

基于双气相配准定量 CT 评估 COPD 患者小气道病变

牛媛,雷禹,沈敏,李建龙,黄晓旗,郭佑民

【摘要】 目的:分析 CT 双气相配准定量指标与临床肺功能检测(PFT)指标和 CT 定量指标[呼吸双气相平均肺密度比($MLD_{ex/in}$)]之间的关系,探讨 CT 双气相配准定量分析在评估 COPD 患者肺功能方面的价值。**方法:**回顾性分析在本院确诊为 COPD 的 121 例患者的临床和 CT 资料。根据 2017 年版慢性阻塞性肺疾病全球倡议(GOLD)指南,将 COPD 患者分为 GOLD 1~4 级,其中 GOLD 1 级 18 例,2 级 49 例,3 级 34 例,4 级 19 例。将 CT 双气相扫描数据导入“digital lung”分析平台,获得功能性小气道病变区域百分比($PRM_{ISAD\%}$)、肺气肿区域百分比($PRM_{Emph\%}$)、正常区域占全肺体积百分比($PRM_{Normal\%}$)和平均肺密度比($MLD_{ex/in}$)四个定量指标。每例患者在 CT 检查后 3 天内且症状稳定的情况下进行肺功能检查(PFT),测量指标包括 FVC、FEV1%和 FEV1/FVC。四组间 PFT 和 CT 定量指标的比较采用单因素方差分析。CT 定量参数与肺功能参数之间的相关性评估采用 Pearson 相关分析。对 $MLD_{ex/in}$ 与 $PRM_{ISAD\%}$ 和 $PRM_{Emph\%}$ 的关系进行多元逐步回归分析。采用受试者工作特征(ROC)曲线分析 $PRM_{ISAD\%}$ 对重度 COPD 的诊断价值。**结果:**四组间 $PRM_{ISAD\%}$ 、 $PRM_{Emph\%}$ 、 $PRM_{Normal\%}$ 和 $MLD_{ex/in}$ 的差异均有统计学意义($P<0.05$)。 $PRM_{ISAD\%}$ 与 FVC、FEV1%和 FEV1/FVC 之间的相关性均具有统计学意义($P<0.05$); $PRM_{Emph\%}$ 与 FEV1%和 FEV1/FVC 之间的相关性均具有统计学意义($P<0.05$)。 $PRM_{ISAD\%}$ 、 $PRM_{Emph\%}$ 与 $MLD_{ex/in}$ 呈正相关(r 分别为 0.772、0.237, P 均 <0.01)。多元逐步回归分析结果显示, $MLD_{ex/in}$ 与 $PRM_{ISAD\%}$ 、 $PRM_{Emph\%}$ 之间均存在线性回归关系, β 值分别为 0.757 ($P<0.001$)和 0.170 ($P=0.003$)。GOLD 1~2 级组的 $PRM_{ISAD\%}$ 与 FEV1%呈负相关($r=-0.354$), 与 $MLD_{ex/in}$ 呈正相关($r=0.811$)。ROC 曲线分析结果表明, $PRM_{ISAD\%}$ 预测重度 COPD 患者的最佳临界值为 27.91% (AUC 为 0.677, 敏感度为 90.6%, 特异度为 45.6%)。**结论:**双气相配准定量 CT 指标中的 $PRM_{ISAD\%}$ 与 CT 定量指标 $MLD_{ex/in}$ 之间具有良好的相关性,并可以在一定程度上反映肺功能,是评估 COPD 小气道病变的相对敏感的指标,有望成为早期诊断 COPD 的辅助诊断指标。

【关键词】 慢性阻塞性肺疾病;小气道病变;双气相;体层摄影术,X 线计算机

【中图分类号】 R814.42;R563.3 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2022)12-1516-07

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.12.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Evaluation of small airway lesions in patients with COPD based on biphasic registration quantitative CT

NIU Yuan, LEI Yu, SHEN Min, et al. Department of Radiology, the Yan'an University Affiliated Hospital, Shanxi 716000, China

【Abstract】 Objective: The purposes of this study were to analyze the relationship between the biphasic registration quantitative CT index and pulmonary function (PFT) and quantitative CT index [mean lung density ratio of expiratory to inspiratory phase ($MLD_{ex/in}$)] in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD); and to explore the value of quantitative analysis of CT bigas-phase registration in assessing lung function in patients with COPD. **Methods:** Totally 121 patients with COPD diagnosed in our hospital were retrospectively collected and divided into GOLD 1~4 grades according to the 2017 COPD Global Initiative guidelines. There were 19 cases in GOLD grade 1, 49 cases in grade 2, 34 cases in grade 3 and 19 cases in grade 4. The percentage of functional small airway disease ($PRM_{ISAD\%}$), the percentage of emphysema ($PRM_{Emph\%}$), the percentage of normal area

作者单位:716000 陕西,延安大学附属医院影像科(牛媛,雷禹,沈敏,李建龙,黄晓旗,郭佑民);710061 西安,西安交通大学第一附属医院(郭佑民)

作者简介:牛媛(1994-),女,陕西榆林神木人,硕士研究生,住院医师,主要从事胸部影像诊断工作。

通讯作者:黄晓旗, E-mail:344653354@qq.com

基金项目:陕西省重点研发计划一般项目(2021SF-254)

($PRM_{Normal\%}$) and the expiratory to inspiratory ratio of mean lung density ($MLD_{ex/in}$) were calculated by importing the biphasic CT data into "digital lung" analysis platform. All patients underwent pulmonary function (PFT) tests, including FVC, $FEV1\%$, and $FEV1/FVC$, within 3 days after CT examination and under conditions of stable symptoms. The differences of CT quantitative indexes and pulmonary function parameters among the four groups were analyzed by one-way ANOVA. The correlation between CT quantitative indexes and lung function parameters was analyzed by Pearson rank analysis. Multiple stepwise regression analysis was used to determine the relationship between $PRM_{ISAD\%}$ and $PRM_{Emph\%}$ with $MLD_{ex/in}$. **Results:** There were significant differences in $PRM_{ISAD\%}$, $PRM_{Emph\%}$, $PRM_{Normal\%}$ and $MLD_{ex/in}$ among the four groups (all $P < 0.05$). The correlation of $PRM_{ISAD\%}$ and PFTs (FVC, $FEV1\%$ and $FEV1/FVC$) was statistically significant (all $P < 0.05$). The correlation of $PRM_{Emph\%}$ and PFTs ($FEV1\%$ and $FEV1/FVC$) was statistically significant (all $P < 0.05$). $PRM_{ISAD\%}$ and $PRM_{Emph\%}$ were positively correlated with $MLD_{ex/in}$. The correlation coefficients were 0.772 and 0.237, respectively (all $P < 0.01$). The results of multiple stepwise regression showed that there was linear regression relationship between $MLD_{ex/in}$ and $PRM_{ISAD\%}$ ($\beta = 0.757, P < 0.001$), and $MLD_{ex/in}$ with $PRM_{Emph\%}$ ($\beta = 0.170, P = 0.003$). The correlation coefficient of $PRM_{ISAD\%}$ and $FEV1\%$ was -0.354 , and that value was 0.811 between $PRM_{ISAD\%}$ and $MLD_{ex/in}$ in GOLD grade 1 and grade 2 groups. The results of ROC curve analysis showed that the optimal cut-off value of $PRM_{ISAD\%}$ for predicting severe COPD was 27.91% (AUC was 0.677, sensitivity was 90.6%, specificity was 45.6%). **Conclusion:** The biphasic registration quantitative CT index $PRM_{ISAD\%}$ has a good correlation with $MLD_{ex/in}$ and can reflect lung function to a certain extent. The $PRM_{ISAD\%}$ can be used as a relatively sensitive assessment of COPD small airway lesions and can be considered to be equivalent to and is expected to become a supplementary index for early diagnosis of COPD.

【Key words】 Chronic obstructive pulmonary disease; Small airway disease; Biphasic; Tomography; X-ray computed

慢性阻塞性肺疾病 (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 是一种具有多种病理生理学变化的高度异质性疾病, 以小气道病变及肺气肿为主要特征^[1]。许多证据表明小气道病变为气流受限的主要原因, 并先于肺气肿病变的发生, 其病理学改变可以在无明显症状的情况下持续进展, 故其是早期治疗的重要靶点^[2]。既往研究表明呼吸双气相平均肺密度比 (mean lung density ratio of expiratory to inspiratory phase, $MLD_{ex/in}$) 可较敏感地评估 COPD 空气潴留, 较好地反映小气道病变情况, 并可以预测肺功能的下降^[3-4], 但其代表肺的整体密度, 并不能精确反映肺损伤程度。对小气道病变的研究是目前的热点及难点, 仍处于初级阶段, 迫切需要寻找准确稳定的生物学标记物^[5-6]。

Galbán 等^[7]首次提出参数反应图 (parameter response mapping, PRM) 应用于 CT 扫描的可行性, 随后有研究结果证实 PRM 可以区分 COPD 功能性小气道病变区域 (functional small airway disease, fSAD) 和肺气肿区域 (emphysema area, Emph), 有望作为诊断 COPD 的影像学生物标记物^[8]。近期的几项研究结果显示采用 B 样条结合仿射变换 (B-spline affine

transformation, BSAT) 图像配准法建立的体素定量分析法对小气道病变和肺气肿的评估准确性优于传统阈值法, 可以显示小气道病变和肺气肿的分布范围和局部肺组织的损伤程度, 有助于 COPD 的早期诊断^[9-11]。

双气相配准 PRM 法诊断 COPD 小气道病变的可靠性仍需进一步验证, 目前对于 PRM 参数与其它相对成熟的 CT 定量参数间关联性的研究较少。本研究通过分析双气相配准定量 CT 指标 $PRM_{ISAD\%}$ 与临床肺功能检测指标和常规 CT 定量参数 $MLD_{ex/in}$ 的关系, 探讨其评估 COPD 患者小气道病变的准确性, 旨在为 COPD 患者的个性化治疗提供客观依据。

材料与方法

1. 一般资料

将 2018 年 6 月—2019 年 6 月在本院确诊的 121 例 COPD 患者纳入本研究。其中, 男 98 例, 女 23 例, 年龄 35~84 岁, 平均 (64±9) 岁。排除标准: 胸廓发育异常、肺肿瘤、大量胸腔积液及大面积感染等影响数据测量者。

本研究通过了本院伦理委员会的批准[2018032],

所有受试者知情同意并签署了知情同意书。

2. CT 扫描方法

使用联影 UCT-760 128 层螺旋 CT 机。扫描前对患者进行呼吸训练(深吸气末和深呼气末屏气),扫描时患者呈仰卧位、双手上举。于深吸气末和深呼气末分别进行全肺 CT 扫描,范围包括肺尖至肺底,扫描参数:自动管电流调节技术(剂量等级 2),实际取值 30~40 mAs(符合胸部低剂量扫描推荐标准^[12]),120 kV,准直器宽度 128×0.625 mm,0.5 s/r,螺距 1.0875,层厚 5.0 mm,视野 350 mm×350 mm~450 mm×450 mm,矩阵 512×512。扫描完成后对双气相 CT 图像采用骨算法进行薄层(重建层厚和间隔均为 1.0 mm)KARL 迭代重建^[13]。

3. 图像分析和测量

将双气相扫描原始 DIOCM 数据导入“digital lung”分析平台,测量双气相 CT 定量指标 MLD_{ex/in};进行双气相图像配准,计算每个体素双气相两次 CT 值的变化,将全肺分为 3 种区域^[8-9]:将吸气相 CT 值>-950 HU、呼气相 CT 值≤-856 HU 的体素定义为功能性小气道病变区域(黄色),用 PRM_{ISAD}表示;将吸气相 CT 值≤-950 HU、呼气相 CT 值≤-856 HU 的体素定义为肺气肿区(红色),用 PRM_{Emph}表示;吸气相 CT 值>-950 HU、呼气相 CT 值>-856 HU 的体素定义为正常区(绿色),用 PRM_{Normal}表示(图 1a~p)。分别计算出 3 种区域占全肺体积的百分比,表示为 PRM_{ISAD}%、PRM_{Emph}% 和 PRM_{Normal}%。

4. 临床肺功能检测

患者在 CT 检查后 3 天内症状稳定的条件下进行肺功能检测(Pulmonary function test, PFT)。分别测量用力肺活量(forced vital capacity, FVC)、第 1 秒用力呼气容积占预计值的百分比(percent predicted of forced expiratory flow in one second, FEV1%)和 FEV1 占用力肺活量的百分比(FEV1/FVC)。根据 2017 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^[14],将 COPD 患者分为 4 组:GOLD 1 级 19 例、2 级 49 例、3 级 34 例、4 级 19 例。将 GOLD 3 级和 4 级定义为重度 COPD。

5. 统计学方法

使用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析。采用单因素方差分析比较 4 组间 CT 定量参数及临床肺功能指标的差异。采用 Pearson 相关分析评估双气相配准的 CT 定量参数(PRM_{ISAD}%、PRM_{Emph}%)与临床肺功能参数(FVC、FEV1%、FEV1/FVC)、双气相 CT 定量参数 MLD_{ex/in}的相关性。采用多元逐步回归分析确定基于双气相配准的定量 CT 参数 PRM_{ISAD}%、PRM_{Emph}% 与 MLD_{ex/in}的关系。采用 ROC 曲线分析 PRM_{ISAD}% 预测重度 COPD 的效能。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

1. 临床资料和 CT 定量参数的比较

不同肺功能分级 COPD 患者组之间一般临床资料的比较结果见表 1。四组之间年龄和体质指数的差异无统计学意义($P>0.05$);而吸烟指数、FVC、FEV1%、FEV1/FVC、MLD_{ex/in}、PRM_{ISAD}%、PRM_{Emph}% 和 PRM_{Normal}% 的差异均有统计学意义($P<0.05$)。

对比分析从 GOLD 1~4 级 COPD 患者的双气相配准 CT 定量伪彩图,可见肺组织正常区域逐渐减少,小气道病变及肺气肿区域逐渐增加(图 1)。

2. CT 定量参数与 PFT 指标和 MLD_{ex/in} 的相关性

CT 定量参数与 3 项 PFT 指标和 MLD_{ex/in} 的 Pearson 相关性分析结果见表 2。

MLD_{ex/in} 和 PRM_{ISAD}% 与 3 项 PFT 指标均呈负相关($P<0.05$)。PRM_{Emph}% 与 FEV1% 和 FEV1/FVC 呈负相关(P 均 <0.001)。PRM_{Normal}% 与 FEV1% 和 FEV1/FVC 呈正相关(P 均 <0.001)。

GOLD 1~2 级组和 3~4 级组的 PRM_{ISAD}% 与 FEV1% 均呈负相关(图 2a),相关系数值分别为 -0.354 和 -0.305(P 均 <0.05)。

表 1 不同肺功能分级 COPD 患者的临床资料和 CT 定量参数的比较

指标	GOLD 1 级 (n=18)	GOLD 2 级 (n=49)	GOLD 3 级 (n=34)	GOLD 4 级 (n=19)	F 值	P 值
年龄/岁	65.74±7.54	64.63±8.86	63.29±9.98	63.21±9.40	0.405	0.750
性别比(男/女)	17/2	35/14	29/5	17/2		
体重指数/kg/m ²	22.39±3.17	23.64±3.26	22.88±3.25	20.58±2.44	2.627	0.059
吸烟指数/支/年	651.32±493.36	607.02±681.02	1105.76±890.93	1369.53±766.82	6.608	<0.001
FVC/L	3.62±1.01	2.732±0.72	2.22±0.46	1.73±0.54	49.587	<0.001
FEV1%	85.68±18.62	59.81±10.69	36.74±6.51	24.85±3.64	33.130	<0.001
FEV1/FVC	65.80±10.92	58.64±12.31	48.56±15.55	44.43±13.58	12.017	<0.001
MLD _{ex/in}	0.91±0.04	0.94±0.04	0.96±0.01	0.98±0.02	55.266	<0.001
PRM _{ISAD} %	27.04%±9.86%	31.71%±9.84%	33.59%±5.39%	37.61%±8.27%	74.342	0.003
PRM _{Emph} %	16.03%±9.45%	18.23%±9.85%	24.09%±11.84%	24.41%±13.60%	3.728	0.013
PRM _{Normal} %	41.34%±16.21%	36.64%±14.44%	29.41%±13.51%	28.36%±15.95%	4.130	0.008

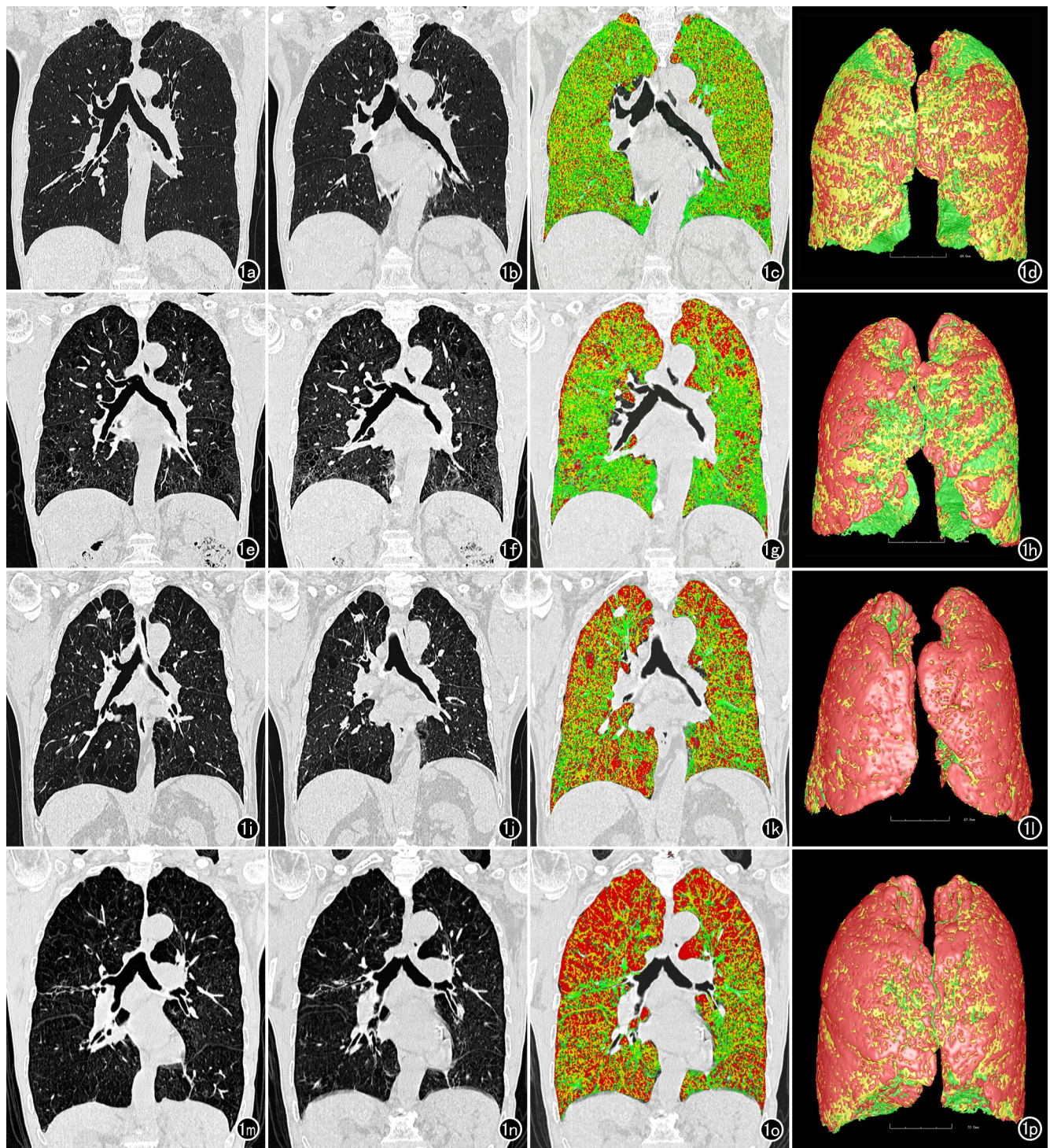


图 1 不同肺功能分级患者双气相 CT 图像对比。图 a~d、e~h、i~l 和 m~p 分别为 GOLD 1~4 级患者的吸气相 CT(图 a、e、i、m)、呼气相 CT(图 b、f、j、n)、双气相配准(图 c、g、k、o)及三维 VR(图 d、h、l、p)图像,4 组图像对比,可见随着 COPD 严重程度的增加,吸气相和呼气相图像上肺气肿逐渐加重、双气相肺密度差异逐渐减小,双气相配准伪彩图上小气道病变区域(黄色)和肺气肿区域(红色)范围逐渐增加,正常区域(绿色)的范围则逐渐减少。

GOLD 1~2 级组和 3~4 级组 $PRM_{ISAD\%}$ 与 $MLD_{ex/in}$ 均呈正相关(图 2b),相关系数值分别为 0.811、0.607(P 均 <0.001); $PRM_{ISAD\%}$ 和 $PRM_{Emph\%}$ 与 $MLD_{ex/in}$ 均呈正相关(P 均 <0.05)

多元逐步回归分析结果, $PRM_{ISAD\%}$ 和 $PRM_{Emph\%}$

(作为自变量)与 $MLD_{ex/in}$ (为因变量)之间均存在线性回归关系,标准相关系数值分别为 0.757($P<0.001$)和 0.170($P=0.003$)。

3. $PRM_{ISAD\%}$ 对重度 COPD 的诊断效能

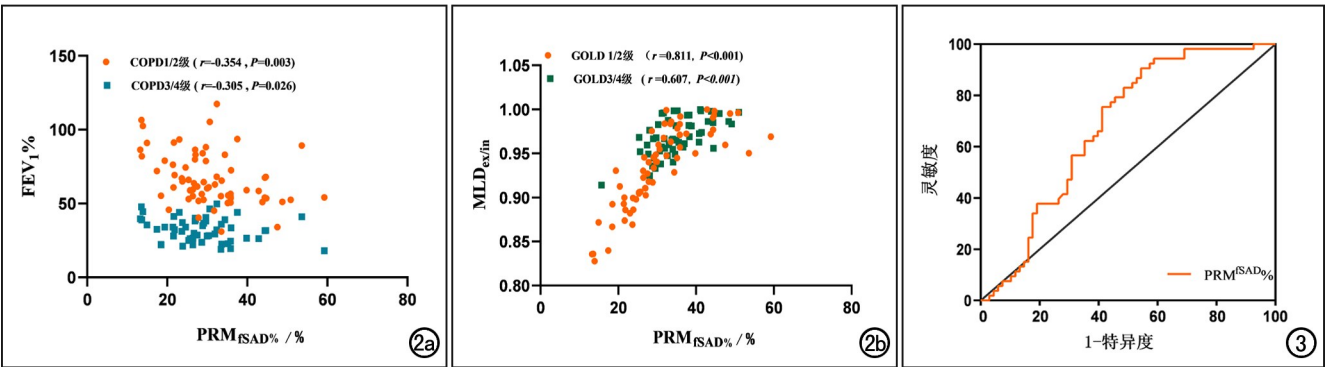


图2 相关性分析散点图。a) GOLD 1~2 级组和 GOLD 3~4 级组的 PRM_{ISAD}% 与 FEV₁% 均呈负相关; b) GOLD 1~2 级组和 GOLD 3~4 级组的 PRM_{ISAD}% 与 MLD_{ex/in} 均呈正相关。图3 PRM_{ISAD}% 诊断重度 COPD 的 ROC 曲线, AUC=0.677。

表2 CT 定量参数与 PFT 指标、MLD_{ex/in} 的相关系数值

CT 定量参数	FVC	FEV1%	FEV1/FVC	MLD _{ex/in}
MLD _{ex/in}	-0.389 (P<0.001)	-0.554 (P<0.001)	-0.313 (P=0.001)	—
PRM _{ISAD} %	-0.241 (P=0.009)	-0.407 (P<0.001)	-0.207 (P=0.023)	0.772 (P<0.001)
PRM _{Emph} %	0.012 (P=0.894)	-0.346 (P<0.001)	-0.434 (P<0.001)	0.237 (P=0.009)
PRM _{Normal} %	-0.004 (P=0.964)	0.391 (P<0.001)	0.434 (P<0.001)	-0.389 (P<0.001)

PRM_{ISAD}% 区分重度 COPD 的曲线下面积为 0.677 (图 3), 对应的约登指数为 0.362, 临界值为 27.91%, 敏感度为 90.6%, 特异度为 45.6%。

讨论

目前 COPD 成为全球排名第 3 的死亡原因, 患者的家庭及社会负担较重^[1]。PFT 是诊断 COPD 的金标准, 但是 PFT 难以发现早期病变, 当 PFT 发现异常时, 肺组织损伤至少已经达到 30%^[15]。对于轻度 COPD (GOLD 1 级) 患者, 实际上肺内已经存在广泛的小气道病变^[16]。定量 CT 可以对疾病进行早期检测并能较准确地反映病变的发生部位及损伤程度, 目前提倡采用多种诊断指标对 PFT 的诊断进行补充, 从而为 COPD 的诊断提供更加全面的依据^[17]。

小气道为 COPD 患者气流受限的主要部位, 小气道病变发生于 COPD 的早期阶段, 并与肺功能下降相关^[18]。CT 评估 COPD 患者的小气道病变具有一定优势, 多采用呼气相 CT 空气潴留的量化指标, 如 EXP-856% (呼气末 CT 值低于-856 HU 的低衰减区占全肺体积的百分比)、呼气相平均肺密度 (mean lung density ratio of expiratory phase, MLD_{exp}) 等, 来间接评估小气道病变。高燕莉等^[19]以肺功能指标为因变量, 进行多元线性回归研究中, 空气潴留 (airtrapping, AT) 的标准化回归系数 (β) 的绝对值 > 肺气肿指数 (emphy index, EI), 说明 AT 对肺功能指标的贡献大于 EI。Mets 等^[20]的研究结果显示, MLD_{ex/in} 评估空气潴留优于 EXP-856%、RVC-860% to -950% (CT 值为-860~-950 HU 的肺组织呼气相与吸气相的

体积变化百分比), 并推荐将其作为 CT 筛查肺部空气潴留改变的指标。MLD_{ex/in} 可以较好地反映 COPD 患者空气潴留程度, 从而可间接反映小气道病变, 且其值的下降与 FEV₁% 下降密切相关^[3]。本研究结果显示, MLD_{ex/in} 值随着 COPD 患者肺功能级别的增加而逐渐增加, 且在不同肺功能分级组之间的差异具有统计学意义, 也证实了 MLD_{ex/in} 在 COPD 不同亚组间存在差异, 并与临床 PFT 指标之间相关性较高。

双气相定量 PRM 能够可视化及量化显示小气道病变和肺气肿的情况, 且与临床肺功能指标之间具有相关性^[21]。有研究证实 PRM 参数 PRM_{ISAD}% 和 PRM_{Emph}% 与解剖学检查发现的小气道病变和肺气肿的程度相关^[22]。PRM 参数可以对 COPD 的影像表型进行分型, 有助于探索疾病的病理生理机制, 尤其对于轻中度 COPD 患者 (GOLD 1~2 级), PRM_{ISAD}% 可以识别有进展风险的个体并对肺功能下降具有良好的预测作用^[23-25]。

Boes 等^[26]对 COPD 不同亚组的 PRM 研究结果表明从正常肺组织到小气道病变的进展较迅速并且此过程为可逆性病变, 经临床治疗可以恢复, 而从小气道病变到肺气肿进展较缓慢, 肺气肿为不可逆性肺损伤。本研究中随着 COPD 级别的增加, PRM_{ISAD}% 和 PRM_{Emph}% 值逐渐增加, 且在 4 个级别分组之间的差异具有统计学意义 (P < 0.05); 而且, PRM_{ISAD}% 和 PRM_{Emph}% 均与各项 PFT 指标之间存在相关性, 提示这 2 个指标可以在一定程度上反映 COPD 患者气流受限程度。

MLD_{ex/in} 是反映小气道病变的一种强有力的指

标,但包含部分肺气肿^[18],在研究过程中,我们发现 PRM_{ISAD}% 和 PRM_{Emph}% 与 MLD_{ex/in} 呈正相关($r = 0.772, 0.237$),故进一步以两者作为自变量,以 MLD_{ex/in} 为因变量,进行多元逐步回归分析,从而全面分析定量参数间的相关性,研究存在一定创新性。分析结果显示:PRM_{ISAD}% 和 PRM_{Emph}% 与 MLD_{ex/in} 的标准相关系数分别为 0.757 和 0.170。GOLD 1~2 级组的 PRM_{ISAD}% 与 MLD_{ex/in} 相关性良好($r = 0.811$),且与 FEV1% 呈负相关关系($r = -0.354$),提示 PRM_{ISAD}% 对 COPD 患者早期小气道病变的诊断可以提供一定依据,符合既往 Galbán 等^[8]的研究中,即小气道病变作为 GOLD 1、2 级 COPD 患者气流受限的主要原因,且 PRM_{ISAD}% 参数可以反映小气道病变的严重程度。PRM_{ISAD}%、PRM_{Emph}% 与肺功能检测指标之间的相关系数略低于 MLD_{ex/in},而既往 Pompe 等^[27]的研究结果中 PRM_{ISAD}%、PRM_{Emph}% 与肺功能指标的相关性较 MLD_{ex/in} 更高,作者推测可能是由于 MLD_{ex/in} 反映的是总体空气潴留情况,而 PRM 参数将小气道病变和肺气肿引起的空气潴留进行了具体区分。

本研究中 ROC 分析结果显示,PRM_{ISAD}% 诊断重度 COPD 的 ROC 曲线下面积为 0.677,临界值为 27.91%,敏感度为 90%,特异度为 46%。上述结果表明 PRM_{ISAD}% 对轻、重度 COPD 的鉴别有一定意义,但是诊断效能一般,特异度偏小预示其诊断的真阴性率偏低。作者推测可能由于本研究中纳入的 GOLD 1 级的 COPD 患者相对较少,造成早期小气道病变的样本量相对不足,也可能由于本研究中主要研究的是小气道病变,缺少考虑 COPD 患者存在的其它肺部损伤,如支气管管壁和肺血管的病变等,因而后续作者会继续完善资料进一步深入研究。另外,本研究样本中以男性患者为主,后期应该增加女性患者的例数,对于不同性别进行分组研究。

综上所述,双气相配准 CT 定量指标 PRM_{ISAD}% 能较敏感地评估 COPD 患者小气道病变情况,并可以在一定程度上反映肺功能,与 MLD_{ex/in} 具有良好的相关性,可以为 COPD 患者临床个性化诊疗提供一定的客观依据。

参考文献:

- [1] Labaki WW, Rosenberg SR. Chronic obstructive pulmonary disease[J]. Ann Intern Med, 2020, 173(3): 17-32.
- [2] Polosukhin VV, Gutor SS, Du RH, et al. Small airway determinants of airflow limitation in chronic obstructive pulmonary disease[J]. Thorax, 2021, 76(11): 1079-1088.
- [3] Hartley RA, Barker BL, Newby C, et al. Relationship between lung function and quantitative computed tomographic parameters of airway remodeling, air trapping, and emphysema in patients with asthma and chronic obstructive pulmonary disease: a single-

- ter study[J]. J Allergy Clin Immunol, 2016, 137(5): 1413-1422.
- [4] 黄晓旗, 白利杰, 沈聪, 等. 慢性阻塞性肺疾病患者双气相 CT 扫描平均肺密度与肺功能的相关性研究[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2019, 40(2): 178-181.
- [5] 曾冠盛, 于化鹏. 慢性阻塞性肺疾病小气道研究进展和临床应用[J]. 国际呼吸杂志, 2019, 39(16): 1264-1268.
- [6] Chukowry PS, Spittle DA, Turner AM. Small airways disease, biomarkers and COPD: where are we[J/OL]. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2021, 16: e351-e365. DOI: 10.2147/COPD.S280157. 2021.02.18.
- [7] Galbán CJ, Chenevert TL, Meyer CR, et al. The parametric response map is an imaging biomarker for early cancer treatment outcome[J]. Nat Med, 2009, 15(5): 572-576.
- [8] Galbán CJ, Han MK, Boes JL, et al. Computed tomography-based biomarker provides unique signature for diagnosis of COPD phenotypes and disease progression[J]. Nat Med, 2012, 18(11): 1711-1715.
- [9] 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.
- [10] 李辉安, 师美娟, 沈聪, 等. 基于体素的 COPD 早期诊断与 CT 肺功能定量评估[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2019, 40(2): 187-192.
- [11] 师美娟, 梁志冉, 沈聪, 等. 基于体素观察慢性阻塞性肺疾病肺叶损伤程度及空间分布[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(3): 340-344.
- [12] 中华医学会放射学分会心胸学组. 低剂量螺旋 CT 肺癌筛查专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2015, 49(5): 328-335.
- [13] 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.
- [14] Vogelmeier CF, Criner GJ, Martinez FJ, 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.
- [15] Andreeva E, Pokhaznikova M, Lebedev A, et al. Spirometry is not enough to diagnose COPD in epidemiological studies: a follow-up study[J/OL]. NPJ Prim Care Respir Med, 2017, 27(1): e62. DOI: 10.1038/s41533-017-0062-6.
- [16] Koo HK, Vasilescu DM, Booth S, et al. Small airways disease in mild and moderate chronic obstructive pulmonary disease: a cross-sectional study[J]. Lancet Respir Med, 2018, 6(8): 591-602.
- [17] 陈润华, 石港安, 邓宇. 慢性阻塞性肺疾病定量影像学方法的研究进展[J]. 放射学实践, 2021, 36(5): 680-683.
- [18] Bodduluri S, Reinhardt JM, Hoffman EA, et al. Signs of gas trapping in normal lung density regions in smokers[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2017, 196(11): 1404-1410.
- [19] 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.
- [20] Mets OM, Zanen P, Lammers JW, et al. Early identification of small airways disease on lung cancer screening CT: comparison of current air trapping measures[J]. Lung, 2012, 190(6): 629-633.
- [21] 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.

[22] Vasilescu DM, Martinez FJ, Marchetti N, et al. Noninvasive imaging biomarker identifies small airway damage in severe chronic obstructive pulmonary disease[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2019, 200(5): 575-581.

[23] 赵凡惠, 王雷, 朱彦瑾, 等. 基于双气相定量 CT 评估 COPD 患者小气道病变和肺气肿程度的研究[J]. 临床放射学杂志, 2019, 38(12): 2307-2312.

[24] Bhatt SP, Soler X, Wang X, et al. Association between functional small airway disease and fev1 decline in chronic obstructive pulmonary disease[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2016, 194(2): 178-184.

[25] Pompe E, Moore CM, Mohamed Hoesein FAA, et al. Progression of emphysema and small airways disease in cigarette smokers [J]. Chronic Obstr Pulm Dis, 2021, 8(2): 198-212.

[26] Boes JL, Hoff BA, Bule M, et al. Parametric response mapping monitors temporal changes on lung CT scans in the subpopulations and intermediate outcome measures in COPD study (SPIROMICS)[J]. Acad Radiol, 2015, 22(2): 186-194.

[27] Pompe E, Galbán CJ, Ross BD, et al. Parametric response mapping on chest computed tomography associates with clinical and functional parameters in chronic obstructive pulmonary disease [J/OL]. Respir Med, 2017, 123: e48-e55. DOI: 10.1016/j.rmed.2016.11.021.

(收稿日期: 2022-01-25 修回日期: 2022-05-17)

本刊可直接使用的医学缩略语

医学论文中正确、合理使用专业名词可以精简文字, 节省篇幅, 使文章精炼易懂。现将放射学专业领域为大家所熟知的专业名词缩略语公布如下(按照英文首字母顺序排列), 以后本刊在论文中将对这一类缩略语不再注释其英文全称和中文。

- ADC (apparent diffusion coefficient): 表观扩散系数
- ALT: 丙氨酸转氨酶; AST: 天冬氨酸转氨酶
- BF (blood flow): 血流量
- BOLD (blood oxygenation level dependent): 血氧水平依赖
- BV (blood volume): 血容量
- b: 扩散梯度因子
- CAG (coronary angiography): 冠状动脉造影
- CPR (curve planar reformation): 曲面重组
- CR (computed radiography): 计算机 X 线摄影术
- CT (computed tomography): 计算机体层成像
- CTA (computed tomography angiography): CT 血管成像
- CTPI (CT perfusion imaging): CT 灌注成像
- DICOM (digital imaging and communication in medicine): 医学数字成像和传输
- DR (digital radiography): 数字化 X 线摄影术
- DSA (digital subtraction angiography): 数字减影血管造影
- DWI (diffusion weighted imaging): 扩散加权成像
- DTI (diffusion tensor imaging): 扩散张量成像
- ECG (electrocardiography): 心电图
- EPI (echo planar imaging): 回波平面成像
- ERCP (endoscopic retrograde cholangiopancreatography): 经内镜逆行胰胆管造影术
- ETL (echo train length): 回波链长度
- FLAIR (fluid attenuation inversion recovery): 液体衰减反转恢复
- FLASH (fast low angel shot): 快速小角度激发
- FOV (field of view): 视野
- FSE (fast spin echo): 快速自旋回波
- fMRI (functional magnetic resonance imaging): 功能磁共振成像
- IR (inversion recovery): 反转恢复
- Gd-DTPA: 钆喷替酸葡甲胺
- GRE (gradient echo): 梯度回波
- HE 染色: 苏木素-伊红染色
- HRCT (high resolution CT): 高分辨率 CT

- MPR (multi-planar reformation): 多平面重组
- MIP (maximum intensity projection): 最大密(强)度投影
- MinIP (minimum intensity projection): 最小密(强)度投影
- MRA (magnetic resonance angiography): 磁共振血管成像
- MRI (magnetic resonance imaging): 磁共振成像
- MRS (magnetic resonance spectroscopy): 磁共振波谱学
- MRCP (magnetic resonance cholangiopancreatography): 磁共振胰胆管成像
- MSCT (multi-slice spiral CT): 多层螺旋 CT
- MTT (mean transit time): 平均通过时间
- NEX (number of excitation): 激励次数
- PACS (picture archiving and communication system): 图像存储与传输系统
- PC (phase contrast): 相位对比法
- PET (positron emission tomography): 正电子发射计算机体层成像
- PS (surface permeability): 表面通透性
- ROC 曲线 (receiver operating characteristic curve): 受试者操作特征曲线
- SPECT (single photon emission computed tomography): 单光子发射计算机体层摄影术
- PWI (perfusion weighted imaging): 灌注加权成像
- ROI (region of interest): 兴趣区
- SE (spin echo): 自旋回波
- STIR (short time inversion recovery): 短时反转恢复
- TACE (transcatheter arterial chemoembolization): 经导管动脉化疗栓塞术
- T₁ WI (T₁ weighted image): T₁ 加权像
- T₂ WI (T₂ weighted image): T₂ 加权像
- TE (time of echo): 回波时间
- TI (time of inversion): 反转时间
- TR (time of repetition): 重复时间
- TOF (time of flight): 时间飞跃法
- TSE (turbo spin echo): 快速自旋回波
- VR (volume rendering): 容积再现
- WHO (World Health Organization): 世界卫生组织
- NAA (N-acetylaspartate): N-乙酰天门冬氨酸
- Cho (choline): 胆碱
- Cr (creatinine): 肌酸
- (本刊编辑部)