

## 胸阻抗法无创血流动力学监测在宫腔镜子宫肌瘤切除术中的应用

陈佳伟<sup>1</sup> 张宏伟<sup>2</sup> 刘霞琴<sup>3</sup> 黄绍强<sup>1</sup> 焦静<sup>1△</sup>

(<sup>1</sup>复旦大学附属妇产科医院麻醉科, <sup>2</sup>宫颈疾病诊治中心, <sup>3</sup>门诊手术室 上海 200011)

**【摘要】** 目的 探讨全麻下宫腔镜子宫肌瘤切除术中使用胸阻抗法无创血流动力学监测评估膨宫液丢失量的价值,为临床监测膨宫液丢失量提供新的方法和参考依据。方法 选取2024年5—12月期间因子宫肌瘤在复旦大学附属妇产科医院进行全身麻醉下宫腔镜子宫肌瘤切除术的患者。术中采用胸阻抗法无创血流动力学监测,记录患者入室后( $T_0$ )、麻醉诱导后手术开始时( $T_1$ )和手术结束时( $T_2$ )的心率(heart rate, HR)、心排量(cardiac output, CO)、心指数(cardiac index, CI)、每搏变异率(stroke volume variation, SVV)和胸腔液体水平(thoracic fluid content, TFC)等指标,计算HR变化值( $\Delta HR = HR_2 - HR_0$ )、CO变化值( $\Delta CO = CO_2 - CO_0$ )和TFC变化值( $\Delta TFC = TFC_2 - TFC_0$ )。结果 根据手术结束时膨宫液丢失量是否 $\geq 2500$  mL将患者分为MORE组(8例)和LESS组(36例)。与LESS组相比, MORE组患者手术时间更长、出血更多、膨宫液丢失更多( $P$ 均 $< 0.05$ ),且 $T_2$ 时点的HR<sub>2</sub>、 $\Delta HR$ 、CO<sub>2</sub>、TFC<sub>2</sub>及 $\Delta TFC$ 均显著高于LESS组( $P$ 均 $< 0.05$ )。相关性分析显示,膨宫液丢失量与TFC<sub>2</sub>和 $\Delta TFC$ 呈正相关( $P$ 均 $< 0.05$ ),而与 $\Delta HR$ 和CO<sub>2</sub>无相关性。受试者工作特征曲线分析表明, $\Delta TFC$ 诊断膨宫液丢失量 $\geq 2500$  mL的敏感度为100%,特异度为83.3%,临界值为8.2。结论 胸阻抗法无创血流动力学监测的TFC和 $\Delta TFC$ 与宫腔镜子宫肌瘤切除术中膨宫液丢失量呈良好相关性,使用 $\Delta TFC$ 诊断膨宫液丢失量 $\geq 2500$  mL具有良好的敏感度和特异度,可为临床中止手术时机的判断提供参考依据。

**【关键词】** 胸阻抗法; 胸腔液体水平(TFC); 宫腔镜; 子宫肌瘤切除术; 膨宫液丢失量

**【中图分类号】** R731.4 **【文献标志码】** A **doi:** 10.3969/j.issn.1672-8467.2026.02.015

## Application of thoracic bioimpedance-based non-invasive hemodynamic monitoring in hysteroscopic myomectomy

CHEN Jia-wei<sup>1</sup>, ZHANG Hong-wei<sup>2</sup>, LIU Xia-qin<sup>3</sup>, HUANG Shao-qiang<sup>1</sup>, JIAO Jing<sup>1△</sup>

(<sup>1</sup>Department of Anesthesiology, <sup>2</sup>Center for Diagnosis and Treatment of Cervical Diseases, <sup>3</sup>Outpatient Operating Room, Obstetrics and Gynecology Hospital, Fudan University, Shanghai 200011, China)

**【Abstract】** **Objective** To investigate the value of thoracic bioimpedance-based non-invasive hemodynamic monitoring in assessing intraoperative distension fluid loss during hysteroscopic myomectomy under general anesthesia, and to provide a new method and reference for clinical monitoring of distension fluid loss. **Methods** Patients with uterine fibroids who underwent hysteroscopic myomectomy under general anesthesia in Obstetrics and Gynecology Hospital, Fudan University from May to Dec 2024 were enrolled. Thoracic bioimpedance-based non-invasive hemodynamic monitoring was used to monitor heart rate (HR), cardiac output (CO), cardiac index (CI), stroke volume variation (SVV), and thoracic fluid content (TFC) at three time points: after entering the operating room ( $T_0$ ),

<sup>△</sup>Corresponding author E-mail: jjjiaojing@126.com

网络首发时间:2026-03-09 15:44:44 网络首发地址:https://link.cnki.net/urlid/31.1885.R.20260309.0956.008

after anesthesia induction and before surgery ( $T_1$ ), and at the end of surgery ( $T_2$ ). The changes in HR ( $\Delta HR = HR_2 - HR_0$ ), CO ( $\Delta CO = CO_2 - CO_0$ ) and TFC ( $\Delta TFC = TFC_2 - TFC_0$ ) were calculated. **Results** Patients were divided into two groups based on whether the distension fluid loss at the end of surgery was  $\geq 2\ 500$  mL: MORE group (8 cases) and LESS group (36 cases). Compared with the LESS group, the MORE group had longer operation time, more blood loss, and greater distension fluid loss (all  $P < 0.05$ ). The  $HR_2$ ,  $\Delta HR$ ,  $CO_2$ ,  $TFC_2$  and  $\Delta TFC$  at  $T_2$  in the MORE group were significantly higher than those in the LESS group (all  $P < 0.05$ ). Correlation analysis showed that the distension fluid deficit was positively correlated with  $TFC_2$  and  $\Delta TFC$  (all  $P < 0.05$ ), but not with  $\Delta HR$  or  $CO_2$ . ROC curve analysis indicated that  $\Delta TFC$  had a sensitivity of 100% and a specificity of 83.3% for diagnosing a distension fluid loss  $\geq 2\ 500$  mL, with a cutoff value of 8.2. **Conclusion** TFC and  $\Delta TFC$  measured by thoracic bioimpedance-based non-invasive hemodynamic monitoring are well correlated with the distension fluid loss during hysteroscopic myomectomy.  $\Delta TFC$  has good sensitivity and specificity for diagnosing a distension fluid loss  $\geq 2\ 500$  mL, providing a useful reference for determining the appropriate time of surgical termination.

**【Key words】** thoracic bioimpedance; thoracic fluid content (TFC); hysteroscopy; myomectomy; distension fluid loss

子宫平滑肌瘤是育龄期女性最常见的妇科良性肿瘤,当子宫平滑肌瘤位于黏膜下或肌壁间时可通过宫腔镜手术进行切除<sup>[1]</sup>。但此类手术,特别是通过宫腔镜进行肌壁间肌瘤切除时难度较大,手术时间长,术中需要使用大量膨宫液。术中膨宫液会通过子宫内膜肌层开放的静脉窦及腹膜等途径大量吸收进入人体,引起容量超负荷和电解质紊乱,称为膨宫液过量吸收-体液超负荷<sup>[2]</sup>。近年来,随着采用生理盐水作为膨宫液,低钠血症已较少发生,但膨宫液吸收过量仍有体液超负荷的风险,主要依赖于密切监测膨宫液丢失量来预防<sup>[3]</sup>。然而目前膨宫液丢失量监测操作繁琐,需要频繁检查膨宫液收集袋中膨宫液流出量,同时流出的膨宫液还会被手术铺巾吸收,造成膨宫液丢失量的监测不准确不及时,临床上容易被忽略<sup>[4]</sup>。

基于胸阻抗法的无创血流动力学监测技术,目前已被广泛应用于急诊和危重症工作中<sup>[5]</sup>,可以持续准确监测围术期患者体内血容量变化。其中,胸腔液体水平(thoracic fluid content, TFC)是指胸腔内的液体容量,包括血管内、肺泡内和其他组织间隙的液体,反映心脏的前负荷和肺水肿状态<sup>[5]</sup>。该技术的使用,理论上可以更方便且准确连续监测宫腔镜子宫肌瘤患者术中膨宫液吸收和容量负荷情况。但目前暂时缺乏关于胸阻抗无创血流动力学

监测在宫腔镜子宫肌瘤手术中应用的研究。

本研究拟评价胸阻抗无创血流动力学监测宫腔镜手术中膨宫液丢失量的准确性,并对相关指标临床应用的参考值进行计算。

## 资料和方法

**一般资料** 选择2024年5—12月期间因子宫肌瘤入院进行全身麻醉下行宫腔镜子宫肌瘤切除术患者,ASA分级I~II级,年龄18~65岁。排除标准: BMI  $> 35$  kg/m<sup>2</sup>; 妊娠或哺乳期; 既往有异常手术麻醉史; 拒绝参与本研究。根据2023年《中国宫腔镜诊断与手术临床实践指南》,对于生理盐水膨宫液,丢失量一般以2 500 mL为界,超过该数值时应积极采取相关的预防措施、严密监测心肺功能并争取在短时间内结束手术<sup>[2]</sup>。因此,本研究根据患者手术结束时膨宫液丢失量是否 $\geq 2\ 500$  mL,分为膨宫液丢失量 $\geq 2\ 500$  mL组(MORE组)和膨宫液丢失量 $< 2\ 500$  mL组(LESS组)。本研究获得复旦大学附属妇产科医院伦理委员会批准(批准号: 2024-04-F1),所有患者均签署临床研究知情同意书。

**麻醉方法** 患者入室后常规监测血压、血氧饱和度、心电监护。此外所有患者术中接受胸阻抗无创血流动力学监测,监测的血流动力学参

数包括心率(heart rate, HR)、心排量(cardiac output, CO)、心指数(cardiac index, CI)、每搏变异率(stroke volume variation, SVV)和TFC。所有患者都接受丙泊酚2~2.5 mg/kg、舒芬太尼20~25  $\mu\text{g}$ 和琥珀胆碱1~1.5 mg/kg麻醉诱导。待肌肉松弛药起效后经口插入7#气管导管,并行机械通气,维持呼气末二氧化碳在35~40 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa,下同)。术中丙泊酚6~8  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 与瑞芬太尼0.15~0.25  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 维持,按需追加顺式阿曲库铵维持肌肉松弛。术中补液使用乳酸林格氏液,由主麻医师决定输注量和速度。手术结束,停用丙泊酚和瑞芬太尼,由主麻医师决定是否留置导尿和使用利尿剂。拔除气管导管后,送入复苏室。

**膨宫装置和膨宫液管理** 术中由专人看管膨宫装置和膨宫液,并记录膨宫液流出量。初始膨宫压为22 kPa,当宫腔镜手术视野受限或不清晰时,手术医师可增加膨宫压,以达到满意手术视野。膨宫液使用生理盐水,所有膨宫液流出后收集至专用收集袋中,如有流到收集袋外的膨宫液,将用吸水的敷料进行吸收。在手术结束时,由专人估算膨宫液丢失量。膨宫液丢失量=膨宫液输入量-膨宫液流出量。膨宫液流出量包括收集袋内的膨宫液和收集袋外的膨宫液。后者通过对吸水敷料称重测量而得。

**观察指标** 记录患者入室后( $T_0$ )、麻醉诱导后手术开始时( $T_1$ )和手术结束时( $T_2$ )的心率( $\text{HR}_0$ 、 $\text{HR}_1$ 、 $\text{HR}_2$ )、心排量( $\text{CO}_0$ 、 $\text{CO}_1$ 、 $\text{CO}_2$ )、心指数( $\text{CI}_0$ 、 $\text{CI}_1$ 、 $\text{CI}_2$ )、每搏变异率( $\text{SVV}_0$ 、 $\text{SVV}_1$ 、 $\text{SVV}_2$ )和胸腔液体水平( $\text{TFC}_0$ 、 $\text{TFC}_1$ 、 $\text{TFC}_2$ )等指标,计算HR变化值( $\Delta\text{HR}=\text{HR}_2-\text{HR}_0$ )、CO变化值( $\Delta\text{CO}=\text{CO}_2-\text{CO}_0$ )和TFC变化值( $\Delta\text{TFC}=\text{TFC}_2-\text{TFC}_0$ )。

记录患者年龄、身高、体重、BMI、肌瘤最大直径、肌瘤分型、手术时间、术中膨宫压、估计出血量、手术时间、术中补液量和膨宫液丢失量。

**统计学方法** 采用SPSS 29.0软件进行分析。呈正态分布的计量资料使用 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间比较采用单因素方差分析,不同组之间采用独立 $t$ 检验;呈非正态分布的计量资料以中位数 $M(P_{25}, P_{75})$ 表述,组间比较采用Mann-Whitney U检验。计数资料以例数(%)表示,组间采用 $\chi^2$ 检验,等级资料比较采用秩和检验。相关性分析采用Spearman相关性或Pearson相关性分析;应用ROC曲线来确定 $\Delta\text{TFC}$ 的最佳临界值及得出AUC。以ROC曲线评价

$\Delta\text{TFC}$ 的预测效应并计算约登指数,取约登指数最大切点作为其诊断的截断值,并计算其预测的灵敏度和特异度。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

根据预实验结果,手术结束时膨宫液丢失量 $\geq 2\ 500\ \text{mL}$ 约占所有宫腔镜子宫肌瘤手术的20%。假设 $\Delta\text{TFC}$ 与术中膨宫液丢失量的Pearson相关系数至少为0.5,  $\alpha=0.05$ ,  $\beta=0.1$ ,使用PASS16.0软件计算,需要41名患者。为防止退出和数据丢失,预计共纳入44名患者。

## 结 果

**基本情况** 符合纳排标准的患者共44例。所有患者均顺利完成手术,无人退出研究。其中MORE组8例,LESS组36例。与LESS组患者相比, MORE组患者手术时间更长、出血更多,膨宫液丢失也更多,差异有统计学意义( $P$ 均 $<0.05$ )。两组患者的年龄、身高、体重等其他基本临床情况见表1。

**两组患者各时间点血流动力学监测指标比较** MORE组患者的 $\text{CO}_0$ 和 $\text{CI}_0$ 值显著高于LESS组,差异有统计学意义( $P$ 均 $<0.05$ ),但 $T_0$ 和 $T_1$ 时其余各血流动力学监测指标在两组之间的差异无统计学意义。在 $T_2$ 时, MORE组患者的 $\text{HR}_2$ 、 $\Delta\text{HR}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{TFC}_2$ 以及 $\Delta\text{TFC}$ 显著高于LESS组( $P$ 均 $<0.05$ )。此外,两组患者 $\Delta\text{CO}$ 差异无统计学意义。详见表2。

**相关性分析** 膨宫液丢失量与 $\text{TFC}_2$ 和 $\Delta\text{TFC}$ 呈正相关( $P$ 均 $<0.05$ ),与 $\Delta\text{HR}$ 和 $\text{CO}_2$ 无相关性,  $\Delta\text{TFC}$ 相关性最好,详见表3。我们对膨宫液丢失量与 $T_2$ 时的 $\text{CO}_2$ 、 $\text{TFC}_2$ 以及 $\Delta\text{TFC}$ 之间的相关性进行了分析。采用Pearson相关分析,发现膨宫液丢失量与 $\text{TFC}_2$ 的相关系数 $r$ 为0.568,  $P<0.001$ ;与 $\Delta\text{TFC}$ 的相关系数 $r$ 为0.811,  $P<0.001$ ,表明膨宫液丢失量与 $\text{TFC}_2$ 和 $\Delta\text{TFC}$ 之间存在非常强的正相关关系;而与 $\Delta\text{HR}$ 的相关系数 $r$ 为0.238,  $P=0.12$ ,未达到显著性水平。采用Spearman相关分析,膨宫液丢失量与 $\text{CO}_2$ (单位:L/min)的相关系数 $r$ 为0.13,  $P=0.41$ ,同样未显示出显著的相关性。

**受试者工作特征曲线分析**  $\Delta\text{TFC}$ 诊断膨宫液丢失量 $\geq 2\ 500\ \text{mL}$ 、 $2\ 000\ \text{mL}$ 和 $1\ 500\ \text{mL}$ 的敏感度AUC分别为0.96、0.91和0.91,临界值为8.2、7.1和5.9。详见图1。

表1 宫腔镜下子宫肌瘤切除术患者基本临床情况

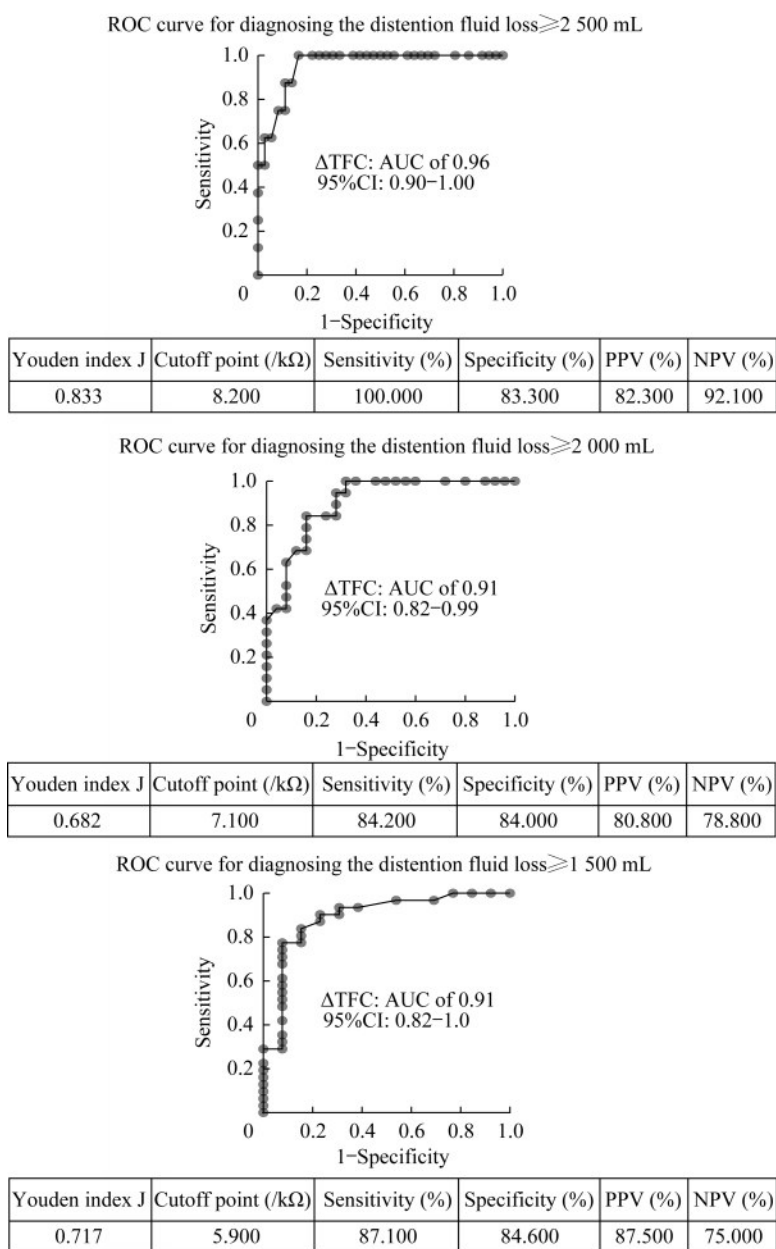
Tab 1 Baseline clinical characteristics of patients undergoing hysteroscopic myomectomy for uterine fibroids

Parameters	[ $\bar{x} \pm s$ , M(P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> ) or n(%)]			
	MORE (n=8)	LESS (n=36)	P	Statistics value
Age (y)	35.5 ± 6.2	40.6 ± 7.0	0.066	t=-1.9
Weight (kg)	56.8 ± 7.3	60.7 ± 8.2	0.220	t=-1.2
Height (cm)	163.1 ± 4.7	161.1 ± 3.8	0.200	t=1.3
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.3 ± 1.7	23.4 ± 3.0	0.063	t=-1.9
Diameter of the myoma (cm)	4.7 ± 1.1	4.2 ± 1.0	0.283	t=1.1
Classification of the myoma			0.216	$\chi^2=3.1$
Type 2	2 (25.0)	20 (55.6)		
Type 3	5 (62.5)	11 (30.6)		
Type 4	1 (12.5)	5 (13.9)		
Duration of operation (min)	61.3 ± 15.5	46.6 ± 16.2	<b>0.025</b>	t=2.3
Distention pressure (kPa)	24.8 ± 1.5	24.9 ± 1.3	0.797	t=-0.26
Estimated blood loss (mL)	400 (200, 475)	175 (50, 200)	<b>0.003</b>	Z=-0.69
Intraoperative fluid infusion volume (mL)	125 (100, 200)	175 (100, 250)	0.490	Z=-3.0
Distention fluid deficit (mL)	3250.0 ± 509.9	1502.8 ± 565.9	<b>&lt;0.001</b>	t=8.0

表2 宫腔镜下子宫肌瘤切除术患者术中各个时间点血流动力学指标的比较

Tab 2 Comparison of intraoperative Hemodynamic monitoring parameters in patients undergoing hysteroscopic myomectomy

Parameters	[ $\bar{x} \pm s$ or M(P <sub>25</sub> , P <sub>75</sub> )]			
	MORE(n=8)	LESS(n=36)	P	Statistics value
At T <sub>0</sub>				
HR <sub>0</sub> (bpm)	80.5 ± 14.7	81.4 ± 12.6	0.850	t=-0.18
CO <sub>0</sub> (L/min)	7.3 (6.5, 8.0)	6.3 (5.7, 6.9)	<b>0.044</b>	Z=-2.0
CI <sub>0</sub> (L·min <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> )	4.5 (4.1, 4.9)	3.7 (3.6, 4.1)	<b>0.012</b>	Z=-2.5
SVV <sub>0</sub> (%)	8.5 ± 4.6	9.9 ± 2.9	0.250	t=-1.2
TFC <sub>0</sub> (/kΩ)	39.7 ± 5.7	38.9 ± 4.4	0.660	t=0.45
At T <sub>1</sub>				
HR <sub>1</sub> (bpm)	78.1 ± 9.3	82.2 ± 13.2	0.410	t=-0.83
CO <sub>1</sub> (L/min)	6.2(5.3, 6.5)	5.9 (4.7, 6.4)	0.630	Z=-0.49
CI <sub>1</sub> (L·min <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> )	3.8 (3.6, 4.0)	3.6 (3.0, 3.9)	0.100	Z=-1.7
SVV <sub>1</sub> (%)	7.9 ± 4.6	9.6 ± 3.3	0.210	t=-1.3
TFC <sub>1</sub> (/kΩ)	40.5 ± 5.9	39.4 ± 4.7	0.570	t=0.57
At T <sub>2</sub>				
HR <sub>2</sub> (bpm)	89.9 ± 9.7	78.4 ± 12.9	<b>0.022</b>	t=2.4
CO <sub>2</sub> (L/min)	7.6 (6.4, 10.2)	5.7 (4.9, 7.2)	<b>0.040</b>	Z=-2.1
CI <sub>2</sub> (L·min <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> )	4.7 (4.1, 6.0)	3.6 (3.1, 4.3)	0.260	Z=-2.2
SVV <sub>2</sub> (%)	7.9 ± 4.6	9.6 ± 2.9	0.210	t=-1.3
TFC <sub>2</sub> (/kΩ)	53.7 ± 8.9	44.9 ± 5.3	<b>&lt;0.001</b>	t=3.7
ΔHR (bpm)	9.4 ± 9.9	-3.1 ± 10.0	<b>0.003</b>	t=3.2
ΔCO (L/min)	0.4 (-0.3, 1.7)	-0.6 (-1.0, 0.9)	0.160	Z=-1.4
ΔTFC (/kΩ)	14.0 ± 4.7	5.9 ± 3.2	<b>&lt;0.001</b>	t=6.0



ROC: Receiver operating characteristic; AUC: Area under the curve; CI: Confidence interval; PPV: Positive predictive power; NPV: Negative predictive power.

图1  $\Delta TFC$  诊断膨宫液丢失量  $\geq 1500$  mL、 $2000$  mL 和  $2500$  mL 的受试者工作特征曲线

Fig 1 ROC curve of  $\Delta TFC$  for diagnosing Distention fluid loss  $\geq 1500$  mL,  $2000$  mL and  $2500$  mL

## 讨 论

膨宫液过量吸收导致的体液超负荷是宫腔镜最严重的并发症之一,与手术时间、创面大小和膨宫压力及膨宫液丢失量成正相关<sup>[2]</sup>。精确、及时的监测膨宫液丢失量和适时中止手术,是预防此类并发症的核心措施<sup>[3]</sup>。传统的膨宫液丢失量监测,依赖于手术室护士密切监测膨宫液输入量和流出量。

然而,临床上膨宫液流出量收集的准确性需要收集袋的紧密贴合,操作有赖于医师护士的经验。一旦发生膨宫液漏出收集袋,往往不能精确计算膨宫液流出量和丢失量<sup>[6]</sup>。同时,由于观察不方便,膨宫液丢失量很难做到实时记录。

胸阻抗法无创血流动力学监测通过监测心动周期中胸部电阻阻值的变化,经过转换而获取相关血流动力学指标如CO、SV、SVV、TFC等。该方法具有无创、简便、实时、可重复性高等优点<sup>[5]</sup>。尽管

该方法测得的CO因准确度和精确度原因无法替代有创血流动力学监测方法,且监测容易受严重解剖学分流、肢体活动、腹腔高压等情况影响<sup>[7]</sup>,但TFC能反映心脏的前负荷和肺水肿情况<sup>[8]</sup>,动态监测TFC变化趋势更可准确评估患者的容量状态。Kossari等<sup>[9]</sup>与张俊霞等<sup>[10]</sup>在血液透析患者的研究中,发现TFC和 $\Delta$ TFC与血透患者的容量状态呈良好的相关性。在Fontan手术患者的研究中,Yoon等<sup>[11]</sup>发现了类似的结果,TFC变化值与患者体重增加、体重增加百分比和术中液体平衡呈正相关。在宫腔镜手术中,患者的容量变化主要来源于术中丢失的膨宫液经伤口吸收入体循环。在本研究中,TFC和 $\Delta$ TFC与膨宫液丢失量呈现良好的相关性,这表明对TFC的监测可以作为膨宫液丢失量计算的有效判断依据,并且适用于宫腔镜手术,尤其是宫腔镜子宫肌瘤切除术等长时间宫腔镜四级手术。

预防宫腔镜膨宫液过量吸收导致的体液超负荷的另一重要措施是在膨宫液丢失量达到2 500 mL时适时中止手术。根据2023年《中国宫腔镜诊断与手术临床实践指南》,对于生理盐水膨宫液,丢失量一般以2 500 mL为界,超过该数值时应积极采取相关的预防措施、严密监测心肺功能并争取在短时间内结束手术<sup>[2]</sup>。因此,本研究采用膨宫液丢失量 $\geq 2 500$  mL作为ROC曲线诊断标准,以期为临床上判断中止手术时机提供参考。本研究发现, $\Delta$ TFC可用于诊断膨宫液丢失量 $\geq 2 500$  mL,AUC为0.96,临界值为8.2,敏感度和特异度分别可达100%和83.3%。为进一步探索早期预警价值,本研究额外分析了 $\Delta$ TFC对较低阈值( $\geq 1 500$  mL和 $\geq 2 000$  mL)的预测能力。结果显示, $\Delta$ TFC对 $\geq 2 000$  mL和 $\geq 1 500$  mL的AUC均为0.91,提示其在更早阶段仍具有可靠的预警效能。

在本研究中,我们发现两组患者在 $T_0$ 时CO、CI存在显著差异,这可能与多种因素有关。一方面,两组患者的手术复杂程度不同,MORE组患者的手术时间更长、出血更多,这可能意味着这些患者在术前就存在一定程度的贫血或基础心功能相对较弱,从而导致其CO和CI的代偿性更高。另一方面,样本量的限制也可能导致这种差异的出现。由于本研究纳入的样本量相对较小,尤其是MORE组仅8例,这种小样本情况下可能会放大个体差异,而在统计分析中表现出显著性差异。尽管两组患

者 $T_0$ 时存在差异,但两组在麻醉诱导后 $T_1$ 时这种差异消失,说明麻醉干预可能平衡了基线差异。此外,两组患者在术中出血量等指标上也存在显著差异,这同样可能受到样本量和手术复杂程度的影响。

本研究有一定的局限性。首先,仅研究一种手术方式,因此胸阻抗法无创血流动力学监测在其他宫腔镜四级手术中的适用性尚需进一步验证。其次,尽管TFC和 $\Delta$ TFC与膨宫液丢失量显示出良好的相关性,但在临床实践中,评估患者的容量状态和手术风险时,还需结合其他监测指标和临床经验,以获得更全面的评估。此外,尽管本研究的样本量基于主要假设计算得出,但MORE组样本量较小( $n=8$ ),可能影响组间比较结果的稳定性,因此,未来需要更大样本量来验证本研究的发现。最后,由于宫腔镜手术通常为短小手术,本研究未记录尿量数据,未来在预计手术时间较长或膨宫液丢失量较多的情况下,可以考虑监测尿量,以更全面地评估患者的容量状态。

综上所述,胸阻抗法无创血流动力学监测的TFC和TFC变化量与宫腔镜子宫肌瘤切除术中膨宫液丢失量之间呈现出良好的相关性。使用 $\Delta$ TFC诊断膨宫液丢失量 $\geq 2 500$  mL具有较高的敏感度和特异度,可为临床医师在宫腔镜手术中监测膨宫液丢失量提供一种新的、有效的监测手段,以更好地预防膨宫液过量吸收导致的体液超负荷并发症。

**作者贡献声明** 陈佳伟 研究设计,数据收集、统计和分析,论文撰写和修订。张宏伟,刘霞琴 研究设计,数据收集。黄绍强 数据统计和分析,论文修订。焦静 研究设计,数据收集、统计和分析,论文修订。

**利益冲突声明** 所有作者均声明不存在利益冲突。

## 参 考 文 献

- [1] LODDO A, DJOKOVIC D, DRIZI A, et al. Hysteroscopic myomectomy: the guidelines of the International Society for Gynecologic Endoscopy (ISGE) [J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2022, 268: 121-128.
- [2] 中华医学会妇产科学分会妇科内镜学组. 中国宫腔镜诊断与手术临床实践指南(2023版)[J]. *中华妇产科杂志*,

- 2023,58(4):241-251.
- [ 3 ] UMRANIKAR S, CLARK TJ, SARIDOGAN E, *et al.* BSGE/ESGE guideline on management of fluid distension media in operative hysteroscopy[J].*Gynecol Surg*,2016,13(4):289-303.
- [ 4 ] SUMMERS GC, FOSKER SR, FARIS R, *et al.* Acute pulmonary oedema and hyperchloraemic metabolic acidosis following operative hysteroscopy using sodium chloride 0.9[J].*Anaesth Rep*,2020,8(2):e12080.
- [ 5 ] 中华医学会急诊医学分会,北京医学教育协会急诊医学专科分会.生物电阻抗法无创血流动力学监测在急危重症应用的急诊专家共识[J].*中华急诊医学杂志*,2023,32(9):1163-1171.
- [ 6 ] 孙晶,赵霞,徐铭军,等.宫腔镜四级手术膨宫液不同收集方法对患者血清电解质和血糖的影响[J].*中华现代护理杂志*,2016,22(35):5100-5103.
- [ 7 ] ARYA VK, AL-MOUSTADI W, DUTTA V. Cardiac output monitoring-invasive and noninvasive[J].*Curr Opin Crit Care*,2022,28(3):340-347.
- [ 8 ] FOLAN L, FUNK M. Measurement of thoracic fluid content in heart failure: the role of impedance cardiography[J].*AACN Adv Crit Care*,2008,19(1):47-55.
- [ 9 ] KOSSARI N, HUFNAGEL G, SQUARA P. Bioreactance: a new tool for cardiac output and thoracic fluid content monitoring during hemodialysis[J].*Hemodial Int*,2009,13(4):512-517.
- [ 10 ] 张俊霞,徐金升,周薇,等.应用无创血流动力学监测评估血液透析容量状况研究[J].*中国实用内科杂志*,2012,32(9):704-706,713.
- [ 11 ] YOON T, JANG K, OH C, *et al.* The correlation between the change in thoracic fluid content and the change in patient body weight in fontan procedure[J].*BioMed Res Int*,2018,2018:3635708.

(收稿日期:2025-03-14;编辑:王蔚)

(上接第258页)

- [ 16 ] YOSHINO J, BAUR JA, IMAI SI. NAD<sup>+</sup> intermediates: the biology and therapeutic potential of NMN and NR[J].*Cell Metab*,2018,27(3):513-528.
- [ 17 ] TRAMMELL SAJ, SCHMIDT MS, WEIDEMANN BJ, *et al.* Nicotinamide riboside is uniquely and orally bioavailable in mice and humans[J].*Nat Commun*,2016,7(1):129-148.
- [ 18 ] DE PICCIOTTO NE, GANO LB, JOHNSON LC, *et al.* Nicotinamide mononucleotide supplementation reverses vascular dysfunction and oxidative stress with aging in mice[J].*Aging Cell*,2016,15(3):522-530.
- [ 19 ] YOSHINO J, MILLS KATHRYN F, YOON MYEONG J, *et al.* Nicotinamide mononucleotide, a key NAD<sup>+</sup> intermediate, treats the pathophysiology of diet- and age-induced diabetes in mice[J].*Cell Metab*,2011,14(4):528-536.
- [ 20 ] OLLER J, GABANDÉ-RODRÍGUEZ E, RUIZ-RODRÍGUEZ MJ, *et al.* Extracellular tuning of mitochondrial respiration leads to aortic aneurysm[J].*Circulation*,2021,143(21):2091-2109.
- [ 21 ] DOLLERUP OL, CHRISTENSEN B, SVART M, *et al.* A randomized placebo-controlled clinical trial of nicotinamide riboside in obese men: safety, insulin-sensitivity, and lipid-mobilizing effects[J].*Am J Clin Nutr*,2018,108(2):343-353.
- [ 22 ] SAWADA H, BECKNER ZA, ITO S, *et al.*  $\beta$ -Aminopropionitrile-induced aortic aneurysm and dissection in mice[J].*JVS Vasc Sci*,2022,3:64-72.
- [ 23 ] IZAWA-ISHIZAWA Y, IMANISHI M, ZAMAMI Y, *et al.* Development of a novel aortic dissection mouse model and evaluation of drug efficacy using *in-vivo* assays and database analyses[J].*J Hypertens*,2019,37(1):73-83.
- [ 24 ] MANN DL, ZIPES D, LIBBY P, *et al.* Braunwald's heart disease: a textbook of cardiovascular medicine[M]. 11th ed. Philadelphia: Saunders,2015.
- [ 25 ] BONDERMAN D, GHAREHBAGHI-SCHNELL E, WOLLENEK G, *et al.* Mechanisms underlying aortic dilatation in congenital aortic valve malformation[J].*Circulation*,1999,99(16):2138-2143.
- [ 26 ] DOBRIN PB, MRKVICKA R. Failure of elastin or collagen as possible critical connective tissue alterations underlying aneurysmal dilatation[J].*Cardiovasc Surg*,1994,2(4):484-488.
- [ 27 ] MARTUFI G, GASSER TC, APPOO JJ, *et al.* Mechano-biology in the thoracic aortic aneurysm: a review and case study[J].*Biomech Model Mechanobiol*,2014,13(5):917-928.
- [ 28 ] OLLER J, GABANDÉ-RODRÍGUEZ E, ROLDAN-MONTERO R, *et al.* Rewiring vascular metabolism prevents sudden death due to aortic ruptures-brief report[J].*Arterioscler Thromb Vasc Biol*,2022,42(4):462-469.
- [ 29 ] ABDELLATIF M, SEDEJ S, KROEMER G. NAD<sup>+</sup> metabolism in cardiac health, aging, and disease[J].*Circulation*,2021,144(22):1795-1817.

(收稿日期:2025-05-18;编辑:段佳)