·论　　著·
（减重代谢外科专题）

# 使用风险校正CUSUM方法分析三孔腹腔镜胃袖状切除术的学习曲线

刘斌[1]，杨珵璨[1]，戴谦诚[1]，殷悦[1]，王文越[1]，王宇鹏[1]，严晓蕾[2]，陈其[2]，严佳[3]，王兵[1]
上海交通大学医学院附属第九人民医院，1. 普外科，2. 规范化培训办公室，3. 麻醉科，上海 200011

［摘要］ **目的**　采用风险校正累积和（risk-adjusted cumulative sum，RA-CUSUM）模型分析单术者连续200例三孔腹腔镜胃袖状切除术（three-port laparoscopic sleeve gastrectomy，TPLSG）学习曲线。**方法**　回顾性收集2018年1月至2020年12月在上海交通大学医学院附属第九人民医院由同一组具有丰富腹腔镜胃袖状切除术经验的减重外科团队连续完成的200例TPLSG病人完整临床资料，以手术时间、术中出血量作为核心指标分别构建传统累积和（cumulative sum，CUSUM）曲线。以Clavien-Dindo分级≥Ⅱ级术后并发症为不良结局构建RA-CUSUM风险校正模型，设定风险偏移系数$R_A$=2、$ARL_0$=1 000、$ARL_1$=30，结合双侧CUSUM曲线拐点将全队列分为初始学习期、熟练期、精通期3组，比较3组基线资料、手术相关指标、术后并发症及住院时间等差异。**结果**　纳入的200例病人，基于并发症RA-CUSUM曲线识别两个关键拐点分别为：第61例及第114例。初始学习期手术时间显著高于熟练期及精通期［（136.5±22.8）min、（98.3±16.4）min、（76.2±12.1）min，$P$<0.001］。初始学习期术中出血量高于熟练期及精通期［（68.4±19.7）mL、（37.6±11.3）mL、（21.5±8.6）mL，$P$<0.001］。高体重指数（≥40 kg/m$^2$）、合并重度睡眠呼吸暂停病人集中于早期病例，该阶段Clavien-Dindo≥Ⅱ级并发症发生率显著更高。熟练期上侧RA-CUSUM回落至控制限内，胃大弯游离、切割吻合操作流程标准化，并发症发生率接近模型预期水平。精通期下侧RA-CUSUM突破下控制限，曲线整体平稳波动小，校正后并发症发生率低于预期，术后住院时间最短。**结论**　经RA-CUSUM风险校正后，术者完成61例TPLSG后进入熟练期，114例手术后进入精通期。RA-CUSUM可消除肥胖病人基线风险混杂，进而区分TPLSG学习周期。

［关键词］ 胃袖状切除术；三孔腹腔镜；风险校正累积和；学习曲线
［中图分类号］R615　［文献标识码］A　**DOI**：10.3969/j.issn.1003-5591.2026.05.006

**Analysis of the learning curve for three-port laparoscopic sleeve gastrectomy using risk-adjusted CUSUM**

*Liu Bin*[1], *Yang Chengcan*[1], *Dai Qiancheng*[1], *Yin Yue*[1], *Wang Wenyue*[1], *Wang Yupeng*[1], *Yan Xiaolei*[2], *Chen Qi*[2], *Yan Jia*[3], *Wang Bing*[1]
1. *Department of General Surgery*, 2. *Office of Standardized Residency Training*, 3. *Department of Anesthesiology*, *Shanghai Ninth People's Hospital*, *Shanghai Jiao Tong University School of Medicine*, *Shanghai* 200011, *China*
*Corresponding author*: *Wang Bing*, *Email*: *wingping*01@126.*com*

［**Abstract**］ **Objective**　To analyze the learning curve of 200 consecutive cases of three-port laparoscopic sleeve gastrectomy（TPLSG）performed by a single surgeon using a risk-adjusted cumulative sum（RA-CUSUM）model. **Methods**　The complete clinical data of 200 patients who

基金项目：国家自然科学基金（82070917）；上海交通大学医学院附属第九人民医院-教学研究培育计划（JYJX03202302）
作者简介：刘斌，主治医师，主要从事减重代谢外科、肝胆胰外科方面的研究，Email：stv16888@163.com
通信作者：王兵，Email：wingping01@126.com

underwent consecutive TPLSG performed by the same bariatric surgical team with extensive experience in laparoscopic sleeve gastrectomy at Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, from January 2018 to December 2020 were retrospectively collected. Traditional cumulative sum (CUSUM) curves were constructed using operative time and intraoperative blood loss as core indicators. An RA-CUSUM risk-adjusted model was constructed using postoperative complications of Clavien-Dindo grade ≥Ⅱ as the adverse outcome, with the risk offset coefficient set as $R_A$=2, $ARL_0$=1 000, and $ARL_1$=30. Based on the inflection points of the bilateral CUSUM curves, the entire cohort was divided into an initial learning phase, a proficiency phase, and a mastery phase. Differences in baseline characteristics, surgery-related indicators, postoperative complications, and length of hospital stay among the three groups were compared. **Results** Among the 200 included patients, two key inflection points identified by the complication-based RA-CUSUM curve were case 61 and case 114. Operative time in the initial learning phase was significantly longer than that in the proficiency and mastery phases ([136.5±22.8] min, [98.3±16.4] min, and [76.2±12.1] min, $P$<0.001). Intraoperative blood loss in the initial learning phase was greater than that in the proficiency and mastery phases ([68.4±19.7] mL, [37.6±11.3] mL, and [21.5±8.6] mL, $P$<0.001). Patients with a high body mass index (≥40 kg/m$^2$) and severe sleep apnea were concentrated in the early cases, and the incidence of Clavien-Dindo grade ≥Ⅱ complications was significantly higher during this phase. In the proficiency phase, the upper RA-CUSUM curve fell back within the control limit, the procedures of greater curvature mobilization and stapling/anastomosis were standardized, and the complication rate approached the expected model level. In the mastery phase, the lower RA-CUSUM curve broke through the lower control limit, the overall curve remained stable with only minor fluctuations, the adjusted complication rate was lower than expected, and the postoperative length of hospital stay was the shortest. **Conclusion** After RA-CUSUM risk adjustment, the surgeon entered the proficiency phase after completing 61 TPLSG procedures and the mastery phase after 114 procedures. RA-CUSUM can eliminate confounding by baseline risk in obese patients and thereby distinguish the learning phases of TPLSG.

[**Key words**] Sleeve gastrectomy; Three-port laparoscopy; Risk-adjusted cumulative sum; Learning curve

腹腔镜胃袖状切除术(laparoscopic sleeve gastrectomy,LSG)因其学习曲线短、操作相对简单且治疗肥胖症长期有效,现已成为国内外开展最多的减重代谢术式[1]。LSG通常采用3～5个戳孔(多孔法),技术成熟,适应证广泛。既往关于LSG学习曲线的研究多采用传统分段法,但该方法的分界点具有主观性。传统累积和(cumulative sum,CUSUM)方法通过对每个连续病例的指标进行序贯累积分析,能够客观识别手术过程中发生显著变化的转折点,然而CUSUM方法直接累加结局偏差,不区分病人基线风险[2]。风险校正累积和(risk-adjusted CUSUM,RA-CUSUM)在每一位手术病例中引入个体化术前预测风险,基于对数似然比逐例累加,消除病人病情混杂,监测学习曲线、并发症等[3]。基于此,本研究旨在通过RA-CUSUM法绘制并分析减重代谢外科医生从初始学习期至精通期的三孔LSG(three-port laparoscopic sleeve gastrectomy,TPLSG)学习曲线。

## 资料与方法

一、病人选择

回顾性纳入2018年1月至2020年12月期间均由同一组具有丰富LSG经验的减重外科团队连续完成的200例TPLSG病人。其中,男性72例,女性128例,年龄(34.6±9.2)岁,术前体重指数(BMI)为(38.7±5.4) kg/m$^2$。纳入标准:(1)符合《中国肥胖及2型糖尿病外科治疗指南(2019版)》手术指征[4],首次行单纯LSG;(2)根据检查结果且经多学科会诊考虑行TPLSG;(3)临床基线、手术记录、30 d围术期随访资料完整。排除标准:(1)同期接受其他手术治疗者;(2)中转开腹、术中更改操作孔布局;(3)既往上腹部手术史;(4)重要数据缺失。本研究经上海交通大学医学院附属第九人民医院伦理委员会审核批准(批件号:SH9H-2018-T20-1)。本回顾性研究仅收集既往临床病历资料,未对病人实施任何额外干预措施;研究全程严格遵循《赫尔辛基宣言》相关伦理准则以及国家相关法律法规要求,分析数据均去除直接身份识别信息,豁免病人知情同意。

二、手术操作

TPLSG术者站位于病人的右侧,扶镜手位于病人的左侧。建立气腹,采取"三孔法",通过肝脏悬吊的方式暴露手术视野[5-6]。三孔位置:本研究主操作孔为12 mm穿刺孔,位于脐左上1～2 cm附近。

此位置易于胃底暴露和切割吻合操作。待气腹建立后，通过主操作孔观察腹腔内胃的具体大小和形状。然后分别在左、右腹部选取适宜位置，作为观察孔和辅助操作孔，通常位于两侧锁骨中线与腋前线之间，便于观察和辅助操作（图 1）。依次完成胃大弯血管离断、胃底完全游离、距幽门 4 cm 沿胃小弯侧向贲门置入切割吻合器连续切除胃大弯，残胃加固缝合，放置腹腔引流管。学习曲线主要来自胃底和胃后壁的暴露、左侧胃 His 角的充分显露和胃短血管的处理。所有操作流程符合规范要求[7-9]。

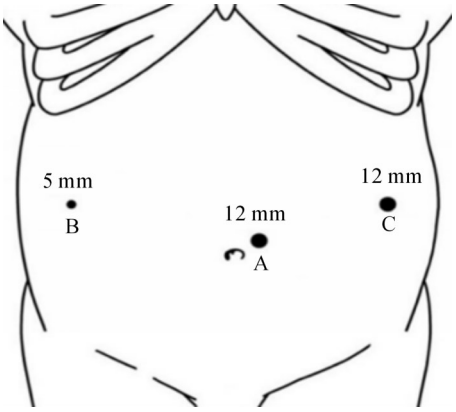



**图 1**　三孔腹腔镜胃袖状切除术手术操作孔（A. 主操作孔；B. 辅助操作孔；C. 观察孔）

三、资料收集

1. 基线资料（风险模型构建自变量）　年龄、性别、术前 BMI、2 型糖尿病、高血压、重度阻塞性睡眠呼吸暂停（obstructive sleep apnea，OSA）、吸烟史、美国麻醉医师协会（ASA）分级。

2. 核心指标（传统 CUSUM 建模）资料　（1）手术时间：皮肤切开至切口缝合完毕总时长；（2）术中出血量：术中吸引器血量＋纱布估测出血量总和。

3. 次要安全与恢复指标资料　（1）主要不良结局：Clavien-Dindo 分级≥Ⅱ级术后并发症（出血、钉线漏、腹腔脓肿、胃狭窄、肺部感染、需要二次手术干预事件）；（2）术后住院时间：手术当日至出院累计住院时长。

四、统计模型构建

本研究采用双重 CUSUM 曲线联合分析术者学习曲线：（1）以手术时间、术中出血量为连续型指标构建传统 CUSUM 曲线，用于评估术者术中解剖、止血操作熟练度；（2）以 Clavien-Dindo 分级≥Ⅱ级术后并发症构建 RA-CUSUM 风险校正模型，校正基线混杂因素，客观评价术者围术期整体安全控制能力。两条曲线从术中操作效率与围术期安全两个维度互补。

1. 个体化并发症风险 logistic 预测模型　以 Clavien-Dindo≥Ⅱ级并发症为因变量，纳入全部基线协变量构建 LASSO 校正 logistic 回归模型，剔除多重共线性变量；模型评价标准：区分度曲线下面积（area under the curve，AUC）＞0.75，Hosmer-Lemeshow 校准检验 $P$＞0.05，计算每例病人发生严重并发症个体化预期概率 $p_i$，作为 RA-CUSUM 校正权重基础。

2. 传统 CUSUM（手术时间、出血量）　对连续手术时序数据分别构建单变量 CUSUM 曲线，直观反映手术操作效率随手术量累积的变化趋势，辅助判断操作熟练度拐点。

3. RA-CUSUM 模型（主要分析模型）　采用 Steiner 标准双侧 RA-CUSUM 算法[3]，监测并发症风险升高（上侧曲线）与风险降低（下侧曲线）。（1）参数设定：风险偏移系数 $R_A$=2（识别并发症风险翻倍的临床有意义恶化，参数选择基于 Steiner 等经典 CUSUM 推荐范围）；$ARL_0$=1 000（无偏倚状态下平均 1 000 例出现 1 次假阳性预警）；$ARL_1$=30（风险翻倍后平均 30 例检出失控信号）。（2）单病例对数似然权重公式（公式 1）：式中 i 为并发症二分类结局，$p_i$ 为个体化预期并发症概率。（3）双侧累积和迭代公式：①上侧 CUSUM（监测技术恶化）见公式 2；②下侧 CUSUM（监测技术改善）见公式 3。（4）控制限与曲线判读：软件基于队列 $p_i$ 分布计算恒定上下控制限；曲线向上突破上控制限提示并发症风险显著升高，下穿下控制限提示校正后并发症风险持续优于预期。

公式 1：

$$w_i=y_i\ln\left(\frac{R_A p_i}{1-p_i+R_A p_i}\right)+(1-y_i)\ln\left(\frac{1-p_i}{1-p_i+R_A p_i}\right)$$

公式 2：

$$X_i^+=\max(0,X_{i-1}^++w_i),X_0^+=0$$

公式 3：

$$X_i^-=\min(0,X_{i-1}^--w_i),X_0^-=0$$

4. 学习阶段划分标准　依据 RA-CUSUM 曲线双重拐点，将 200 例连续 TPLSG 分为 3 个学习阶段：（1）初始学习期：第 1 例至首个拐点病例，上 CUSUM 曲线持续上行，多次触碰/突破上控制限；病例中高 BMI（BMI≥40 kg/m$^2$）、合并复杂合并症病人占比高，手术时间较长、出血量较多、并发症发

生率偏高。(2)熟练期：首个拐点至平台拐点，上侧CUSUM回落至控制限区间内，下曲线持续向下；手术操作标准化，并发症风险接近模型预期水平，手术效率明显改善。(3)精通期：平台拐点至末例，下侧CUSUM突破下控制限，曲线整体平缓无大幅波动；校正后并发症风险持续低于预期，手术效率稳定。

五、统计学方法

采用R4.3.1统计软件分析，计量资料以$\bar{x}\pm s$表示，多组比较采用单因素方差分析，两两比较采用最小显著差异(LSD)-$t$检验；计数资料以例数(百分比)描述，组间比较采用$\chi^2$检验或Fisher确切概率法；$P<0.05$为差异有统计学意义。利用racusum包完成RA-CUSUM计算，ggplot2绘制双侧RA-CUSUM曲线、手术时间/出血量传统CUSUM曲线、预期-实际累积差值图(variable life-adjusted display，VLAD)风险累积曲线。

## 结　果

一、风险模型验证

LASSO-logistic回归筛选独立危险因素：BMI、重度OSA、ASA Ⅲ级、既往腹部手术史为Clavien-Dindo≥Ⅱ级并发症独立预测因子；模型AUC=0.792，Hosmer-Lemeshow检验$\chi^2$=7.136，$P$=0.522>0.05，模型区分度与校准度良好，可稳定输出个体化并发症风险$p_i$。

二、RA-CUSUM曲线拐点与三阶段分组

双侧RA-CUSUM曲线显示2个关键拐点：(1)第61例为初始学习阶段与技能熟练阶段分界点；1～61例上侧CUSUM持续走高，共8次贴近并2次突破上控制限，提示该阶段并发症风险显著高于基线预期；(2)第114例为技能熟练阶段与精通平台期分界点；115例后下侧CUSUM持续突破下控制限，曲线无大幅上行波动，并发症风险稳定低于预测值。据此完成分组：初始学习期61例，熟练期54例，精通期85例。

三、3组基线复杂病例分布对比

初始学习期BMI≥40 kg/m$^2$、合并重度OSA、ASA Ⅲ级病人占比显著高于后两组($P<0.05$)；熟练期复杂病例占比下降；精通期复杂肥胖病人占比回升，但经标准化操作后未出现风险失控，提示术者具备处理高风险病人的稳定能力(表1)。

**表1**　三学习阶段病人基线特征对比[例(%)]

| 学习阶段 | 手术序号 | BMI≥40 kg/m$^2$ | 重度OSA | ASA Ⅲ级 |
|---|---|---|---|---|
| 初始学习期 | 第1～61例 | 27(44.3) | 16(26.2) | 20(32.8) |
| 熟练期 | 第62～114例 | 21(38.9)[a] | 13(24.1)[a] | 16(29.6)[a] |
| 精通期 | 第115～200例 | 35(41.1)[ab] | 21(24.7)[ab] | 28(32.9)[ab] |
| $\chi^2$值 | - | 2.71 | 2.40 | 2.62 |
| $P$值 | - | 0.037 | 0.042 | 0.048 |

注：BMI. 体重指数；OSA. 阻塞性睡眠呼吸暂停；ASA. 美国麻醉医师协会；与初始学习期比较，[a]$P<0.05$；与熟练期比较，[b]$P<0.05$。

四、各学习阶段围术期指标比较

三组手术时间、术中出血量呈进行性下降，组间两两比较差异均有统计学意义(均$P<0.05$)。初始学习期Clavien-Dindo≥Ⅱ级并发症发生率、术后住院时间显著高于熟练期与精通期(均$P<0.05$)；熟练期并发症风险回落至预期水平；精通期校正后并发症风险低于模型预测，不良反应发生率最低，住院周期最短(表2)。

五、术后Clavien-Dindo分级≥Ⅱ级并发症双侧RA-CUSUM曲线

图2中，X轴为连续手术病例序号(1～200)，Y轴为对数似然CUSUM值；红色水平实线为上控制限，曲线向上突破该线代表并发症风险显著高于个体化术前预期；绿色水平实线为下控制限，曲线向下突破该线代表校正后并发症风险持续优于基线水平、手术技术稳定成熟；两条黑色垂直虚线分别标记第61例、第114例关键拐点。

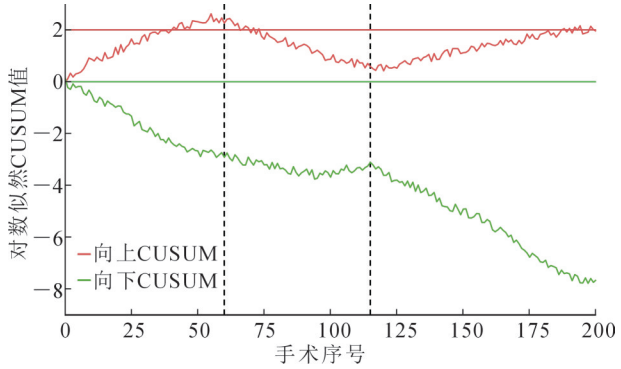
图2显示，初始学习期(1～61例，第1条黑色垂直虚线左侧)，红色上CUSUM曲线持续向上攀升；绿色下CUSUM缓慢下行，代表并发症风险高于预

**表2**　三学习阶段手术效率指标比较

| 学习阶段 | 手术序号 | 手术时间($\bar{x}\pm s$，min) | 术中出血量($\bar{x}\pm s$，mL) | Clavien-Dindo≥Ⅱ级并发症[例(%)] | 术后住院时间($\bar{x}\pm s$，d) |
|---|---|---|---|---|---|
| 初始学习期 | 第1～61例 | 136.5±22.8 | 68.4±19.7 | 11(18.0) | 5.8±1.6 |
| 熟练期 | 第62～114例 | 98.3±16.4[a] | 37.6±11.3[a] | 5(9.3)[a] | 4.1±1.1[a] |
| 精通期 | 第115～200例 | 76.2±12.1[ab] | 21.5±8.6[ab] | 6(7.1)[ab] | 3.0±0.8[ab] |
| $F(\chi^2)$值 | - | 220.920 | 213.480 | 4.60 | 101.090 |
| $P$值 | - | <0.001 | <0.001 | 0.031 | <0.001 |

注：与初始学习期比较，[a]$P<0.05$；与熟练期比较，[b]$P<0.05$。

期。熟练期（62～114 例，两条黑色垂直虚线中间区间），红色上 CUSUM 自峰值回落，保持在上下两条控制线之间；绿色下 CUSUM 持续向下延伸，逐步远离绿色下控制限，并发症风险回归基线预期。精通期（115～200 例，第 2 条黑色垂直虚线右侧），绿色下 CUSUM 全程维持在控制限下方；红色上 CUSUM 小幅平缓波动，无再次突破上控制线，曲线震荡幅度明显收窄，校正后并发症持续低于模型预期。

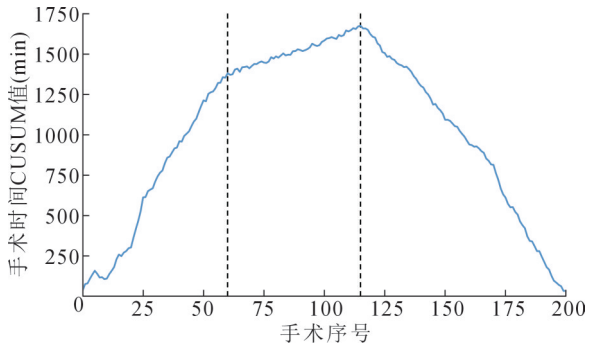



注：红色水平实线为上控制限；绿色水平实线为下控制限；左、右两条黑色垂直虚线分别对应第 61 例、第 114 例。

**图 2**　术后并发症双侧风险校正累积和（CUSUM）

六、手术时间传统 CUSUM 学习曲线

图 3 中，X 轴为连续手术病例序号（1～200），Y 轴为手术时间 CUSUM 值；两条黑色垂直虚线分别标记第 61 例、第 114 例学习拐点。初始学习期（第 1～61 例），曲线自原点持续稳步向上攀升，无明显回落，累积偏差持续走高，对应早期解剖、器械配合生疏，手术耗时普遍高于队列均值。熟练期（第 62～114 例），曲线到达峰值后逐步下降，术者操作流程标准化，手术时间快速缩短。精通期（第 115～200 例），曲线下降坡度显著变缓，整体走势平缓，仅小幅缓慢下行，趋近横轴，手术时间达到最优稳定区间。

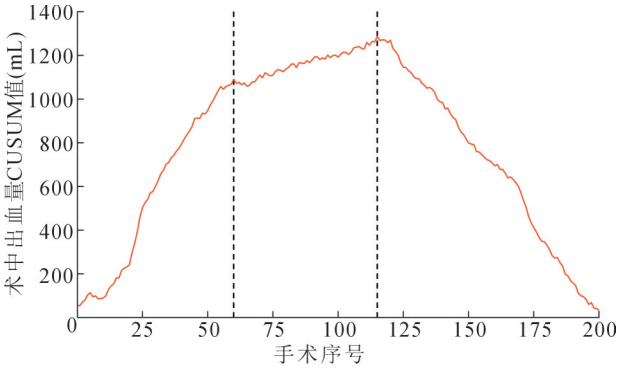



注：左、右两条黑色垂直虚线分别对应第 61 例、第 114 例。

**图 3**　手术时间传统累积和（CUSUM）学习曲线

七、术中出血量 CUSUM 学习曲线

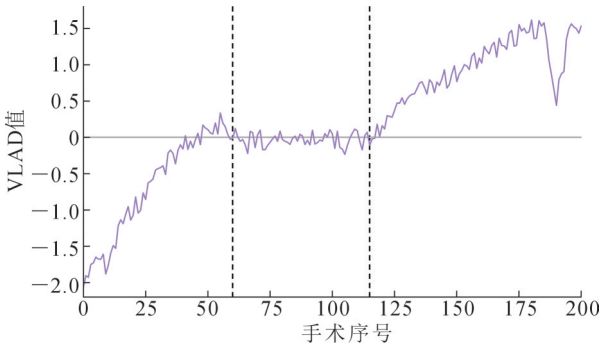
图 4 中，横轴为连续手术病例序号（1～200），纵轴为术中出血量 CUSUM 值；两条黑色垂直虚线分别标记第 61 例、第 114 例关键学习拐点。曲线变化趋势与手术时间 CUSUM 曲线高度同步：初始学习期（第 1～61 例），曲线自起点持续稳定向上攀升，术中失血量不断增加，对应早期解剖层次识别差、止血操作耗时、渗血较多。熟练期（第 62～114 例），曲线到达峰值后陡峭下行，下降幅度大，对应术者游离、止血流程标准化，术中出血量明显减少。精通期（第 115～200 例），曲线下降斜率显著放缓，整体平缓下行，末端维持在低数值区间小幅波动，术中出血长期稳定可控，无明显下降空间。




注：左、右两条黑色垂直虚线分别对应第 61 例、第 114 例。

**图 4**　术中出血量累积和（CUSUM）学习曲线

八、并发症预期-实际累积差（VLAD）风险累积曲线（图 5）




注：水平灰色实线为 y=0 基线；左、右两条黑色垂直虚线分别对应第 61 例、第 114 例。

**图 5**　并发症预期-实际累积差（VLAD）风险趋势曲线

图 5 中，X 轴为手术连续序号（1～200），Y 轴为个体化预期并发症概率与实际并发症的累积差值；水平灰色实线为 y=0 基线，两条黑色垂直虚线分别标记第 61 例、第 114 例关键学习拐点。曲线负值代表实际并发症发生数高于风险模型预期，正值代表实际并发症少于术前个体化预测。第 1～61 例（初

始学习期）曲线持续位于0值以下，实际不良反应多于预期；第62～114例（熟练期）曲线波动收窄、逐步向y=0基线靠拢，并发症风险接近模型预期水平；第115～200例（精通期）曲线稳定维持在0值以上正向累积区间，校正后手术安全性持续优于基线风险预测。

## 讨　论

为了帮助外科医师尽量避免“走弯路”，缩短学习曲线，进而对TPLSG的学习曲线进行分析研究。既往LSG学习曲线多采用简单CUSUM、分段均值比较，未校正肥胖病人基线异质性[10]。减重人群BMI跨度大、合并OSA、糖尿病、腹腔手术粘连等混杂因素会大幅升高围术期不良反应基线风险，单纯以粗并发症发生率、手术时间划分阶段易产生偏倚[11-13]。本研究采用RA-CUSUM方法对TPLSG的学习曲线进行连续、分阶段的量化分析。本研究初始学习期高风险病人占比偏高，如果不做风险校正，会过度放大初期术者操作的缺陷；而RA-CUSUM可以通过logistic模型细分每个手术病例的个体化手术风险，消除病例构成引发的偏倚。

本研究基于连续200例RA-CUSUM识别的双重拐点，经过风险校正的TPLSG的学习曲线可划分为：初始学习期（第1～61例）、熟练期（第62～114例）、精通期（第115～200例）。初始学习期三孔布局仅单一主操作孔，胃底游离、后壁暴露、连续吻合钉线加固操作视野受限，术者对器械角度、牵拉张力把控不足，表现为手术时间长、出血量多；遇到超高BMI、腹腔粘连的病人时极易出现钉线损伤、止血不彻底，对应的RA-CUSUM上曲线突破上限。该阶段核心难点在于建立三孔操作的器械配合习惯，建立标准的胃大弯游离层次。经过前61例的手术操作经验积累，术者形成相对固定的手术流程，优先处理胃底粘连、分次离断胃短血管，切割吻合速度提升，进入熟练期，RA-CUSUM上曲线回落至安全区间，并发症发生率显著下降，但下曲线未突破下限，提示操作仅达到基线预期水平，尚未形成稳定优势，此阶段是过渡期，可独立完成常规TPLSG。累积114例手术后，术者对三孔狭小空间内的操作逐步成熟，可通过辅助孔精细牵拉暴露，把控吻合高度与钉线加固，进入精通期，下侧RA-CUSUM持续突破下控制限，代表校正后并发症风险长期低于术前模型预测值。该阶段遇到超高BMI、重度OSA高危病人，不良反应发生率仍维持较低水平，手术安全性到达稳定阶段。

既往“五孔法”、“四孔法”LSG研究提示熟练拐点多集中于40～50例[14-15]。本研究TPLSG首个熟练拐点延后至61例，精通拐点114例，证实“三孔法”学习周期更长。减少操作孔虽降低腹壁创伤、改善术后疼痛，但牺牲操作自由度，器械冲突、解剖暴露难度显著提升，对术者手眼协调、解剖层次判断提出更高要求[16-17]。

RA-CUSUM可实现手术质量动态监测，不仅用于回顾性学习曲线分析，也可作为手术培训教学工具，当连续病例RA-CUSUM上曲线持续上行贴近控制限时，带教老师及时复盘手术录像、规范游离与吻合操作，提前规避批量并发症；当下曲线突破下限，可判定医师达到独立主刀资质。本研究量化的61例、114例双拐点可作为单中心TPLSG医师培训考核参考“分界点”。

本研究为单中心、单术者经验，具有一定局限性，结论外推需谨慎。存在病例选择随时间变化的潜在偏倚。本研究基于完成TPLSG顺利的病例，未纳入中断/转换病例，因此可能低估真实学习曲线陡峭程度。并发症发生率CUSUM检测效能有限，需要多中心、多术者、更大样本量研究进一步验证临界手术量。RA-CUSUM仅适用于二分类不良结局，手术时间、出血量需搭配传统CUSUM辅助评价。此外，本研究排除了中转开腹及术中更改操作孔布局的病例，该排除标准可能导致学习曲线的拐点被一定程度前移，研究结论仅适用于顺利完成TPLSG的病例场景。

综上所述，TPLSG是减重外科手术的一项重要技术，通过RA-CUSUM可有效消除肥胖病人基线风险混杂，客观区分不同学习阶段，量化各阶段手术效率与围术期安全差异。

**利益冲突**　所有作者均声明不存在利益冲突

## 参　考　文　献

[1] Pratt JSA, Browne A, Browne NT, et al. ASMBS pediatric metabolic and bariatric surgery guidelines, 2018[J]. Surg Obes Relat Dis, 2018, 14(7): 882-901. DOI: 10.1016/j.soard.2018.03.019.

[2] Takahashi T, Maeda A, Takayama Y, et al. Learning curves and surgical outcomes of laparoscopic sleeve gastrectomy performed by an attending surgeon and trainee surgeons[J]. Asian J Endosc Surg, 2025, 18(1): e13414. DOI: 10.1111/ases.13414.

[3] Steiner SH, Cook RJ, Farewell VT, et al. Monitoring surgical performance using risk-adjusted cumulative sum charts[J]. Biostatistics, 2000, 1(4): 441-452. DOI: 10.1093/biostatistics/1.4.441.

[4] 中华医学会外科学分会甲状腺及代谢外科学组，中国医师协会外科医师分会肥胖和糖尿病外科医师委员会. 中国肥胖及2型糖尿病外科治疗指南（2019版）[J]. 中国实用外科杂志，2019，39（4）：301-306. DOI：10.19538/j. cjps. issn1005-2208. 2019. 04. 01.

[5] Spivak H, Segev L, Meydan C, et al. Achieving the "minimal scarring" concept in bariatrics by port-site relocation [J]. Obes Surg, 2016, 26（3）：683-687. DOI：10.1007/s11695-015-2019-6.

[6] 吴立胜，余建伟，李煜，等. 胃后壁优先分离四孔法腹腔镜袖状胃切除术（附122例报告）[J]. 外科理论与实践，2020，25（5）：422-425. DOI：10.16139/j. 1007-9610. 2020. 05. 014.

[7] 王存川，张鹏，赵玉沛. 腹腔镜袖状胃切除术操作指南（2018版）[J]. 中华肥胖与代谢病电子杂志，2018（4）：196-201. DOI：10.3877/cma. j. issn. 2095-9605. 2018. 04. 002.

[8] 中国人体健康科技促进会肥胖糖尿病主动健康专业委员会. 中国对称三孔法腹腔镜胃袖状切除术规范化手术操作指南（2023版）[J]. 华西医学，2023，38（12）：1785-1791. DOI：10.7507/1002-0179. 202309120.

[9] 朱利勇，高祥，李鹏洲，等. 腹腔镜袖状胃切除术规范化操作要点[J]. 中华消化外科杂志，2024，23（8）：1044-1048. DOI：10.3760/cma. j. cn115610-20240515-00250.

[10] Gil PJ, Ruiz-Manzanera JJ, Ruiz de Angulo D, et al. Learning curve for laparoscopic sleeve gastrectomy: a cumulative summation（CUSUM）analysis [J]. Obes Surg, 2022, 32（8）：2598-2604. DOI：10.1007/s11695-022-06145-2.

[11] 刘洋，刘欢妹，魏丹，等. 三孔法腹腔镜胃袖状切除术治疗肥胖症的临床疗效[J]. 中华消化外科杂志，2017，16（6）：566-570. DOI：10.3760/cma. j. issn. 1673-9752. 2017. 06. 007.

[12] 沈佳慧，杨珵璨，王文越，等. 三孔法在腹腔镜胃袖状切除术中的应用[J]. 外科理论与实践，2018，23（6）：515-518. DOI：10.16139/j. 1007-9610. 2018. 06. 010.

[13] 杨珵璨，于洋，王文越，等. 单孔腹腔镜胃袖状切除术疗效的初步研究[J]. 腹部外科，2022，35（5）：344-349. DOI：10.3969/j. issn. 1003-5591. 2022. 05. 008.

[14] Tranchart H, Rebibo L, Gaillard M, et al. Short-term outcomes of single-port versus conventional laparoscopic sleeve gastrectomy: a propensity score matched analysis [J]. Surg Endosc, 2020, 34（9）：3978-3985. DOI：10.1007/s00464-019-07175-1.

[15] Consalvo V, Salsano V, Sarno G, et al. Three-trocar sleeve gastrectomy vs standard five-trocar technique: a randomized controlled trial [J]. Obes Surg, 2017, 27（12）：3142-3148. DOI：10.1007/s11695-017-2760-0.

[16] 上官芷昕，钟情，江一铭，等. 腹腔镜袖状胃切除术学习曲线与手术时间的影响因素分析[J]. 中华消化外科杂志，2023，22（8）：996-1002. DOI：10.3760/cma. j. cn115610-20230606-00265.

[17] Corcelles R, Boules M, Froylich D, et al. Laparoscopic three-port sleeve gastrectomy: a single institution case series [J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2016, 26（5）：361-365. DOI：10.1089/lap. 2015. 0532.

（收稿日期：2026-07-05）

---

读者·作者·编者

## 本刊声明

《腹部外科》杂志已经与北京万方数据股份有限公司、《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司、重庆维普资讯有限公司、超星公司、新华网股份有限公司等签订入网协议，此期间向本刊投稿并录用的文稿，将一律由编辑部统一纳入《万方数据库》《中国学术期刊综合评价数据库》《中文科技期刊数据库》《中国生物医学文献数据库》《中国核心期刊（遴选）数据库》《中国学术期刊网络出版总库》《中国学术期刊（光盘版）》《日本科学技术振兴机构数据库》《CSCIED科技核心评价数据库》，以及“中国知网”“维普网”“超星期刊域出版平台”“万方医学网”“新华网学术中国-知识产权服务平台”，所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意本刊在全球范围内使用该文的信息网络传播权、数字化复制权、数字化汇编权、发行权、翻译权，凡有不同意者，请投稿时声明，本刊将按作者说明处理。本刊所付稿酬已包含作者的著作权使用费，不再另付。

《腹部外科》编辑部