

• 临床研究 •

CT肺小血管定量参数评估不同类型肺动脉高压的应用研究

徐承啸¹, 张月², 张宁³, 祝因苏¹, 鲁珊珊^{1*}¹南京医科大学第一附属医院放射科, ²心血管内科, ³风湿科, 江苏 南京 210029

[摘要] 目的: 探讨基于胸部CT测量的肺小血管参数在评估肺动脉高压(pulmonary hypertension, PH)分型及结缔组织疾病相关肺高压(connective tissue diseases-related pulmonary hypertension, CTD-PH)严重程度分级中的临床价值。方法: 回顾性纳入170例PH患者, 包括60例CTD-PH患者、52例特发性PH(idiopathic pulmonary hypertension, IPAH)患者和58例慢性阻塞性肺疾病相关PH(chronic obstructive pulmonary disease-related pulmonary hypertension, COPD-PH)患者, 同时纳入120例健康受试者(health control, HC)作为对照。基于胸部CT测量横截面积(cross-sectional area, CSA) < 5 mm²的肺小血管CSA之和及CSA 5~10 mm²的肺小血管CSA之和与肺总CSA的比率(%CSA_{<5}和%CSA₅₋₁₀), 采用单因素方差分析或Kruskal-Wallis检验比较4组之间%CSA_{<5}和%CSA₅₋₁₀的差异, 并进行组间两两比较。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析%CSA区分重度CTD-PH(CTD-S-PH组)和中重度CTD-PH(CTD-LM-PH组)的能力, 计算曲线下面积(area under curve, AUC)、灵敏度及特异度。结果: 与HC组比较, IPAH组和COPD-PH组的%CSA_{<5}均小于HC组(P 均<0.001), COPD-PH组的%CSA₅₋₁₀低于HC组($P=0.038$), 而CTD-PH和IPAH组的%CSA₅₋₁₀均显著高于HC组(P 均<0.05)。不同类型PH组间比较, CTD-PH的%CSA_{<5}和%CSA₅₋₁₀均高于COPD-PH组(P 均<0.001), IPAH组的%CSA₅₋₁₀显著高于CTD-PH组($P=0.022$), 而IPAH和COPD-PH组的%CSA_{<5}差异无统计学意义($P=0.833$)。CTD-S-PH组患者的%CSA_{<5}显著低于CTD-LM-PH组($P=0.004$)。ROC曲线分析结果显示, %CSA_{<5}预测CTD-S-PH的最佳截断值为0.804, AUC为0.710(95%CI: 0.573~0.847), 灵敏度为0.714, 特异度为0.320。结论: 基于胸部CT定量的肺小血管参数%CSA可以区分不同类型PH。在CTD-PH人群中, %CSA_{<5}可作为评估PH严重程度分级的参考依据。

[关键词] 肺动脉高压; 肺小血管; 胸部CT; 分型; 严重程度**[中图分类号]** R544.16**[文献标志码]** A**[文章编号]** 1007-4368(2024)06-832-06**doi:** 10.7655/NYDXBNSN231111

Application study of quantitative parameters of small pulmonary vessels on CT in evaluating different types of pulmonary hypertension

XU Chengxiao¹, ZHANG Yue², ZHANG Ning³, ZHU Yinsu¹, LU Shanshan^{1*}¹Department of Radiology, ²Department of Cardiology, ³Department of Rheumatology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing, 210029, China

[Abstract] **Objective:** To investigate the clinical value of small pulmonary vessels parameters measured by chest CT in evaluating the classification of different types of pulmonary hypertension (PH) and the severity grading of connective tissue disease s-related pulmonary hypertension (CTD-PH). **Methods:** A retrospective analysis included 170 PH patients, including 60 CTD-PH patients, 52 idiopathic PH (IPAH) patients, and 58 chronic obstructive pulmonary disease-related PH (COPD-PH) patients, with 120 healthy controls (HC) included as controls. The ratio of the sum of the cross-sectional area (CSA) of small pulmonary vessels with CSA < 5 mm² (%CSA_{<5}) and between 5 to 10 mm² (%CSA₅₋₁₀) to the total CSA of the lung measured by chest CT was compared among the four groups using one-way ANOVA or Kruskal-Wallis test, followed by pairwise comparisons. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was used to evaluate the performance of %CSA for differentiating mild to moderate CTD-PH (CTD-LM-PH) from severe CTD-PH (CTD-S-PH) patients, and calculate the area under the curve (AUC), sensitivity and specificity. **Results:** The %CSA_{<5} of the IPAH and COPD-PH groups were significantly lower compared to the HC group ($P < 0.001$). Additionally, the %CSA₅₋₁₀ of the COPD-PH

[基金项目] 国家自然科学基金(82171907)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: shanshanlu@njmu.edu.cn

group showed a significant decline compared to the HC group ($P=0.038$), whereas the %CSA₅₋₁₀ of the CTD-PH and IPAH groups was significantly high compared to the HC group (both $P < 0.05$). In comparisons between different types of PH groups, the %CSA_{<5} and %CSA₅₋₁₀ of the CTD-PH group were higher than those of the COPD-PH group ($P < 0.001$). The %CSA₅₋₁₀ of the IPAH group was significantly higher than that of the CTD-PH group ($P=0.022$), while there was no significant difference in the %CSA_{<5} between the IPAH and COPD-PH groups ($P=0.833$). The %CSA_{<5} of CTD-S-PH group was significantly lower than that of CTD-LM-PH group ($P=0.004$). The ROC curve analysis showed that the optimal cutoff value for %CSA_{<5} to predict CTD-S-PH was 0.804, with an AUC of 0.710 (95%CI: 0.573-0.847), sensitivity of 0.714 and specificity of 0.320. **Conclusion:** The quantitative parameter %CSA assessed by chest CT can distinguish different types of PH. The %CSA_{<5} can serve as a reference for evaluating the severity of CTD-PH.

[Key words] pulmonary hypertension; small pulmonary vessels; chest CT; classification; severity

[J Nanjing Med Univ, 2024, 44(06): 832-837]

肺动脉高压(pulmonary hypertension, PH)是由多种病因和不同发病机制所致的肺血管进行性循环障碍, 可导致肺血管阻力增加和右心衰竭, 其病理生理学特征为肺小动脉的血管重塑^[1]。临床上PH分为5个大类, 包括动脉型PH、左心相关PH及由肺部疾病和/或缺氧引起的慢性阻塞性肺病伴PH(chronic obstructive pulmonary disease-related pulmonary hypertension, COPD-PH)等。其中动脉型PH又包括特发性肺高压(idiopathic pulmonary hypertension, IPAH)和结缔组织疾病相关的PH(connective tissue diseases-related pulmonary hypertension, CTD-PH)。不同类型的PH可能具有相似的临床表现或血液动力学特征, 但其治疗策略和预后不尽相同, 对PH进行准确分类及评估其严重程度对于确保患者能够尽早得到治疗至关重要^[2]。

右心导管造影(right heart catheterization, RHC)是诊断PH的金标准, 然而RHC是有创检查。超声心动图可以观察到PH的结构异常, 常被用作PH的临床筛查和随访评估, 但是其检查结果受到医生的操作经验及声窗的限制, 准确性和可重复性受限^[3]。胸部CT在临床评估疑似PH患者中应用得越来越多, 通过胸部CT的肺血管定量分析, 可量化肺血管重构从而评估PH^[4-7]。

目前, 基于胸部CT图像的肺小血管定量分析在PH分型和严重程度分级中的临床应用尚缺乏足够证据。本研究基于胸部CT测量肺小血管的横截面积(cross-sectional area, CSA)与总肺CSA之比(%CSA), 探讨%CSA在区分不同类型PH和CTD-PH严重程度分级中的临床价值。

1 对象和方法

1.1 对象

回顾性收集2011年3月—2021年10月在南京

医科大学第一附属医院诊断为PH患者170例。纳入标准: ①在海平面静息状态下RHC测量的平均肺动脉压力(mean pulmonary artery pressure, mPAP)≥20 mmHg, 肺动脉楔压(pulmonary-artery-wedge-pressure, PAWP)≤15 mmHg; ②在RHC检查6个月内, 有平扫或增强胸部CT图像, 在此期间患者的病情保持稳定。排除标准: ①遗传性PH、药物和毒素、人类免疫缺陷病毒(human immunodeficiency virus, HIV)感染、门静脉高压、先天性心脏病; ②图像质量差, 影响评估; ③伴其他影响CT定量测量的肺部疾病: 中度或重度肺间质纤维化、肺炎、大量胸腔积液。

共纳入经RHC明确的PH患者112例, 包括60例CTD-PH患者及52例IPAH患者。纳入与CTD-PH患者同期入院且依据PH指南^[1], 临床确诊为COPD-PH的患者58例, 超声心动图检查示肺动脉收缩压>35 mmHg。另外选取120例与CTD-PH患者性别年龄匹配的健康对照受试者(health control, HC)进行对照分析。根据mPAP^[8]将CTD-PH进一步分为中重度组(CTD-LM-PH组, mPAP<45 mmHg)和重度组(CTD-S-PH组, mPAP≥45 mmHg)。本研究符合伦理学标准, 经南京医科大学第一附属医院伦理审查委员会审核(批文编号: 2018-SR-333), 豁免知情同意。

1.2 方法

1.2.1 胸部CT图像采集

胸部CT使用西门子Sensation(16层)或西门子Definition(64层)扫描仪(西门子公司, 德国)进行。扫描参数如下: 管电压为120 kV, 管电流为120 mAs, 机架旋转时间为0.5 s/360°, 螺距1.0, 准直器为16 mm×0.6 mm, 矩阵512×512。重建层厚设置为1.5 mm, 层间距设置为1.55 mm, 设置软组织(B31f)窗和肺(B46f)窗重建。

1.2.2 主肺动脉直径/升主动脉直径比值测量

在主肺动脉分叉近端3 cm范围内最宽处分别

垂直于肺动脉及主动脉管壁测量主肺动脉直径(main pulmonary artery diameter, MPA)和升主动脉直径(ascending aorta, AAo), 计算 MPA 与 AAo 直径的比值(MPA/AAo)。

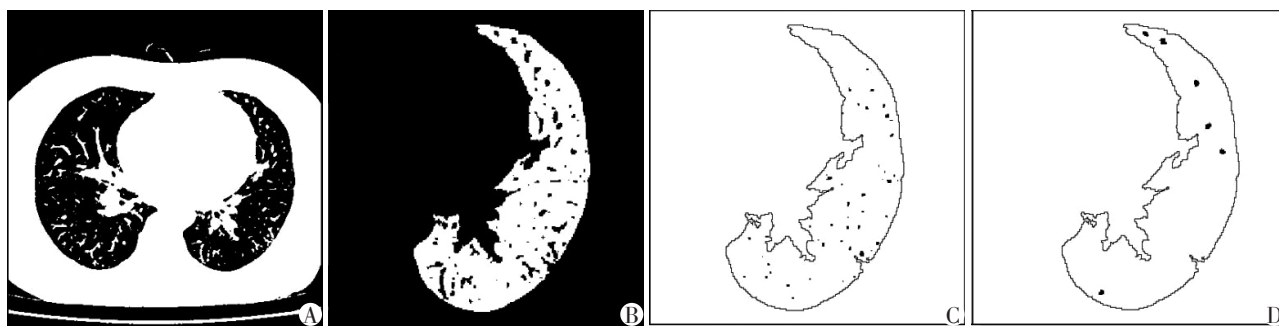
1.2.3 %CSA 的定量测量

测量方法: 使用半自动化图像处理软件(Image J, Version 1.53)。选取以下3个层面轴位图像%CSA的平均值: 主动脉弓上缘上方1 cm(上层), 隆突下方1 cm(中层)以及右下肺静脉下方1 cm处(下层)。使用 Matsuoka 等^[9-10]推荐的方法测量%CSA(图1)。具体如下: ① 打开文件后应用软件中的“Filters”功能消除图像噪声; ② 使用“Adjust”将CT图像转化为二进制图像, 其窗位为-720 HU, 自动识别并测量所选3个层面垂直走行的肺小血管 CSA(包括 CSA<5 mm² 和 CSA 5~10 mm²)。采用 Image J

中的“Circularity”功能, 设置圆度范围0.9~1.0, 以排除斜行走形的肺小血管; ③ 进行3个层面CSA的总和计算, CSA_{<5}、CSA₅₋₁₀分别代表 CSA<5 mm²肺小血管的 CSA 之和及 CSA 5~10 mm²肺小血管的 CSA 之和; ④ 使用“Adjust”中“Threshold”的功能将图像的临界值调整为处于-1 024~-500 HU 之间, 获得每层肺的 CSA 并进行相加; ⑤ 计算出 CSA_{<5} 或 CSA₅₋₁₀ 与总肺 CSA 之和的百分比, 得到%CSA_{<5}及%CSA₅₋₁₀。

1.3 统计学方法

所有数据均使用 SPSS23.0 统计软件进行分析。采用 Shapiro-Wilk 检验计量资料是否符合正态分布, 符合即用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 否则用中位数(四分位数)[$M(P_{25}, P_{75})$]表示。采用单因素方差分析或 Kruskal-Wallis 检验比较 CTD-PH、COPD-PH、IPAH 和 HC 4 组之间%CSA_{<5}和%CSA₅₋₁₀的差异, 进



A: The lung field was segmented using thresholds between -1 024 and -500 HU on each CT image. B: Segmented images were converted into binary images with window level of -720 HU, and small pulmonary vessels were indicated in black. C, D: Based on the binary images, small pulmonary vessels with CSA < 5 mm²(C) and CSA between 5-10 mm²(D) were automatically identified (black dots).

图1 Image J 软件测量肺小血管 CSA

Figure 1 Measurement of CSA of small pulmonary vessels using Image J

一步采用 Dunette T3 检验进行组间两两比较, 并进行 Bonferroni 校正。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析%CSA 区分 CTD-S-PH 和 CTD-LM-PH 的能力, 计算曲线下面积(area under curve, AUC)和 95%CI、灵敏度及特异度, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 人口学资料

4 组的人口学资料见表 1。CTD-PH 组患者与 HC 组性别及年龄均匹配($P=0.593$, $P=1.000$), COPD-PH 组患者的年龄大于 IPAH 组, 而 IPAH 组患者的年龄与 CTD-PH 组、HC 组之间差异无统计学意义。IPAH 组和 COPD-PH 组患者的男性比例高于 HC 组和 CTD-PH 组, mPAP 高于 CTD-PH 组患者, 差异有统计

学意义(P 均 < 0.01)。

2.2 组间 MPA/AAo 及%CSA 对比结果

4 组之间 MPA/AAo、%CSA_{<5}及%CSA₅₋₁₀的总体差异均有统计学意义($P < 0.001$, 表 2)。组间两两比较结果显示: MPA/AAo 值比较, CTD-PH 组和 IPAH 组均高于 COPD-PH 组和 HC 组(P 均 < 0.001), 但该两组间差异无统计学意义($P=0.525$); %CSA_{<5}比较, IPAH 组和 COPD-PH 组均低于 HC 组和 CTD-PH 组, 差异具有统计学意义(P 均 < 0.001 , 图 2); %CSA₅₋₁₀比较, COPD-PH 组显著低于 HC 组($P=0.038$), 而 CTD-PH 和 IPAH 组显著高于 HC 组($P=0.023$, $P < 0.001$, 图 2)。CTD-PH 组的%CSA_{<5}和%CSA₅₋₁₀均高于 COPD-PH 组(P 均 < 0.001), IPAH 组的%CSA₅₋₁₀高于 CTD-PH 组($P=0.022$), 而%CSA_{<5}差异无统计学意义($P=0.833$, 图 2)。CTD-PH、IPAH 及 COPD-PH 患

表1 各组患者的人口学资料
Table 1 Demographic data of patients in each group

Variable	HC(n=120)	CTD-PH(n=60)	IPAH(n=52)	COPD-PH(n=58)	F/χ^2	P
Age(years, $\bar{x} \pm s$)	39.88 \pm 13.30	41.06 \pm 15.10	38.75 \pm 14.00	68.60 \pm 9.90	94.18	<0.001
Male[n(%)]	10(8.33)	5(8.33)	15(28.80)	20(34.48)	12.59	0.006
mPAP(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	-	44.83 \pm 9.53	54.69 \pm 17.11	67.58 \pm 15.53	36.92	<0.001

表2 比较各组患者的%CSA及MPA/AAo
Table 2 Comparison of %CSA and MPA/AAo among patients in each group

Variable	HC(n=120)	CTD-PH(n=60)	IPAH(n=52)	COPD-PH(n=58)	H/F	P
MPA/AAo($\bar{x} \pm s$)	0.84 \pm 0.13	1.36 \pm 0.26	1.44 \pm 0.30	0.86 \pm 0.18	160.12	< 0.001
%CSA _{<5} [M(P ₂₅ , P ₇₅)]	0.81(0.72, 0.94)	0.85(0.51, 1.08)	0.50(0.35, 0.70)	0.43(0.30, 0.71)	69.45	< 0.001
%CSA ₅₋₁₀ [M(P ₂₅ , P ₇₅)]	0.29(0.24, 0.39)	0.41(0.25, 0.53)	0.52(0.39, 0.63)	0.24(0.17, 0.31)	25.98	< 0.001

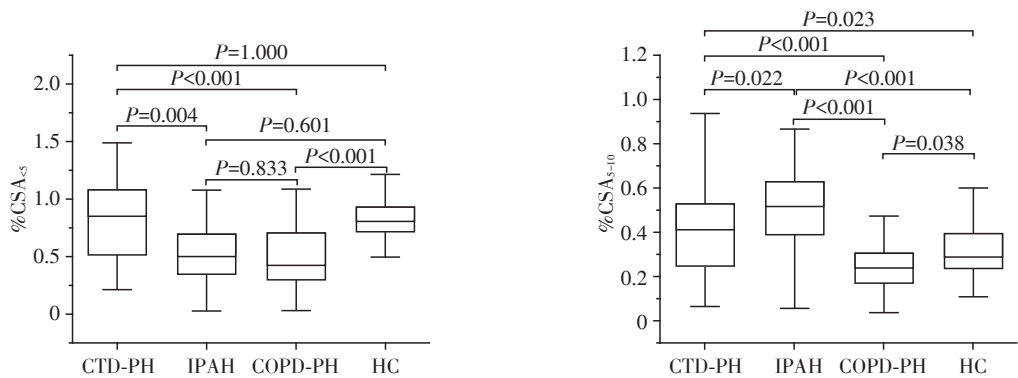


图2 不同类型PH之间%CSA₅₋₁₀和%CSA_{<5}的差异比较
Figure 2 Comparison of differences in %CSA₅₋₁₀ and %CSA_{<5} between different types of PH

者的典型病例见图3。

2.3 %CSA 区分 CTD-PH 严重程度

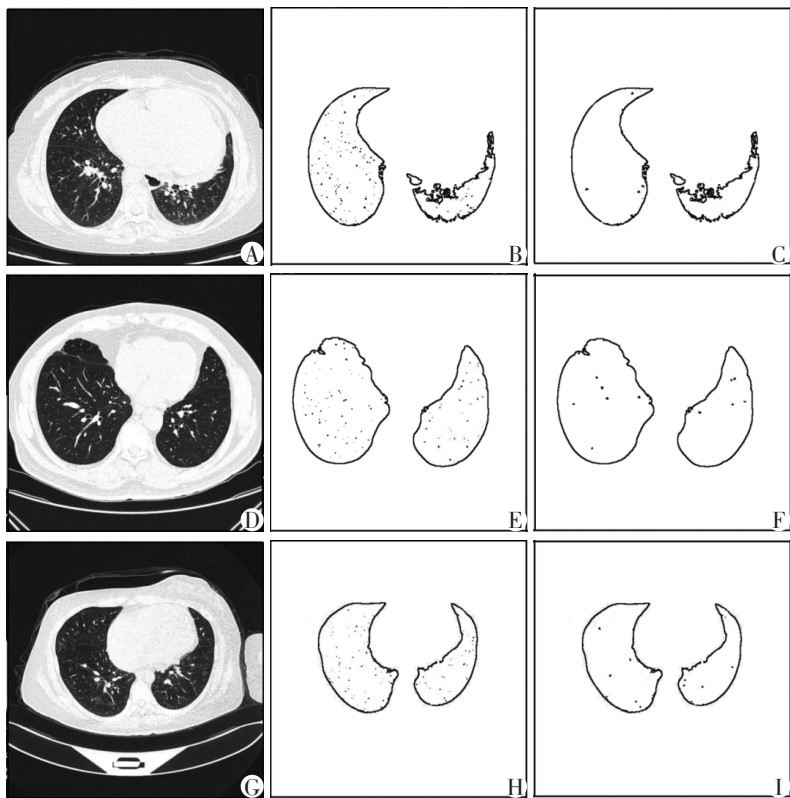
60 例 CTD-PH 患者中, CTD-S-PH 25 例, CTD-LM-PH 35 例。CTD-S-PH 组患者的%CSA_{<5}显著低于 CTD-LM-PH 组(0.64 \pm 0.37 vs. 0.92 \pm 0.34, $t=-0.942$, $P=0.004$), %CSA₅₋₁₀稍高于 CTD-LM-PH 组(0.45 \pm 0.23 vs. 0.40 \pm 0.20), 但差异没有统计学意义($t=3.040$, $P=0.351$)。ROC 曲线分析结果显示:%CSA_{<5}诊断 CTD-S-PH 的最佳截断值为 0.804, AUC 为 0.710(95%CI: 0.573~0.847), 其灵敏度为 0.714, 特异度为 0.320(图4)。

3 讨论

不同类型 PH 的治疗策略和预后不尽相同, 准确区分不同类型 PH 对于确保患者得到有效的治疗至关重要。本研究基于胸部 CT 肺小血管参数的定量测量, 探讨了肺小血管改变对 PH 亚型分类和 CTD-PH 严重程度分级的意义。研究结果表明, CTD-PH 组、COPD-PH 组和 IPAH 组的 %CSA 存在显著差异, 同时 %CSA_{<5} 可以作为 CTD-PH 严重程度分级的定量评估方法。

既往关于 PH 的研究更多聚焦在大血管改变上, 基于胸部 CT 测量的 MPA/AAo 比值对 PH 的诊断具有较高的准确性^[5,7,11]。本研究结果显示, CTD-PH 及 IPAH 的 MPA/AAo 值均高于 COPD-PH 组, 提示 MPA/AAo 值对不同分型 PH 有一定区分, 这与既往研究结论一致。然而 PH 不仅影响大血管, 小血管的改变在不同类型 PH 的发生和发展中也值得探讨。既往有研究表明, 肺小血管的 CT 测量和血流动力学数据在 PH 诊断、严重程度评估和预后预测中亦具有重要的价值^[12-13]。

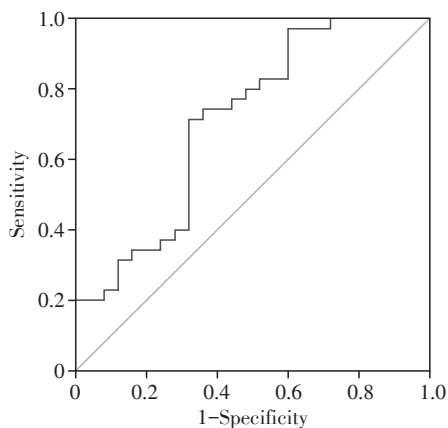
肺小血管管腔大小是评估肺小血管改变的重要因素, CSA<5 mm²的肺血管包含弹性血管和肌性血管。有研究显示, 严重肺气肿合并 PH 的患者 %CSA_{<5}显著降低^[9-10]。与其研究结果一致的是, 本研究中 COPD-PH 患者和 IPAH 患者同样表现出 %CSA_{<5}显著降低。笔者认为, COPD-PH 组中 %CSA_{<5}降低可能是由于肺气肿和血管收缩/舒张失衡、血栓形成、



A-C: CT image of the CTD-PH patient (A), %CSA_{<5}=1.50 (B), %CSA₅₋₁₀=0.28 (C). D-F: CT image of the IPAH patient (D), %CSA_{<5}=0.74 (E), %CSA₅₋₁₀=0.28 (F). G-I: CT image of the COPD-PH patient (G), %CSA_{<5}=1.39 (H), %CSA₅₋₁₀=0.61 (I).

图3 CTD-PH(A~C)、IPAH(D~F)及COPD-PH(G~I)患者的肺小血管%CSA示例图

Figure 3 Example of %CSA of small pulmonary vessels in patients with CTD-PH(A~C), IPAH(D~F), and COPD-PH(G~I)



The area under the ROC curve was 0.710 (95%CI: 0.573-0.847). The optimal cut-off value of %CSA_{<5} to predict CTD-S-PH was 0.804, with a sensitivity of 0.714 and a specificity of 0.320, respectively.

图4 %CSA_{<5}诊断CTD-S-PH的ROC曲线分析

Figure 4 ROC curve analysis for diagnosing CTD-S-PH with %CSA_{<5}

细胞增殖和肺动脉壁重塑等原因造成的被动血管压迫^[14-15],除此以外,COPD-PH组年龄更大,而随着年龄增加,肺肌性血管内膜纤维化程度显著增加,因此COPD-PH患者%CSA_{<5}减低可能与年龄也相关。而IPAH组中%CSA_{<5}的降低可能与肌性肺小动

脉内膜增生和内膜纤维化导致的血管管腔狭窄甚至闭塞有关。此外,CTD-PH组和HC组的%CSA_{<5}之间差异无统计学意义,可能是肌性血管狭窄闭塞和弹性血管炎性扩张增生同时作用所致。

CSA 5~10 mm²之间的肺血管主要由弹性血管组成。COPD患者的慢性缺氧和肺气肿可能会导致肺泡扩张,从而压迫血管(尤其是肺小终末血管)并加剧血管痉挛,最终导致COPD-PH患者%CSA₅₋₁₀降低^[10,16]。IPAH和CTD-PH的特征是血管收缩和血管重塑^[15],包括毛细血管前动脉远端和内侧的异常肌化、毛细血管前动脉闭塞、弹性血管增厚和新生内膜形成。此种变化也可以发生在毛细血管后血管,从而导致%CSA₅₋₁₀升高。传统的大血管MPA/AAo值无法区分IPAH及CTD-PH,然而IPAH组的%CSA₅₋₁₀高于CTD-PH组,提示肺小血管%CSA₅₋₁₀变化较大血管改变,可能更敏感且早期地反映IPAH及CTD-PH不同程度的病理学改变。

本研究还发现CTD-LM-PH组的%CSA_{<5}显著高于CTD-S-PH组,表明不同程度肺动脉压力可能导致不同的肺小血管改变。CTD-S-PH组肺动脉压力更高,可能导致CSA<5 mm²的肺肌性小动脉严重内

膜增生和纤维化、血管明显狭窄甚至闭塞,程度超过弹性血管的炎症增生扩张。本课题组既往的一项研究曾发现,%CSA可能是评估PH严重程度的有效定量参数,本研究结果也进一步证实了之前的研究结论^[17]。

本研究有几个局限性。首先,COPD-PH患者未经金标准——RHC诊断,这可能导致COPD-PH的诊断准确性稍有欠缺。但在临床实践工作中,RHC并不常用于COPD-PH的诊断,且本组病例中的COPD-PH组均经过临床指南确诊,缺乏RHC确诊对此项研究结果的影响有限。其次,肺小血管走向可能影响测量结果,部分小血管因为未垂直于层面而未被计入。此外,纳入了一部分伴有轻度间质性肺炎的CTD-PH患者,可能导致部分CTD-PH患者严重程度分级不准确。最后,未对CSA进行组织学测量,通过CT图像测量的CSA和肺血管实际CSA之间可能存在差异。缺乏对CSA变化机制的组织病理学研究,未来有必要进行更多层面的CSA测量,并与组织学结果进行对照。

总之,基于胸部CT的定量肺小血管参数%CSA可以区分不同类型PH,其中%CSA_s可作为评估CTD-PH严重程度分级的参考依据。

[参考文献]

[1] 中华医学会呼吸病学分会肺栓塞与肺血管病学组,中国医师协会呼吸医师分会肺栓塞与肺血管病工作委员会,全国肺栓塞与肺血管病防治协作组,等. 中国肺动脉高压诊断与治疗指南(2021版)[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(1): 11-51

[2] 甘晓霞,叶黄戎,王 端,等. 基于简易危险分层探索血清sST2评估结缔组织病相关肺动脉高压病情严重程度的研究[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2023, 43(9): 1223-1229

[3] 戴 钢,邓克学,胡瑞雪. 定量CT联合超声心动图评价不同程度肺动脉高压慢阻肺患者小气道病变[J]. 临床肺科杂志, 2023, 28(1): 21-24

[4] SHAHIN Y, ALABED S, ALKHANFAR D, et al. Quantitative CT evaluation of small pulmonary vessels has functional and prognostic value in pulmonary hypertension[J]. Radiology, 2022, 305(2): 431-440

[5] TAKEI N, SUZUKI M, TANABE N, et al. Combined assessment of pulmonary arterial enlargement and coronary calcification predicts the prognosis of patients with chronic obstructive pulmonary disease[J]. Respir Med, 2021, 185: 106520

[6] ALKHANFAR D, SHAHIN Y, ALANDEJANI F, et al. Se-

vere pulmonary hypertension associated with lung disease is characterised by a loss of small pulmonary vessels on quantitative computed tomography [J]. ERJ Open Res, 2022, 8(2): 00503-2021

[7] 史阳阳,钱 骏,史薪炜,等. NLR、RDW联合多层螺旋CT对肺高压严重程度的评估[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2023, 43(1): 79-83

[8] 黄席珍. 缺氧性肺动脉高压和肺源性心脏病的防治[J]. 中华医学信息导报, 2005, 20(3): 8-9

[9] 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

[10] MATSUOKA S, WASHKO G R, YAMASHIRO T, et al. Pulmonary hypertension and computed tomography measurement of small pulmonary vessels in severe emphysema [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2010, 181(3): 218-225

[11] 董宁利,杨宏刚,黑欢欢,等. CT肺动脉造影的多参数测量联合心动超声对肺动脉高压程度的预测价值[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2023, 44(2): 275-282

[12] WANG Y, SU T, FENG S, et al. Evaluation of the cross-sectional area of small pulmonary vessels in the diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease by quantitative computed tomography: a case-control study [J]. Medicine, 2021, 100(46): e27622

[13] ZHANG Y, ZHANG N, SUN X, et al. Prognostic significance of small pulmonary vessel alteration measured by chest computed tomography in connective tissue diseases with pulmonary arterial hypertension [J]. J Thorac Imaging. 2022, 37(5): 336-343

[14] ARIF R, PANDEY A, ZHAO Y, et al. Treatment of pulmonary hypertension associated with COPD: a systematic review [J/OL]. ERJ Open Res, 2022 [2022-05-03]. DOI: 10.1183/23120541.00348-2021

[15] 何梦钰,丁怡睿,解卫平. 红细胞分布宽度与结缔组织病相关肺高压预后相关性的临床研究[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2021, 41(11): 1650-1653

[16] SHAHIN Y, ALABED S, ALKHANFAR D, 等. 肺小血管CT定量评价对肺动脉高压的功能和预后价值[J]. 国际医学放射学杂志, 2023, 46(1): 106-107

[17] XU C, ZHANG Y, ZHANG N, et al. Use of small pulmonary vascular alterations to identify different types of pulmonary hypertension: a quantitative computed tomography analysis [J]. J Xray Sci Technol. 2022, 30(1): 185-193

[收稿日期] 2023-11-30

(本文编辑:戴王娟)