstructive Pulmonary Disease; Lung Function

慢性阻塞性肺疾病(COPD)是一种常见的慢性炎症性肺部疾病,以持续的气流限制为主要特征,严重影响患者的生活质量,据世界卫生组织(WHO)报告,COPD已成为全球主要的死亡原因之一,患病率和死亡率预计将在未来几十年内持续上升^[1-2]。COPD以气道炎症、气道重塑及肺气肿等所致气道阻塞和肺功能下降为主要病理生理基础,准确评估患者的肺功能状态对于诊断、治疗和管理至关重要^[3-4]。肺功能测试是评估COPD的传统方法,可为COPD的诊断和分级提供重要依据,但无法反映肺部结构变化的具体信息。随着医学影像技术的进步,高分辨率计算机断层扫描已成为评估COPD肺部结构改变的重要工具,呼吸双相CT技术可提供肺部通气和肺组织状态的动态信息,从而反映肺通气、肺气肿程度及气道改变情况^[5-6]。此外,呼吸双相CT还可定量分析肺部与气道形态变化,从而为COPD评估提供精确的量化数据。本研究旨在分析COPD患者呼吸双相CT定量参数与肺功能测试指标之间的相关性,以期对COPD的临床评估提供更多依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象 选取2022年12月至2023年12月期间72例COPD患者,纳入COPD组。

纳入标准:年龄 ≥ 40 岁;符合COPD诊断标准^[7];可接受呼吸双相CT扫描及肺功能测试;临床资料完整。排除标准:有肺部手术史或胸部放疗史;合并有其他严重的心脑血管疾病、肾功能衰竭或肝功能衰竭;孕妇或哺乳期妇女。另选取同时期健康志愿者,均无呼吸系统疾病史,肺功能测试结果在正常范围内,知情同意且自愿配合研究。COPD组男49例,女23例;年龄40~82岁,平均(62.09 $\pm$ 10.27)岁。对照组男33例,女17例;年龄40~85岁,平均(61.42 $\pm$ 9.33)岁。两组性别、年龄比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。

1.2 检查方法

1.2.1 CT检查: 使用Siemens SOMATOM Definition Flash双源CT扫描仪(Siemens Healthineers, 德国),采用Siemens syngo.via图像处理软件,用于图像的后处理和分。患者取仰卧位,双臂抬高放置头侧,在扫描前对患者进行屏气训练。选择高分辨率螺旋扫描模式,电压120 kV,自动调节电流,根据患者体型,范围100-200 mA,扫描范围从上颈椎至膈肌下缘,采用1 mm薄层扫描,肺部专用重建算法,分别在在深吸气后屏气状态、深呼气后屏气状态下进行吸气相、呼气相扫描。利用syngo.via软件自动识别

【第一作者】周 君,女,主治医师,主要研究方向:胸部影像学诊断。E-mail: 1641074754@qq.com

【通讯作者】薛志伟,女,副主任医师,主要研究方向:影像诊断。E-mail: 352262398@qq.com

气道，选择右肺上叶尖段支气管进行分析，测量气道内外径，自动计算气道壁厚度和气道壁面积百分比(WA%)；设置阈值为-950 HU，软件自动计算低衰减区域占全肺百分比(LAA%)，分别在吸气和呼气相测量肺部平均肺密度(MLD)，计算吸气与呼气相的差值。

1.2.2 肺功能测试：采用Vmax Encore 229肺功能测试系统(CareFusion, San Diego, CA, USA)测定患者肺功能指标:第1s用力呼气容积占预计值百分比(FEV1%)、用力肺活量(FVC)，计算FEV1/FVC%。

1.3 观察指标 比较两组呼吸双相CT定量参数及肺功能指标，分析呼吸双相CT定量参数与肺功能指标的相关性。

1.4 统计学方法 以SPSS 22.0统计学软件进行数据处理。计量数据以($\bar{x} \pm s$)表示，两组间比较采用独立样本t检验；计数资料采用n(%)表示，组间比较采用 χ^2 检验；相关性分析采用Pearson Correlation。以P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组受试者呼吸双相CT气道重塑参数比较 COPD组吸气相气道壁厚度、WA%均大于对照组，差异均有统计学意义(P<0.05)，见表1。

表1 两组受试者呼吸双相CT气道重塑参数比较

组别	n	气道壁厚度(mm)	WA%
COPD组	72	1.45 ± 0.26	62.32 ± 5.84
对照组	50	1.14 ± 0.13	55.40 ± 4.63
t	-	7.776	6.989
P	-	<0.001	<0.001

2.2 两组受试者呼吸双相CT肺气肿评估参数比较 COPD组吸气相、呼气相LAA%及差值ΔLAA%均大于对照组，吸气相、呼气相MLD及差值ΔMLD均小于对照组，差异均有统计学意义(P<0.05)，见表2。

2.3 两组受试者肺功能测试指标比较 COPD组FEV1%、FVC、FEV1/FVC均小于对照组，差异均有统计学意义(P<0.05)，见表3。

2.4 COPD患者呼吸双相CT定量参数与肺功能测试指标相关性分析 Pearson相关性分析显示，COPD患者吸气相气道壁厚度、吸气相WA%、吸气相LAA%、呼气相LAA%、ΔLAA%与FEV1%、FVC、FEV1/FVC均呈负相关性，MLDin、MLDex、ΔMLD与FEV1%、FVC、FEV1/FVC均呈正相关性，差异均有统计学意义(P<0.05)，见表4。

表2 两组受试者呼吸双相CT肺气肿评估参数比较

组别	n	LAA%吸气相	LAA%呼气相	ΔLAA%	MLDin (HU)	MLDex (HU)	ΔMLD (HU)
COPD组	72	27.48 ± 6.53	35.07 ± 7.94	7.59 ± 2.41	-923.43 ± 19.58	-940.21 ± 18.79	16.78 ± 5.62
对照组	50	8.26 ± 3.29	9.62 ± 3.48	1.36 ± 0.88	-860.47 ± 15.34	-910.54 ± 14.62	50.07 ± 8.29
t	-	19.174	21.270	17.470	19.032	9.376	26.448
P	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表3 两组受试者肺功能测试指标比较

组别	n	FEV1%(%)	FVC(L)	FEV1/FVC(%)
COPD组	72	60.68 ± 12.07	2.73 ± 0.66	63.89 ± 9.15
对照组	50	95.29 ± 6.87	3.91 ± 0.49	82.68 ± 5.74
t	-	18.307	10.747	12.861
P	-	<0.001	<0.001	<0.001

表4 COPD患者呼吸双相CT定量参数与肺功能测试指标相关性分析

参数	FEV1%		FVC		FEV1/FVC	
	r	P	r	P	r	P
吸气相气道壁厚度	-0.543	<0.001	-0.327	0.005	-0.481	<0.001
吸气相WA%	-0.502	<0.001	-0.293	0.007	-0.448	<0.001
吸气相LAA%	-0.640	<0.001	-0.411	<0.001	-0.669	<0.001
呼气相LAA%	-0.690	<0.001	-0.417	<0.001	-0.702	<0.001
ΔLAA%	-0.357	0.004	-0.252	0.010	-0.330	0.002
MLDin	0.582	<0.001	0.371	<0.001	0.494	<0.001
MLDex	0.622	<0.001	0.395	<0.001	0.516	<0.001
ΔMLD	0.398	0.001	0.272	0.008	0.342	0.001

2.5 影像学图片 见图1-2。

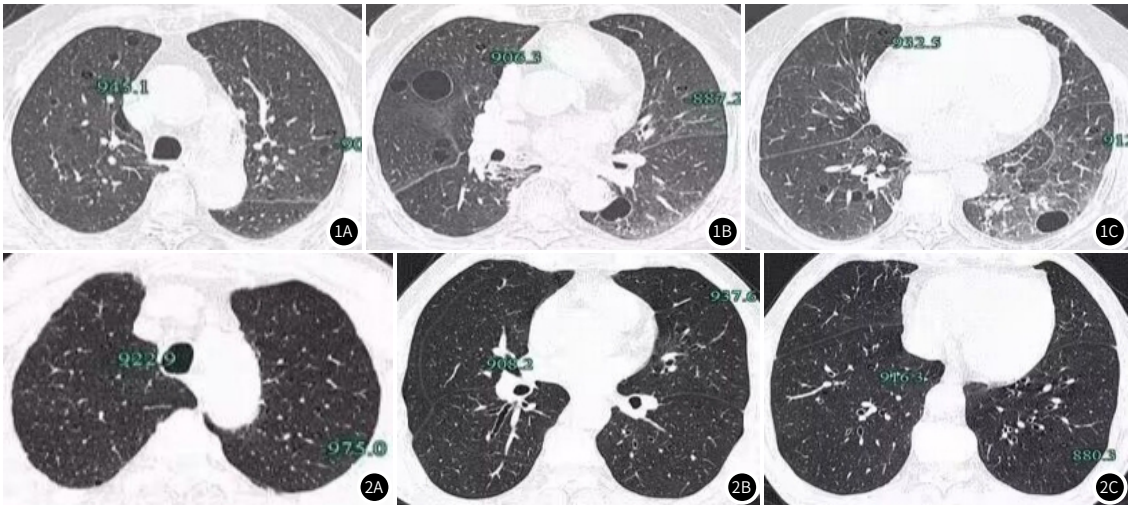


图1A-1C 分别为COPD患者吸气末双肺上叶，右肺中叶、左肺舌段，右肺中叶、左肺下叶CT图像；图2A-2C 分别为COPD患者呼气末双肺上叶，右肺中叶、左肺舌段，双肺下叶CT图像。

3 讨论

诊断和评估主要依赖于肺功能测试,传统肺功能测试虽能提供关于气流限制的有价值信息,但无法直接反映肺部的结构改变^[8]。近年来,随着医学影像技术的进步,尤其是高分辨率计算机断层扫描的应用,为COPD的结构性评估提供了新的可能^[9]。

呼吸双相CT扫描在最大吸气和最大呼气时进行,可捕捉到肺部在不同呼吸状态下的形态变化,这种扫描方式利用了CT成像的高空间分辨率,使气道壁、肺实质和血管等肺部结构的细节清晰地可视化^[10-11]。吸气相成像可反映肺部在充分膨胀时的情况,呼气相成像可呈现气体排出后的肺部状态,两者对比可评估气道重塑、肺气肿程度以及肺组织损伤等关键病理变化^[12]。本研究结果显示,COPD组吸气相气道壁厚度、WA%均大于对照组,差异均有统计学意义。在COPD的病理过程中,气道重塑是关键的病理生理特征,包括气道壁增厚、气道平滑肌增生和纤维化,可致气道狭窄,进而引起气流限制,是COPD临床表现的基础。通过呼吸双相CT技术,可以精确测量特定气道,包括段气道或亚段气道的壁厚度、WA%等参数,从而评估气道重塑程度,气道壁厚度、WA%的增加与气流阻塞程度密切相关,气道壁增厚可反映气道炎症反应和结构改变,还与气道功能损害紧密相关^[13]。在COPD进展过程中,气道炎症持续存在,促使气道壁的结缔组织增生和重塑,从而加剧气道狭窄和气流阻塞。从临床角度来看,通过呼吸双相CT定量评估气道重塑的程度对于COPD患者的分型和风险评估具有重要意义。本研究经Pearson分析证实,COPD患者吸气相气道壁厚度、WA%与FEV1%、FVC、FEV1/FVC均呈负相关性,可作为COPD进展的标志物,还可用于评估治疗干预的效果,比如对于接受抗炎或抗纤维化治疗的COPD患者,可定期进行呼吸双相CT扫描,监测气道壁厚度和WA%变化,从而评估治疗的长期效果。

肺气肿是COPD的核心病理改变之一,其特征为肺泡壁的不断可逆性破坏,导致气体交换表面积减少,肺气肿的发展不仅降低肺通气功能,还影响氧气摄取和二氧化碳排放,从而加剧呼吸困难症状^[14]。通过呼吸双相CT,可更加精确地评估肺气肿程度及其影响,进而为COPD的诊断、分期和治疗提供重要信息。本研究显示,COPD组吸气相、呼气相LAA%及差值 Δ LAA%均大于对照组,吸气相、呼气相MLD及差值 Δ MLD均小于对照组,差异均有统计学意义。LAA%是通过计算肺部在特定衰减阈值以下的体积比例来评估肺气肿范围的定量参数,对于COPD患者而言,LAA%增加反映了肺部低密度区域的扩大,与肺泡破坏和空气滞留有直接关联,可通过比较吸气相和呼气相的LAA%,评估肺部通气不均和肺泡塌陷的程度。COPD进展过程中,随着肺泡结构破坏和肺内空气积聚,肺部平均密度会下降,因此MLD降低提示肺气肿存在,也可反映肺气肿严重程度^[15]。 Δ LAA%通过评估呼吸周期中肺泡低密度区域的变化,从而直接反映肺气肿的动态特性和通气效率, Δ LAA%增加提示在呼气时肺部存在更多未能有效排空的低密度区域,指示气体交换效率及肺泡弹性的下降, Δ MLD下降则提示肺部在呼气阶段的密度恢复能力受限,与肺气肿导致的结构改变及气流阻塞有关。进一步的Pearson相关性分析显示,COPD患者吸气相LAA%、呼气相LAA%、 Δ LAA%与FEV1%、FVC、FEV1/FVC均呈负相关性,MLD_{in}、MLD_{ex}、 Δ MLD与FEV1%、FVC、FEV1/FVC均呈正相关性,证实上述指标与COPD患者肺功能具有显著的相关性。

综上所述,COPD患者呼吸双相CT定量参数与肺功能测试指标具有显著相关性,可更好地评估患者的病理状态,在预测疾病进展、治疗反应及预后评估方面具有一定的应用价值。

参考文献

- [1] 王雯婷,王晓华,贺蓓,等.基于呼吸双相CT定量参数的慢性阻塞性肺疾病影像学表型研究[J].中华医学杂志,2021,101(28):2242-2245.
- [2] 纪蒙蒙,李永,朱晓龙,等.320排螺旋CT低剂量呼吸双相扫描对COPD急性加重期患者肺功能的评估价值[J].湖北医学院学报,2023(12):1616-1619,1628.
- [3] Shima H, Tanabe N, Oguma A, et al. Subtyping emphysematous COPD by respiratory volume change distributions on CT[J]. Thorax, 2023, 78(4): 344-353.
- [4] 格崤,杨学东,罗萍,等.应用呼吸双相CT定量评估COPD患者肺气肿及空气滞留状况[J].中国医疗设备,2022,37(10):83-87.
- [5] Diaz AA, Orejas JL, Grumley S, et al. Airway-occluding mucus plugs and mortality in patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. JAMA, 2023, 329(21): 1832-1839.
- [6] Ezponda A, Casanova C, Divo M, et al. Chest CT-assessed comorbidities and all-cause mortality risk in COPD patients in the BODE cohort[J]. Respirology, 2022, 27(4): 286-293.
- [7] 蔡柏蓓.慢性阻塞性肺疾病诊断、处理和预防全球策略(2017 GOLD报告)解读[J].国际呼吸杂志,2017,37(1):6-17.
- [8] Li Z, Liu L, Zhang Z, et al. A novel CT-based radiomics features analysis for identification and severity staging of COPD[J]. Acad Radiol, 2022, 29(5): 663-673.
- [9] Iwasawa T, Matsushita S, Hirayama M, et al. Quantitative analysis for lung disease on thin-section CT[J]. Diagnostics (Basel), 2023, 13(18): 2988-2992.
- [10] Singhvi D, Bon J. CT Imaging and Comorbidities in COPD: Beyond Lung Cancer Screening[J]. Chest., 2021, 159(1): 147-153.
- [11] 高燕莉,李坤,徐晓莉,等.呼吸双相定量CT对慢性阻塞性肺疾病临床症状与肺功能评价[J].放射学实践,2021,36(6):747-750.
- [12] Brown RH. CT, MRI, COPD, and Worsening FEV1; "Once You Do Know What the Question Actually Is, You'll Know What the Answer Means" [J]. Acad Radiol, 2021, 28(4): 507-508.
- [13] Kovacs G, Avian A, Bachmaier G, et al. Severe pulmonary hypertension in copd: impact on survival and diagnostic approach[J]. Chest, 2022, 162(1): 202-212.
- [14] Makimoto K, Hogg JC, Bourbeau J, et al. CT imaging with machine learning for predicting progression to COPD in individuals at risk[J]. Chest, 2023, 164(5): 1139-1149.
- [15] Raoof S, Shah M, Braman S, et al. Lung imaging in COPD part 2: emerging concepts[J]. Chest, 2023, 164(2): 339-354.

(收稿日期: 2024-04-08)

(校对编辑: 韩敏求)