

## 腹腔镜手术器械分离钳的结构优化设计

吴山山,石更强,武杰,周泽,潘肖林  
上海理工大学医疗器械与食品学院,上海 200093

**【摘要】**旨在设计一种新型的腹腔镜手术器械分离钳,使分离钳的操作手柄端与夹持钳头部可以实现快速分离对接。在手术过程中要求起主要作用的夹持钳头部可以留在人体腹腔对坏死组织进行夹持剥离,而操作手柄可以取出,从而给手术医师留有更多的手术操作空间。手术结束后手术医师可以操作手柄在人体腹腔与夹持钳头部实现快速对接,方便快捷地取出夹持钳头部,保障手术的顺利进行。本文主要设计方法是改进传统手术器械分离钳的头部,在其夹子顶端焊接有六角铆钉。同时模拟医用手术夹子,在设计新型钳夹尺寸之后,在手术夹子尾部开有六角通孔,其尺寸与分离钳夹头部的六角铆钉刚好可以配合,从而实现分离钳与夹持钳的快速分离与对接。并通过ANSYS有限元软件分析钳夹在夹取组织的过程中所受的应力分布情况。研究分析表明所设计的新型手术器械分离钳在实现快速分离与对接的前提条件下,同时能满足钳夹对组织血管的夹持作用,从而保证手术的安全进行。

**【关键词】**腹腔镜手术器械;分离钳;结构优化;分离对接;有限元分析

**【中图分类号】**R318.6

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2017)10-1027-05

## Optimal structure design of laparoscopic surgical instruments separation forceps

WU Shanshan, SHI Gengqiang, WU Jie, ZHOU Ze, PAN Xiaolin

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

**Abstract:** The study aims to design a new type of laparoscopic surgical instruments separation forceps, so that the operating handle of the forceps and clamp head can achieve a fast separation and docking. Clamping forceps are required to stay in the peritoneal cavity of the human body for the clamping and detachment of the necrotic tissue, and the operating handle can be removed, leaving the surgeon with more room for surgical operation. After surgery, the surgeon can manipulate the handle in the human abdominal cavity and clamp head to achieve a fast docking, which can rapidly and conveniently remove the clamp head and ensure the smooth operation. The main design in our study is to improve the traditional surgical instruments clamp head, welding hexagonal rivets in the top of the forceps. Simulating medical surgical clip, after the design of a new clamp size, the hexagonal hole is slotted in the rear of the surgical clip, and the holes size matches with the hexagonal rivet of separation forceps head to achieve the fast separation and docking of separation forceps and clamping forceps. The distribution of stress in the process of gripping tissue is analyzed with ANSYS finite element software. The results showed that the design of the new surgical instruments separation forceps can achieve a rapid separation and docking, and successfully clamp the tissue blood vessels, ensuring the safety of the operation.

**Keywords:** laparoscopic surgical instruments; separation forceps; structure optimization; separation docking; finite element analysis

## 前言

随着人们生活水平和医疗需求的提高,腹腔镜手术因其具有机体应激反应小、切口美观等优点越

来越受欢迎。自1989年美国医生Rich展示腹腔镜全子宫切除术以来,90%的开腹手术均可被腹腔镜所替代<sup>[1]</sup>。腹腔镜手术作为一种可以实现在密闭的盆、腹腔内进行常规病症检查或治疗、切除组织病变部位的内镜手术,其可以大致分为诊断性腹腔镜手术及手术性腹腔镜手术。手术医师通过使用腹腔镜将人体盆、腹腔组织情况投影显视在屏幕上,从而检查盆、腹腔并确诊疾病称为诊断性腹腔镜手术;在腹腔外监视屏幕直接操纵插入病人盆、腹腔的手术器械进行疾病手术治疗、病变组织切除称为手术性腹腔

**【收稿日期】**2017-04-15

**【基金项目】**国家自然科学基金(51475308)

**【作者简介】**吴山山,硕士,研究方向:生物医学工程,E-mail: 18817582249@163.com

**【通信作者】**石更强,讲师,研究方向:精密医疗器械,E-mail: gengersgq@163.com

镜手术。其手术过程主要是通过腹腔镜及相关手术器材进行,医生只需在病人的腰部开3~5个直径5~15 mm不等的孔<sup>[2]</sup>,通过腹壁的微小切孔将接有冷光源照明的腹腔镜经腹壁插入腹腔,连接摄像系统,将盆腔、腹腔内脏器解剖显示于监视屏幕下,就可通过腹腔镜手术器械对病人的病变坏死组织进行切除<sup>[3-4]</sup>。腹腔镜手术取代传统的开腹手术,具有创伤小、患者恢复快、住院时间短、并发症少等优势,但怎样缩短腹腔镜手术的手术时间及减少术中出血量,简化操作步骤,方便操作,仍是今天医护人员研究的重点<sup>[5-6]</sup>;并且与传统的开腹手术相比,腹腔镜手术步骤较复杂,对医师的技术水平要求高,对手术器械有明显依赖性。

腹腔镜手术器械主要包括腹腔镜、分离钳、分离钳剪刀、持针钳、抓钳等。其中分离钳主要用于夹持人体静脉血管,阻止血液流入人体腹腔,可有效减小由此带来的腹腔血液过多影响主刀医生视野的问题,如图1所示。其结构特征主要包括一个空心、细长的固定套管,在固定套管的前端制有一固定钳爪并铰接一个可活动的钳爪,固定套管的后端固定一个前手柄,另有一后手柄铰接在前手柄上;固定套管的内腔中定位一个可轴向滑动的拉杆,控制钳爪的关节,张开、闭合自如。钳头可以无限旋转,咬合力强,钳杆细,操作灵活,拆洗及消毒方便<sup>[7]</sup>。手术过程中,分离钳需要在人体腹部一直保持钳持状态,直到手术结束后方能取出。多数情况下,医生需要同时使用多种腹腔镜手术器材,而在有限的操作空间中(腹部开的圆孔),同时存在过多的手术器械(如分离钳、抓钳、持针钳等),必然会干扰医生的视野,而且医生

在使用分离钳的过程中,有时需要旋转分离钳,则器械之间不可避免会发生碰撞,从而影响手术操作。



图1 传统腹腔镜手术分离钳

Fig.1 Conventional laparoscopic surgical separation forceps

本文主要是探讨设计一种可供临床操作并方便拆装的腹腔镜手术器械分离钳,也就是要求分离钳的工作头部和手柄可分离。在手术过程中,使分离钳中起主要作用的夹紧钳头部留在人体腹腔,而手柄可以取出,从而有效地缩小手术器材工作部分所占用的体积,给主刀医生预留更多的手术操作空间。手术结束后,医生可以持手术器械分离钳操作手柄部分在人体腹腔中与夹紧钳头部实现快速对接,从而方便取出分离钳头部,为手术的安全进行提供保障。

## 1 研究方法与流程

此次结构设计主要针对分离钳的夹紧钳头部进行优化。设计要求:在手柄从人体腹腔取出后,夹紧钳头部可以自动闭合,并存有一定的捏合力可以夹紧静脉血管,从而发挥作用。因此尝试通过模拟普通的夹子设计夹紧钳的头部,其设计结构图(图2)如下。

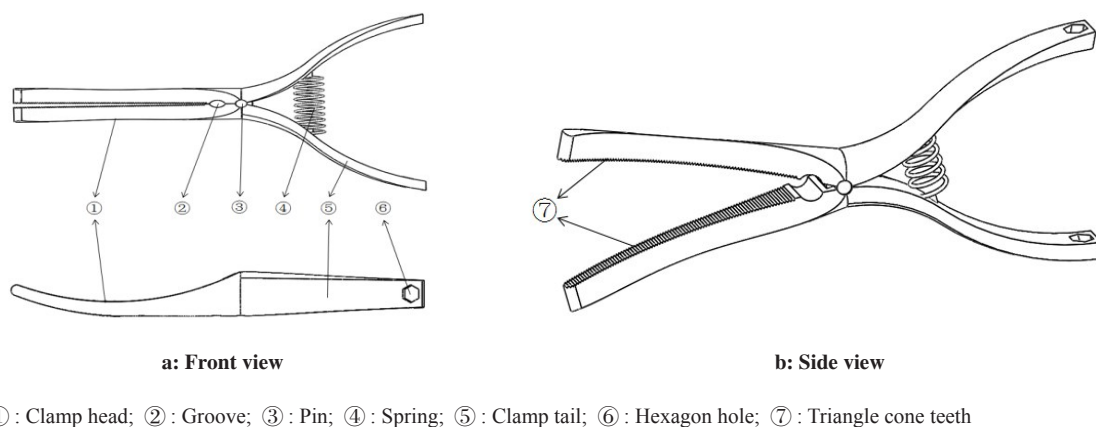


图2 夹紧钳头部的结构

Fig.2 Structure of forceps head

图2中所示为钳夹的主视图和侧视图。钳夹主要由上钳夹和下钳夹配合组成,并通过销子③铰链

固定。在上钳夹和下钳夹的头部①的位置开有无损夹齿⑦,夹齿⑦的齿头呈三角锥形,且钳夹的头部

设置成弧形,这样可以保证在夹取组织器官的时候,钳夹不会从器官血管上脱落。在上下钳夹的中部位置开有凹槽②,且两部分的凹槽相对设置,使得上下两部分钳夹在闭合的时候中间留有空隙,在微创腹腔镜人体腹腔内手术中,钳夹夹取人体组织器官及静脉血管时,中间留有一定空间,组织器官在凹槽内进行横向游离和牵引,不会损伤器官。弹簧④的作用主要是保证在一般静止状态下,可以给钳夹提供持续的夹紧力。

在上下两部分钳夹的尾部⑤都相对配合设置有六角通孔⑥,同时在传统的腹腔镜手术器械分离钳的夹持钳头部也相应地进行结构上的修改,焊接上突出的六角形铆钉,其结构如图3所示,且尺寸可以与设计的夹紧钳头部的六角通孔刚好配合或略小。在手术过程中,改装后的腹腔镜手术器械分离钳可以通过六角铆钉和夹紧钳尾部的六角通孔连接配合,通过操作手术器械分离钳的后手柄可以控制钳夹的开合,夹紧钳由手术器械分离钳夹持送入人体腹腔,松开手术器械分离钳后,夹紧钳可以自行对人体腹腔的组织血管进行加紧,防止人体静脉中的血液流入人体腹腔,干扰医生的手术视野,从而影响手术操作。此时可以取出手术器械分离钳,只将夹紧钳部分留在人体腹腔中,即可实现手术过程中手术器械分离钳的夹持人体组织血管的作用,而且取出器械分离钳后,可以给医生留有更多的手术操作空间。手术结束后,医生只需操作改进后的手术器械分离钳,就可以在人体腹腔中与夹紧钳头部实现快速对接,从而有效地取出夹紧钳头部,并保证手术的顺利进行。

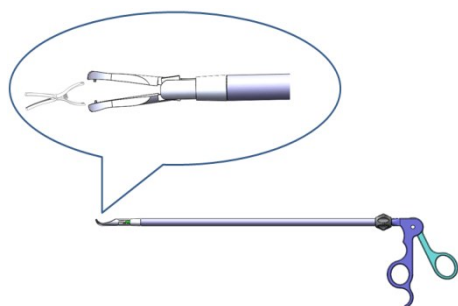


图3 传统手术器械分离钳的改进及局部放大图

Fig.3 Improvement of traditional surgical instruments forceps and partial enlarged view

## 2 钳爪的尺寸设计及应力分析

### 2.1 尺寸设计

对于所设计的手术器械分离钳的夹持钳头部尺

寸设计,需要考虑到尺寸过大的钳夹无法通过人体腹部的开孔,而且尺寸过大的夹子对人体组织损伤加大,不利于人体的术后恢复<sup>[8-9]</sup>。另外,为使操作手柄可以与夹持钳头部实现快速对接,便于从人体腹部取出钳夹,保证手术的顺利进行,所设计的夹持钳头部尺寸不宜过小。传统腹腔镜手术器械分离钳的钳夹头部两钳爪张开最大尺寸为20 mm,角度=60°<sup>[7]</sup>。设计的夹紧钳头部的尺寸长为10 mm,且只需头部张开8~10 mm就可以满足多数不同直径血管的夹紧。夹紧钳尾部长为8 mm,张开尺寸为12 mm。

关于微创手术钳在真实手术环境中所需的操作力设计,通过对手术过程中分离钳的工作状态进行分析可知,夹持钳所作用部位的组织血管受到的力主要包括钳夹对组织血管施加的夹持力和摩擦力,以及周围相连组织的拉力。其中摩擦力大小与夹持力和摩擦系数有关,夹持力和拉力与组织损伤的关系密切。拉力越大,组织越容易滑脱手术钳,夹持力足够大时即便无拉力也会造成组织损伤,过大的夹持力和拉力都易造成组织损伤<sup>[10-12]</sup>。研究表明微创手术钳对人体器官组织的夹持力不应大于1 N<sup>[13]</sup>。实验引进安全系数1.5,最后选取微创手术钳的夹持力最大值为1.5 N。本文所设计的手术器械,包括夹紧钳的钳爪、销子、弹簧,其中销子主要起铰链固定作用。钳爪夹持血管过程中,钳爪主要受弹簧对钳爪尾部弹力 $F_m$ 及血管对钳爪顶端压力 $f_m$ 两个力的作用,因此,本课题主要针对这两个作用力位置对夹紧钳进行受力分析,如图4所示。

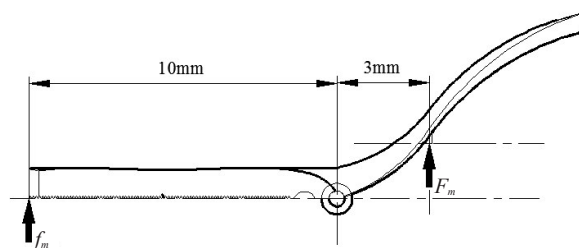


图4 分离钳钳爪受力分析

Fig.4 Stress analysis of the forceps claws

取一个安全系数1.1,得出腹腔镜手术器械分离钳对血管的夹持力( $f_m'$ )为1.65 N,其中 $f_m'$ 与钳爪受到血管压力 $f_m$ 互为反作用力。在结构设计中,弹簧与钳爪尾部接触的部分到上下两个钳爪链接销子位置的距离为3 mm,此距离也是弹簧驱动钳爪的有效力臂( $l_1$ )为3 mm。手术操作过程中,给钳爪的负载力臂( $l_2$ )为10 mm。由下面静力学的关系式,可以求解出弹簧对手术器械分离钳的作用力极值为 $F_m$ ,其中销



子孔的直径( $d$ )为1 mm:

$$F_m = \frac{l_2}{l_1} \times f_m = \frac{10}{3} \times 1.65 = 5.5 \text{ N}$$

分离钳钳爪转动需弹簧提供转矩:

$$T_{\text{爪}} = F_m \times \left( \frac{d_{\text{孔}}}{2} + l_1 \right) = 5.5 \times \left( \frac{1}{2} + 3 \right) = 19.25 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

## 2.2 应力分析

本研究设计钳爪的应力分析主要使用ANSYS有限元分析软件进行分析处理。在前处理过程中,先在ANSYS分析软件中导入由solidworks设计的钳爪模型,并根据工业设计常用材料,选定钳夹材料为不锈钢材质,弹性模量( $E$ )= $1.93\text{e}+11$  Pa,泊松比( $\nu$ )为0.31。

网格划分:采用中等的网格密度划分形式对模型进行划分,如图5所示。

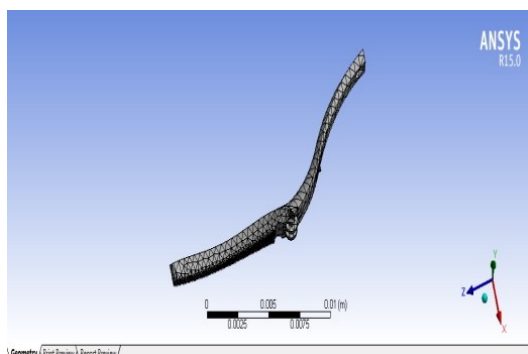


图5 网格划分  
Fig.5 Meshing

边界条件设置(载荷与约束):模拟钳夹夹取组织血管的静态过程,铰链固定上下两个钳爪与销子的接触部分。分别在钳爪头部及钳爪尾部与弹簧接触部分施加静作用载荷,分别预设值为1.65及5.5 N,如图6所示。

运算程序可以得出手术器械分离钳钳爪所受应

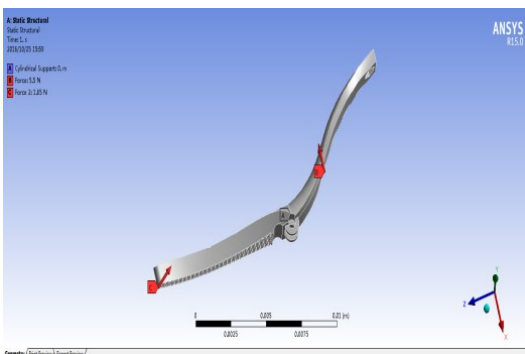


图6 模拟钳爪工作过程受力图  
Fig.6 Force diagram of forceps working process simulation

力与总应变分布云图,如图7和图8所示。

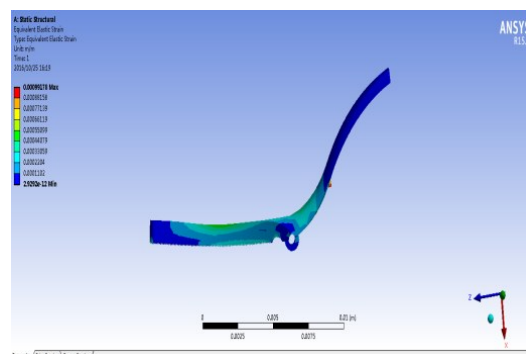


图7 钳爪的应力分布云图  
Fig.7 Stress distribution of the forceps

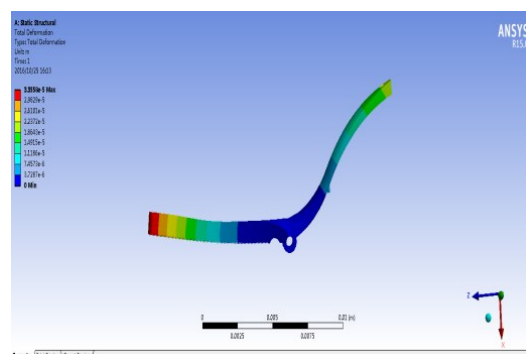


图8 钳爪的总应变分布云图  
Fig.8 The total strain distribution of the forceps

由ANSYS有限元分析钳爪所受应力分布云图可知,所设计的钳夹中在钳爪与弹簧的接触部位及钳爪的头部所受应力较大,分别为 $1.906\text{e}+008$  Pa和 $6.3535\text{e}+007$  Pa。其中钳爪中部与夹取的组织血管接触的部分应力也相应较大,为 $8.471\text{e}+007$  Pa,所以在后期的制作实物过程中需要注意钳爪尺寸的调整,在受应力较大的地方,设计钳爪的尺寸相应增大,以防止在钳夹夹取组织的过程中,因受力过大而发生变形,从而妨碍手术的安全进行。由钳夹的总应变分布云图可以看出钳爪的头部和尾部发生的应变相对较大,此现象符合一般事实规律。

## 3 结果和讨论

通过对实验数据的整理与分析可以得出,所设计的钳爪在满足夹持血管要求的过程中,在不同位置的受力及应力应变云图。其可以作为后期制作实物的参考,在具体的分离钳爪受力与应变较大的部位,如钳爪夹持组织血管的部位及钳爪与弹簧接触的部位,需要进行尺寸及材质上的调整,如可以利用加大尺寸或选用刚度较大的材料制作钳夹的方法来

延长钳夹的使用寿命。另外,从对钳爪的受力分析可以计算得出,在满足钳夹夹持血管最大夹持力的条件下(既对血管起到夹持作用,又不会对血管造成不可恢复性损伤),需要钳夹尾部的弹簧提供的最大扭矩为 $19.25\text{ N}\cdot\text{mm}$ 。同时针对设置的弹簧位置不同,所提供的弹力也不相同,在今后针对不同腹腔镜手术医用钳夹进行设计的时候,应考虑到其尺寸及夹紧力需满足此类要求。本次研究所设计的钳夹可以满足腹腔镜手术一般夹持组织血管的操作要求,并且可以实现设计的最初目的,即手术器械分离钳的钳夹与操作手柄可以实现快速分离与对接,从而解决了腹腔镜手术操作空间狭小及器械之间易发生碰撞的问题,减小手术器械给病人带来的危害,为医生的手术操作带来便利。

腹腔镜手术作为一种新型的微创手术,越来越受到医护人员的欢迎。分离钳是腹腔镜手术中必不可少的手术器械。手术过程中,有时医生需同时操作多个腹腔镜手术器械,如分离钳、剪刀、抓钳、缝合针等。由于医生双手操作的限制,需要减少对只起到夹持组织血管作用的分离钳的握持。另外,在人体狭小的腹腔同时操作过多的腹腔镜手术器械,难免会引起器械之间的碰撞,干扰手术进行,严重时危害病人生命安全<sup>[14-15]</sup>。

本研究设计的新型腹腔镜手术器械分离钳,在传统手术器械分离钳的基础上进行结构改进,使手术器械分离钳的操作手柄端和夹持钳头部可以实现快速分离和对接。手术过程中,医生控制操作手柄可以将夹持钳精准送入人体腹腔,对目标坏死组织进行夹持与剥离,在不需要对夹持钳进行更多操作的情况下,可以取出操作手柄,只留有夹持钳头部在人体腹腔,取代分离钳的夹持作用,从而解放辅助医师的双手,为主刀医师留有更多的手术操作空间。在手术结束后,医生可以手持改进后的手术器械分离钳操作手柄部分,在人体腹腔通过夹持钳尾部的六角通孔与其进行快速对接,方便快捷地取出夹持钳头部,从而保证手术的顺利进行。后期的研究将主要针对手术医师的具体操作,对所设计的分离钳钳夹尺寸及爪齿形状进行详细的修改与设计,以满足不同类型腹腔镜手术对分离钳器械的要求。

## 【参考文献】

- [1] 孙茂莲. 腹腔镜子宫切除术中应用子宫肌瘤分离钳的效果观察[J]. 当代护士, 2015(11): 93-94.  
SUN M L. Observation on the effect of laparoscopic hysterectomy in the treatment of uterine fibroids[J]. Today Nurse, 2015(11): 93-94.
- [2] 冯泽荣, 余俊英. 单双极电钩式分离钳行四孔电钩法完全腹腔镜乙状结肠癌根治术的临床研究[J]. 微创医学, 2011, 6(6): 530-532.  
FENG Z R, YU J Y. Clinical study of single-bipolar electric hook-type separation clamp and four-hole electro-hook method for complete laparoscopic resection of sigmoid colon carcinoma[J]. Minimally Invasive Medicine, 2011, 6(6): 530-532.
- [3] 程小丽, 宋成利. 单孔腹腔镜手术器械研究的最新进展[J]. 中国组织工程研究, 2011, 15(25): 4669-4674.  
CHENG X L, SONG C L. The latest development of single-hole laparoscopic surgical instruments[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2011, 15(25): 4669-4674.
- [4] HUANG C Y, WU K Y, SU H, et al. Accessibility and surgical outcomes of transumbilical single-port laparoscopy using straight instruments for hysterectomy in difficult conditions[J]. Taiwan J Obstet Gynecol, 2014, 53(4): 471-475.
- [5] 周良, 谭振刚, 刘建. 腔镜下胆囊阑尾手术 80 例临床分析[J]. 当代医学, 2015(9): 79-80.  
ZHOU L, TAN Z G, LIU J. Clinical analysis of endoscopic gallbladder appendectomy in 80 cases[J]. Contemporary Medicine, 2015(9): 79-80.
- [6] 马耀虎. 开腹及腹腔镜手术切除胆囊治疗结石性胆囊炎的疗效分析[J]. 医学信息, 2014, 28(24): 280-282.  
MA Y H. Analysis of curative effect of open gallbladder and laparoscopic cholecystectomy on cholecystitis [J]. Medical Information, 2014, 28(24): 280-282.
- [7] 赵淑文, 荣加藏, 辛亚东. 腹腔镜分离钳在宫腔镜室的应用[J]. 中国伤残医学, 2013, 21(2): 70-71.  
ZHAO S W, RONG J W, XIN Y D. Application of laparoscopic separation clamp in hysteroscopy room[J]. Chinese Journal of Trauma and Disability Medicine, 2013, 21(2): 70-71.
- [8] 王东杰, 曹小娟, 李莉芳, 等. 微型小头弯分离钳在妇科腹腔镜手术中的应用[J]. 中国微创外科杂志, 2015, 15(6): 538-542.  
WANG D J, CAO X J, LI L F, et al. Application of miniature small-head bent-off forceps in gynecological laparoscopic surgery [J]. Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery, 2015, 15(6): 538-542.
- [9] AGUIRRE M E, FRECKER M. Design innovation size and shape optimization of a 1.0 mm multifunctional forceps-scissors surgical instrument[J]. J Med Devices, 2008, 2(1): 121-136.
- [10] 李伟正. 微创手术钳头界面评价方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2014.  
LI W Z. Study on the method of evaluating interface of minimally invasive surgery[D]. Changsha: Central South University, 2014.
- [11] HONG M B, JO Y H. Design and evaluation of 2-DOF compliant forceps with force-sensing capability for minimally invasive robot surgery[J]. IEEE Trans Robot, 2012, 28(4): 932-941.
- [12] ARATA J, KOGISO S, SAKAGUCHI M, et al. Articulated minimally invasive surgical instrument based on compliant mechanism[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2015, 10(11): 1-7.
- [13] 邱雪芹, 潘博, 付宜利. 腹腔镜微创手术机器人手术器械设计[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2014, 30(1): 69-74.  
QIU X Q, PAN B, FU Y L. Surgical design of intracranial minimally invasive surgery [J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Science Edition), 2014, 30(1): 69-74.
- [14] KANNO T, HARAGUCHI D, YAMAMOTO M, et al. A forceps manipulator with flexible 4-DOF mechanism for laparoscopic surgery [J]. IEEE/ASME Trans Mechatron, 2015, 20(3): 1170-1178.
- [15] CHUNG P H, WONG C W, IP D K, et al. Is laparoscopic surgery better than open surgery for the repair of congenital duodenal obstruction? A review of the current evidences[J]. J Pediatr Surg, 2016, 52(3): 498-503.

(编辑:黄开颜)