

基于肺功能占比与 CT 肺炎指数计算方法在新型冠状病毒肺炎治疗中的应用研究*

陈强^① 岑裕铭^{①*} 吴碧玉^①

*基金项目：玉林市科技支撑计划“CT 征象量化评估在新冠肺炎治疗中的应用研究”

①玉林市红十字会医院放射科 广西 玉林 537000

[摘要] 目的：探讨 CT 肺炎指数(CTPI)的计算方法及应用，提高量化分析新型冠状病毒肺炎(COVID-19)严重程度的诊疗认识。**方法：**研究 CT 成像原理，建立公式计算 COVID-19 患者不同时期的肺炎指数，对收治的 11 例 COVID-19 患者的胸部 CT 影像资料与临床治疗效果进行对比分析。**结果：**11 例 COVID-19 患者的平均肺功能占比在高峰日为 16.8%、出院日为 10.2%、出院 14 d 为 5.5%，平均 CTPI 高峰日为 91.2、出院日为 34.3、出院 14 d 为 9.3。**结论：**CTPI 是基于 CT 扫描的较准确并方便使用的肺炎量化分析工具，对于 COVID-19 患者的严重程度判断具有重要的临床应用价值。

[关键词] 新型冠状病毒肺炎(COVID-19); 计算机体层摄影; 定量诊断; CT 肺炎指数(CTPI); 肺功能

Study on the application of the method based on the proportion of lung function and CT pneumonia index in the treatment of new coronavirus pneumonia/CHEN Qiang,CEN Yuming,WU Bi-yu//China Medical Equipment, 2020

[Abstract] Objective: To explore the calculation method and application of CT pneumonia index (CTPI) and improve the diagnosis and treatment of quantitative analysis of the severity of new coronavirus pneumonia (COVID-19). **Methods:** To study the principle of CT imaging, establish a formula to calculate the pneumonia index of COVID-19 patients in different periods, and compare and analyze the CT imaging data of the chest of 11 COVID-19 patients with the clinical treatment effect. **Results:** The average lung function of 11 patients with COVID-19 was 16.8% on the peak day, 10.2% on the discharge day, 5.5% on the 14th day of discharge, the average CTPI peak day was 91.2, the discharge day was 34.3, and the discharge day was 9.3. **Conclusion:** CTPI is a more accurate and convenient quantitative analysis tool for pneumonia based on CT scanning, and has important clinical application value for the judgment of the severity of COVID-19 patients.

[Key words] New coronavirus pneumonia (COVID-19); Computed tomography; Quantitative diagnosis; CT pneumonia index (CTPI); Lung function

[First-author's address] Department of Radiology, Yulin Red Cross Hospital, Yulin, Guangxi 537000, China.

新型冠状病毒肺炎(COVID-19)诊治过程中，CT 在其相关肺部炎症的发现以及对比观察有极重要价值，同时国家卫生健康委员会《新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第七版)》^[1]也提出了病变的影像学定量诊断要求，因此迫切需要一种基层医院可以运行的病变严重程度计算方法。本研究通过观察 11 例 COVID-19 患者胸部 CT 资料，基于肺功能解剖基础及 CT 成像原理，探索 CT 肺炎指数(computed tomography pneumonia index, CTPI)的计算方法，将获得的 CTPI 计算数据用于对 COVID-19 患者的临床诊断中，CTPI 能够有效判断 COVID-19

患者病情的严重程度，具有重要的临床应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

搜集 2020 年 1 月 22 日至 4 月 4 日玉林市红十字会医院诊治的 11 例 COVID-19 患者的胸部 CT 影像资料，其中男性 6 例，女性 5 例；年龄 28~71 岁；平均年龄(44±14)岁。所有患者均经 CT 胸部平扫影像检查，且均符合 COVID-19 核酸检测阳性标准。本研究符合医院伦理委员会要求，所有患者均对本研究知情同意。

1.2 纳入与排除标准

- (1)纳入标准：①COVID-19 核酸检测阳性患者；②CT 胸部扫描有新发炎症性病变。
- (2)排除标准：①非 COVID-19 患者；②CT 胸部扫描无新发炎症性病变。

1.3 CT 胸部扫描与诊断方法

(1)扫描方法：采用 HD750 型 CT 扫描仪(美国 GE 公司)对所有患者进行胸部检查，按《胸部 CT 扫描规范化专家共识》^[2]扫描前训练呼吸动作。扫描时患者取仰卧位头先进，扫描范围从胸廓入口至膈顶整个肺野，平静吸气后屏气扫描，采集数据并重建图像。

(2)扫描参数：机架旋转速度为 0.6 s/r，螺距和速度为 0.984:1，扫描层厚、层距均为 5 mm，重建层厚、层距均为 1.25 mm，重建算法常规+骨算法，管电压为 120 kV，自动管电流，视野(field of view, FOV)为 32 cm×32 cm。由两位中级以上职称放射科医师做出影像诊断。

1.4 CTPI 计算方法

1.4.1 CTPI 定义

CTPI 专指肺炎患者 CT 所见肺部渗出实变密度与肺功能占比的计算结果。

(1)正常肺组织基础 CT 值 T：①T 值取该肺段或对侧肺段正常区无肺纹理处 CT 值；②或中下叶交界无肺纹理区 CT 值，测量区感兴趣区域(region of interest, ROI)取跨斜裂中、下叶各一半面积；③或基准 CT 值-850 HU。本研究取中、下叶交界无肺纹理区 CT 值 T_0 。

(2)单个肺段的肺炎指数计算：该肺段的肺功能占比 a，该肺段包括所有不同密度的典型病变层面中、最大病变面积时的 CT 值 A，该肺段或对侧肺段正常肺组织基础 CT 值 T_a ，或中、下叶交界无肺纹理处 CT 值 T_0 ，在弥漫性全肺病变时， $T_0=-850$ HU；其计算为公式 1：

$$a \times (A - T) \quad (1)$$

(3)CTPI 计算方法一：18 个肺段(a~r)的肺炎指数总和，其计算为公式 2：

$$a \times (A - T_a) + \dots + r \times (R - T_r) \quad (2)$$

(4)肺炎指数(CTPI)计算方法二：18 个肺段(a~r)的肺炎指数总和，其计算为公式 3：

$$a \times (A - T_0) + \dots + r \times (R - T_0) \quad (3)$$

1.4.2 计算原理与步骤

(1)根据物理公式：物质的质量=密度×体积，经过易于获得的肺病变体积、肺病变密度值，可计算出病变的量，该病变量同时体现了病变体积与密度的变化。CT 设备发明原理基于 CT 值的计算为公式 4：

$$CT \text{ 值} = (\mu - \mu_w / \mu_w) \times a \quad (4)$$

式中 μ 和 μ_w 分别为受测物和水的衰减系数。

CT 值反映物质对 X 射线吸收能力高低。当物质成分相对恒定时，可依据物质 CT 值与体积计算出物质总量，并用于同一个体不同时间对比。由于同一患者、同一病原体导致的肺炎病变属于性质成分大致相同的病变，因此可以应用该公式进行计算^[3]。

(2)肺功能占比：按经典的肺段肺功能占比计算累及肺段容积的比例，具体各肺段肺功能占比，以经典 18 个肺段功能占比作为肺组织受累体积计算方式：①左上肺叶，尖后段 6.0%、前段 6.0%、上舌段 4.3%和下舌段 4.3%；②左下肺叶，背段 6.1%、前内基底段 6.1%、外基

底段 6.1% 和后基底段 6.1%；③右上肺叶，尖段 6.9%、后段 6.9% 和前段 6.9%；④右中肺叶，外侧段 4.5% 和内侧段 4.5%；⑤右下肺叶，背段 4.9%、前基底段 4.9%、内基底段 4.9%、外基底段 4.9% 和后基底段 4.9%。估测或后处理工作站计算单个肺段内病变所占正常肺段体积比例。

(3) CT 值测量：测量各病变区 CT 值，并减去基础正常肺组织 CT 值(T)，获得实际病变增加的 CT 值增量值。病变区 CT 值测量方法：测量该肺段典型密度区最大面积下 CT 值，测量时尽量避开较粗的肺纹理，避免血管、支气管被纳入测量范围内导致病变密度误差。如某(A)肺段病变 CT 值则为 A，病变 CT 值增量即为 A-T，该肺段肺炎指数则为肺段功能占比×病变 CT 值增量。

(4) 全肺 CTPI 自动计算方式：为计算公式 5：

$$CTPI = a \times (A - T) + \dots + r \times (R - T) \quad (5)$$

式中 a~r 为各(A~R)肺段病变肺功能占比。

采用 Excel 工作表设置各肺段肺功能占比、病灶密度 CT 值等数据表格，在计算单元格装入计算公式，通过试验验算。由两位医师阅片并判断各肺段病变肺功能占比 a~r、各肺段病变 CT 值 A~R，将数据置入工作表中进行计算后获得全肺 CTPI。

2 结果

2.1 COVID-19 患者治疗前后 CTPI 比较

根据 11 例 COVID-19 患者治疗前、高峰时以及治疗后的 CT 扫描图像，获得图像经过两位医师判读并运用 Excel 工作表公式计算获得 CTPI，其统计结果见表 1。

表 1 11 例 COVID-19 患者治疗前后 CTPI 比较

时间	平均基础肺密度(HU)	平均累及肺功能占比(%)	平均累及肺段(个)	最高 CTPI	最低 CTPI	平均 CTPI	中位 CTPI
高峰	836.7	16.8	7.2	322.7	9.9	91.2	43.3
出院日	843.7	10.2	5.7	110.4	0	34.3	12.7
出院 14 d	871.4	5.5	4.5	47.7	0	9.3	5.4

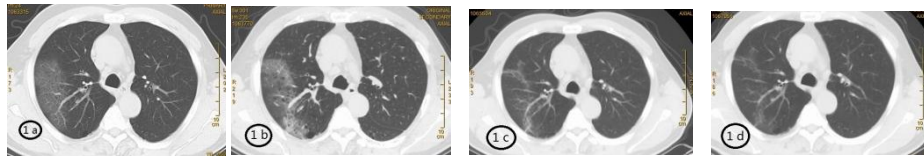
11 例患者均经历了初诊、高峰及好转阶段，初诊时 CT 扫描图像为不同程度的磨玻璃密度、混杂实变；高峰时表现为体积、密度不同程度增加，病情加重，甚至使用呼吸机；吸收好转后病灶逐渐消散，或转为索条再逐渐消失；至出院 14 d 后逐渐完全消失。提示部分病变在发展的后期可能为小叶或亚段的肺不张，随着肺通气改善，不张的肺组织逐渐膨胀复张过程。

2.2 典型病例

(1) 病例一：患者男性，61 岁，临床诊断为 COVID-19 轻症患者。患者初诊时 CT 扫描图像病变呈磨玻璃密度影，肺炎指数 15。5 d 后到达高峰呈部分实变，但体积未明显变化，密度测量也未能提示病变进展倍数关系，用肺炎指数表达则为 30.5，提示病变量已进展 1 倍。出院日肺炎指数降为 15.5、出院 14 d 肺炎指数降为 5.4，提示治疗有效并持续好转。典型病例患者各项指标见表 2，CT 图像见图 1。

表 2 病例 1 患者治疗前后 CT 图像病灶各测量结果比较

时间	累及肺功能占比(%)	最高病变密度(HU)	最低病变密度(HU)	CTPI
初诊	7.0	-674	-696	15.0
高峰	7.8	-401	-608	30.5
出院日	4.8	-510	-610	15.5
出院 14 d	3.5	-677	-790	5.4



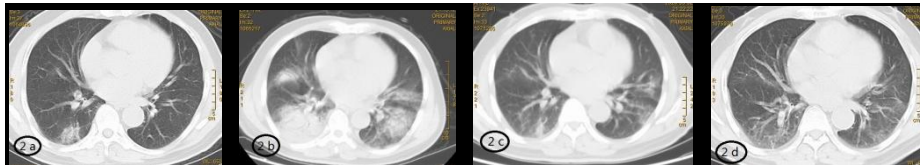
注：图中 1a 为右上肺病变呈磨玻璃密度影；1b 为病变呈部分实变；1c 为实变吸收后部分转为索条影；1d 为索条病变进一步吸收减少

图 1 典型病例一 COVID-19 患者 CT 图像

(2)病例二：患者男性，71 岁，初诊时 CT 扫描图像病变呈多发磨玻璃密度影，CTPI 为 41.8。2 d 后到达高峰呈大部分实变，体积、密度同时增高，CTPI 为 322.7，提示病变量已进展约 8 倍，此时患者症状显著进展，有呼吸困难等症状，临床诊断为 COVID-19 危重症，并使用无创呼吸机。经过一个月治疗，出院日 CTPI 降为 110.7、出院 14 dCTPI 降为 47.7，提示治疗有效并持续好转，肺炎指数良好反映病变转归。典型病例患者各项指标见表 3，CT 图像见图 2。

表 3 病例 2 患者治疗前后 CT 图像病灶各测量结果比较

时间	累及肺功能 占比(%)	最高病变 密度(HU)	最低病变 密度(HU)	CTPI
初诊	9.4	-272	-643	41.8
高峰	51.4	18	-392	322.7
出院日	28.1	-125	-667	110.4
出院 14d 日	16.6	-463	-709	47.7



注：图中 2a 为右下肺病变呈磨玻璃与实变混杂密度；2b 为两肺病变增多并大片实变；2c 为两肺病变明显消散呈斑片状实变；2d 为病变继续消散呈小斑片磨玻璃密度及索条影

图 2 典型病例二 COVID-19 患者 CT 图像

3 讨论

本研究中 CTPI 与临床肺炎严重度指数(pneumonia severity index, PSI)为两个不同的概念。CTPI 为基于 CT 检查获得的图像数据，并与肺段体积、肺功能占比及病变 CT 值相关，仅限肺部病变的计算测量；而 PSI 分级与年龄、性别、肿瘤肝病等合并症、神志状态等查体项目和抽血检验项目相关。

CT 是一种以数字化运算、计算物质对 X 射线吸收衰减系数为原理的影像检查方式，CT 值也仅提示病变对 X 射线的吸收程度、密度变化，未能确切体现病变体积、密度以及所在肺段功能受影响程度的总量变化^[4]。COVID-19 发展过程经历了从淡薄磨玻璃密度到实变的过程，临床对病变进展、吸收程度提出了更高的量化分析要求，不仅要获得容积数据，也需要获得病变内部质地的变化，因此在影像报告中仅做病变三维尺寸测量已经不能满足临床需要^[5]。通过 CTPI 的计算，可以获得一个可供临床参考的有效的与肺功能占比、容积和密度等密切相关的量化数值，提供了一种现实可行的简易诊断学数据。

由于患者体型不同，因此按肺段功能占比计算比按容积计算病变范围更适于判断病变严重程度。同时由于各肺段通气效果存在差异，即使同体积肺组织，有效肺功能占比也有所不

同。不同的患者、不同呼吸屏气状态,基础肺组织的 CT 值会有不同密度差,这是影响肺炎指数计算的诸多因素之一^[8]。因此,在公式设置中需要体现个体化差异,以及尽可能准确地获得实际病变对患者基础正常肺组织的 CT 值增量。在临床实践中如遇到全肺弥漫性病变,需要一个正常肺的基准 CT 值作为 T 值进行计算病变 CT 值增量,此时可选用-850 HU 作为正常肺基准 CT 值。

在现有智能化设备基础上进行病变研判,仍会出现不同基础肺密度下,识别病变的密度阈值、病变边界划分困难^[6]。如在肥胖患者肺体积降低导致基础肺密度增高、肺气肿患者肺体积增高导致基础肺密度降低、以及一些结缔组织病导致肺密度混杂。因此依靠医师人为确定病变范围,同时结合设备测量肺炎病变区与基础肺区不同 CT 值的方法在目前相对更适合应用于非科研的基层医疗机构。

本研究尚存在不足之处:①由于病变区域划分是人工划分,必然存在医师个人技术水平所限,难以完全避免漏诊和误诊;②影像科医师需要极为熟悉肺部的各肺段解剖与正常变异,以便更准确判断所在肺段的病变肺功能占比;③测量病灶密度时容易受测量区域多种密度分布、多种正常脉管容积效应导致测量 CT 值误差;④肺炎指数仅限运用于肺不张无或轻微的患者;⑤肺炎指数严重程度分度、对指引呼吸机使用的作用有待更大样本的统计分析。

肺泡性肺水肿、肺出血、血行播散型肺结核、人感染 H7N9 型禽流感以及多发肿瘤^[7-11]等其他全肺弥漫性病变是否适用有待研究。本研究不适用于单发肺肿瘤以及肺不张明显患者,由于涉及较多肺段病变时明显影响工作效率,Excel 工作表运用和公式设置需要一定的知识储备,都有待 CT 设备智能化更深入普及。

4 结论

基于肺段解剖肺功能占比、CT 扫描获得的病灶密度 CT 值的 CTPI 能够反映无肺不张的肺炎病变严重程度、方便病变治疗前后对比。同时,作为一个计算耗时可以接受、准确性能满足需要、易于理解和书面表达的数据,可以极大的方便临床工作,具有一定应用价值,后期应用需要 CT 智能设备厂商深入开发普及功能,使 CTPI 更方便运用。

参考文献

- [1]新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第七版)[J].传染病信息,2020,33(1):1-6,26.
- [2]来守永,赖声远,刘霁雨,等.胸部 CT 扫描规范化专家共识[J].中国医疗设备,2020,35(2):185-189.
- [3]刘茜,王荣帅,屈国强,等.新型冠状病毒肺炎死亡尸体系统解剖大体观察报告[J].法医学杂志,2020,36(1):21-23.
- [4]李凯,龙莉玲,黄仲奎.MSCT 肺密度测定在 COPD 预测诊断的应用研究初探[J].临床放射学杂志,2008(9):1226-1230.
- [5]吴磊迪,陈艳,韩萍.新型冠状病毒肺炎(COVID-19)影像学研究进展[J/OL].临床放射学杂志:1-7(2020-04-10)[2020-04-12].<http://kns.cnki.net/KCMS/detail/42.1187.r.20200409.1711.002.html>.
- [6]潘亚玲,王昊,王晗琦,等.基于深度学习的肺炎病灶分割技术用于新型冠状病毒肺炎的定量分析[J/OL].中国医学计算机成像杂志:1-10(2020-04-03)[2020-04-12].<http://kns.cnki.net/KCMS/detail/31.1700.R.20200403.1141.002.html>.
- [7]李凯,龙莉玲,邓东,等.不同年龄组的弥漫性肺泡出血的 MSCT 探析[J].临床放射学杂志,2017,36(10):1433-1436.
- [8]李海兰,刘建滨,刘华平,等.CT 肺容积参数与肺功能、临床严重程度在结缔组织相关性肺间质病变分组中的相关性研究[J].临床放射学杂志,2019,38(2):244-250.
- [9]周丽冰,俸小平,翠崇柳,等.人感染 H7N9 型禽流感的床旁肺超声特点[J].广西医

学,2018,40(10):1235-1237.

[10]岑峰,钟金丽,张锋玫,等.非典型肺炎性肌纤维母细胞瘤高分辨率 CT 表现及病理分析[J].广西医学,2018,40(23):2849-2851+2857.

[11]李娜,朱林平,李智贤.矽肺兔模型肺超声评分与胸部高分辨率 CT 相关性的初步研究[J].广西医科大学学报,2020,37(2):209-212.

***通信作者: ym_c183@163.com**

作者简介: 陈强, 男, (1975-), 本科学历, 副主任医师, 从事胸腹部及肌骨影像诊断工作。