❖专论

Expiratory CT in quantitative analysis of pulmonary vessels in COPD patients

CAO Xianxian[1], GAO Xiaoyan[1], YU Nan[2], SHI Meijuan[3], WEI Xia[4], JIN Chenwang[1*], GUO Youmin[1]

(1. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China; 2. Department of Radiology, the Affiliated Hospital of Shanxi University of Traditional Chinese Medicine, Xianyang 712000, China; 3. Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, China; 4. Department of Respiratory Medicine, Ninth Hospital of Xi'an, Xi'an 710054, China)

[**Abstract**] **Objective** To observe intrapulmonary vascular volume (IPVV) in chronic obstructive pulmonary disease (COPD) patients with double gas phase CT examination, so as to investigate the application value of expiratory phase CT in assessing pulmonary vascular alterations in COPD patients. **Methods** Totally 89 patients with COPD were retrospectively collected who underwent double gas phase CT examination and pulmonary function test (PFT). *Pearson* or *Spearman* correlation test was used to analyze correlations of IPVV and PFT results, and *Steiger's Z* test was used to explore the differences of correlation coefficients. **Results** In inspiratory scan, there was negative correlation between IPVV and forced expiratory volume in one second (FEV_1)/forced vital capacity (FVC) in whole lung (WL) and all lobes ($r=-0.22$——-0.36, $P<0.05$), and there was negative correlation between IPVV and $FEV_1\%$ only at right middle lobe (RML) and left lower lobe (LLL) ($r=-0.25$, -0.23, both $P<0.05$). In expiratory scan, IPVV was negatively correlated with $FEV_1\%$ ($r=-0.20$——-0.36, $P<0.05$) and FEV_1/FVC ($r=-0.24$——-0.39, $P<0.05$). Changes of IPVV under respiratory state were positively correlated with $FEV_1\%$ ($r=0.31$—0.46, $P<0.01$). **Conclusion** Dual-gas phase CT can be used to quantitatively evaluate IPVV and changes of IPVV in COPD patients, while expiratory CT can provide more information for assessing degree of expiratory airflow obstruction in COPD, therefore providing a new approach for further observation of pulmonary vascular changes in COPD related pulmonary hypertension.

[**Keywords**] pulmonary disease, chronic obstructive; blood vessels; tomography, X-ray computed

DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2020.03.003

呼气相 CT 定量分析 COPD 患者肺血管

曹宪宪[1]，高小燕[1]，于　楠[2]，师美娟[3]，魏　霞[4]，金晨望[1*]，郭佑民[1]

(1. 西安交通大学第一附属医院医学影像科，陕西 西安　710061；2. 陕西省中医药大学附属医院影像科，陕西 咸阳　712000；3. 西安交通大学医学院第二附属医院影像科，陕西 西安　710004；4. 西安市第九医院呼吸内科，陕西 西安　710054)

[**摘　要**] **目的**　采用双气相 CT 扫描定量分析慢性阻塞性肺疾病(COPD)患者肺内血管体积(IPVV)，观察呼气相 CT 定

[**基金项目**] 国家卫生和计划生育委员会公益性行业科研专项基金(201402013)。

[**第一作者**] 曹宪宪(1994—)，女，河北石家庄人，在读硕士。研究方向：胸部影像学。E-mail：caoxianxian0525@126.com

[**通信作者**] 金晨望，西安交通大学第一附属医院医学影像科，710061。E-mail：jcw76@163.com

[**收稿日期**] 2019-06-27　[**修回日期**] 2019-12-03

量肺血管对 COPD 患者的应用价值。**方法**　收集 89 例接受双气相 CT 扫描及肺功能检查(PFT)的 COPD 患者，定量测量双气相 CT 扫描 IPVV。采用 *Pearson* 或 *Spearman* 相关系数评估双气相 IPVV 与 PFT 结果的相关性，以 *Steiger Z* 检验分析相关系数。**结果**　全肺(WL)及各肺叶吸气相 IPVV 与第 1 秒用力呼气容积(FEV_1)/用力肺活量(FVC)均呈负相关($r=-0.22\sim-0.36$，$P<0.05$)，IPVV 和 FEV_1 实测值与预计值的百分比($FEV_1\%$)仅在右肺中叶(RML)及左肺下叶(LLL)呈负相关($r=-0.25$ 及 $r=-0.23$，P 均<0.05)；呼气相 IPVV 与 $FEV_1\%$ 呈负相关($r=-0.20\sim-0.36$，$P<0.05$)，与 FEV_1/FVC 呈负相关($r=-0.24\sim-0.39$，$P<0.05$)。呼吸状态下 IPVV 变化与 $FEV_1\%$ 呈正相关($r=0.31\sim0.46$，$P<0.01$)。**结论**　双气相 CT 可定量评估 COPD 患者 IPVV 及呼吸状态下肺血管变化量，呼气相 CT 定量分析肺血管可为评估 COPD 呼气气流阻塞程度提供更多有效信息，为进一步观察 COPD 相关肺动脉高压的肺血管改变提供新的途径。

[**关键词**]　肺疾病，慢性阻塞性；血管；体层摄影术，X 线计算机

[**中图分类号**]　R563.9；R814.42　[**文献标识码**]　A　　[**文章编号**]　1003-3289(2020)03-0335-05

慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease，COPD)在全球范围内均是高患病率及高致死率的疾病[1]，约 30%～70%的 COPD 患者伴临床意义上的肺血管疾病[2]。肺血管改变是 COPD 发生、发展的重要特征，也是造成肺动脉高压的关键。CT 定量技术可定量测量肺血管[3-5]，既往多基于单一吸气相水平观察患者肺血管，而呼气相肺血管改变对 COPD 的影响尚未定论。本研究通过吸气及呼气相 CT 扫描定量分析 COPD 患者肺内血管体积(intrapulmonary vascular volume，IPVV)，观察呼气相 CT 定量肺血管对 COPD 患者的应用价值。

1　资料与方法

1.1　一般资料　回顾性分析 2015 年 3 月－2016 年 12 月 Dexin-FACT“数字肺”多中心研究数据库中 89 例 COPD 患者。纳入标准：①接受肺功能检查，且吸入支气管扩张剂后第 1 秒用力呼气容积(forced expiratory volume in one second，FEV_1)/用力肺活量(forced vital capacity，FVC)<0.70；②吸气及呼气双相胸部 CT 图像完整。排除标准：①既往有气管插管术或胸部手术史；②临床信息及图像数据不全；③患者呼吸配合欠佳，图像质量差；④伴胸部基础疾病，如胸廓畸形、大量胸腔积液及严重肺间质纤维化等影响软件分割。本研究获得中国临床实验注册中心批准(ChiCTR-OCH-14004904)。

1.2　仪器与方法　采用 GE、Siemens、Philips 64 层及以上 CT 扫描仪，分别行深吸气和深呼气末肺尖至肺底 CT 扫描。检查前对患者进行呼吸训练。扫描时患者仰卧，双臂上举抱头，头先进。扫描参数：吸气相与呼气相管电压均为 100 kV，管电流采用自动调节控制，层厚 1 mm，机架旋转时间 0.80 s/周，螺距 0.984，采用骨算法重建，重建层厚 1 mm。

1.3　测量肺血管　将吸、呼气末双气相 CT 图像传至“数字肺”数据分析平台，采用肺血管自动测量模块分别测量吸、呼气相 IPVV。具体步骤[6]：①以自适应边界行进法提取全肺(whole lung，WL)(图 1A)，包括右肺(right lung，RL)及左肺(left lung，LL)；②以几何算法将 WL 分割成 5 个肺叶(图 1B)，即右肺上叶(right upper lobe，RUL)、右肺中叶(right middle lobe，RML)、右肺下叶(right lower lobe，RLL)、左肺上叶(left upper lobe，LUL)及左肺下叶(left lower lobe，LLL)；③以主要曲率和方向区分肺血管与其他肺组织，自动提取并分割血管树(图 1C)，计算 WL 及各个肺叶 IPVV。

1.4　肺功能检查(pulmonary function test，PFT)　于 CT 检查后 1 周内，在患者稳定状态下行 PFT。检查时嘱患者取坐位，吸入沙丁胺醇 200 μg(100 μg/支，2 喷)后屏气 10 s，15～20 min 后测定 FEV_1/FVC 及 FEV_1 实测值与预计值的百分比($FEV_1\%$)。

1.5　统计学分析　采用 SPSS 20.0 统计分析软件。计量资料符合正态分布以 $\bar{x}\pm s$ 表示，非正态分布者以中位数(上下四分位数)表示。采用配对样本 t 检验(正态分布)或 *Wilcoxon* 符号秩和检验(非正态分布)比较 WL 及各肺叶吸、呼气相 IPVV 差异；以 *Pearson*(正态分布)或 *Spearman*(偏态分布)相关系数分别评估呼、吸气相 WL 及各肺叶 IPVV、IPVV 吸呼差值(吸气相 IPVV－呼气相 IPVV)、IPVV 吸呼比值(吸气相 IPVV/呼气相 IPVV)与肺功能结果的相关性；采用 *Steiger Z* 检验分析相关系数之间的差异。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　一般资料及 PFT 结果　89 例 COPD 中，男 70 例，女 19 例，年龄 35～79 岁，平均(63.6±9.4)岁，平均体质量指数为(22.76±3.59) kg/m^2；PFT 示 FEV_1/FVC 和 $FEV_1\%$ 分别为 51.45%±9.75%和 47.00%(32.65%，65.50%)。

2.2　双气相 IPVV 与 PFT 结果的相关性　COPD 吸、

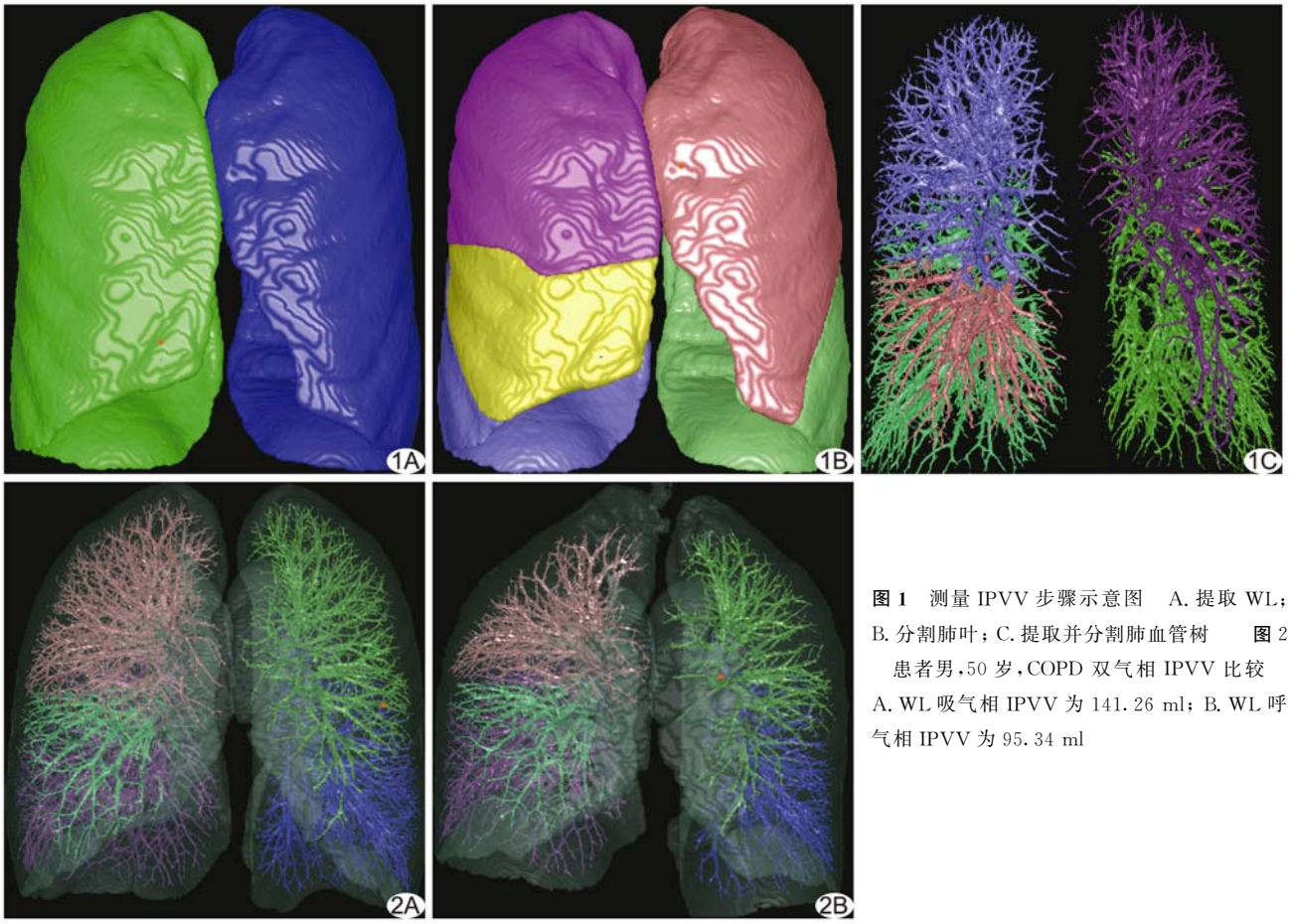


图 1　测量 IPVV 步骤示意图　A. 提取 WL；B. 分割肺叶；C. 提取并分割肺血管树　**图 2**　患者男，50 岁，COPD 双气相 IPVV 比较　A. WL 吸气相 IPVV 为 141.26 ml；B. WL 呼气相 IPVV 为 95.34 ml

呼气相 WL 及各肺叶 IPVV 差异具有统计学意义（$P<0.05$，表 1、图 2）。吸气相 IPVV 与 $FEV_1\%$ 仅在 RML 及 LLL 呈负相关（$r=-0.25$ 和 $r=-0.23$，P 均 <0.05，表 2），与 FEV_1/FVC 在 WL 及各肺叶均呈负相关（$r=-0.22\sim-0.36$，P 均 <0.05，表 3）；呼气相 IPVV 与 $FEV_1\%$ 在 RUL 及 RLL 无明显相关，在 WL 及其余肺叶均呈负相关（$r=-0.20\sim-0.36$，P 均 <0.05，表 2），与 FEV_1/FVC 在 WL 及各肺叶均呈负相关（$r=-0.24\sim-0.39$，P 均 <0.05，表 3）。WL 及各肺叶 IPVV 吸呼差值（$r=0.31\sim0.41$，P 均 <0.01，表 2）、比值与 $FEV_1\%$ 呈正相关（$r=0.36\sim0.46$，P 均 <0.01，表 2），吸呼差值与 FEV_1/FVC 无明显相关，吸呼比值与 FEV_1/FVC 在 RUL、RLL 无明显相关，在 WL 及余肺叶均呈正相关（$r=0.21\sim0.24$，P 均 <0.05，表 3）。LUL 的 IPVV 吸呼比值与 $FEV_1\%$ 相关性相对较高（$r=0.44$，$P<0.01$），五个肺叶中 RML 的呼气相 IPVV 与 FEV_1/FVC 相关性最高（$r=-0.35$，$P<0.01$）。

表 1　COPD 双气相 WL 及各肺叶 IPVV 检测结果（ml，$\bar{x}\pm s$）

呼吸气相	WL	RL	LL	RUL
吸气相	172.99±46.40	92.34±24.28	81.27±23.46	33.55(26,41.16)
呼气相	158.71±48.85	85.15±24.80	74.19±25.67	31.37(25.22,38.60)
t/Z 值	5.87	5.19	6.13	−3.73
P 值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
呼吸气相	RML	RLL	LUL	LLL
吸气相	12.46(10.23,16.94)	43.56±12.73	39.93±12.99	41.75±14.07
呼气相	12.69(9.6,16.52)	38.73±14.16	37.54(28.09,43.81)	37.35±16.54
t/Z 值	−2.25	5.43	−4.44	5.69
P 值	0.03	<0.01	<0.01	<0.01

2.3　双气相各部位 IPVV 与 PFT 结果相关系数的分析　WL、RL、LL、RUL、RLL 及 LUL 相关系数差异存在统计学意义（P 均 <0.01），呼气相相关性高于吸气相；双气相 IPVV 与 FEV_1/FVC 相关系数差异无统计学意义（P 均 >0.05）（表 4）。

3　讨论

本研究采用双气相 CT 评估 COPD 患者 IPVV 与 PFT

表 2　COPD 双相 WL 及各肺叶 IPVV、IPVV 吸呼差值和 IPVV 吸呼比值与 FEV_1% 的相关性

部位	吸气相 IPVV 与 FEV_1%		呼气相 IPVV 与 FEV_1%		IPVV 吸呼差值与 FEV_1%		IPVV 吸呼比值与 FEV_1%	
	r 值	*P* 值	*r* 值	*P* 值	*r* 值	*P* 值	*r* 值	*P* 值
WL	−0.14	0.20	−0.29	<0.01	0.40	<0.01	0.46	<0.01
RL	−0.13	0.22	−0.29	<0.01	0.39	<0.01	0.44	<0.01
LL	−0.17	0.11	−0.30	<0.01	0.35	<0.01	0.41	<0.01
RUL	−0.05	0.67	−0.17	0.12	0.39	<0.01	0.41	<0.01
RML	−0.25	0.02	−0.36	<0.01	0.35	<0.01	0.39	<0.01
RLL	−0.06	0.56	−0.20	0.06	0.34	<0.01	0.37	<0.01
LUL	−0.09	0.38	−0.24	0.02	0.41	<0.01	0.44	<0.01
LLL	−0.23	0.03	−0.30	<0.01	0.31	<0.01	0.36	<0.01

表 3　COPD 双相 WL 及各肺叶 IPVV、IPVV 吸呼差值和 IPVV 吸呼比值与 FEV_1/FVC 的相关性

部位	吸气相 IPVV 与 FEV_1/FVC		呼气相 IPVV 与 FEV_1/FVC		IPVV 吸呼差值与 FEV_1/FVC		IPVV 吸呼比值与 FEV_1/FVC	
	r 值	*P* 值	*r* 值	*P* 值	*r* 值	*P* 值	*r* 值	*P* 值
WL	−0.34	<0.01	−0.37	<0.01	0.18	0.10	0.24	0.02
RL	−0.36	<0.01	−0.39	<0.01	0.18	0.10	0.23	0.03
LL	−0.32	<0.01	−0.34	<0.01	0.15	0.16	0.23	0.03
RUL	−0.29	<0.01	−0.32	<0.01	0.16	0.14	0.20	0.06
RML	−0.28	<0.01	−0.35	<0.01	0.14	0.20	0.21	0.04
RLL	−0.22	0.04	−0.24	0.02	0.18	0.10	0.20	0.06
LUL	−0.28	<0.01	−0.33	<0.01	0.16	0.13	0.23	0.03
LLL	−0.29	<0.01	−0.29	<0.01	0.17	0.11	0.23	0.03

表 4　双气相各部位 IPVV 与 PFT 结果相关系数的分析

各部位 IPVV	PFT 参数	吸气相 *r* 值	呼气相 *r* 值	*Z* 值	*P* 值
WL	FEV_1%	−0.14	−0.29	2.98	<0.01
WL	FEV_1/FVC	−0.34	−0.37	0.54	0.59
RL	FEV_1%	−0.13	−0.29	2.88	<0.01
RL	FEV_1/FVC	−0.36	−0.39	0.55	0.58
LL	FEV_1%	−0.17	−0.30	2.71	<0.01
LL	FEV_1/FVC	−0.32	−0.34	0.48	0.63
RUL	FEV_1%	−0.05	−0.17	2.75	<0.01
RUL	FEV_1/FVC	−0.29	−0.32	0.68	0.50
RML	FEV_1%	−0.25	−0.36	0.32	0.75
RML	FEV_1/FVC	−0.28	−0.35	1.52	0.13
RLL	FEV_1%	−0.06	−0.20	2.14	0.03
RLL	FEV_1/FVC	−0.22	−0.24	0.36	0.72
LUL	FEV_1%	−0.09	−0.24	3.68	<0.01
LUL	FEV_1/FVC	−0.28	−0.33	1.10	0.27
LLL	FEV_1%	−0.23	−0.30	1.44	0.15
LLL	FEV_1/FVC	−0.29	−0.29	0.00	1.00

结果的关系，结果表明 IPVV 可定量评估 COPD，且呼气相 CT 定量评估肺血管具有一定价值。

COPD 患者肺血管改变与内皮功能障碍密切相关。在烟雾、炎症、低氧等因素刺激下，肺血管内皮细胞功能紊乱，发生平滑肌细胞增生肥大、成纤维细胞表型改变等，导致肺血管结构重塑、管壁增厚，管腔狭窄甚至闭塞[7]，IPVV 增大。既往研究[8]观察 COPD 肺血管变化多基于 CT 定量的二维计算方法测量 COPD 患者亚段及亚亚段肺血管直径和肺小血管横截面积，缺乏整体、三维观。本研究基于三维定量算法可实现自动提取和分割肺血管，在三维图像中显示肺血管，并计算 IPVV。

本研究通过双气相 CT 定量观察 COPD 患者肺血管，发现不同呼吸状态下 WL 及各肺叶 IPVV 存在差异，表明呼吸状态对 COPD 肺血管改变存在影响，呼气时 IPVV 较吸气时减小；同时，双气相 IPVV 与 PFT 结果存在相关性，与既往研究[9]结果一致，提示 COPD 肺血管改变与其通气功能及气流阻塞程度存在关联。COPD 患者吸入有害气体、颗粒引起肺部炎症反应，逐渐破坏肺组织结构，促进中性粒细胞的炎症反应，进而破坏肺实质、阻塞外周气道和收缩肺血管，使气流持续受限，降低肺的气体交换能力，产生低氧血症，损伤血管壁内皮细胞，致肺血管发生重塑改变[10]。另外，本研究亦发现吸、呼状态下 IPVV 改变与 FEV_1% 相关，提示肺血管动态变化与气流阻塞存在关联；且不同肺叶 IPVV 与 PFT 的相关性略有不同，其原因在于 COPD 不同肺叶肺血管重塑存在差异[11]。

本研究对于双气相下各部位 IPVV 与 PFT 相关性分析结果显示，部分肺叶 IPVV 与 FEV_1% 相关，其相关系数差异存在统计学意义，呼气相下相关性高于吸气相，表明采用呼气相 CT 定量分析肺血管较吸气相具有更高价值，以呼气相 CT 定量分析肺血管改变更能反映 COPD 患者呼气气流阻塞程度，与 Fleischner 协会[12]关于 CT 定义 COPD 亚型的声明相一致。近年来已有多项研究[13-14]采用双气相 CT，围

绕肺容积、平均肺密度及空气潴留等参数定量评估 COPD。本研究利用三维定量技术直观、整体地测量肺血管，定量分析肺血管变化量，进一步证实了呼气相 CT 定量肺血管改变对 COPD 患者的应用价值。

本研究的局限性：①多中心研究，各单位检查所用 CT 扫描仪和肺功能仪不一致，可能影响结果；②样本量较小且无正常对照，有待进一步完善。

综上所述，基于双气相 CT 可定量评估 COPD 患者 IPVV 及呼吸状态下肺血管变化量，呼气相 CT 定量分析肺血管可为评估 COPD 呼气气流阻塞程度提供更多有效信息，为进一步观察 COPD 相关肺动脉高压肺血管改变提供新的途径。

［参考文献］

［1］ VOGELMEIER C F，CRINER G J，MARTINEZ F J，et al. Global strategy for the diagnosis，management，and prevention of chronic obstructive lung disease 2017 report. Gold executive summary［J］. Am J Respir Crit Care Med，2017，195（5）：557-582.

［2］ RAHAGHI F N，WELLS J M，COME C E，et al. Arterial and venous pulmonary vascular morphology and their relationship to findings in cardiac MRI in smokers［J］. J Comput Assist Tomogr，2016，40（6）：948-952.

［3］ 于楠，金晨望，李艳，等. CT 定量分析观察慢性阻塞性肺疾病患者的肺小血管改变［J］. 中国医学影像技术，2015，31（2）：173-176.

［4］ CHO Y H，LEE S M，SEO J B，et al. Quantitative assessment of pulmonary vascular alterations in chronic obstructive lung disease：Associations with pulmonary function test and survival in the KOLD cohort［J］. Eur J Radiol，2018，108：276-282.

［5］ 焦磊，沈聪，王君，等. 基于计算机辅助测量 COPD 患者肺内血管体积的变化［J］. 西安交通大学学报（医学版），2019，40（2）：193-196.

［6］ YU N，WEI X，LI Y，et al. Computed tomography quantification of pulmonary vessels in chronic obstructive pulmonary disease as identified by 3D automated approach［J］. Medicine. 2016，95（40）：e5095.

［7］ GARCIA-LUCIO J，ARGEMI G，TURA-CEIDE O，et al. Gene expression profile of angiogenic factors in pulmonary arteries in COPD：Relationship with vascular remodeling［J］. Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol，2016，310（7）：583-592.

［8］ MATSUOKA S，WASHKO G R，DRANSFIELD M T，et al. Quantitative CT measurement of cross-sectional area of small pulmonary vessel in COPD：Correlations with emphysema and airflow limitation［J］. Acad Radiol，2010，17（1）：93-99.

［9］ MATSUURA Y，KAWATA N，YANAGAWA N，et al. Quantitative assessment of cross-sectional area of small pulmonary vessels in patients with COPD using inspiratory and expiratory MDCT［J］. Eur J Radiol，2013，82（10）：1804-1810.

［10］ 尹婷婷，李泽庚，王传博，等. 芪白平肺胶囊对“肺气虚失治节”慢性阻塞性肺疾病肺血管收缩调节作用临床研究［J］. 中医药临床杂志，2018，30（8）：1459-1464.

［11］ WROBEL J P，MCLEAN C A，THOMPSON B R，et al. Pulmonary arterial remodeling in chronic obstructive pulmonary disease is lobe dependent［J］. Pulm Circ，2013，3（3）：665-674.

［12］ LYNCH D A，AUSTIN J H，HOGG J C，et al. CT-definable subtypes of chronic obstructive pulmonary disease：A statement of the Fleischner society［J］. Radiology，2015，277（1）：192-205.

［13］ 金晨望，梁志冉，段海峰，等. 基于体素的空气潴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，2019，53（1）：21-25.

［14］ GAWLITZA J，TRINKMANN F，SCHEFFEL H，et al. Time to exhale：Additional value of expiratory chest CT in chronic obstructive pulmonary disease［J］. Can Respir J，2018：9493504.

消　息

《中国医学影像技术》作者投稿请登录本刊网站（www. cjmit. com）主页，点击左上角“作者登录”进入，第一次投稿需完成作者注册；专家审稿请点击“审稿登录”进入。

为了便于广大作者、读者查阅本刊文献，本站提供从 1985 年创刊起所有期刊的全文检索。