

CT 定量测量成人游离性胸腔积液的归一化方程

严超贵¹, 霍梦娟², 范 淼¹, 王俊丽³, 杨有优¹

(1. 中山大学附属第一医院放射科, 广东 广州 510080; 2. 广东省中医院影像科, 广东 广州 510120; 3. 浙江大学医学院附属第一医院放射科, 浙江 杭州 310002)

摘 要:【目的】探讨胸腔积液量与胸腔积液 CT 横断面上最大深度、矢状面最大纵向累及长度之间的关系, 建立多重线性回归模型估算胸腔积液量。【方法】收集 151 名 18 岁以上游离性胸腔积液患者的 CT 检查资料, 共 166 个胸腔积液。测算胸腔积液体积 V 、胸腔积液 CT 横断面上最大深度 H 、矢状面最大纵向累及长度 L , 随机抽取 70% 的样本作为训练样本, 剩下的为验证样本量。以经对数转换后的胸腔积液体积 V 为因变量, 其余测量指标为自变量, 采用多重线性回归方法建立预测模型。【结果】所得线性回归方程为: $\ln(\hat{V}) = 0.01688H + 0.00578L + 4.19738$, 决定系数 $R^2 = 0.929$ 。由配对设计资料的 t 检验可得, 在验证样本中 V 测量值与预测值的差值 ($\bar{X} = 0.203$, 95%CI $(-0.181, 0.587)$, $P = 0.883$) 与 0 没有统计学意义。 V 测量值与预测值之间的散点图提示两者之间呈高度的线性相关关系 ($r = 0.962$, $P < 0.01$)。【结论】在 CT 图像上, 用胸腔积液 CT 横断面上最大深度 H 、矢状面最大纵向累及长度 L 这两个简单、容易测量的指标可以准确地预测胸腔积液量。

关键词: CT; 胸腔积液

中图分类号: R56; R81

文献标志码: A

文章编号: 1672-3554(2016)05-0781-05

Normalized Equation Study of CT Quantitative Measurement of Adult Free Pleural Effusion

YAN Chao-gui¹, HUO Meng-juan², FAN Miao¹, WANG Jun-li³, YANG You-you¹

(1. Department of Radiology, The First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China; 2. Department of Radiology, Guangdong Provincial Hospital of Traditional Chinese Medical, Guangzhou 510080, China; 3. Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Zhe Jiang University, Hangzhou 310003, China)

Corresponding to: FAN Miao; E-mail: cmu-sums@163.com

Abstract: 【Objective】To explore the relationship among the pleural effusion volume, the maximum depth on CT cross-section and the maximum longitudinal cumulative length of the pleural effusion on sagittal plane, and to forecast pleural effusion volume by establishing a multiple linear regression. 【Methods】151 patients, with 166 cases, who were more than 18 years old, and suffered from free pleural effusion examined by CT were collected. The volume of pleural effusion, the maximum depth on cross-section and the maximum longitudinal cumulative length on sagittal plane of pleural effusion were measured. Multiple linear regression was conducted with natural logarithmation of the response variable (V : pleural effusion volume) and two covariates (H : the maximum depth on CT cross-sectional plane; L : the maximum longitudinal cumulative length on sagittal plane). 70% of cases were randomly selected as training set to establish the equation, the rest of cases were selected as validation set. 【Results】The multiple linear regression: $\ln(\hat{V}) = 0.01688H + 0.00578L + 4.19738$, $R^2 = 0.929$. The difference (X) between predicted and observed pleural effusion volume was not statistically significant, $\bar{X} = 0.203$, 95%CI $(-0.181, 0.587)$, $P = 0.883$. The scatter diagram between predictive and observed pleural effusion volume showed there was a high linear correlation ($r = 0.962$, $P < 0.01$). 【Conclusion】The volume of pleural effusion could be accurately predicted and easily measured by using H (the maximum depth on cross-section) and L (the maximum longitudinal cumulative length on sagittal plane of pleural effusion) on CT image.

Key words: tomography, X-ray computed; pleural effusion

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2016, 37(5): 781-785]

收稿日期: 2015-10-29

作者简介: 严超贵, 主管技师; 范淼, 通信作者, 副主任医师, E-mail: cmu-sums@163.com

胸膜腔内的液体形成过多或吸收过慢,引起胸膜腔内液体积存过的临床征象多称为胸腔积液^[1]。胸腔积液量多少的问题在临床日常工作中经常遇到,目前放射科及临床医生在 CT 图像上判断胸腔积液量,一般仅凭自身的经验目测估计为大量、中等量或少量^[2]。由于没有统一标准,常造成医生诊断的错误。尽管国内外有些学者曾对 CT 测量胸腔积液量做过一些研究^[3-6],但都存在一定的局限性,并没有提出有具体量化的指标用于评价胸腔积液量。本研究的重点是探讨胸腔积液量与胸腔积液 CT 横断面最大深度、矢状面最大纵向累及长度之间的关系,从而建立胸腔积液量的预测模型,以期在临床诊断中对胸腔积液快速准确地定量。

1 材料与方法

1.1 一般资料

搜集 2010 年 1 月-2012 年 2 月本院 18 岁以上患有游离性胸腔积液的病人 151 例。排除标准:局限性胸腔积液患者、胸廓畸形(扁平胸、漏斗胸、鸡胸)、胸壁病变、气胸、肺气肿患者。其中有 15 例为双侧胸腔积液,46 例为左侧胸腔积液,90 例为右侧胸腔积液,共 166 个胸腔积液。本组男 90 例,女 61 例。年龄 22~70 岁。该回顾性研究不会对患者身体造成任何损失,不会增加患者的经济负担,已获得本院伦理委员会的批准,同意免除全部研究对象的知情同意书。

1.2 扫描方法

扫描设备采用 Toshiba Aquilion 64 排 CT 机。扫描方式及参数:采用 CT 容积扫描。扫描参数:管电压 120 kV,管电流 120 mA,重建层厚 0.5 mm,层距 0.3 mm,HP 值 53。屏气选择:患者平静呼吸下屏气。所有患者取仰卧位,扫描范围从胸廓入口至胸廓底部。最后将重建完毕的容积数据传至后处理工作站(Aquarius iNtuition Edition ver. 4.4.5.49.2104)。由一名有经验的影像科医生在后处理工作站上完成图像处理和数据测量。具体操作步骤简述如下:①调整窗宽、窗位,使胸腔积液的轮廓、边缘清楚地显示出来。本研究选用纵隔窗进行观测,观测窗宽为 254 HU、窗位为 55 HU。②选取胸腔积液最大层面,测量胸腔积液的 CT 值,包括最小 CT 值、最大 CT 值;根据测量的最小 CT 值和最大 CT 值设定胸腔积液 CT 值的上下限范

围。③沿胸腔积液的边缘手工逐层圈画出胸腔积液的完整轮廓。④采用计算机自动测量体积功能,计算出胸腔积液的体积,用 V (单位: mL) 表示(图 1)。⑤测量 CT 横断面胸腔积液最大深度,用 H (单位: mm) 表示。方法:首先通过连续层面观察比较,选取横断面胸腔积液最大深度,在此层面做一基线固定,上下层面进行进一步对比,找出胸腔积液深度最大的层面,设横断面胸腔积液最低点为 A ,沿 A 点做一切线 AB ,沿 A 点做一直线垂直于切线,该直线与胸腔积液上缘相交于 C 点, AC 之间的距离即为横断面胸腔积液最大深度(图 2 所示)。⑥矢状面胸腔积液最大纵向累及长度,用 L (单位: mm) 表示。方法:通过连续层面观察比较后,选取矢状面胸腔积液最大纵向累及高度,在此层面做一基线固定,上下层面进行进一步对比,找出矢状面胸腔积液累及长度最大的层面,设胸腔积液矢状面最低点为 D ,沿 D 点做一水平线 DF ,沿胸腔积液最高点做一水平线,从 F 点向此水平线做垂线,相交于 E 点, EF 之间的距离即为矢状面胸腔积液最大纵向累及长度(图 3)。以上每个数据测量 2 次,求平均值。

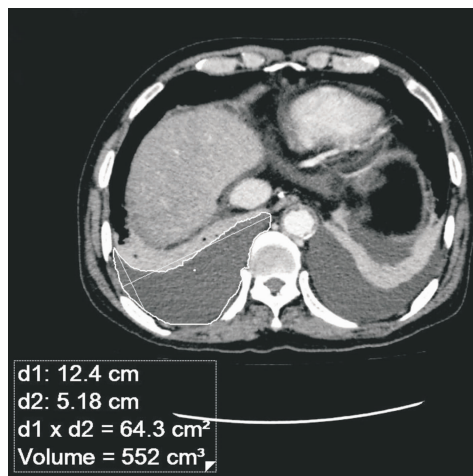


图 1 胸腔积液轮廓的手工圈画图

Fig.1 Hand circle drawing outline of the pleural effusion

1.3 统计学分析

统计分析采用 SAS 9.4。各测量指标间采用相关分析,当 $P < 0.05$ 时认为差异有统计学意义。绘制残差直方图、残差分析核实资料是否满足多重线性回归模型的前提假设。在满足前提条件的情况下,以随机抽取的 70% 的样本为训练样本,以经自然对数转换的胸腔积液的量作为反应变量,其

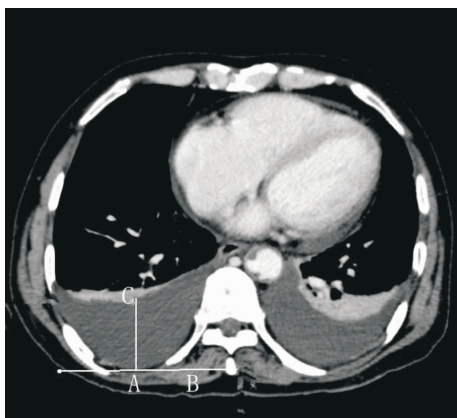


图2 CT横断面胸腔积液最大深度的测量图

Fig.2 Measurement of the maximum depth of pleural effusion on CT cross-section

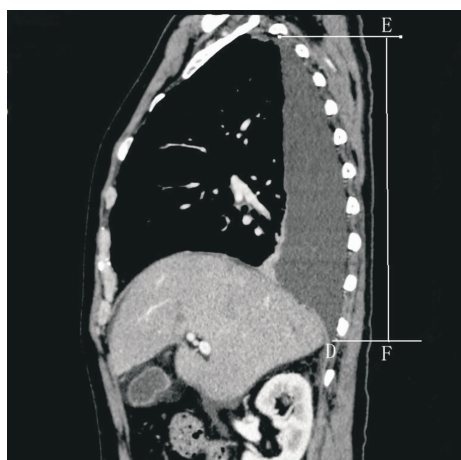


图3 CT矢状面胸腔积液最大纵向累及长度的测量图

Fig.3 Measurement of the maximum longitudinal cumulative length of pleural effusion on CT sagittal plane

他测量指标作为自变量,建立多重线性回归模型。自变量筛选采用逐步回归法。模型建立之后对回归模型、回归系数进行假设检验。

1.4 验证多重线性回归模型的正确性

用其余30%的样本为验证样本,将其 H 、 L 值分别代入所求多重线性回归方程,得出胸腔积液量,即 V 预测值。将 V 预测值与实测值采用配对设计定量资料的统计分析,当 $P \leq 0.05$ 时认定两者的差异有统计学意义。

2 结果

2.1 正态分布检验

残差的直方图提示训练样本资料服从近似正

态分布(图4)。计算Durbin-Watson统计量,取值为1.745,则提示资料满足独立性。残差与反应变量预测值之间的散点图提示资料满足方差齐性(图5),即验证资料满足多重线性回归模型的前提条件(LINE)。

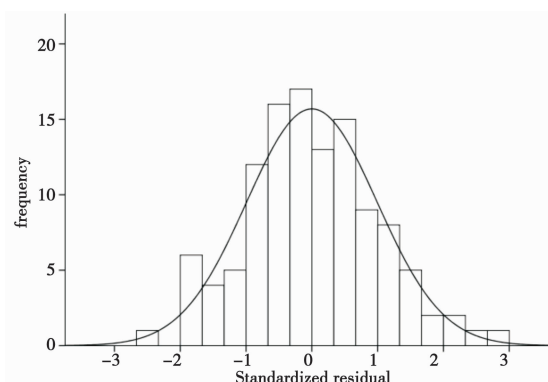


图4 变量转换后的标准化残差直方图

Fig.4 Normalized residual histogram after variable conversion

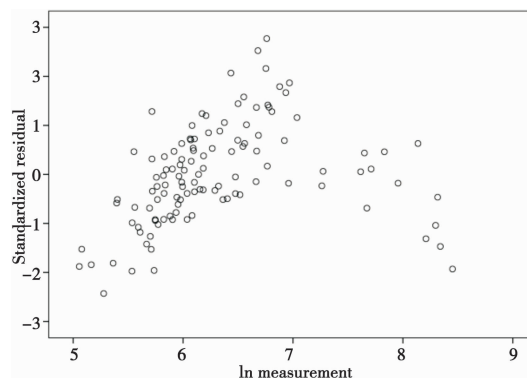


图5 变量转换后的多重线性回归模型的残差图

Fig.5 Residual plots of multiple linear regression models after variable transformation

2.2 回归模型的建立

利用统计软件SAS9.4,采用逐步回归的变量筛选方法,得到经自然对数转换后的胸腔积液量 V (mL)与胸腔积液CT横断面最大深度 H (mm)、矢状面最大纵向累及长度 L (mm)的回归模型:

$$\ln(\hat{V}) = 0.01688H + 0.00578L + 4.19738$$

回归方程的 F 检验, $F = 741, P < 0.001$,认为回归模型有统计学意义。回归系数的 t 检验,该模型各回归系数均有统计学意义($P < 0.001$)。回归方程拟合度检验,确定系数 $R^2 = 0.929$,说明胸

腔积液 CT 横断面最大深度、矢状面最大纵向累及长度两个因素可以解释胸腔积液量约 92.9% 的变异。

2.3 回归模型对胸腔积液量预测准确性的验证

将验证样本的 H 、 L 值分别代入上述回归模型,求得胸腔积液量的预测值,即为 $V_{\text{预测值}}$ 。将 $V_{\text{测量值}}$ 与 $V_{\text{预测值}}$ 分别经过自然对数转换后,采用配对设计定量资料的统计学分析,对两者的差值进行正态性检验(W 检验),两者的差值服从正态分布;采用配对资料的检验,不能认为自然对数转换后的 $V_{\text{测量值}}$ 与 $V_{\text{预测值}}$ 之间的差异有统计学意义。 $V_{\text{测量值}}$ 与 $V_{\text{预测值}}$ 之间的散点图,提示两者之间呈线性相关关系,相关系数 $r = 0.962$, $P < 0.001$ (图 6)。

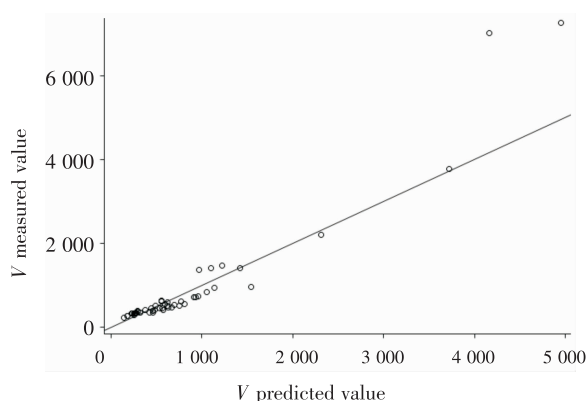


图 6 $V_{\text{测量值}}$ 与 $V_{\text{预测值}}$ 之间的散点图

Fig.6 Scatter plots between $V_{\text{measured value}}$ and predicted value of V

3 讨论

CT 检查具有很高的空间和密度分辨率,因而胸腔积液常常需要行胸部 CT 扫描^[7]。以往,胸部 CT 扫描后,医生一般是凭感觉判定积液量,常造成诊断的错误,给临床带来较大的困惑。随着后处理软件的日益强大,在 CT 图像上测量胸腔积液量成为一种可能。目前,国内外关于 CT 检查对胸腔积液定量研究的报道较少。黄科峰等^[8-9]采用医学人体注水肺脏解剖学模型评价 CT 测算胸腔积液量的准确性。Dechman 等^[6]用患有胸腔积液的狗做实验研究,得出 CT 检查可以评价患侧肺组织容积、形态、密度的变化,但没有对胸腔积液做定量研究。Mergo 等^[10]采用任一个横断层面上胸腔积液的最大深度(d)和胸腔积液的最大长度(l)总结出

一个简单的公式计算胸腔积液量(V),即 $V = d^2 \times l$,但由于选定层面的 d 值不同,常造成定量结果差距较大,因而无法在临床工作中有效推广。也有一些学者利用半自动图像分割方法评价 CT 检查测量胸腔积液量的准确性^[3],但操作步骤较为繁琐,不利于应用于日常工作以及脱离工作站后对胶片上胸腔积液量的测量。

本研究提出用简单、实用、容易测量的指标评价胸腔积液量,选用胸腔积液 CT 横断面的最大深度(H)、矢状面最大纵向累及长度(L)两个指标来预测胸腔积液量。选用上述两个指标的原因是:在卧位情况下由于液体重力的作用,游离性液体均聚集在胸腔的后背部,液体的上缘呈凹面向上。因此,胸腔积液 H 、 L 都是影响胸腔积液量的因素。利用统计学方法求得胸腔积液量的预测模型,即胸腔积液量 $\ln(V)$ 与 H 、 L 之间的回归模型: $\ln(\hat{V}) = 0.01688H + 0.00578L + 4.19738$, 决定系数 $R^2 = 0.929$ 。

临床上胸腔穿刺抽液并不能完全将液体抽干净,因此临床上抽出的液体量往往少于患者实际胸腔积液量^[10],所以本研究没有选用胸腔穿刺抽液作为对照标准。据文献报道^[4,10-14],在 CT 薄层图像上沿胸腔积液边缘手工逐层圈划胸腔积液轮廓,并计算胸腔积液量,是目前计算胸腔积液量最准确的方法,被称为“金标准”方法。因此,本研究采用该方法测量胸腔积液量,记为 $V_{\text{测量值}}$,作为参考对照标准。回归模型预测出胸腔积液量作为 $V_{\text{预测值}}$ 。 $V_{\text{测量值}}$ 与 $V_{\text{预测值}}$ 具有高度相关性,相关系数 $r = 0.962$ 。从 $V_{\text{测量值}}$ 与 $V_{\text{预测值}}$ 之间的散点图可以看出,有 1 例病例为离群值,该病例胸腔积液量 $V_{\text{测量值}}$ 为 4579 mL,而 $V_{\text{预测值}}$ 为 2937 mL,分析原因:预测回归模型时,所选用胸腔积液量在 183 ~ 2760 mL 之间,胸腔积液 H 在 16.1 ~ 182 mm 之间, L 为 124.8 ~ 294 mm 之间,因此回归模型的使用范围在此范围内,该病例 $L = 324$ mm,超出上述范围,回归模型预测出胸腔积液量与测量值相差较大,因而该病例偏离回归直线。对于胸腔积液 $H > 182$ mm, $L > 294$ mm 的病例,虽不适用于上述回归模型,但往往提示为大量胸腔积液。本研究的局限性,残差散点图并非均匀分布,提示本预测模型尚有完善空间,需发掘、探讨其他可能对预测有贡献的且方便测量应用的因素并加入到预测模型中。或可以再借助其他 Box-Cox 转换使预测模型更适合多重

线性回归的条件,使模型有更恰当和更精确的预测价值。

综上所述,当 H 在16.1~182 mm之间, L 为124.8~294 mm之间时,可以通过回归模型: $\ln(\hat{V})=0.01688H+0.00578L+4.19738$,预测胸腔积液量的自然对数值,并经过反对数转换得到胸腔积液量。对于胸腔积液 $H>182$ mm, $L>294$ mm的病例,常常提示为大量胸腔积液。胸腔积液体积差异上限0.587 mL的水平在临床上是可以容忍的一个差距,不会对临床判断及相应的处理策略产生影响,所以作者认为,本文所建立的预测模型的预测效果在临床上具有可行性。

总之,采用简单、容易测量的指标准确预测胸腔积液量,不仅可以避免繁琐的后处理过程,方便日常工作,同时对临床选择治疗方案具有一定辅助参考作用。

参考文献

- [1] 党小超, 阎林. 基于多元线性自回归模型的流量预测[J]. 计算机工程, 2012, 38(1): 84-86.
DANG XC, YAN L. Traffic flow prediction based on multivariate linear ar model [J]. Jisuanji Gangcheng, 2012, 38(1): 84-86.
- [2] 麻霄萍. 胸部CT联合计算机辅助设计技术对胸腔积液定量研究的初步应用[D]. 济南: 山东大学, 2008.
MA XP. Primary application of quantitative study of pleural effusion by computed tomography combined with computer aided geometric design technology [D]. Jinan: Shandong University, 2008.
- [3] THOMAS SC, DAVIDSON LR, MCKEAN ME. An investigation of adequate volume for the diagnosis of malignancy in pleural fluids[J]. Cytopathology, 2011, 22(3): 179-183.
- [4] VON FC, MEIEER S, JORDENS S, et al. Semiautomated segmentation of pleural effusions in MDCT datasets[J]. Acad Radiol, 2010, 17(7): 841-848.
- [5] PANG QS, WANG P, WANG J, et al. Basic research of the relationship between irradiation dose and volume in radiation-induced pulmonary injury [J]. Chin Med J (Engl), 2009, 122(16): 1929-1934.
- [6] DECHMAN G, MISHIMA M, BATES JH. Assessment of acute pleural effusion in dogs by computed tomography [J]. J Appl Physiol, 1994, 76(5): 1993-1998.
- [7] ABRAMOWITZ Y, SIMANOVSKY N, GOLDSTEIN M S, et al. Pleural effusion: characterization with CT attenuation values and CT appearance [J]. AJR Am J Roentgenol, 2009, 192(3): 618-623.
- [8] 黄科峰, 赵国宏, 韩金安, 等. CT评价胸腔积液量准确性的实验研究 [J]. 实用医学影像杂志, 2008, 9(3): 146-148.
HUANG KF, ZHAO GH, HAN JA, et al. Experimental study on quantification accuracy of pleural effusions with CT[J]. J Pract Med Imaging, 2008, 9(3): 146-148.
- [9] 黄科峰, 赵国宏, 姚 斌, 等. 利用肺脏模型评价CT测量胸腔积液量准确性的研究[J]. 临床军医杂志, 2007, 35(5): 680-682.
HUANG KF, ZHAO GH, YAO H, et al. Accuracy of hydrothorax volume measurement by CT's volume measuring[J]. Clin J Med Officer, 2007, 35(5): 680-682.
- [10] ROCH A, BOJAN M, MICHELET P. Usefulness of ultrasonography in predicting pleural effusions > 500 ml in patients receiving mechanical ventilation [J]. Chest, 2005, 127(1): 224-232.
- [11] MERGO PJ, HELMBERGER T, DIDOVIC J, et al. New formula for quantification of pleural effusions from computed tomography [J]. J Thorac Imaging, 1999, 14(2): 122-125.
- [12] 李健, 周瑞臣, 刘景旺, 等. 心外膜脂肪组织体积与冠状动脉粥样斑块的关系[J]. 中国医学影像技术, 2015, 31(6): 850-853.
LI J, ZHOU RC, LIU JW, et al. Correlation of epicardial adipose tissue with coronary artery atherosclerotic plaque [J]. Chin J Med Imaging Technol, 2015, 31(6): 850-853.
- [13] 张艳, 袁军, 孙兴旺, 等. MSCT测量肝硬化体积与肝脏储备功能关系研究[J]. 实用放射学杂志, 2014, 30(9): 1498-1501.
ZHANG Y, YUAN J, SUN XW, et al. Research on the relationship between multi-slice spiral CT measurement of cirrhosis volume and liver functional reserve [J]. J Pract Radiol, 2014, 30(9): 1498-1501.
- [14] 李艳艳, 牟玲, 于文娟, 等. 肝移植中全肝体积的CT和磁共振影像学测量准确性的荟萃分析[J]. 中华器官移植杂志, 2015, 36(2): 97-101.
LI YY, MU L, YU WJ, et al. The accuracy of CT and MR estimating whole liver volume: a meta-analysis [J]. Chin J Organ Transplant, 2015, 36(2): 97-101.

(编辑 刘清海)