

Parameters of quantitative multi-slice CT imaging technology in pulmonary

CHEN Huai¹, ZENG Qing-si¹, GUAN Yu-bao^{1*}, GAO Yi², ZHENG Jin-ping², HOU Xin-ran³

(1. Department of Radiology, 2. State Key Laboratory of Respiratory Disease in Guangzhou, Guangzhou Institute of Respiratory Disease, the First Affiliated Hospital of Guangzhou Medical College, Guangzhou 510120, China; 3. Neusoft Medical Systems Co., Ltd, Shenyang 110179, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate the relevance of MSCT pulmonary function parameters and pulmonary function test (PFT) parameters, and to define the reference value of MSCT pulmonary function parameters. **Methods** Thirty male volunteers received clinical PFT and MSCT scan. MSCT scan was performed at the end of the maximum inspiratory and maximum expiratory. All data were analyzed with the lung analysis software of computer-aided inspection system correlatedly with pulmonary function parameters. **Results** The lung volume at full inspiratory volume (V_{in}) and full expiratory volume (V_{ex}) in MSCT scan had good correlation with total lung capacity (TLC) and residual volume (RV) ($r=0.90$, $P<0.01$; $r=0.74$, $P<0.01$). V_{ex}/V_{in} was correlated with RV/TLC ($r=0.74$, $P<0.01$), and $V_{in}-V_{ex}$ was correlated with MVC ($r=0.85$, $P<0.01$). In inspiration, the average lung density was (-879.51 ± 32.82) HU, the density per unit volume was (0.12 ± 0.03) g/cm³, while in expiratory they were (-688.14 ± 62.38) HU and (0.31 ± 0.06) g/cm³. **Conclusion** MSCT pulmonary function tests with the analysis software of computer-aided inspection system have good correlation with PFT.

[Key words] Tomography, X-ray computed; Pulmonary function test; Quantitative analysis

多层螺旋 CT 定量成像技术肺部参数应用

陈 淮¹, 曾庆思¹, 关玉宝^{1*}, 高 怡², 郑劲平², 侯欣然³

(1. 广州医学院第一附属医院放射科, 2. 广州呼吸疾病国家重点实验室, 广州呼吸疾病研究所, 广东 广州 510120; 3. 东软医疗系统有限公司, 辽宁 沈阳 110179)

[摘要] **目的** 评价多层螺旋 CT (MSCT) 肺功能参数与常规肺功能参数的相关性, 确定 MSCT 肺功能参数的正常值。 **方法** 正常志愿者 30 名接受常规肺功能检查及 MSCT 检查, 在最大吸气末及最大呼气末屏气扫描, 所有数据通过肺计算机辅助检查系统软件进行分析, 所得数据与肺功能检查 (PFT) 进行相关性分析。 **结果** MSCT 扫描所得正常者吸气末肺体积 (V_{in}) 和呼气末肺体积 (V_{ex}) 与 PFT 所得肺总量 (TLC) 及残气量 (RV) 有很好的相关性 ($r=0.90$, $P<0.01$; $r=0.74$, $P<0.01$), V_{ex}/V_{in} 与 RV/TLC 相关 ($r=0.74$, $P<0.01$), $V_{in}-V_{ex}$ 与 MVC 相关 ($r=0.85$, $P<0.01$)。深吸气末平均肺密度为 (-879.51 ± 32.82) HU, 单位体积密度为 (0.12 ± 0.03) g/cm³, 深呼气末平均肺密度为 (-688.14 ± 62.38) HU, 单位体积密度为 (0.31 ± 0.06) g/cm³。 **结论** MSCT 肺功能检查所得的一系列定量参数与肺功能数据间有较好的相关性。

[关键词] 体层摄影术, X 线计算机; 肺功能检查; 定量分析

[中图分类号] R322.35; R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2010)02-0351-04

常规肺功能检查 (pulmonary function test, PFT) 一直是测

定肺功能的金标准。近年来, 随着多层螺旋 CT (multi-slice CT, MSCT) 的广泛使用及后处理软件的开发应用, 国内外已有不少关于 CT 肺定量指标与常规肺功能指标的相关性研究^[1-3]。本文通过呼吸双相扫描, 采用新的肺计算机辅助检测系统测定肺体积、密度、像素指数等参数, 并与肺功能检测参数进行相关性研究, 探讨 CT 定量成像技术的临床应用价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 考虑到胸部 CT 扫描可能增加女性患乳腺癌的几率^[4], 故选择 30 名男性志愿者, 年龄 22 ~ 60 岁, 平均

[基金项目] 广东省科技计划项目 (2008-83049)、广州医学院科研基金 (03-N-19)。

[作者简介] 陈淮 (1977—), 男, 广东潮州人, 硕士, 主治医师。研究方向: 胸部疾病影像诊断。E-mail: chenhuai1977@163.com

[通讯作者] 关玉宝, 广州医学院第一附属医院放射科, 510120。

E-mail: yubaoguan@163.com

[收稿日期] 2009-07-20 **[修回日期]** 2009-09-16

(24.5 ± 5.7) 岁, 身高 (172.9 ± 5.4) cm、体质量 (62.4 ± 10.0) kg; 受检者均受过高等教育, 有较好的理解能力, 基本能理解医生的要求, 按要求完成动作; 检查前对受检者说明整个试验所需的检查项目, 并告知需胸部 CT 扫描两次, 所有受检者均知情同意。全部受检者均无肺部疾病、无吸烟史、无粉尘接触史及各类职业病史, 检查中发现肺功能异常者排除在外。

1.2 仪器与方法

1.2.1 CT 检查 采用 Toshiba Aquilion 16 层螺旋 CT 机。扫描参数: 管电压 120 kV, 管电流 (智能模式): 30 ~ 90 mAs, 螺距 15, X 线球管转速 0.5 s/转, FOV 320 mm, 采集矩阵 512 × 512, 扫描采集层厚 2 mm, 图像层厚 5 mm。扫描前训练受试者在深吸气末及深呼气末屏气。扫描方法: 受检者仰卧位, 双手抱头, 分别于深吸气末、深呼气末 2 个时相扫描。整个肺部扫描时间为 8 s 左右, 所有受检者均能在一次屏气的情况下完成, 故自肺尖至肺底扫描而不受呼吸运动影响^[5]。

利用东软医疗系统有限公司 Lung CAD 计算机辅助检查系统, 将 DICOM 数据导入, 采用自动分割, 将肺组织与纵隔、大血管、气管、胸部组织分割开来, 随后自动计算出肺的平均 CT 值、容积、标准差、面积、气体容积、组织容积、组织重量和密度, 同时得出不同像素区间百分比及像素直方图。

1.2.2 肺功能检查 采用 Cosmed Quark PFT 系列肺功能仪器, 满足 ATS/ERS 仪器质控标准。用力肺活量测定方法: 平静呼吸 3 ~ 4 个周期, 后经接口器深吸气至完全, 随即尽快用最大力呼气, 继续均匀并完全呼气, 呼气过程无中断、无咳嗽; 呼气完全后再尽最大力吸气至完全。要求流量容积曲线的高峰呼气流量 (peak expiratory flow, PEF) 尖峰迅速出现, 外推容量小于 5% 的用力肺活量 (forced vital capacity, FVC) 或 150 ml, 呼气相降支曲线平滑; 时间容量曲线显示呼气相平台出现且容积变化 < 25 ml/s。至少测定 3 次 (最多不超过 8 次), 最佳值与次佳值间第 1 秒用力呼气量 (forced expiratory volume in first second, FEV₁) 及 FVC 差异 < 150 ml。报告各次 FVC 和 FEV₁ 中的最大值和最大肺活量 (maximal voluntary contraction, MVC), 其余数值以 FVC + FEV₁ 最大且曲线平滑的该次测量值为最佳值。

肺容量测定方法: 采用开放式氮冲洗法。平静呼吸至少 5 个周期, 呼气末基线平稳, 然后均匀呼气至完全, 再吸气至完全, 呼气末及吸气末均应出现平台; 然后再平静呼吸, 待基线平稳后于呼气末开始吸入纯氧, 连续检测呼气末氮浓度, 待呼气末氮浓度 < 1.5% 或吸氧 7 min 后终止。重复测试需间隔 20 ~ 30 min。至少测定 2 次, 取平均值。

1.3 统计学方法 采用 SPSS 13.0 统计学分析软件, 用 Pearson 相关分析法检验两个呼吸时相的各个 CT 肺功能参数指标与 PFT 指标的相关性, 以 $P < 0.01$ 为差异有统计学意义。

2 结果

表 1 CT 肺容积参数与常规肺功能参数值

参数	均数	差值
Vin(TLC) (ml)	4843.60 ± 953.78 (6192.70 ± 750.81)	1183.00 ± 671.99
Vex(RV) (ml)	1905.88 ± 920.34 (1616.42 ± 643.45)	360.00 ± 262.69
Vex/Vin(RV/TLC) (%)	(32.95 ± 11.81) (25.81 ± 7.32)	(7.23 ± 8.01)
Vin - Vex(MVC) (%)	(3201.08 ± 967.97) (4704.50 ± 467.75)	1502.70 ± 822.40

表 2 CT 肺容积参数与常规肺功能容积参数的相关系数

CT 肺容积参数	TLC	RV	MVC	FVC	RV/TLC	FEV	FEV ₁ /FVC
Vin	0.90 *	0.65 *	0.13	0.16	0.41	0.75 *	-0.33
Vex	0.61 *	0.74 *	0.21	0.09	0.49	-0.19	0.41
Vin - Vex	0.30	0.16	0.85 *	0.79 *	-0.38	0.47	-0.10
Vex/Vin	0.29	0.45	0.35	0.49	0.74 *	0.43	-0.26

注: *, $P < 0.01$

30 名志愿者 CT 扫描所得吸气末肺体积 (lung volume at full inspiratory phase, Vin)、呼气末肺体积 (lung volume at full expiratory phase, Vex) 与 PFT 所得肺总量 (total lung capacity, TLC) 及残气量 (residual volume, RV) 数值及差值见表 1。CT 肺容积参数与常规肺功能容积参数的相关性见表 2 (图 1、2)。全肺平均 CT 值在用力吸气相和用力呼气相分别为 (-879.51 ± 32.82) HU 和 (-688.14 ± 62.38) HU; 全肺平均密度值在用力吸气相和用力呼气相分别为 (0.12 ± 0.03) g/cm³ 和 (0.31 ± 0.06) g/cm³。用力吸气相和用力呼气相 CT 全肺各区间的像素指数见表 3。深吸气末及深呼气末的像素直方图均呈类正态曲线, 波峰分别位于 -850 ~ -950 HU (图 3) 和 -700 ~ -800 HU (图 4)。

表 3 CT 全肺密度和全肺各区间在用力吸气相和用力呼气相的像素指数 (%)

肺区间 (HU)	用力吸气相	用力呼气相
-1024 ~ -950	28.28 ± 18.11	1.13 ± 2.73
-1024 ~ -901	58.20 ± 20.52	4.60 ± 9.95
-900 ~ -801	28.16 ± 15.75	21.33 ± 11.03
-800 ~ -701	6.10 ± 2.79	29.64 ± 8.21
≥ -700	7.54 ± 2.89	44.43 ± 12.69

3 讨论

本组 MSCT 扫描肺容积指标与 PFT 容积指标有较好的相关性, 其中 Vin 与 TLC 相关系数为 0.90, Vex 与 RV、Vex/Vin 与 RV/TLC 相关系数均为 0.74。Vin 与 TLC 相关系数与文献报道^[5] 的 0.90 相同, Vex 与 RV 相关系数比文献报道的 (0.66) 高, 是因深吸气末屏气, 受检者都能做到, 并可维持较长时间, 而呼气末屏气时, 受检者较难掌握, 维持时间也较短, MSCT 扫描速度增快, 呼气情况相对以往较易掌握, 故相关系数较高。

本组研究采用两种方法, 第一种选择床边肺功能检查仪, 受检者采用卧位呼气, 结果显示 MVC 与 Vin - Vex 的相关系数为 0.85, 高于文献报道的 0.77; 第二种方法使用肺功能室

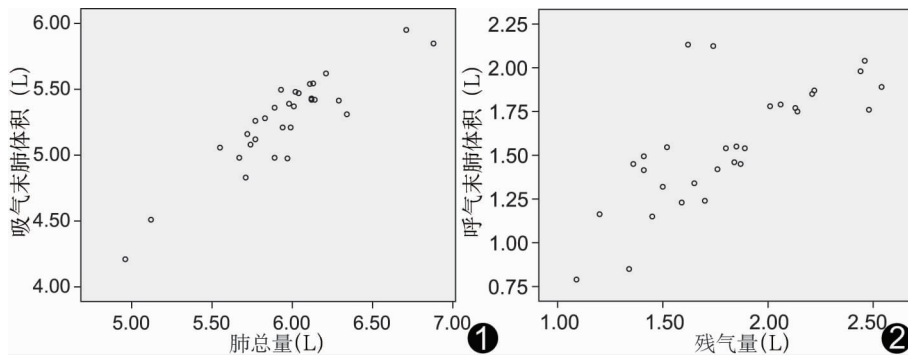


图 1 深吸气 MSCT Vin 与 TLC 的相关性

图 2 深呼气 MSCT Vex 与 RV 相关性

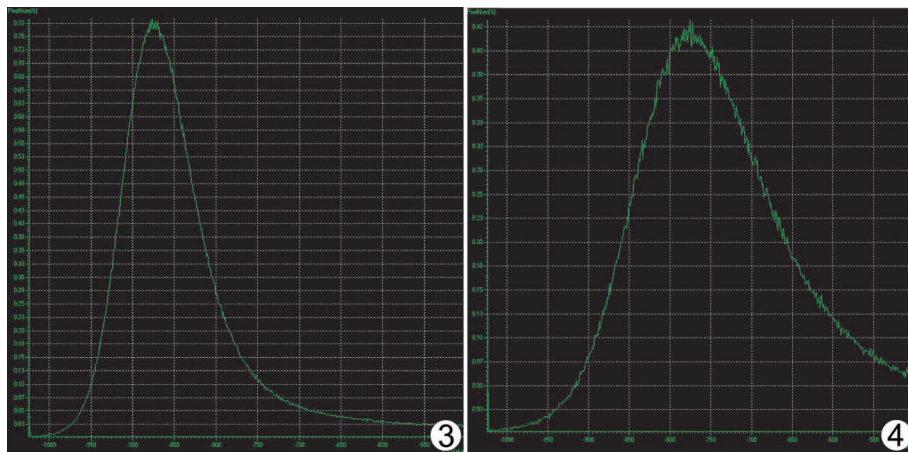


图 3 深吸气像素指数图 (波峰位于 -870 HU)
-760 HU)

图 4 深呼气像素指数图 (波峰位于

条件有一定的关系,可能因本组所纳入的受检查者均较年轻,吸气过程较充分。另外,本组研究志愿者均为男性,是否男性比女性吸气更充分有待进一步研究。

以往研究通过肺部的 CT 值对肺密度进行评估。本研究通过单位体积的肺重量对肺密度进行评估,得出深吸气末肺的平均密度为 $(0.12 \pm 0.03) \text{ g/cm}^3$,深呼气末为 $(0.31 \pm 0.06) \text{ g/cm}^3$,两者间有较大的密度差异,表明深吸气末肺部体积明显增大,含气量明显增高,单位体积的肺部重量较深呼气明显下降。

像素指数是指某一阈值下的像素范围所占面积与全肺面积的比值。CT 图像中每一个像素都代表一个 CT 值,通过确定 CT 值范围可统计出该范围像素所占的面积,与全肺面积相比较,得出像素指数。根据 Rienmüller 等^[7]和 Bae 等^[8]的阈值划分方法,将 CT 值分为 4 个区间: $-1024 \sim -901 \text{ HU}$ 、 $-900 \sim -801 \text{ HU}$ 、 $-800 \sim -701 \text{ HU}$ 、 $> -700 \text{ HU}$ 。本组结果显示,深吸气相时 $-1024 \sim -901 \text{ HU}$ 所占比例较大 $[(58.20 \pm 20.52)\%]$,而深呼气相时 $-1024 \sim -901 \text{ HU}$ 所占比例

检查仪,采用坐位检查,结果 TLC 与 Vin 相差为 $(1183.00 \pm 671.99) \text{ ml}$,与文献报道相似,原因为:①CT 检查时为仰卧位,仰卧位时,人体的呼吸受一定限制,文献报道^[6]仰卧位时成人 TLC 约减少 670 ml,而 PFT 检查时为坐位,呼吸运动不受限制;②CT 测定肺容积时剔除了大气管内约 100 ml 的容积。

肺密度反映肺通气状况、血液量、血管外液量及肺组织的综合密度。CT 肺密度测定能够提供定量数值。国外健康人胸部 CT 值为 $-770 \text{ HU} \sim -875 \text{ HU}$,平均 -817 HU 。国内张伟宏^[5]得出深吸气相全肺平均 CT 值为 $(-808.9 \pm 33.12) \text{ HU}$,深呼气相为 $(-673.64 \pm 63.75) \text{ HU}$,且左、右肺的差异无统计学意义,而中肺部 CT 值低于上肺、下肺的值,差异有统计学意义。本研究得出用力吸气相全肺平均 CT 值 $(-879.51 \pm 32.82) \text{ HU}$,用力呼气相为 $(-688.14 \pm 62.38) \text{ HU}$,与张伟宏等^[5]的结果相比均较低,是因为:①以往研究多采取隆突层面及隆突上下 5 cm 作为标准层面,计算其 CT 值分别代表上、中、下肺野的平均 CT 值,综合评估上、中、下肺野平均 CT 值来代表全肺的平均 CT 值,而据张伟宏等^[5]的研究,上、中、下肺的平均 CT 值是不一致的,并且差异有统计学意义;本组是将所有数据输入计算机,通过软件对全肺做统计,得到的数据是真正的全肺平均 CT 值;②以往研究多因扫描时间较长,部分受检查者未能完成屏气,在扫描过程中出现部分气体的呼出;③吸气是一个主动的过程,与检查者的身体

较小,表明正常人在深吸气末时,肺部可能处于过度充气状态。像素直方图是将全肺的像素分布情况制成直方图,文献报道^[9]正常人呈类正态分布,深吸气波峰位于 $-850 \sim -750 \text{ HU}$ 。本研究发现正常人像素直方图亦呈类正态分布,深吸气相时,波峰位于 $-850 \sim -950 \text{ HU}$,深呼气相时,波峰位于 $-700 \sim -800 \text{ HU}$,深吸气时波峰稍向左移,这与以上深吸气时平均肺密度稍低的分析是一致的。

目前 MSCT 肺功能成像技术在肺气肿的检查方面已取得很好的效果,在患者未能进行常规肺功能检查时,该技术可对肺功能做出很好的评估^[10]。手术前对手术后肺功能的评估方面也是目前研究的热点,国内外已经有部分相关文章发表^[11]。另外,通过肺部组织密度及重量的改变,可对部分阻塞性呼吸功能障碍及限制性呼吸功能障碍进行诊断。

总之,MSCT 成像技术不仅可以了解肺部形态结构,而且通过呼吸双相所得的定量数据与肺功能参数具有很好的相关性,可作为一种无创、快速、有效的测定方法。

[参考文献]

- [1] Matsuoka S, Kurihara Y, Yagihashi K, et al. Quantitative assessment of peripheral airway obstruction on paired expiratory/inspiratory thin-section computed tomography in chronic obstructive pulmonary disease

with emphysema. J Comput Assist Tomogr, 2007, 31(3): 384-389.

[2] 邹利光, 孙清荣, 戚跃勇, 等. 多层螺旋 CT 低剂量扫描肺容积和肺密度定量分析的可行性研究. 中国医学影像技术, 2007, 23(10): 1491-1494.

[3] 张伟宏, 牟文斌, 齐冰, 等. 阻塞性通气障碍的 CT 肺功能成像参数. 中国医学影像技术, 2005, 21(6): 906-909.

[4] Horiuchi N, Fujita J, Suemitsu I, et al. Low-dose multislice CT and high-resolution CT assessment of pulmonary emphysema in public school teachers. Lung, 2007, 185(1): 25-30.

[5] 张伟宏, 刘玉清, 牟文斌, 等. CT 肺功能成像技术研究. 中华放射学杂志, 2001, 35(11): 832-836.

[6] 葛斌俊, 张国桢, 毛定飏, 等. 多层螺旋 CT 肺像素指数与肺功能的相关性. 中国医学科学院学报, 2006, 28(1): 61-63.

[7] Rienmüller RK, Behr J, Kalender WA, et al. Standardized quantitative high resolution CT in lung disease. J Comput Assist Tomogr, 1991, 15(5): 742-749.

[8] Bae KT, Slone RM, Gierade DS, et al. Patients with emphysema: quantitative CT analysis before and after lung volume reduction surgery. Radiology, 1997, 203(3): 705-714.

[9] Best AC, Lynch AM, Bozic CM, et al. Quantitative CT indexes in idiopathic pulmonary fibrosis: relationship with physiologic impairment. Radiology, 2003, 228(2): 407-414.

[10] Zaporozhan J, Ley S, Eberhardt R, et al. Paired inspiratory/expiratory volumetric thin-slice CT scan for emphysema analysis: comparison of different quantitative evaluations and pulmonary function test. Chest, 2005, 128(5): 3212-3220.

[11] Sverzellati N, Chetta A, Calabrò E, et al. Reliability of quantitative computed tomography to predict postoperative lung function in patients with chronic obstructive pulmonary disease having a lobectomy. J Comput Assist Tomogr, 2005, 29(6): 819-824.



《中国医学影像技术》被数据库收录情况

《中国医学影像技术》杂志是由中国科学院主管,中国科学院声学研究所主办的国家级学术期刊,被以下数据库收录:

中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)

中国科学引文数据库核心期刊

《中文核心期刊要目总览》收录期刊

中国科技期刊精品数据库收录期刊

荷兰《医学文摘》收录源期刊

英国《科学文摘》收录源期刊

俄罗斯《文摘杂志》收录源期刊

波兰《哥白尼索引》收录源期刊