

文章编号: 1004-7220(2020)05-0442-07

微创电动吻合器的优化设计、功能分析与离体实验

葛文明, 王佩瑶, 刘晨旭, 凌宇秀, 潘 贞, 胡钟欣, 周 宇, 宋成利

(上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海 200093)

摘要:目的 开发一款新型电动吻合器,以解决现有产品转角不足、操作不便、难以掌握压榨强度等问题。**方法** 设计一款电动吻合器并加工出样机,利用三坐标影像仪搭建样机功能测试平台测量出样机的运动轨迹曲线,用拟合优度检验来评估理论曲线与测量曲线的一致程度;在前端不同弯曲角度下,吻合新鲜离体猪小肠组织,测试吻合口的吻合成型率。**结果** 转弯运动与击发运动的测试曲线与理论曲线拟合优度检验理想,而压榨运动的测试曲线与理论曲线的拟合优度在转弯关节弯曲 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 时不理想, $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 时理想。性能实验中吻合畸形率低于1.14%,表明弯曲角度对吻合效果无显著影响。**结论** 击发运动和转弯运动的运动学测量曲线与理论曲线一致,压榨运动曲线在不同弯曲角度时存在波动,但不影响吻合效果,电动吻合器的吻合效果符合临床要求。

关键词: 电动吻合器; 微创手术; 运动学分析; 吻合成型; 离体实验

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2020.05.009

Design Optimization, Function Analysis and *in vitro* Experiments of an Electric Stapler for Minimally Invasive Surgery

GE Wenming, WANG Peiyao, LIU Chenxu, LING Yuxiu, PAN Zhen, HU Zhongxin, ZHOU Yu, SONG Chengli

(School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Objective To develop a new type of electric stapler, so as to solve the problems of insufficient rotation angle, inconvenient operation and difficulty in controlling the pressing strength of existing products. **Methods** An electric stapler was designed and manufactured. The motion trajectory curve of the prototype was measured by using the three-coordinate imaging instrument to build functional test platform of the prototype, and the goodness of fit was used to evaluate consistency between the theoretical curve and the measured curve. The small intestine tissues of fresh pig were anastomosed at different bending angles of the front end, and the forming rate of the anastomotic stoma was measured. **Results** The goodness of fit between the test curve and the theoretical curve for both turning motion and shooting motion was ideal, while the goodness of fit between the test curve and the theoretical curve for pressing motion was not ideal when the turning joint was bent at $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$, and was ideal when it was bent at $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$. In performance test, the deformity rate of the nail was smaller than 1.14%, indicating that the bending angle had no significant impacts on the anastomotic effect. **Conclusions** The kinematics curves of shooting motion and turning motion are consistent with the theoretical curves. The pressing motion curves fluctuate at different bending angles, which will not affect the anastomotic effect, and the effect of the electric stapler meets the clinical requirements.

Key words: electric stapler; minimally invasive surgery; kinematics analysis; staple formation; *in vitro* experiment

收稿日期: 2019-09-29; 修回日期: 2019-11-26

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51735003), 上海市科委科技支撑计划项目(18441900200)

通信作者: 宋成利, 教授, Email: csong@usst.edu.cn

随着微创外科手术的发展,在消化道重建手术中,吻合器吻合已经逐渐代替手工缝合成为腹腔镜吻合操作的主要方式^[1]。与传统的手工缝合相比,吻合器吻合不但具有美容效果好、术后恢复快等优点,还可完成一些手工不易完成的手术操作,如全胃切除食道空肠吻合术、直肠肿瘤保肛手术等。然而吻合器的使用也存在一定局限性,如术后吻合口瘘、吻合口狭窄、吻合口渗血等并发症严重地影响手术安全和病人术后生存质量。

研究表明,术后吻合口瘘等并发症的发生与多种因素相关^[2]。除了病人自身因素,术者对器械操作的熟练程度也在很大程度上影响吻合效果。目前常用的机械吻合器采用手动压榨和手动击发,需要医生主观判断组织的压榨压力和压榨时间,吻合效果很大程度上取决于医生的操作水平。研究发现,直肠癌专科中心(>40例/年)术后并发症发生率明显低于平均水平^[3];结直肠外科医生低位和超低位直肠保肛手术吻合口漏发生率明显低于普外科医生,分别为3.9%和11.3%^[4-5]。

为了建立安全有效的吻合口,在使用吻合器的过程中需要保证用力均匀、压榨组织强度合适、压榨时间合适这3点,而吻合器的电动化则是解决这些问题的有效方法。国内外许多学者和公司都对此开展研究。Baker等^[6]研究认为,大多数渗漏是由于机械或组织问题造成的,真正的缺血渗漏很少见。Miller等^[7]在针对肺癌的电视辅助胸腔镜手术(video-assisted thoracoscopic surgery, VATS)中评估电动、手动吻合器两种技术。结果显示,外科医生使用电动吻合器时,出血并发症相比手动吻合器减少了近50%;此外,在手术中接受电动吻合器缝合的患者所支付的住院费用降低了近10%,并且出院时间提前了1d。Matsuzawa等^[8]对比机械吻合器和电动吻合器的吻合成型效果发现,机械吻合顶部最佳吻合成型率低于底部,而电动吻合器顶部、底部的最佳成型率没有差异,说明电动吻合器更为稳定。Kimura等^[9]使用Powered Echelon Flex电动击发吻合器(Johnson & Johnson公司,美国)建立的吻合口质量相比机械吻合器更好。赵宇等^[10]使用国产一次性电动腔镜吻合器切割吻合后的组织相比机械吻合更为平滑整齐,有利于术后患者的恢复。

然而,现有腔镜下电动吻合器市场被国外几大

医疗行业巨头垄断,价格昂贵,且转弯角度不足、难以掌控压榨强度和切割稳定性。本文设计了一种具有更大转角的腔镜下电动吻合器,搭建功能测试平台对样机的运动参数进行测试以验证器械的有效性;最后,参照YY-0876、YY-0875等腔镜吻合器国家标准^[11-13]设计离体实验,探究该样机的吻合效果。

1 材料与方法

1.1 新型电动吻合器的设计制作

针对现有机械吻合器的不足,本课题组对新型电动吻合器做出以下改进:

(1) 临床操作中,传统的机械吻合器在对组织进行压榨时,难以保证压榨力的大小处在合适的范围,压榨力过大会引起组织糜烂,压榨力不足会导致吻合钉成型不良,这都是术后引起吻合口瘘的重要原因。因此,将吻合器的压榨动作电动化,通过加入反馈控制模块,保证胃肠组织在最佳压力下进行吻合。

(2) 现有机械吻合器在切割较厚组织时,由于手部用力造成不可避免的抖动,会带动前端的钉仓组件撕扯组织,使切割后的组织参差不齐,不利于术后吻合口的愈合。因此,将击发运动电动化,使器械在切割组织时击发力量均匀、不产生抖动,最大限度的减少机械吻合器存在的问题。

(3) 现有机械吻合器前端最大转角范围为 $38^{\circ}\sim 45^{\circ}$,对于一些低位或超低位直肠保肛手术来说,更大的转角将大大提高保肛率。因此,转弯结构设计参照吕坤勇等^[14]的弯曲结构传动理论,使用钢片驱动多关节转动,可实现最大 60° 弯曲角度,极大地拓展了手术操作空间。

1.1.1 结构设计 电动吻合器在吻合手术中,需要先调整姿势,再对组织进行压榨和吻合钉击发,基于以上功能要求并考虑现有机械吻合器的不足,在传统机械吻合器的基础上设计转弯、压榨和击发机构。其中,转弯机构最大可实现 60° 弯曲,压榨运动和击发运动为电动控制。该器械主要由前端执行机构、传动机构、电控模块、隔离开关电源4个部分组成。前端执行机构由钉仓、切割刀、钳口和抵钉座组成,实现对组织的抓取、压榨、切割和吻合钉缝合。电控模块包括主控模块和传感模块,主控电路模块主要负责驱动电动机及编码器反馈控制,确保压榨运动中压榨力始终保持合理的强度;两组光电

限位器通过检测驱动外管和螺纹杆的位置来对压榨运动和击发运动进行限位控制,保证器械安全。隔离开关电源为电动吻合器提供一个安全可靠的电源,以确保患者安全[见图1(a)、(b)]。

1.1.2 运动学关系 在完成器械的结构设计后,为了能更为精确地控制样机的运动状态,需要明确样机的运动关系。根据机构运动学、坐标变换法等理论得到了转弯运动、击发运动和压榨运动的运动学方程式^[15]:

$$\theta_r = \alpha_r / k \quad (1)$$

$$L_f = i_{12} P_f \alpha_f \quad (2)$$

$$\theta_c = a\alpha_r^3 + b\alpha_r^2 + c \quad (3)$$

式中: L_f 为切割击发距离; i_{12} 为齿轮传动比; P_f 为丝杠螺距; α_f 为电动机转动角度; θ_c 为钳口张角; a 、 b 和 c 均为拟合常数; θ_r 为前端执行机构弯曲角度; α_r 为转弯旋钮旋转角度; k 为比例系数。

1.1.3 样机加工 转弯关节、驱动外管为不锈钢材料,齿轮离合器组件、转弯旋钮、外壳等由聚氯乙烯(polyvinyl chloride,PVC)和铝合金等材料。样机组装过程中,为了便于实验测试,将主控电路板接出器械,置于控制盒中。图1(c)所示为电动吻合器实物图。

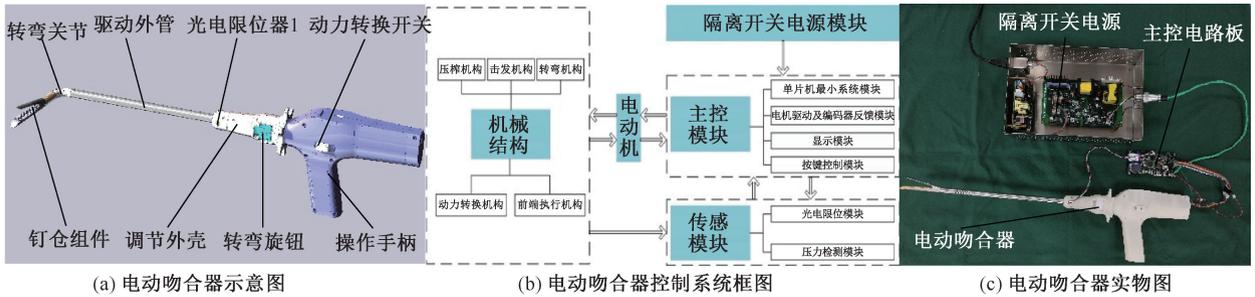


图1 电动吻合器

Fig.1 Electric stapler (a) Schematic diagram of electric stapler, (b) Block diagram of control system of electric stapler, (c) Picture of electric stapler

1.2 运动学功能测试

1.2.1 测试平台 为了检验运动学方程的准确性,搭建样机功能测试平台。该平台主要由三坐标测量仪(万濠二次元 VMS-2010F,昆山涵博测量仪器有限公司)、夹具、电动吻合器样机、电源等组成。其中,三坐标测量仪(测量精度 $0.5 \mu\text{m}$)主要由1台带同轴光变倍镜头和1个可沿 X、Y 轴移动的工作台合成(见图2)。

作平台上,调节旋转外壳使转弯关节弯曲平面平行于水平操作台,将切割刀的起始和终点位置分别标记为 A、B 点。调节转弯旋钮,每次旋转 30° 至转弯关节弯曲 60° ,用影像仪测出如图2中所示直线 AB 与直线 L_1 的夹角即为转弯关节弯曲角度,每个角度测量3次取平均值。

完成测量后调节转弯旋钮使转弯关节回到初始位置,控制电动机驱动吻合器执行压榨运动,电动机每次转动4圈至切割刀运动到终点位置,用影像仪依次测出对应的切割刀移动的距离。完成1组测量后,调节转弯旋钮使前端执行机构依次弯曲 15° 、 30° 、 45° 、 60° ,重复上述测量步骤并记录。

完成击发运动关系测量后,将吻合器调整到初始状态,并以驱动外管为轴顺时针转动 90° ,使钳口张角垂直投影在水平工作台上。控制电动机每次转动2圈至钳口张至最大位置,测出对应的钳口张角。调节转弯旋钮,分别测出转弯 15° 、 30° 、 45° 、 60° 下的电动机转角与钳口张角之间的关系。

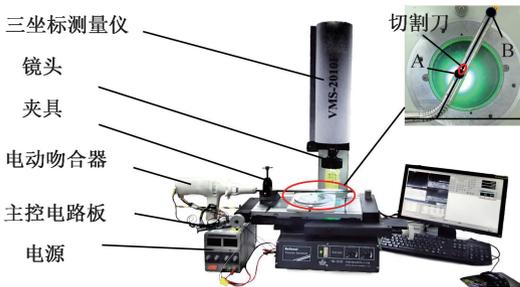


图2 样机功能测试平台

Fig.2 Functional test platform for the prototype

1.2.2 测试过程 用夹具将电动吻合器固定在操

1.3 吻钉成型实验

1.3.1 实验材料 所用材料为新鲜猪小肠,所有实验均在组织离体 24 h 内完成。准备 5 根长约 10 cm 肠管[见图 3(a)],用生理盐水洗去内部食物残渣并去除待吻合部位的肠脂垂及肠系膜后放入 5~15 °C 磷酸缓冲液中保存,并确保所有肠管没有破损。

1.3.2 实验方法 将小肠组织纵向放置在钉仓上

方并将钉仓完全覆盖并压榨至 8 g/cm^2 [6],等待 15 s 后击发吻钉完成吻合[见图 3(b)]^[16-17]。随后将前端执行器弯曲不同角度依次完成吻合,将小肠段的前后壁纵向吻合,获得不同弯曲角度情况的实验数据共 5 组。为了便于观察吻钉成型情况,溶解去组织后将吻钉洗净晾干并排列整齐,观察吻钉成型情况并记录不良吻钉数[见图 3(c)]。



图 3 离体实验过程

Fig.3 Experiment process *in vitro* (a) *In vitro* small intestinal tissues, (b) Tissue anastomosis, (c) Staple formation

1.4 数据处理

1.4.1 运动学测试曲线评估方法 引入拟合优度评估测试曲线与理论曲线的拟合程度,度量拟合优度的统计量是可决系数(确定系数) R^2 。 R^2 最大值为 1, R^2 越接近 1,说明测试曲线对理论曲线的拟合程度越好。由于 R^2 值仅能作定性评价,目前尚无明确的衡量标准。因此,本文参考田考聪^[18]改进的一种拟合优度检验方法以定量评估曲线的拟合程度,并考虑因观测值的数量对 R^2 带来的影响。

设 (X_i, y_i) 为实测值 ($i=1, 2, \dots, n$), \hat{y} 为理论曲线,对 y, \hat{y} 作相关性分析,并在此基础上以 y 为应变量, \hat{y} 为自变量建立直线回归方程:

$$Y = a + b\hat{y} \quad (4)$$

假设 $H_{10} : \alpha = 0; H_{20} : \beta = 1; H_{30} : \rho = 1$ (α 为总体回归截距; β 为总体回归系数; ρ 为总体相关系数)同时成立,则认为拟合效果为优。 t_a, t_b 和 u 作为检验统计量:

$$t_a = a/S_a \quad (5)$$

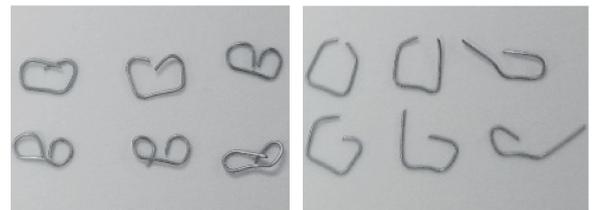
$$t_b = b - 1/S_b \quad (6)$$

$$u_1 = Z_r - Z_p/S_Z \quad (7)$$

$$u_2 = Z_H - Z_p/S_H \quad (8)$$

当样本容量较大时 ($n \geq 20$),使用 u_1 进行检测^[19];当样本容量较小时 ($n < 20$),采用 u_2 进行检测^[20]。

1.4.2 吻钉成型检验标准 吻合口吻钉成型情况是行业公认的设备性能评价指标,一般认为吻合口的吻钉畸形率(畸形吻钉数除以全部吻钉)可以用来预测缝合失败的可能性^[16,21-22]。本将以此为标准评估样机的吻合性能。关于吻钉成钉标准还没有统一的规定。目前大多数学者采用 Covidien 的标准质量控制指标识别吻钉成型情况,即任意一条钉腿切线高于吻钉横梁平行线或者两条钉腿都与钛钉横梁平行的视为成钉不良^[8-9,21-22]。图 4 所示为吻钉成钉实例。



(a) 理想成钉

(b) 畸形成钉

图 4 吻钉成型实例

Fig.4 Examples of staple (a) Ideal staple, (b) Staple malformation

2 结果与分析

2.1 运动学功能测试结果

排除异常数据,利用 Origin 8.0 软件分别绘制出转弯运动、击发运动和压榨运动关系曲线(见图 5)。

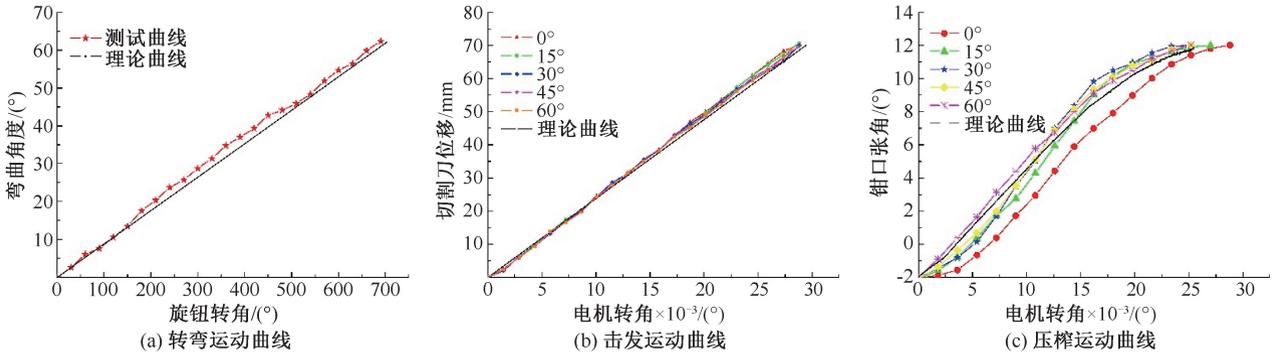


图5 功能测试结果

Fig.5 Functional test results (a) Turning motion curve, (b) Firing motion curve, (c) Pressing motion curve

利用1.4.1节中评估方法求得转弯运动各统计量的值及相应的P值:

$$t_a = 0.209 < 2.571 = t_{0.05}, \quad P > 0.05$$

$$t_b = 2.516 < 2.571 = t_{0.05}, \quad P > 0.05$$

$$u = 0.891 < 1.96, \quad P > 0.05$$

表1结果表明:转弯运动的拟合效果较为理想。由击发和压榨运动的评价结果可知,击发运动的拟合效果较为理想,而在弯曲角度为0°~30°时压榨运动拟合效果不理想,在45°~60°时拟合结果理想。

表1 击发、压榨运动曲线拟合分析结果(*P>0.05,#P<0.01,&0.01<P<0.05)

Tab.1 Fitting analysis results of firing motion and pressing motion curve

参数	击发运动					压榨运动				
	0°	15°	30°	45°	60°	0°	15°	30°	45°	60°
t_a	1.480*	1.233*	1.286*	1.510*	1.766*	2.807&	2.171*	1.152*	1.059*	1.767*
t_b	3.567*	3.396*	2.993*	3.384*	3.260*	0.243*	2.847*	2.103*	2.908*	0.472*
u	2.087*	1.769*	1.438*	2.113*	1.589*	3.217#	1.568&	2.065&	0.748*	1.519*
评估结果	理想	理想	理想	理想	理想	不理想	不理想	不理想	理想	理想

2.2 吻合成型实验结果

表2所示为吻合成型的统计结果,畸形率为0%~1.14%。目前还鲜有关于吻合成型畸形率与吻合性能关系之间的具体研究,但临床上认为吻合畸形率与吻合口瘘、吻合口狭窄等术后并发症等密切相关^[23-26]。Kimura等^[9]使用Echelon Flex机械吻合器(Ethicon公司,美国)吻合小肠的实验中吻合畸形率在1.7%~7.8%;Contini等^[11]使用Echelon Flex和Endo GIA™ Ultra Tri-Staple™(Covidien公司,美国)吻合器在猪胃的不同部位做吻合对照

实验,吻合畸形率分别在0%~34%和0%~14%。与Kimura等^[9]和Contini等^[21]的研究结果相比,本样机的吻合畸形率结果较好。

3 讨论

本文在传统机械吻合器的基础上,将击发运动和压榨运动电动化、前端最大转弯角度增加至60°,可以降低器械的使用难度,增加器械的可操作范围,帮助术者更加快捷的实施组织吻合。

利用三坐标影像仪测量并拟合出样机的转弯、击发和压榨运动的运动学曲线,并与理论曲线进行了拟合评估。该评估方法直接讨论理论曲线拟合值 \hat{y} 与实际测量值 Y 的接近程度,利用成熟的直线相关回归的理论和方法,避开了变量转换后讨论 R^2 所引起的干扰因素 $\sum (y - \hat{y})(y - \bar{y})$ 的影响,用于对本文中曲线拟合情况的定量评估极其有效。

表2 吻合成型结果

Tab.2 Staple formation results

结果	转弯角度/(°)				
	0	15	30	45	60
吻合畸形数	0	0	1	1	0
吻合畸形率/%	0	0	1.14	1.14	0

评估结果表明,转弯、击发运动测试曲线与理论曲线拟合优度检验均为理想。压榨运动曲线在不同弯曲角度时出现波动,在转弯关节弯曲 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 时,压榨运动出现明显的迟滞现象,理论曲线与测试曲线拟合程度不够理想;在弯曲 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 时,理论曲线与测试曲线拟合程度理想,且迟滞随着弯曲角度的增大而减小。随后对直线状态下的运动曲线进行多次测量,结果与第1次一致,但在测试过程中转动关节间会发生一定偏转和不规则晃动,这与转弯机构多片式传动结构和加工工艺有关。转弯机构是由多个关节组成,通过钢片变形驱动转弯机构弯曲,在弯曲角度较小时,各关节之间仅在各关节转动中心处承受力的作用,在传递压榨力的过程中会导致关节间的不规则偏转,从而对压榨运动测试曲线产生影响;当弯曲角度较大时,关节间的接触面积将会增加,使传动更为稳定。多次测试发现,这些不规则偏转造成的影响具有可重复性,故可以通过电控模块进行位置补偿。此外,关节间的不规则运动对机构实际运动中钳口压榨角度的影响较小,故不会对组织的压榨状态产生明显影响。

本文对样机的吻合性能进行测试。关于吻合器的性能评估指标,众多研究表明,吻合口吻合成型效果与术后并发症密切相关,这被认为是器械吻合性能的评估标准。本研究利用新鲜离体猪小肠组织模拟人体肠道组织,以样机前端弯曲角度为自变量,样机吻合组织的吻合成型情况为因变量进行离体实验。实验结果表明,样机吻合性能达到了临床要求,并且转弯角度对吻合成型结果无显著影响。

4 结论

相较于传统的机械吻合器,本研究设计的电动吻合器可以帮助医生更好地压榨和切割组织,并且具有更大的转弯角度以增加手术操作空间。通过运动学功能测试验证了器械运动方程的准确性,为电控系统提供了应用基础;利用新鲜离体猪大肠组织进行吻合成型实验,实验结果满足临床要求,进一步验证了器械用于吻合胃肠组织的可行性和有效性。由于器械的转弯结构在压榨过程中会出现轻微的不规则晃动,压榨运动理论运动曲线与实验测试曲线拟合程度不够理想,对器械的状态控制造

成一定的影响,故在控制器械姿态时需要加入位置补偿,并在压榨结构的加工工艺与装配上进行优化。

本研究设计的微创电动吻合器能够在超大转角情况下实现有效的电动压榨和电动击发,解决了现有产品转角不足、操作不便、难以掌握压榨强度等问题,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 丛海,李春霞. 吻合器在胃肠道手术中的应用体会[J]. 吉林医学, 2011, 32(6): 1158-1159.
- [2] 彭昌兵,庄文. 低位直肠癌保肛术后吻合口漏的原因及防治现状[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2014, 21(2): 251-255.
- [3] MARUSCH F, KOCH A, SCHMIDT U, et al. Value of a protective stoma in low anterior resections for rectal cancer [J]. Dis Colon Rectum, 2002, 45(9): 1164-1171.
- [4] 傅传刚,郝立强. 低位直肠癌保肛术后吻合口漏与狭窄原因及治疗[J]. 中国实用外科杂志, 2014, 34(9): 851-854.
- [5] CONG ZJ, FU CG, WANG HT, et al. Influencing factors of symptomatic anastomotic leakage after anterior resection of the rectum for cancer [J]. World J Surg, 2009, 33(6): 1292-1297.
- [6] BAKER RS, FOOTE J, KEMMETER P, et al. The science of stapling and leaks [J]. Obes Surg, 2004, 14(10): 1290-1298.
- [7] MILLER DL, ROY S, KASSIS ES, et al. Impact of powered and tissue-specific endoscopic stapling technology on clinical and economic outcomes of video-assisted thoracic surgery lobectomy procedures: A retrospective, observational study [J]. Adv Ther, 2018, 35(5): 707-723.
- [8] MATSUZAWA F, HOMMA S, YOSHIDA T, et al. Serosal laceration during firing of powered linear stapler is a predictor of staple malformation [J]. Surg Innov, 2017, 24(6): 590-597.
- [9] KIMURA M, TERASHITA Y. Superior staple formation with powered stapling devices [J]. Surg Obes Relat Dis, 2016, 12(3): 668-672.
- [10] 赵宇,田晰,刘青. 一次性全电动腔镜吻合器的研制与应用[J]. 中国医疗设备, 2017, 32(4): 50-53.
- [11] YY/T0245-2008. 吻(缝)合器通用技术条件[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.
- [12] YY/T0875-2013. 直线型吻合器及组件[S]. 北京:中国标准出版社, 2014.
- [13] YY/T0876-2013. 直线型吻合器及组件[S]. 北京:中国标准出版社, 2014.

- [14] 吕坤勇, 朱勋, 沈桐, 等. 多自由度手术器械的结构设计与工作空间仿真[J]. 机械科学与技术, 2016, 35(12): 1888-1893.
- [15] 刘晨旭, 宋成利, 周宇, 等. 微创电动吻合器的创新结构设计 with 功能验证[J]. 医用生物力学, 2019, 34(6): 631-636.
LIU CX, SONG CL, ZHOU Y, *et al.* Structural design and verification of a novel electric stapler for minimally invasive surgery [J]. J Med Biomech, 2019, 34(6): 631-636.
- [16] NAKAYAMA S, HASEGAWA S, NAGAYAMA S, *et al.* The importance of precompression time for secure stapling with a linear stapler [J]. Surg Endosc, 2011, 25(7): 2382-2386
- [17] MORITA K, MAEDA N, KAWAOKA T, *et al.* Effects of the time interval between clamping and linear stapling for resection of porcine small intestine [J]. Surg Endosc, 2008, 22(3): 750-756.
- [18] 田考聪. 曲线拟合优度的一种检验方法[J]. 重庆医科大学学报, 1994, 19(3): 204-206.
- [19] 中国医学百科全书委员会. 中国医学百科全书: 医学统计学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [20] LOTHAR S. Applied statistics: A handbook of techniques [M]. London: Springer-Verlag, 1982.
- [21] CONTINI E, WHIFFEN J, BRONSON D. Comparison of endostapler performance in challenging tissue applications [J]. Surg Obes Relat Dis, 2013, 9(3): 417-421.
- [22] CHENKAN E, WHELAN RL. Surgical stapling device-tissue interactions: What surgeons need to know to improve patient outcomes [J]. Med Devices (Auckl), 2014, doi: 10.2147/MDER.S67338.
- [23] KAWAID H, KONO H, WATANABE M, *et al.* Risk factors of postoperative pancreatic fistula after distal pancreatectomy using a triple-row stapler [J]. Surg Today, 2018, 48(1): 95-100.
- [24] BUCHS NC, GERVAZ P, SECIC M, *et al.* Incidence, consequences, and risk factors for anastomotic dehiscence after colorectal surgery: A prospective monocentric study [J]. Int J Colorectal Dis, 2008, 23(3): 265-270.
- [25] LEE S, CARMODY B, WOLFE L, *et al.* Effect of location and speed of diagnosis on anastomotic leak outcomes in 3828 gastric bypass cases [J]. J Gastrointest Surg, 2007, 11(6): 708-713.
- [26] PLATELL C, BARWOOD N, DORFMANN G, *et al.* The incidence of anastomotic leaks in patients undergoing colorectal surgery [J]. Colorectal Dis, 2007, 9(1): 71-79.