

三维超声 VOCAL 技术:一种精确测量子宫肌瘤体积的方法

蓝彩凤, 刘永峰, 林敏, 李晓连, 李水平
福建医科大学附属龙岩第一医院超声科, 福建 龙岩 364000

【摘要】目的:评估二维超声(2D-US)、三维超声 VOCAL 技术(3D-VOCAL)对子宫肌瘤体积(UMV)测量的精确性。**方法:**选取2022年10月~2023年4月于福建医科大学附属龙岩第一医院行子宫肌瘤外科手术治疗的患者45例,术前运用2D-US、3D-VOCAL对UMV进行测量,与手术切除后的实际肌瘤体积进行比较,评估两种超声技术测量UMV的准确性及重复性。**结果:**3D-VOCAL测量肌瘤体积的一致性(ICC=0.992)高于2D-US(ICC=0.976),且3D-VOCAL在不同大小肌瘤中的ICC均高于2D-US(均 $P<0.001$)。2D-US、3D-VOCAL、手术术后3组间UMV测值的体积在最大径 <8 cm差异无统计学意义($P>0.05$),而3组间在最大径 ≥ 8 cm差异有统计学意义($P<0.05$);进一步两两分析显示,在最大径 ≥ 8 cm UMV中,2D-US与手术术后的UMV测值差异有统计学意义($P<0.05$),3D-VOCAL与手术术后的UMV测值差异无统计学意义($P>0.05$)。3D-VOCAL在不同观察者间及观察者内的一致性均优于2D-US。**结论:**3D-VOCAL对于术前UMV的测量优于2D-US,是一种简便、高效的可靠方法,为临床随访提供理论依据。

【关键词】子宫肌瘤;三维超声;VOCAL技术;二维超声;肌瘤体积

【中图分类号】R318;R445.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2024)10-1249-07

Three-dimensional ultrasound virtual organ computer-aided analysis technique: an accurate method for uterine myoma volume measurement

LAN Caifeng, LIU Yongfeng, LIN Min, LI Xiaolian, LI Shuiping

Department of Ultrasound, Longyan First Hospital, Fujian Medical University, Longyan 364000, China

Abstract: Objective To evaluate the accuracies of two-dimensional ultrasound (2D-US) and three-dimensional ultrasound virtual organ computer-aided analysis (3D-VOCAL) in measuring uterine myoma volume (UMV). **Methods** Forty-five patients who underwent surgical treatment for uterine myoma at Longyan First Hospital, Fujian Medical University from October 2022 to April 2023 were selected. Preoperative measurements of UMV were performed using 2D-US and 3D-VOCAL, and the measurement results were compared with the actual UMV after surgical resection to assess the accuracies and repeatabilities of the two ultrasound techniques in measuring UMV. **Results** The UMV measurement consistency of 3D-VOCAL (ICC=0.992) was higher than that of 2D-US (ICC=0.976), and the ICC values of 3D-VOCAL were higher than those of 2D-US in UM of different sizes (all $P<0.001$). Statistically significant differences among 2D-US, 3D-VOCAL and postoperative measurement results was found in UM with a maximum diameter ≥ 8 cm ($P<0.05$), but not in UMV and UM with a maximum diameter <8 cm ($P>0.05$), and the further analysis showed that in UM with a maximum diameter ≥ 8 cm, the UMV measured by 2D-US differed from postoperative measurement results ($P<0.05$). The differences between 3D-VOCAL measurement results and postoperative measurement results were trivial ($P>0.05$). There were greater intra- and interobserver agreements by 3D-VOCAL than 2D-US in UMV measurement. **Conclusion** 3D-VOCAL which is superior to 2D-US in preoperative UMV measurement is a simple, efficient, and reliable method, and it can provide theoretical bases for clinical follow-up.

Keywords: uterine myoma; three-dimensional ultrasound; virtual organ computer-aided analysis technique; two-dimensional ultrasound; myoma volume

【收稿日期】2024-05-12

【基金项目】福建省自然科学基金(2023J011899)

【作者简介】蓝彩凤, 主治医师, 研究方向: 妇产及心脏超声, E-mail: 39415756@qq.com

【通信作者】李水平, 硕士, 副主任医师, 研究方向: 腹部妇科浅表及超声介入, E-mail: caolina2016@163.com

前言

子宫肌瘤(Uterine Myoma, UM)是女性生殖系统最常见的良性肿瘤,患病率随着年龄增长而逐渐增加,可高达70%^[1-3]。UM并不是静止的,它们可能表

现出持续和快速的生长,因此子宫肌瘤体积(Uterine Myoma Volume, UMV)对于保守治疗包括介入治疗、药物治疗后的疗效评估有重要作用,需密切监测其生长情况^[4-9]。因此,UMV的精确测量至关重要^[10]。对于UMV的测量,有研究发现众多影像方法中增强MRI准确性最高,但其成像速度慢,检查耗时长,费用较高,且有较多的检查禁忌症^[11-12]。超声是临床上最广泛应用于UM检查的影像学方法。常规采用二维超声(Two-Dimensional Ultrasound, 2D-US)测量病灶三径,通过公式计算病灶体积。该方法适用于椭圆或近似椭圆体的器官或肿瘤,但2D-US对于病灶最大切面无明确标准,受操作者的主观因素影响较大^[13-14]。三维超声VOCAL技术(Three-Dimensional Ultrasound Virtual Organ Computer-Aided Analysis, 3D-VOCAL)是一种新的体积测量方法,可清晰重塑人体器官或肿瘤的立体结构,对测量人体器官或肿瘤的容积有较高的重复性和一致性^[15-18]。目前该技术多应用于乳腺、甲状腺、胎儿等^[14, 17, 19-20],在UMV测量上鲜有研究。本研究将运用2D-US、3D-VOCAL对UMV测量的准确性进行分析,评估3D-VOCAL在UMV测量中的一致性及重复性,以期筛选出准确、高效、简便的UMV测量方法。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取2022年10月~2023年4月于福建医科大学附属龙岩第一医院行手术治疗UM的单发肌瘤患者45例,该研究经医院伦理委员会研究同意(伦理号:LYREC2023-K065-01)。纳入标准:(1)经超声检查及核磁共振诊断的UM患者;(2)需要进行UM手术干预者。排除标准:(1)病灶在超声图像上无法完整显示者;(2)临床资料不全者;(3)外科术后UM碎裂、无法剥除、太小等无法测量体积者。

1.2 仪器设备

GE Voluson E8彩色多普勒超声诊断仪(General Electric Healthcare, Milwaukee, WI, USA),配备三维容积探头,频率5~9 MHz,含VOCAL分析软件。

1.3 肌瘤标本获取

(1)腹腔镜下子宫切除术:体位选择膀胱截石位;放置举宫杯;于脐部下方做切口,构建气腹,于左右下腹麦氏点位置取切口,将器械置入腹腔内;超声刀分离肠管与子宫韧带,输卵管系膜及宫旁组织;电凝及切断双侧子宫血管,用单极电凝钩于穹窿部环切阴道穹窿,将子宫切除,标本自阴道取出;从离体后的子宫标本剥离出肌瘤。(2)腹腔镜下UM剥离术:体位、切口选择及器械置入同前。稀释后垂体后叶

素6u子宫肌注,单极电凝钩于子宫前壁肌瘤样肿物表面作一斜形切口,切开子宫浆膜层至肌瘤包膜,用爪钳提拉肌瘤瘤体,顿性分离肌层与肌瘤之间间隙,将肌瘤完整切除。

1.4 检查与测量方法

(1)2D-US测量:经腹或经阴道超声探头获得病灶最大纵切面和横切面,测量前后径(D_1)、上下径(D_2)、左右径(D_3),通过容积计算公式 $V=0.523 \times D_1 \times D_2 \times D_3$ (cm^3)得到体积(图1-a1、a2、b1、b2)。(2)3D-VOCAL测量:启动三维成像,调整感兴趣区域的取样框大小及扫查角度,动态扫查病灶,采集3D图像,根据病灶大小选择多个层面手动描记出病灶轮廓,点击完成,VOCAL分析软件自动形成三维重建图并得出病灶体积(图1-c1、c2、c3)。(3)手术后体积测量:先把肌瘤放进量杯里,加水漫过肌瘤记录量杯水的体积(V_1),肌瘤拿出后记录量杯里水的体积(V_2);如果 V_1 水位超过量杯的最大量程,则用针筒抽出超过量程的水并记录其体积(V_3),用阿基米德定律通过水道测量实际体积即肌瘤体积 $V=V_1-V_2$ 或肌瘤体积=量杯最大量程+ V_3-V_2 (图2)。(4)操作者间及操作者内测量:由两名5年以上相关经验的主治医师在同一天不同时间、不知情的情况下分别运用2D-US及3D-VOCAL测量UMV,其中1名医生在不同时间(间隔大于2 d)额外测量1次。

1.5 统计学方法

采用SPSS25.0和R语言(版本4.0.5)软件进行数据分析。定量资料用均数±标准差表示,两组间比较采用 t 检验,多组间比较采用方差分析。采用Bland-Altman分析、均差及95%一致性界限(LoA)和组内相关系数(ICC)及95%可信区间(CI)分别评价2D-US、3D-VOCAL与外科术后测量体积的一致性及重复性。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者一般基线资料比较

患者年龄26岁~51岁,平均年龄(44 ± 6.9)岁,其中15例患者行全子宫切除,30例患者行UM挖除术。肌瘤最大直径 ≥ 8 cm的患者18例,最大直径 < 8 cm的患者27例,两组患者构成比差异无统计学意义($P>0.05$)。

2.2 2D-US、3D-VOCAL与手术术后体积测值的可靠性分析

2D-US、3D-VOCAL与手术术后体积测值的Bland-Altman分析见图3、图4,结果显示见表1。3D-VOCAL与手术术后体积测值在各组的95%LoA均明显窄于2D-US,说明3D-VOCAL与手术术后体积在各组间的可靠性均明显优于2D-US。

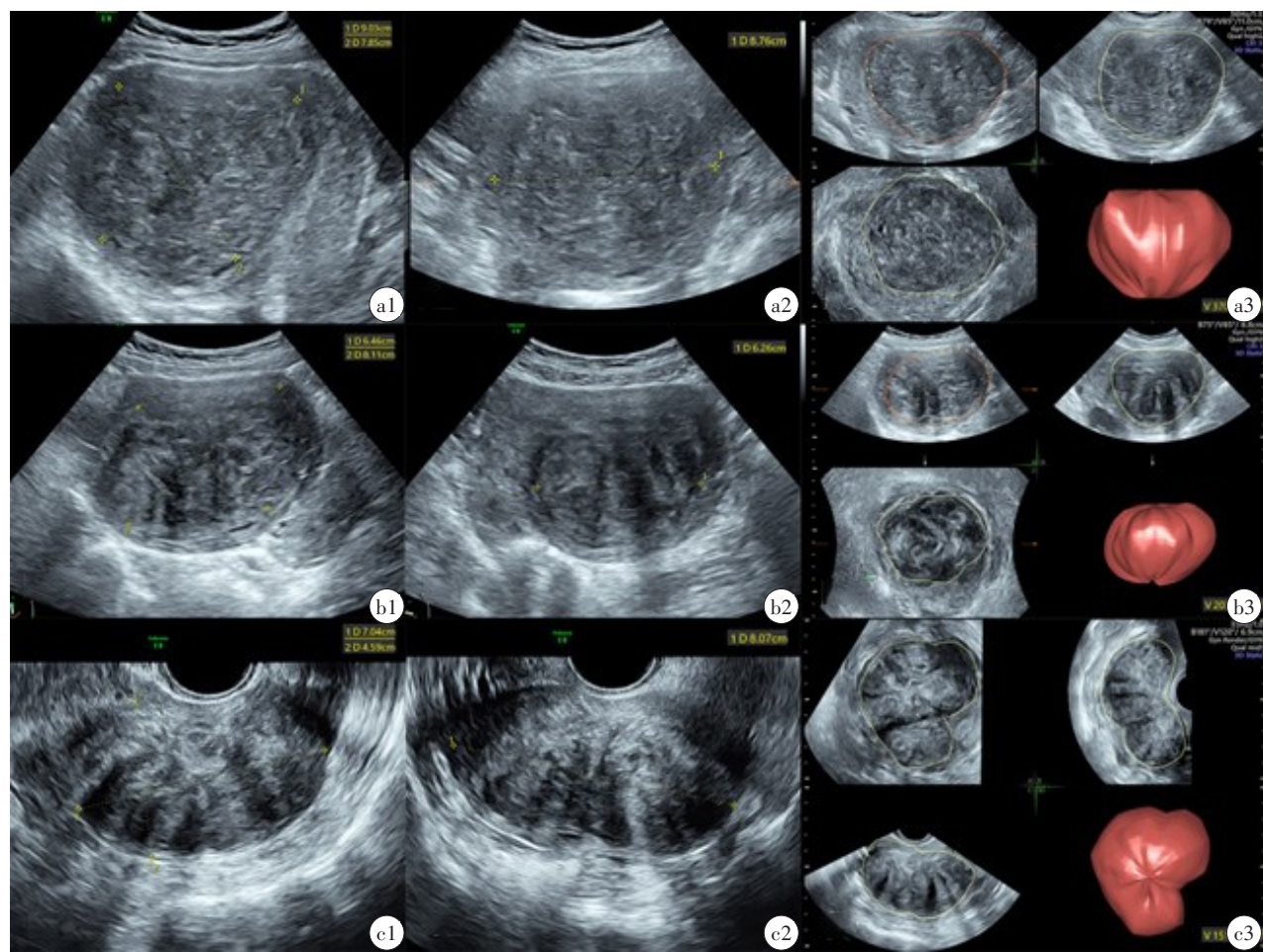


图1 3名患者的子宫肌瘤超声测量图

Figure 1 Ultrasound measurements of uterine myomas in 3 patients

图 a1、a2 为 2D-US 测量病灶的 3 条径线,图 a3 为 3D-VOCAL 测量体积图为 370.48 cm³,手术后实际体积为 360.00 cm³;图 b1、b2 为 2D-US 测量病灶的 3 条径线,根据公式计算体积为 172.48 cm³,图 b3 为 3D-VOCAL 测得体积为 203.75 cm³,手术后实际体积为 190.00 cm³;图 c1、c2 为 2D-US 测量病灶的 3 条径线,根据公式计算体积为 135.62 cm³,图 c3 为 3D-VOCAL 测得体积为 151.24 cm³,手术后实际体积为 170.00 cm³



图2 术后使用量杯测量肌瘤体积

Figure 2 Measuring uterine myoma volume with a measuring cup after surgery

图 a:将水漫过肌瘤,水位超出量杯最大量程;图 b:用针筒抽出量杯的水直至水位降至最大量程,记录此时针筒内水的体积 $V_3=25\text{ mL}$;图 c:取出肌瘤,记录量杯内水的体积 $V_2=600\text{ mL}$,计算出肌瘤体积 $V=1\ 000+25-600=425\text{ mL}$

2.3 2D-US、3D-VOCAL 与手术术后 UMV 测值的 ICC 分析

2D-US、3D-VOCAL 与手术术后 UMV 测值的 ICC 见表 1,以手术术后 UMV 为标准,3D-VOCAL 在各组的 ICC 均高于 2D-US (均 $P<0.001$),说明 3D-VOCAL 在 UMV 测量的一致性方面优于 2D-US,特别是对于最大径 $\geq 8\text{ cm}$ 的 UMV 测量。

2.4 2D-US、3D-VOCAL 与手术术后 UMV 测值比较

2D-US、3D-VOCAL 与手术术后测量 UMV 的结果见表 2。2D-US、3D-VOCAL、手术术后 3 组间 UMV 测值的体积在最大径 $<8\text{ cm}$ 差异无统计学意义 ($P>0.05$),而 3 组间在最大径 $\geq 8\text{ cm}$ 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。进一步两两分析显示,在最大径 $\geq 8\text{ cm}$ UMV 中,2D-US 与手术术后的 UMV 测值差异有统计学意义 ($P<0.05$),3D-VOCAL 与手术术后的 UMV 测值差异无统计学意义 ($P>0.05$)。

2.5 2D-US、3D-VOCAL 在不同观察者间的可靠性及一致性比较

两种测量方法在不同观察者间的 Bland-Altman 分

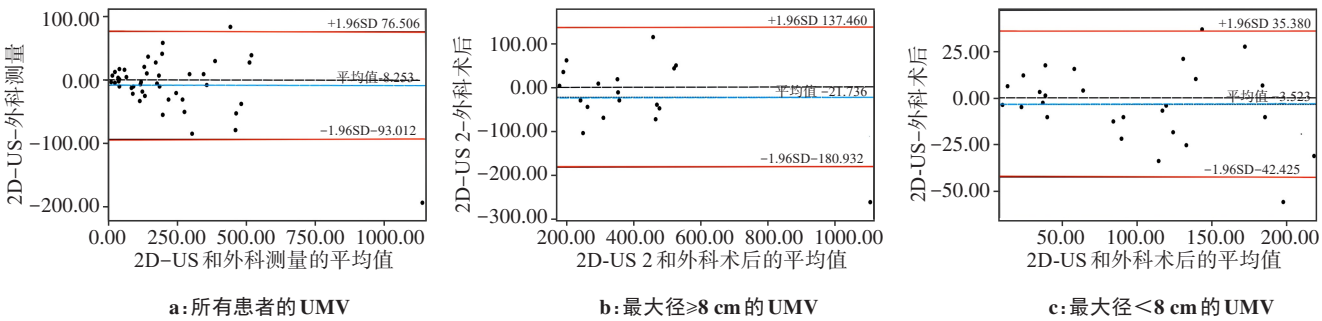


图 3 2D-US 与手术后体积测值的 Bland-Altman 分析
Figure 3 Bland-Altman analysis of 2D-US and postoperative measurement results

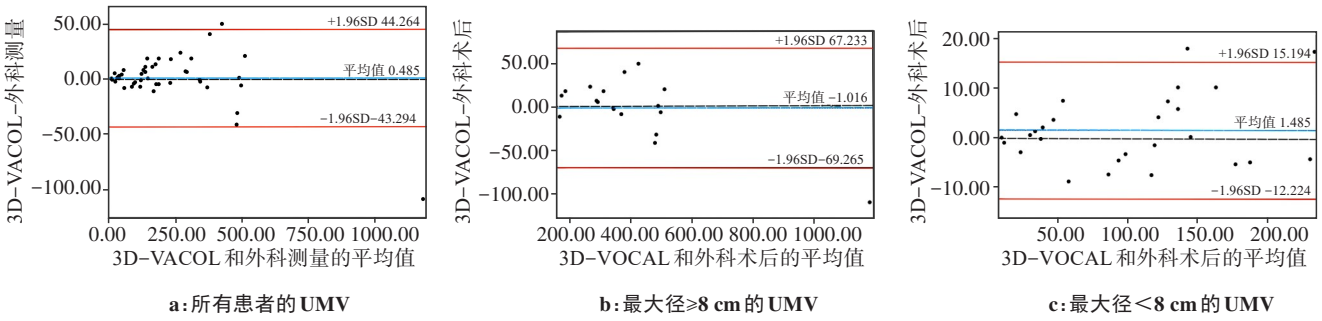


图 4 3D-VOCAL 与手术后体积测值的 Bland-Altman 分析
Figure 4 Bland-Altman analysis of 3D-VOCAL and postoperative measurement results

表 1 2D-US、3D-VOCAL 与手术后 UMV 测值的可靠性和一致性
Table 1 Reliability and consistency of 2D-US/3D-VOCAL with postoperative measurement results

变量	2D-US vs 手术后		3D-VOCAL vs 手术后	
	ICC (95%CI)	均差 (95%LoA)	ICC (95%CI)	均差 (95%LoA)
体积	0.976 (0.962~0.985)	-8.253 (-93.012~76.506)	0.992 (0.987~0.995)	0.485 (-43.294~44.264)
最大径大小				
≥8 cm	0.837 (-0.009~0.924)	-21.736 (-180.932~137.460)	0.989 (0.970~0.996)	-1.016 (-69.265~67.233)
<8 cm	0.950 (0.895~0.977)	-3.523 (-42.425~35.380)	0.994 (0.988~0.997)	1.485 (-12.224~15.194)

表 2 2D-US、3D-VOCAL 与手术后测量 UMV 比较 (cm³)
Table 2 Comparison of 2D-US, 3D-VOCAL and postoperative measurement results (cm³)

变量	2D-US	3D-VOCAL	手术后	P 值
体积	261.9±233.7	219.5±204.8	219.0±216.0	0.666
最大径大小				
≥8 cm	501.6±389.7	389.7±212.4	399.7±238.1 ^a	0.046
<8 cm	95.1±59.9	100.1±66.8	98.6±65.2	0.957

与 2D-US 测值 UMV 比较, ^a*P*<0.05

析见图 5、图 6, 结果见表 3。3D-VOCAL 不同观察者间的 UMV 测值在各组间的 95%LoA 均窄于 2D-US, 说明 3D-VOCAL 在不同观察者间的可靠性均优于 2D-US。

两种测量方法在不同观察者之间的 ICC 见表 3。结果显示 3D-VOCAL 在各组间的 ICC 均高于 2D-US (均 *P*<0.001), 说明 3D-VOCAL 在不同观察者间的一致性优于 2D-US, 尤其在最大径≥8 cm UMV 测量中, 对于最大径<8 cm UMV 测量中两者相当。

2.6 2D-US、3D-VOCAL 在观察者内部的可靠性和一致性

两种测量方法在观察者内部的 Bland-Altman 分析见图 7、图 8, 结果见表 4。结果表明, 3D-VOCAL 观察者内部的 UMV 测值在各组间的 95%LoA 均窄于 2D-US, 且在各组间的 ICC 均高于 2D-US (均 *P*<0.001), 说明 3D-VOCAL 在观察者内部的可靠性和一致性均优于 2D-US。

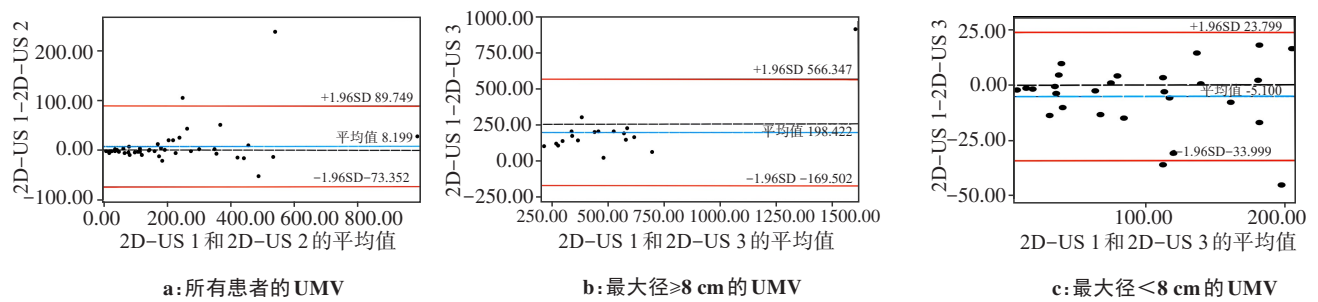


图5 2D-US在不同观察者间UMV测值的Bland–Altman分析

Figure 5 Bland–Altman analysis of interobserver agreement in 2D-US UMV measurements

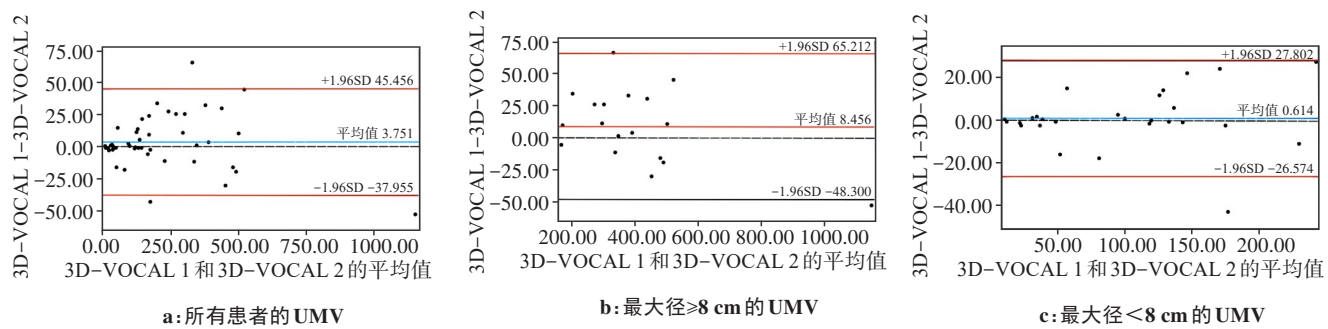


图6 3D-VOCAL在不同观察者间UMV测值的Bland–Altman分析

Figure 6 Bland–Altman analysis of interobserver agreement in 3D-VOCAL UMV measurements

表3 两种测量方法在不同观察者间的可靠性及一致性

Table 3 Reliability and consistency of the two measurement methods with interobserver

变量	2D-US vs 不同观察者		3D-VOCAL vs 不同观察者	
	ICC(95%CI)	均差(95%LoA)	ICC(95%CI)	均差(95%LoA)
体积	0.980(0.968~0.988)	8.199(-73.352~89.749)	0.992(0.987~0.995)	3.751(-37.955~45.456)
最大径大小				
≥8 cm	0.702(0.045~0.903)	198.422(-169.502~566.347)	0.991(0.976~0.991)	8.456(-48.300~65.212)
<8 cm	0.969(0.932~0.986)	-5.100(-33.999~23.799)	0.979(0.955~0.990)	0.614(-26.574~27.802)

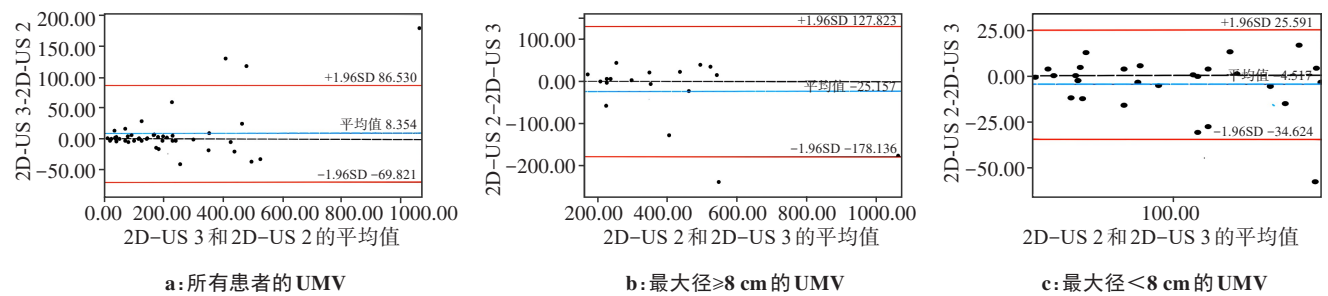


图7 2D-US在观察者内部UMV测值的Bland–Altman分析

Figure 7 Bland–Altman analysis of intraobserver agreement in 2D-US UMV measurements

3 讨论

UMV 对于 UM 保守治疗后的随访评估至关重要,2D-US 是目前临床上最广泛应用于 UMV 测量的影像学方法,但本研究发现 3D-VOCAL 对于 UMV 的测量优于 2D-US,是一种可精确测量 UMV 的可靠方法。在最大径≥8 cm UMV 中,2D-US 与术后体积测

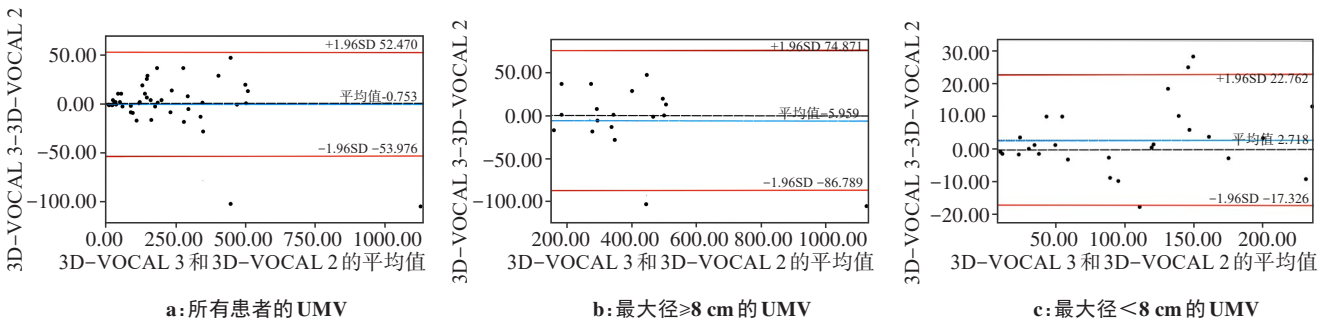


图8 3D-VOCAL在观察者内部UMV测值的Bland-Altman分析

Figure 8 Bland-Altman analysis of intraobserver agreement in 3D-VOCAL UMV measurements

表4 两种测量方法在观察者内部的可靠性及一致性

Table 4 Reliability and consistency of the two measurement methods with intraobserver

变量	2D-US vs 观察者内		3D-VOCAL vs 观察者内	
	ICC(95%CI)	均差(95%LoA)	ICC(95%CI)	均差(95%LoA)
体积	0.979(0.962~0.988)	8.354(-69.821~86.530)	0.991(0.984~0.995)	-0.753(-53.976~52.470)
最大径大小				
≥8 cm	0.930(0.826~0.973)	-25.157(-178.136~127.823)	0.982(0.954~0.993)	-5.959(-86.789~74.871)
<8 cm	0.967(0.928~0.985)	-4.517(-34.624~25.591)	0.988(0.974~0.994)	2.718(-17.326~22.762)

值差异有统计学意义($P<0.05$),而3D-VOCAL与术后体积测值差异无统计学意义($P>0.05$),且3D-VOCAL与术后体积测值的准确性及一致性均明显高于2D-US。Zivković等^[21]研究发现,2D-US与术后实际UMV对比,一致性低。研究表明,与2D-US相比,三维超声测量甲状腺体积更准确^[14,22]。肖莉玲等^[19]研究显示,三维超声测量乳腺癌病灶准确性(ICC=0.90)明显优于二维超声(ICC=0.81)。Zhang等^[5]研究发现3D-VOCAL联合超声造影对子宫良性病变微波消融术后无灌注区体积的测量明显优于2D-US,与增强MRI相当。这与本研究两种方法对于UMV的测量结果类似,分析原因可能是:(1)2D-US测量UMV通常通过测量病灶纵切面和横切面最大径,后采用椭球公式计算得出,而2D-US对于最大切面无明确标准,受操作者的主观因素影响较大;(2)椭球公式是通过假设一个椭球形状来估计物体的体积,不足之处是测量的物体要近似椭圆形,形状不规则或者病灶较大时误差较大;(3)3D-VOCAL在2D-US的基础上增加冠状面,可多角度多平面连续成像,受操作者主观影响较小;(4)3D-VOCAL通过多个平面进行手动或自动勾画病灶轮廓,通过计算机自动得出容积数据,不受病灶形状的影响。此外,3D-VOCAL技术初步描记测量后,还可以重复修正每个平面的初始轮廓,使其体积测值更精确。

本研究发现2D-US测量最大径≥8 cm UMV的可靠性低于最大径<8 cm UMV,而3D-VOCAL最大径UMV测量的可靠性均较好,特别是在最大径≥8 cm UMV中。关于病灶大小对2D-US测量准确性的影响,既往研究表明2D-US测量乳腺恶性肿瘤的准确性受病灶大小影响,病灶直径越大,测量准确性越低^[23-24],而三维超声测量不同大小乳腺癌的准确性明显优于二维超声^[19]。2D-US对较大病灶的测量准确性较差的原因可能是:超声波穿过较大病灶时易出现回声衰减,导致后方边界显示不清晰,故较难准确找到病灶的两个最大垂直切面,影响测量准确性。而3D-VOCAL是多平面立体成像,对于不同病灶大小测量准确性均更有优势。

本研究结果显示,3D-VOCAL在两名不同观察者之间和观察者内UMV测值均具有较高的一致性,且高于2D-US。同时,3D-VOCAL对不同病灶大小UMV测值在观察者间和观察者内也具有很高的一致性。研究发现,3D-VOCAL在测量胎儿颅内及胎儿胸腔等一些相对不规则器官的体积时,不同观察者间及观察者内的一致性均较高^[17,25],说明不同或同一观察者应用3D-VOCAL测量病灶体积时,不易受病灶形状、大小的影响。这是由于3D-VOCAL技术应用容积空间对比成像将3个正交切面图像最优化显示,多方位和多角度观察组织、脏器的形态与结构,

从而更加清晰、客观显示组织大小、空间解剖结构和边界。一项关于2D-US测量肝局灶性病变体积的研究发现,不同观察者间及观察者内的一致性几乎是完美的^[26],参与这项研究的观察者并不是从事腹部专业的超声科专家,而是仅仅接受5 h专业培训的超声科住院医师,这就说明3D-VOCAL受操作者的影响小,在经验较少的住院医师中也可以有很高的一致性,3D-VOCAL是可精确测量UMV的可靠方法。本研究的局限性有以下几个:(1)手术后因时间受限,无法马上对肌瘤体积进行测量,等手术结束后才进行测量,肌瘤组织可能因脱水等原因缩小而导致测值与实际测值存在一定程度误差;(2)本研究是一项单中心研究,样本量较少,有待于日后扩大样本量进一步证实其在UMV测量中的价值。

综上所述,对于术前UMV的测量,3D-VOCAL较常规2D-US准确性更高、重复性更好、对操作者依赖性小,不易受病灶大小及形态的影响,是可精确测量UMV的可靠方法,特别是对于体积较大的UM值得推广应用。

【参考文献】

- [1] Giuliani E, As-Sanie S, Marsh EE. Epidemiology and management of uterine fibroids[J]. Int J Gynaecol Obstet, 2020, 149(1): 3-9.
- [2] Elizabeth A. Management of symptomatic uterine leiomyomas: ACOG practice bulletin, number 228[J]. Obstet Gynecol, 2021, 137(6): e100-e115.
- [3] Stewart EA, Cookson CL, Gandolfo RA, et al. Epidemiology of uterine fibroids: a systematic review[J]. BJOG, 2017, 124(10): 1501-1512.
- [4] Kasum M. Fertility following myomectomy[J]. Acta Clin Croat, 2009, 48(2): 137-143.
- [5] Zhang JT, Lyu GR, Qiu JC, et al. Three-dimensional ultrasound VOCAL combined with contrast-enhanced ultrasound: an alternative to contrast-enhanced magnetic resonance imaging for evaluating ablation of benign uterine lesions[J]. Int J Hyperthermia, 2022, 39(1): 1360-1370.
- [6] Yang Y, Hao YL, Zhang J, et al. Ultrasound-guided percutaneous microwave ablation for subserosal uterine myomas[J]. J Minim Invasive Gynecol, 2019, 26(3): 544-550.
- [7] 超声引导经皮热消融治疗子宫肌瘤全国多中心研究协作组. 超声引导经皮微波(射频)消融治疗子宫肌瘤临床应用指南(2017)[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2018, 15(2): 90-94.
Multi-center Research collaboration Group of Percutaneous microwave/radiofrequency ablation for Uterine Leiomyoma in China. Percutaneous microwave/radiofrequency ablation for uterine leiomyoma clinical guideline (2017)[J]. Chinese Journal of Medical Ultrasound (Electronic Edition), 2018, 15(2): 90-94.
- [8] Saleh HS, Mahdy ER, Mowafy HE, et al. Uterine fibroid volume after myomectomy compared to pre-operative measurement by two and three dimensional ultrasound[J]. J Women's Health Care, 2018, 7(1): 1000419.
- [9] Luo W, Numata K, Morimoto M, et al. Role of sonazoid-enhanced three-dimensional ultrasonography in the evaluation of percutaneous radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma[J]. Eur J Radiol, 2010, 75(1): 91-97.
- [10] Mohan Y, Chiu VY, Lonky NM. Size matters in planning hysterectomy approach[J]. Womens Health (Lond), 2016, 12(4): 400-403.
- [11] Thrippleton MJ, Munro KI, McKillop G, et al. Unbiased and efficient estimation of the volume of the fibroid uterus using the Cavalieri method and magnetic resonance imaging[J]. Reprod Sci, 2015, 22(1): 15-22.
- [12] Quinn SD, Vedelago J, Kashef E, et al. Measurement of uterine fibroid volume: a comparative accuracy and validation of methods study[J]. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol, 2013, 171(1): 161-165.
- [13] Riccabona M, Nelson TR, Pretorius DH, et al. Distance and volume measurement using three-dimensional ultrasonography [J]. J Ultrasound Med, 1995, 14(12): 881-886.
- [14] Lyschchik A, Drozd V, Schloegl S, et al. Three-dimensional ultrasonography for volume measurement of thyroid nodules in children[J]. J Ultrasound Med, 2004, 23(2): 247-254.
- [15] Chen XK, Hu SY, Lv GR. Application of 2- and 3-dimensional sonography using the virtual organ computer-aided analysis technique to measure the hippocampal formation and its correlation with corrected gestational age in neonates[J]. J Ultrasound Med, 2018, 37(3): 683-688.
- [16] Ahmed AI, Aldhaheri SR, Rodriguez-Kovacs J, et al. Sonographic measurement of cervical volume in pregnant women at high risk of preterm birth using a geometric formula for a frustum versus 3-dimensional automated virtual organ computer-aided analysis[J]. J Ultrasound Med, 2017, 36(11): 2209-2217.
- [17] Albers ME, Buisman ET, Kahn RS, et al. Intra- and interobserver agreement for fetal cerebral measurements in 3D-ultrasonography[J]. Hum Brain Mapp, 2018, 39(8): 3277-3284.
- [18] 郭勇, 郝晓艳, 商建峰, 等. 三维超声体积自动测量技术测量先心病胎儿肺体积准确性的研究[J]. 中国超声医学杂志, 2019, 35(6): 531-534.
Guo Y, Hao XY, Shang JF, et al. Accuracy of fetal lung volume estimation by three-dimensional ultrasound virtual organ computer-aided analysis technique in fetuses with congenital heart disease[J]. Chinese Journal of Ultrasound in Medicine, 2019, 35(6): 531-534.
- [19] 肖莉玲, 李颖嘉, 马菲, 等. 术前二维灰阶超声、三维容积超声及弹性成像对乳腺癌大小测量的准确性及其影响因素研究[J]. 中华超声影像学杂志, 2021, 30(5): 414-419.
Xiao LL, Li YJ, Ma F, et al. Preoperative assessment of the accuracy of breast cancer size measured by two-dimensional ultrasound, three-dimensional volume ultrasound and ultrasound strain elastography and its influencing factors[J]. Chinese Journal of Ultrasonography, 2021, 30(5): 414-419.
- [20] 贺惠琴, 肖炜炜, 舒爽, 等. 三维超声VOCAL技术监测胎儿后颅窝池容积的临床研究[J]. 重庆医学, 2020, 49(19): 3240-3243.
He HQ, Xiao YW, Shu S, et al. Clinical study of three-dimensional ultrasound VOCAL technology in monitoring the volume of fetal posterior fossa cistern[J]. Chongqing Medicine, 2020, 49(19): 3240-3243.
- [21] Zivković N, Zivković K, Despot A, et al. Measuring the volume of uterine fibroids using 2- and 3-dimensional ultrasound and comparison with histopathology[J]. Acta Clin Croat, 2012, 51(4): 579-589.
- [22] 黄丽丽, 姜珏, 周琦, 等. 三维超声容积自动测量(VOCAL)技术与二维超声测量甲状腺体积的对比研究[J]. 中华内分泌外科杂志, 2019, 13(1): 22-25.
Huang LL, Jiang J, Zhou Q, et al. Comparison between the three-dimensional ultrasound VOCAL technique and two-dimensional ultrasonic in measurement of thyroid volume[J]. Chinese Journal of Endocrine Surgery, 2019, 13(1): 22-25.
- [23] Heusinger K, Löhberg C, Lux MP, et al. Assessment of breast cancer tumor size depends on method, histopathology and tumor size itself [J]. Breast Cancer Res Treat, 2005, 94(1): 17-23.
- [24] Ko KH, Son EJ, Kim IW. Accuracy of ultrasound for preoperative assessment of tumor size in patients with newly diagnosed breast cancer: is it affected by the background parenchymal echotexture?[J]. J Ultrasound Med, 2018, 37(11): 2621-2630.
- [25] Lian XL, Xu ZH, Zheng LP, et al. Reference range of fetal thorax using two-dimensional and three-dimensional ultrasound VOCAL technique and application in fetal thoracic malformations [J]. BMC Med Imaging, 2021, 21(1): 34.
- [26] Bartolotta TV, Sidoti Pinto A, Cannella R, et al. Focal liver lesions: interobserver and intraobserver agreement of three-dimensional contrast-enhanced ultrasound-assisted volume measurements [J]. Ultrasonography, 2021, 40(3): 333-341.

(编辑:陈丽霞)