

# 基于超声多平面测量的胸腔积液定量分析

唐大川 张 伟

**摘要** 目的 探讨 2 个超声多平面测量公式用于定量坐位患者胸腔积液的准确性。方法 前瞻性收集我院 2023 年 2~7 月因临床需要行穿刺引流的胸腔积液患者 87 例(共引流 96 处胸腔积液),分为训练组 56 例,验证组 31 例。均取坐位进行超声检查,采用 1 个线性模型和 2 个超声多平面测量公式(柱体模型、可变柱体模型)分别计算胸腔积液量( $V_{\text{预}1}$ 、 $V_{\text{预}2}$ 、 $V_{\text{预}3}$ ),随后立即于超声引导下胸腔穿刺术,记录实际胸腔积液量( $V_{\text{实}}$ )。采用线性回归分析  $V_{\text{预}1}$ 、 $V_{\text{预}2}$ 、 $V_{\text{预}3}$  与  $V_{\text{实}}$  的关系;采用组内相关系数(ICC)和 Bland-Altman 图分析  $V_{\text{预}1}$ 、 $V_{\text{预}2}$ 、 $V_{\text{预}3}$  与  $V_{\text{实}}$  的一致性。结果 训练组中  $V_{\text{预}1}$ 、 $V_{\text{预}2}$ 、 $V_{\text{预}3}$  分别为(507.6±158.2)ml、(515.2±170.7)ml、(508.3±166.9)ml;验证组中  $V_{\text{预}1}$ 、 $V_{\text{预}2}$ 、 $V_{\text{预}3}$ 、 $V_{\text{实}}$  分别为(551.0±172.7)ml、(568.1±198.4)ml、(563.2±200.6)ml、(563.2±208.6)ml。线性回归分析显示,训练组中  $V_{\text{预}1}$ 、 $V_{\text{预}2}$ 、 $V_{\text{预}3}$  与  $V_{\text{实}}$  均呈线性相关( $R^2$  分别为 0.697、0.912、0.945,均  $P<0.05$ )。训练组和验证组中  $V_{\text{预}1}$ 、 $V_{\text{预}2}$ 、 $V_{\text{预}3}$  与  $V_{\text{实}}$  的一致性均好(ICC 分别为 0.833、0.955、0.972 和 0.828、0.957、0.984,均  $P<0.05$ );Bland-Altman 图分析显示,验证组中  $V_{\text{预}2}$ 、 $V_{\text{预}3}$  与  $V_{\text{实}}$  均具有良好的一致性。结论 通过超声多平面测量能准确定量坐位患者胸腔积液,其中可变柱体模型的准确率最高,柱体模型次之。

**关键词** 超声检查;定量分析;胸腔积液;多平面测量

[中图分类号]R445.1

[文献标识码]A

## Quantitative analysis of pleural effusion based on ultrasonic multiplanar measurement

TANG Dachuan, ZHANG Wei

Department of Ultrasound Imaging, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong university of Science and Technology, Wuhan 430030, China

**ABSTRACT Objective** To investigate the accuracy of two ultrasound multiplanar measurement formulas for quantifying pleural effusion volume in patients in the seated upright position. **Methods** A prospective study was conducted, collecting data from 87 patients with pleural effusion who underwent thoracentesis drainage due to clinical indications between the February and July 2023 in our hospital, with a total of 96 sites of pleural effusion drainage. These patients were divided into a training group ( $n=56$ ) and a validation group ( $n=31$ ). All patients underwent ultrasonography in the seated upright position. One linear model and two ultrasound multiplanar measurement formulas (cylindrical model, variable cylindrical model) were used to calculate the volume of pleural effusion ( $V_{\text{forecast}1}$ ,  $V_{\text{forecast}2}$ ,  $V_{\text{forecast}3}$ ). Subsequently, thoracentesis drainage was immediately performed under ultrasound guidance, and the actual volume of pleural effusion ( $V_{\text{real}}$ ) was recorded. Linear regression analysis was used to analyze the relationship between  $V_{\text{forecast}1}$ ,  $V_{\text{forecast}2}$ ,  $V_{\text{forecast}3}$  and  $V_{\text{real}}$ . Intra-class correlation coefficient (ICC) and Bland-Altman diagram were used to analyze the consistency between  $V_{\text{forecast}1}$ ,  $V_{\text{forecast}2}$ ,  $V_{\text{forecast}3}$  and  $V_{\text{real}}$ . **Results** In the training group, the  $V_{\text{forecast}1}$ ,  $V_{\text{forecast}2}$ ,  $V_{\text{forecast}3}$  were (507.6±158.2) ml, (515.2±170.7) ml and (508.3±166.9) ml, respectively. In the validation group, the  $V_{\text{forecast}1}$ ,  $V_{\text{forecast}2}$ ,  $V_{\text{forecast}3}$  were (551.0±172.7) ml, (568.1±198.4) ml and (563.2±208.6) ml, respectively. Linear regression analysis showed that  $V_{\text{forecast}1}$ ,  $V_{\text{forecast}2}$ ,  $V_{\text{forecast}3}$  were linearly correlated with  $V_{\text{real}}$  ( $R^2=0.697, 0.912, 0.945$ , all  $P<0.05$ ). There was good consistency between  $V_{\text{forecast}1}$ ,  $V_{\text{forecast}2}$ ,  $V_{\text{forecast}3}$  and  $V_{\text{real}}$  in both the training and validation groups (ICC=0.833, 0.955, 0.972, 0.828, 0.957, 0.984, all  $P<0.05$ ). Bland-Altman diagram analysis showed good consistency between  $V_{\text{forecast}2}$ ,  $V_{\text{forecast}3}$  and  $V_{\text{real}}$  in the validation group. **Conclusion** Ultrasound multiplanar measurements can accurately quantify pleural effusion

基金项目:湖北省自然科学基金一般面上项目(2022CFB225)

作者单位:430030 武汉市,华中科技大学同济医学院附属同济医院超声影像科

通讯作者:张伟,Email:zhangweitjh@qq.com

volume in patients in the seated upright position, with the variable cylindrical model demonstrating the highest accuracy, followed by the cylindrical model.

**KEY WORDS** Ultrasonography; Quantitative analysis; Pleural effusion; Multiplanar measurement

胸腔积液为临床多系统疾病常见的伴随征象,胸膜炎、肺部感染、心功能不全、心肾功能衰竭及恶性肿瘤等均可导致不同程度的胸腔积液。研究<sup>[1]</sup>报道非恶性胸腔积液患者的一年死亡率为25%~57%。准确定量胸腔积液对评估患者病情、制定诊疗方案及评价疗效等均至关重要<sup>[2]</sup>。目前临床较为精准地定量胸腔积液的方法为应用CT逐层描绘勾勒胸腔积液区域,通过三维重建和计算机软件计算其体积<sup>[3]</sup>,但CT价格昂贵且具有放射性,短时间内不宜反复检查。超声具有操作简便、经济、无辐射、重复性好等优势,识别胸腔积液的灵敏度高<sup>[4]</sup>,已被广泛应用于胸腔积液的诊断及定量监测。长期以来学者们致力于探索超声定量胸腔积液的公式,以往研究<sup>[5-8]</sup>多采用线性模型,但由于出现积液的胸腔为一个不规则立体空间,而线性模型均通过测量单个线性距离以计算胸腔积液量,具有一定的局限性<sup>[7,9]</sup>。本研究探讨了2个超声多平面测量公式(柱体模型、可变柱体模型)用于定量坐位患者胸腔积液的准确性,旨在为临床寻找一种更准确地预测胸腔积液量的方法。

## 资料与方法

### 一、研究对象

前瞻性收集2023年2~7月我院因临床需要行穿刺置管引流的胸腔积液患者87例,男50例,女37例,平均年龄(53.4±20.2)岁;随机分为训练组56例和验证组31例。纳入标准:①年龄>18岁,无胸腔手术史,生命体征稳定;②穿刺置管后能一次性引流完全者(胸腔积液量≤800 ml);③临床资料完整。排除标准:①发生穿刺操作相关不良反应;②胸腔积液内存在分隔,穿刺引流不完全;③超声图像质量欠佳,无法准确测量数据。本研究经我院医学伦理委员会批准,术前所有患者均签署知情同意书。

### 二、仪器与方法

1. 超声检查:使用GE Logiq E9彩色多普勒超声诊断仪,C1-6凸阵探头,频率3~5 MHz。所有患者均于胸腔穿刺前进行超声检查,由2名经验丰富的主治医师分别负责训练组、验证组数据的采集和计算,且均未知实际胸腔积液量( $V_{实}$ )。患者取坐位,自

主呼吸,将探头置于肩胛中线,垂直于体表行纵向扫查,待查见肺基底与膈肌间无回声区,于呼气末冻结超声图像,测量肺基底到膈顶部的距离(D);然后行纵向扫查并测量无回声区上下两点间的距离为最大颅尾长度(h)。见图1。所有数据均重复测量3次取平均值。

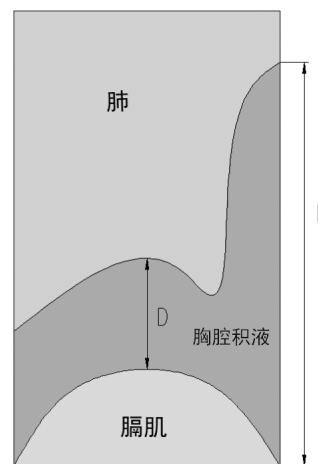
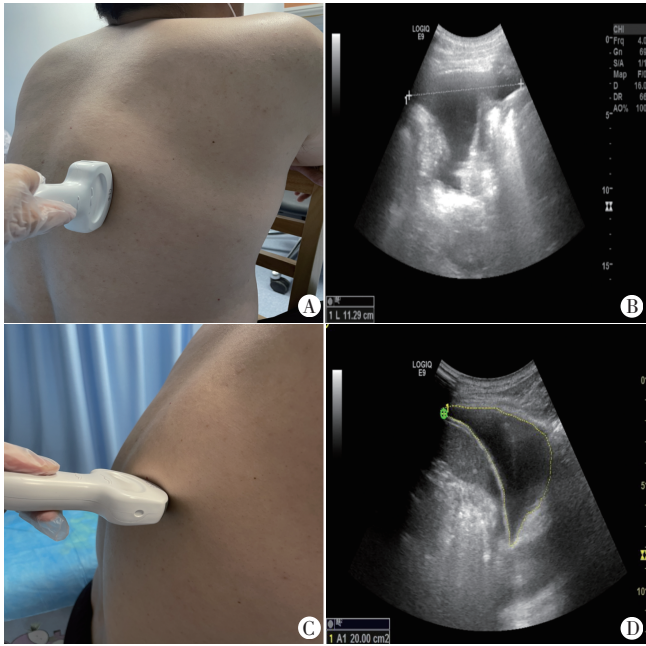


图1 D和h测量示意图

2. 胸腔积液计算方法:包括1个线性模型和2个超声多平面测量公式(柱体模型、可变柱体模型)。①线性模型公式<sup>[5]</sup>为:预测的胸腔积液量( $V_{预1}$ )=16×D,其中16为校正因子;②柱体模型将胸腔积液模拟为底部为类新月形的柱体,公式为:预测的胸腔积液量( $V_{预2}$ )=h×A,其中A为h一半时无回声区面积,若该点位于肋骨上,则取其上下肋间隙无回声区面积的平均值为A(图2);③可变柱体模型将胸腔积液模拟为多个大小逐渐变化的类新月形柱体的组合体(图3),所得结果为多个类新月形柱体的体积之和,公式<sup>[10]</sup>为:预测的胸腔积液量( $V_{预3}$ )= $\sum_1^n \Delta V$ ,其中 $\Delta V = \Delta h \times \Delta A_n$ , $\Delta h = h/n$ , $\Delta V$ 为每个类新月形柱体的体积, $\Delta A_n$ 为每个肋间隙无回声区面积, $\Delta h$ 为每个类新月形柱体的长度,n为胸腔积液累及的肋间隙数量。

3. 胸腔穿刺引流或抽液:所有患者均于超声检查后立即行超声引导下胸腔穿刺术<sup>[11]</sup>,根据临床需要选择置管引流或抽液。胸腔穿刺置管引流采用Seldinger置管法将7F猪尾巴管(YB-A-II 2.3/235,江苏昱邦医疗器械科技有限公司)留置胸腔,外接引流袋进行引流;胸腔穿刺抽液采用一次性抽液器包(沈阳汇德医疗



A:纵向扫查测量h时患者体位和探头位置;B:纵向扫查测得h为11.29 cm;  
C:横向扫查测量A时患者体位和探头位置;D:横向扫查测得A为20.00 cm<sup>2</sup>

图2 柱体模型数据测量体位示意及超声图

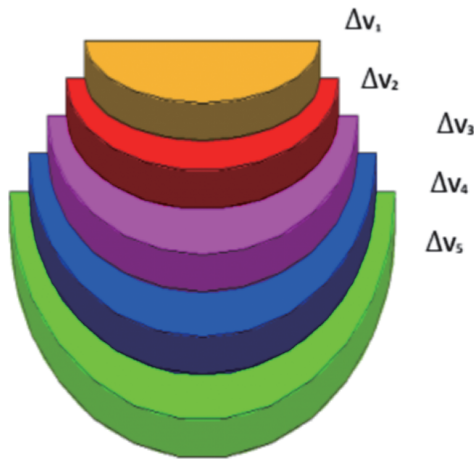


图3 可变柱体模型计算胸腔积液示意图

器械有限公司)抽取胸腔积液。所有患者均于1 h内将积液引流或抽取完毕,以超声复查提示脏壁层胸膜间未见明显液性无回声区为引流完全,记录积液总量为V<sub>实</sub>。

4. 基线资料收集:通过查阅病历或询问病史,记录患者年龄、性别、积液部位、病因等。

### 三、统计学处理

应用SPSS 26.0统计软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用t检验;计数资料以例表示,采用 $\chi^2$ 检验。采用线性回归分析V<sub>预1</sub>、V<sub>预2</sub>、V<sub>预3</sub>与V<sub>实</sub>的相关性,其中 $0 \leq R^2 \leq 1$ ,R<sup>2</sup>越接近1表示拟合优度越高。采用组内相关系数(ICC)分析V<sub>预1</sub>、V<sub>预2</sub>、V<sub>预3</sub>与V<sub>实</sub>的一致性,其中ICC<0.40为一致性较差,0.40~0.75为一致性中等,>0.75~0.90为一致性良好,≥0.9为一致性极好。本研究独立考虑了双侧胸腔积液样本以构建数学模型,通过Bland-Altman图分析模型在验证组中的可重复性。P<0.05为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、两组基线资料比较及胸腔积液量

两组年龄、性别、积液部位、病因比较,差异均无统计学意义。见表1。

本研究87例胸腔积液患者中,9例行了双侧胸腔积液引流,共引流96处胸腔积液,V<sub>实</sub>为99.9~799.6 ml,平均(532.8±183.2)ml。训练组56例患者共引流62处胸腔积液,验证组31例患者共引流34处胸腔积液。训练组中V<sub>预1</sub>、V<sub>预2</sub>、V<sub>预3</sub>、V<sub>实</sub>分别为(507.6±158.2)ml、(515.2±170.7)ml、(508.3±166.9)ml、(516.2±167.2)ml;验证组中V<sub>预1</sub>、V<sub>预2</sub>、V<sub>预3</sub>、V<sub>实</sub>分别为(551.0±172.7)ml、(568.1±198.4)ml、(563.2±200.6)ml、(563.2±208.6)ml。

### 二、线性回归分析结果

以V<sub>实</sub>为自变量,V<sub>预1</sub>、V<sub>预2</sub>、V<sub>预3</sub>为因变量,线性回归分析显示,训练组中V<sub>预1</sub>、V<sub>预2</sub>、V<sub>预3</sub>与V<sub>实</sub>均呈线性相关(R<sup>2</sup>分别为0.697、0.912、0.945,均P<0.05),散点图示V<sub>预3</sub>的分散度最低,其次为V<sub>预2</sub>,V<sub>预1</sub>分散度最高。见图4。

### 三、一致性分析结果

训练组和验证组中V<sub>预1</sub>与V<sub>实</sub>的一致性均良好(ICC分别为0.833、0.828,均P<0.05),V<sub>预2</sub>、V<sub>预3</sub>与V<sub>实</sub>的一致性均极好(ICC分别为0.955、0.972和0.957、0.984,均P<0.05)。两组立体模型的ICC均高于线性模型,可变柱体模型ICC均高于柱体模型。见表2。

表1 两组基线资料比较

组别	年龄(岁)	男/女(例)	积液部位(例)			病因(例)					
			左侧	右侧	双侧	肿瘤相关	肺炎	心功能不全	肾功能不全	多浆膜腔积液	其他
训练组(56)	52.5±17.3	35/21	27	23	6	29	11	3	7	3	3
验证组(31)	54.6±19.9	18/13	16	12	3	17	6	1	3	2	2
$\chi^2$ 值	0.372	0.458		0.723					0.699		
P值	0.771	0.498		0.526					0.622		

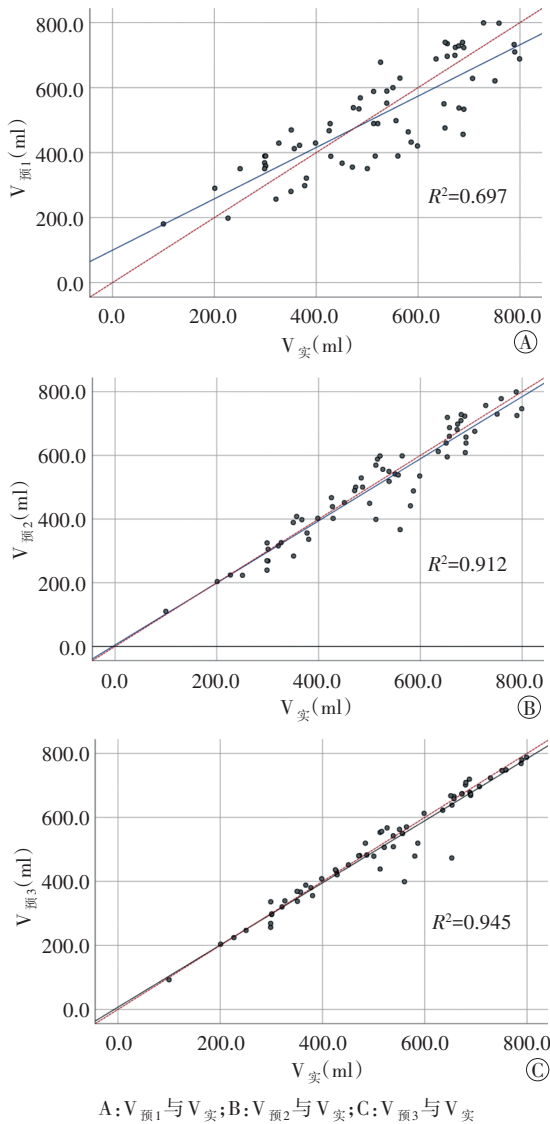


图4 训练组  $V_{预1}$ 、 $V_{预2}$ 、 $V_{预3}$  与  $V_{实}$  的线性回归分析散点图

表2 两组  $V_{预1}$ 、 $V_{预2}$ 、 $V_{预3}$  与  $V_{实}$  的一致性分析

组别	$V_{预1}$ 与 $V_{实}$		$V_{预2}$ 与 $V_{实}$		$V_{预3}$ 与 $V_{实}$	
	ICC	95% 可信区间	ICC	95% 可信区间	ICC	95% 可信区间
训练组	0.833	0.738 ~ 0.896	0.955	0.926 ~ 0.972	0.972	0.955 ~ 0.983
验证组	0.828	0.683 ~ 0.910	0.957	0.975 ~ 0.994	0.984	0.981 ~ 0.997

ICC: 组内相关系数

Bland-Altman 图分析显示, 验证组中  $V_{预2}$ 、 $V_{预3}$  与  $V_{实}$  的一致性均良好, 提示柱体模型和可变柱体模型定量胸腔积液的可重复性好。见图5。

### 讨论

由于病因和胸腔积液量的不同, 临床上并非所有胸腔积液患者均需行穿刺引流<sup>[12]</sup>, 但重复测量在随访和监测中均十分必要<sup>[13]</sup>。本研究基于2个立体模型公式, 采用超声多平面测量以计算胸腔积液量, 旨在寻

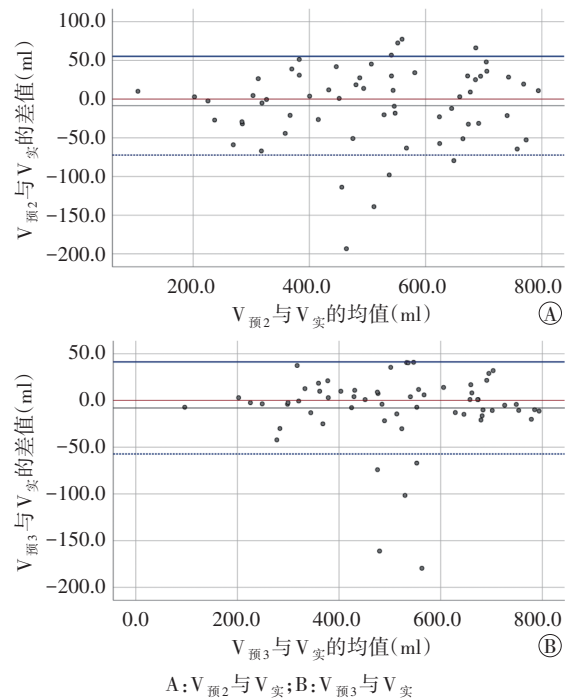


图5 验证组  $V_{预2}$ 、 $V_{预3}$  与  $V_{实}$  的Bland-Altman图

找一种能够重复测量且更准确地定量胸腔积液的影像学方法。由于胸腔积液形态的不规则性, 理论上线性模型定量其体积的准确率低于立体模型, 本研究结果亦证实该结论, 线性回归分析及一致性分析结果均表明本研究采用的2种立体模型在定量胸腔积液方面均表现出良好的性能, 训练组和验证组  $V_{预3}$  与  $V_{实}$  的一致性均极好 (ICC 分别为 0.972、0.984, 均  $P < 0.05$ ), 离散度更低, 提示可变柱体模型的准确率高于柱体模型。分析原因为可变柱体模型将原本不规则的空间分解为多个小的体积分别进行量化后再相加, 减少了形态标准化的误差, 所得结果精确度更高。

既往已有较多文献<sup>[6-10]</sup>报道了不同模型定量胸腔积液的预测性能, 虽然采取了不同的检查体位和参考标准, 但经过比较发现立体模型的准确率大多较线性模型更高。Scarlatia 等<sup>[10]</sup>采用超声立体模型定量坐位患者胸腔积液, 结果发现其与CT定量结果具有高度相关性及一致性。既往研究<sup>[14-15]</sup>将CT作为定量胸腔积液的金标准, 但本研究认为选择  $V_{实}$  作为参考标准更合理, 分析原因为: ①CT作为一种影像学手段, 测量过程中采用逐层手动描画边界及三维重建, 易受操作者经验及水平影响, 存在一定的人为测量误差<sup>[16]</sup>; ②CT检查与超声检查间存在一定的时间差, 该时间差因病情的复杂性可能导致胸腔积液量发生变化, 而本研究在超声检查后立即行胸腔穿刺引流操作, 最大限度地减少了绝对误差, 由此认为超声所测数据与  $V_{实}$  更具可

比性。

本研究的局限性:①样本量偏小,所得结果尚未在临床大样本中得到验证,有待今后收集更多样本以验证2个立体模型的适用范围及准确性;②为防止复张性肺水肿的发生,临床中首次胸腔积液最大引流量不超过800 ml,故本研究结果仅适用于胸腔积液量 $\leq$ 800 ml的患者,对于大量胸腔积液( $>800$  ml)的患者,其预测效能尚未得到验证,有待今后进行更深入的研究;③本研究采用患者坐位测量相关超声数据,因此不适用于昏迷等不能保持直立位患者;④未对包裹性胸腔积液的定量结果进行验证,由于包裹性胸腔积液形态差异更大,且难以一次性引流完全,故本研究结果不适用于该类患者;⑤本研究对超声数据的准确性要求较高,因此对操作者经验和水平要求均较高。

综上所述,应用超声多平面测量能准确定量坐位患者胸腔积液,其中可变柱体模型的准确率最高,柱体模型次之。

#### 参考文献

- [1] Walker SP, Morley AJ, Staddon L, et al. Nonmalignant pleural effusions: a prospective study of 356 consecutive unselected patients[J]. *Chest*, 2017, 151(5): 1099-1105.
- [2] Jany B, Welte T. Pleural effusion in adults—etiology, diagnosis, and treatment[J]. *Dtsch Arztebl Int*, 2019, 116(21): 377-386.
- [3] von Falck C, Meier S, Jordens S, et al. Semiautomated segmentation of pleural effusions in MDCT datasets[J]. *Acad Radiol*, 2010, 17(7): 841-848.
- [4] Kocijancic I, Kocijancic K, Cufer T. Imaging of pleural fluid in healthy individuals[J]. *Clin Radiol*, 2004, 59(9): 826-829.
- [5] Balik M, Plasil P, Waldauf P, et al. Ultrasound estimation of volume of pleural fluid in mechanically ventilated patients[J]. *Intensive Care Med*, 2006, 32(2): 318.
- [6] Usta E, Mustafi M, Ziemer G. Ultrasound estimation of volume of postoperative pleural effusion in cardiac surgery patients[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2010, 10(2): 204-207.
- [7] Hassan M, Rizk R, Essam H, et al. Validation of equations for pleural effusion volume estimation by ultrasonography[J]. *J Ultrasound*, 2017, 20(4): 267-271.
- [8] Eibenberger KL, Dock WI, Ammann ME, et al. Quantification of pleural effusions: sonography versus radiography[J]. *Radiology*, 1994, 191(3): 681-684.
- [9] Ibitoye BO, Idowu BM, Ogunrombi AB, et al. Ultrasonographic quantification of pleural effusion: comparison of four formulae[J]. *Ultrasonography*, 2018, 37(3): 254-260.
- [10] Scarlata S, Venditti I, Fulco G, et al. Estimation of pleural effusion volume through chest ultrasound: validation of two multiplanar models[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46(8): 1960-1967.
- [11] 唐大川, 张伟. 超声引导下猪尾巴管置管引流恶性胸腔积液的临床价值[J]. *临床超声医学杂志*, 2023, 25(6): 441-444.
- [12] Ferreiro L, Porcel JM, Valdes L. Diagnosis and management of pleural transudates[J]. *Arch Bronconeumol*, 2017, 53(11): 629-636.
- [13] Bibby AC, Dorn P, Psallidas I, et al. ERS/EACTS statement on the management of malignant pleural effusions[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2019, 55(1): 116-132.
- [14] Teichgraber UK, Hackbarth J. Sonographic bedside quantification of pleural effusion compared to computed tomography volumetry in ICU patients[J]. *Ultrasound Int Open*, 2018, 4(4): 131-135.
- [15] Chiao D, Hanley M, Olazagasti JM. CT volumetric analysis of pleural effusions: a comparison with thoracentesis volumes[J]. *Acad Radiol*, 2015, 22(9): 1122-1127.
- [16] Veljkovic B, Franckenberg S, Hatch GM, et al. Quantification of pleural effusion from single area measurements on CT[J]. *Emerg Radiol*, 2013, 20(4): 285-289.

(收稿日期:2023-09-04)

## 《临床超声医学杂志》征订启事

《临床超声医学杂志》是经国家科委批准,集超声影像诊断、治疗、工程及基础研究为一体的科技刊物。国内外公开发行人,月刊。为“中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊”“中国科技核心期刊(中国科技论文统计源期刊)”。设有临床研究、实验研究、经验交流、病例报道、述评、专家讲座、工程及译文等栏目,报道超声医学领域影像诊断与治疗的先进技术和前沿进展,为广大临床超声医师和研究人员提供良好的学术交流平台。

本刊刊号:ISSN 1008-6978;CN 50-1116/R。邮发代号:78-116。

每期定价:19元,全年228元(含邮寄费)。请到全国各地邮局订阅,也可直接向本刊编辑部订阅。

地址:重庆市渝中区临江路74号,重庆医科大学附属第二医院内,临床超声医学杂志编辑部。邮编:400010

电话:023-63811304,023-63693117。Email:lccsq@vip.163.com