

# 大鼠结肠侧侧磁吻合实验研究<sup>\*</sup>

田波彦<sup>1</sup> 张苗苗<sup>1,2</sup> 冒健骐<sup>3</sup> 吕欣<sup>4</sup> 吕毅<sup>1,2</sup> 严小鹏<sup>1,2</sup>

(1. 西安交通大学第一附属医院肝胆外科, 陕西 西安 710061; 2. 西安交通大学第一附属医院陕西省磁医学重点实验室, 陕西 西安 710061; 3. 西安交通大学宗濂书院, 陕西 西安 710061; 4. 西安交通大学第二附属医院呼吸与危重症医学科, 陕西 西安 710004)

**【摘要】** 目的 探讨经肛门磁体置入实现大鼠结肠侧侧磁吻合的可行性, 为研究消化道磁吻合机理提供一种模型制备方法。方法 选取 10 只 SD 大鼠为动物模型, 麻醉后取下腹部小切口, 经肛门依次置入子磁体和母磁体至近端结肠和远端结肠, 直视下完成子、母磁体相吸。记录手术操作时间、术中及术后并发症发生情况、磁体排出时间。4 周后安乐死处死大鼠获取吻合口标本, 测量吻合口直径, 肉眼及光镜观察结肠侧侧磁吻合口形成情况。结果 10 只 SD 大鼠均成功完成了结肠侧侧磁吻合, 术后大鼠均存活至第 4 周。术中及术后无出血、肠穿孔、肠梗阻等并发症。手术操作时间(12.25±1.90)min, 磁体排出时间(5.30±1.16)d。术后 4 周吻合口直径(5.51±0.29)mm。肉眼观察可见结肠侧侧吻合口黏膜光滑平整, HE 和 Masson 染色可见吻合口处黏膜连续性良好。结论 经大鼠肛门磁体置入结肠侧侧磁吻合操作简单、成功率高、创伤小, 可作为消化道磁吻合过程组织学研究的理想动物模型。

**【关键词】** 磁外科; 磁吻合; 消化道吻合; 大鼠; 磁压迫吻合

**【中图分类号】** R656.9 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2025.03.003

## An experimental study of side-to-side magnamosis of the colon in rats

TIAN Boyan<sup>1</sup>, ZHANG Miaomiao<sup>1,2</sup>, MAO Jianqi<sup>3</sup>, LYU Xin<sup>4</sup>, LYU Yi<sup>1,2</sup>, YAN Xiaopeng<sup>1,2</sup>

(1. Department of Hepatobiliary Surgery, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;  
2. Shanxi Provincial Key Laboratory of Magnetic Medicine, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;  
3. Zonglian College, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;  
4. Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, The Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, China)

**【Abstract】** **Objective** To investigate the feasibility of side-to-side magnamosis of the colon in rats by transanal magnet placement, and provide a model preparation method for studying the mechanism of magnamosis of the digestive tract. **Methods** Ten Sprague-Dawley rats were used as animal models. After anesthesia, a small abdominal incision was made, and a daughter magnet and a parent magnet were placed into the proximal and distal colon through the anus, and the daughter magnet and parent magnet were attracted under direct vision. The operation time, intraoperative and post-operative complications, and magnet discharge time were recorded. After 4 weeks, the rats were euthanized and the anastomosis specimens were obtained. The diameter of the anastomosis was measured, and the formation of side-to-side magnamosis of the colon was observed by naked eyes and light microscopy. **Results** Side-to-side magnamosis was successfully performed in 10 SD rats, and all rats survived to 4 weeks after operation. There were no complications such as bleeding, intestinal perforation and intestinal obstruction during and after operation. The operation time was 12.25±1.90 min, the magnet discharge time was 5.30±1.16 d, and the diameter of anastomosis was 5.51±0.29 mm. Macroscopic observation showed that the mucosa of the colonic side-to-side anastomosis was smooth, HE and Masson staining showed that the mucosa at the anastomosis was continuous. **Conclusion** Side-to-side colonic magnamosis with a transanal magnet placement in rat is simple to perform, with a high success rate and minimal trauma. It can be used as an ideal animal model.

**基金项目:** 陕西省重点研发计划项目(2022SF-036, 2024SF-YBXM-447); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2023-JC-QN-0814); 西安交通大学第一附属医院科研发展基金项目(2022MS-07); 西安交通大学基本科研业务费项目(xzy022023068)

**通信作者:** 严小鹏, E-mail: yanxiaopeng99@163.com

**引用本文:** 田波彦, 张苗苗, 冒健骐, 等. 大鼠结肠侧侧磁吻合实验研究 [J]. 西部医学, 2025, 37(3): 327-331. DOI:10.3969/j.issn.1672-3511.2025.03.003

el for histological study of magnamosis of the digestive tract.

**【Key words】** Magnetosurgery; Magnamosis; Digestive tract anastomosis; Rat; Magnetic compression anastomosis

磁压迫吻合(Magnetic compression anastomosis, MCA)又称磁吻合(Magnamosis),是继手工缝线吻合、机械钉式吻合之后的第三种吻合模式<sup>[1]</sup>,是磁外科临床技术中最重要的组成部分<sup>[2]</sup>。磁吻合的横向研究,已经从最初的血管吻合<sup>[3]</sup>拓展至从食管到结直肠的全消化道吻合<sup>[4-7]</sup>、输尿管膀胱吻合<sup>[8]</sup>、功能性造瘘<sup>[9-11]</sup>以及病理性造瘘制备动物模型<sup>[12]</sup>等诸多方面。在纵向研究方面,研究者们已深入到磁力因素对吻合效果的影响、消化道磁吻合的病理变化过程以及消化道磁吻合分期等基础理论问题<sup>[13-14]</sup>。在消化道磁吻合研究中,根据研究目的不同需要选择不同的实验动物模型。一般而言,如果是在临床应用前需要对磁吻合装置的安全性、可靠性进行评价,应尽可能选择与人体胃肠道解剖结构相近的比格犬、实验猪等大动物作为动物模型。而当研究目的为探索消化道磁吻合过程中的组织病理变化过程、磁场生物学效应对吻合效果的影响、磁力及磁体界面结构差异性对吻合的影

响等基础性问题时,根据动物实验“3R”原则,可选用实验兔、大鼠等作为实验动物模型。本研究拟探讨SD大鼠经肛门磁体置入结肠侧侧吻合可行性,以期作为消化道磁吻合机理研究提供一种简单、有效的动物模型制备方法。其设计思路为经肛门依次置入两枚磁体至大鼠结肠的近端和远端,在腹部小切口辅助下完成两枚磁体相吸过程。当吻合建立后磁体脱离吻合口从肛门自行排出体外。

**1 材料与方法**

1.1 实验材料 SD大鼠10只,雌雄各半,体重200~250g,购买于西安交通大学实验动物中心。本实验中所用的子磁体和母磁体大小及形状相同,为直径5mm、高3mm的圆柱形磁体,由N35烧结钕铁硼永磁材料加工而成,高度方向饱和充磁,磁体表面电镀镍防腐处理。磁体实物见图1。该实验经西安交通大学医学动物实验伦理委员会审核批准(批准号:2021-1534)。

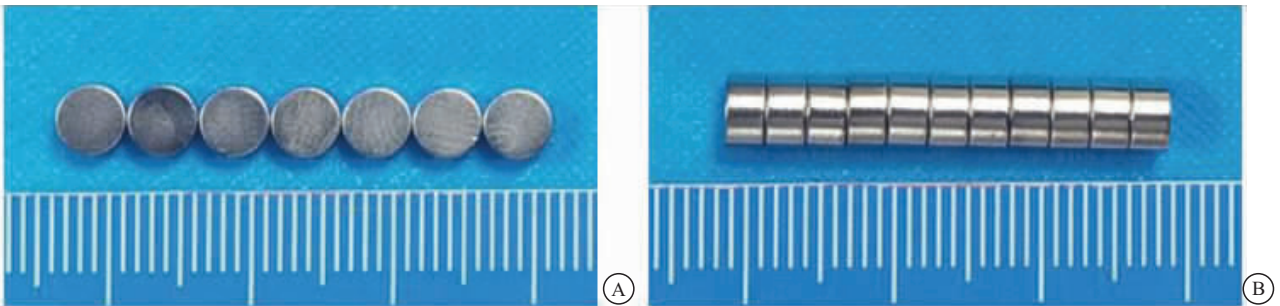


图1 磁体实物图

Figure 1 Physical image of magnet

注:A.正面观;B.侧面观。

1.2 操作路径及观察指标 以SD大鼠为实验动物,腹腔注射麻醉后经肛门依次置入磁体,开腹小切口辅助下调整子、母磁体达到欲吻合部位并完成近端结肠

与远端结肠侧侧吻合,手术过程示意图见图2。实验观察指标包括:手术时间、术中及术后并发症、磁体排出时间、吻合口直径、肉眼及光镜观察吻合口愈合情况。

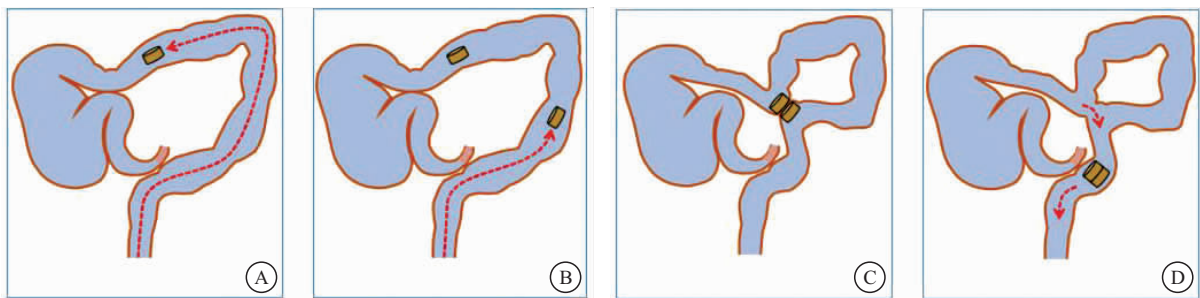


图2 经肛结肠侧侧磁吻合过程示意图

Figure 2 Schematic diagram of side-to-side magnetic anastomosis of the colon through the anus

注:A.经肛门将子磁体置入结肠近端;B.经肛门将母磁体置入结肠远端;C.结肠内子、母磁体相吸;D.结肠侧侧吻合建立后磁体自行脱离吻合口并经肛门排出。

1.3 实验方法 本实验为大鼠经肛门结肠侧侧吻合可行性探索研究,因此不设对照组,所有实验动物均纳入研究组。SD 大鼠术前 2 d 开始给予无渣流食。腹腔注射 3% 戊巴比妥钠(0.1 mL/100 g),麻醉满意后,仰卧位固定四肢,电动剃毛器剃除下腹部体毛。常规手术区域消毒,取下腹部正中手术切口,长约 2.5 cm。将横结肠、盲肠及部分回肠移出腹腔,显露全部结肠。为便于推送磁体可经肛门插入修剪后的头皮针塑料管给结肠内推注适量空气使结肠处于充气膨胀状态。将石蜡油润滑过的子磁体经肛门置入,医

用棉签插入肛门将子磁体推送至降结肠,然后直视下经腹利用棉签把子磁体推送至结肠近端,以距离盲肠约 3 cm 为宜。经肛门置入母磁体,采用与子磁体相同的置入方法将其推送至降结肠,距离肛门 3 cm 左右。将子、母磁体相互靠近,二者自动相吸,还纳肠管于腹腔内。丝线逐层关腹,术毕。手术操作过程见图 3。麻醉苏醒后自由进食水,每日观察大鼠排便情况,收集排出的磁体。术后 4 周安乐死处死实验动物,获取吻合口标本,测量吻合口直径,肉眼及光镜观察吻合口愈合情况。

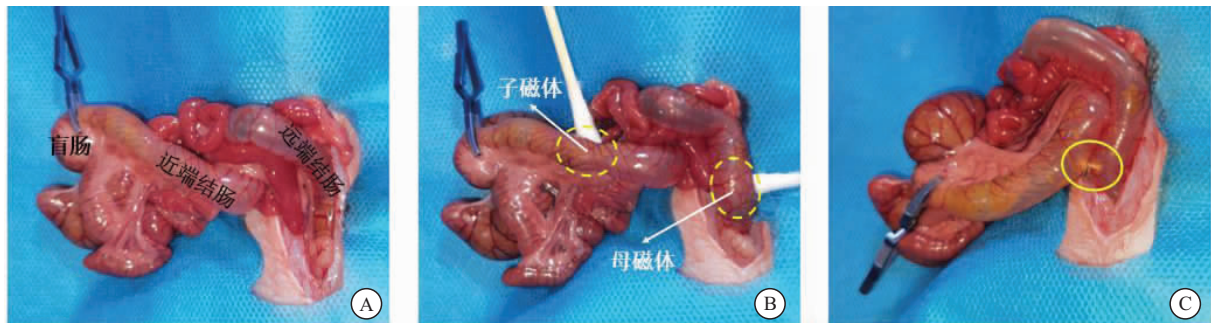


图 3 手术操作过程

Figure 3 Surgical procedure

注:A. 显露肠管;B. 经肛门依次置入子磁体和母磁体;C. 子、母磁体相吸。

## 2 结果

10 只 SD 大鼠均成功将子、母磁体置入结肠内并完成自动对位相吸。手术操作成功率 100%, 术后所有大鼠均存活至第 4 周。术中未发生出血、肠穿孔等并发症。术后均顺利自行排出磁体,无肠梗阻发生。整个手术操作时间( $12.25 \pm 1.90$ )min (范围 9.5~15.0

min), 磁体排出时间( $5.30 \pm 1.16$ )d (范围 4~7 d)。术后 4 周获取结肠侧侧吻合口标本, 吻合口直径( $5.51 \pm 0.29$ )mm (范围 5.15~6.10 mm)。肉眼观察可见结肠侧侧吻合口黏膜光滑平整,无异物残留。结肠侧侧磁吻合大体标本见图 4。HE 和 Masson 染色可见吻合口处黏膜连续性良好,见图 5。

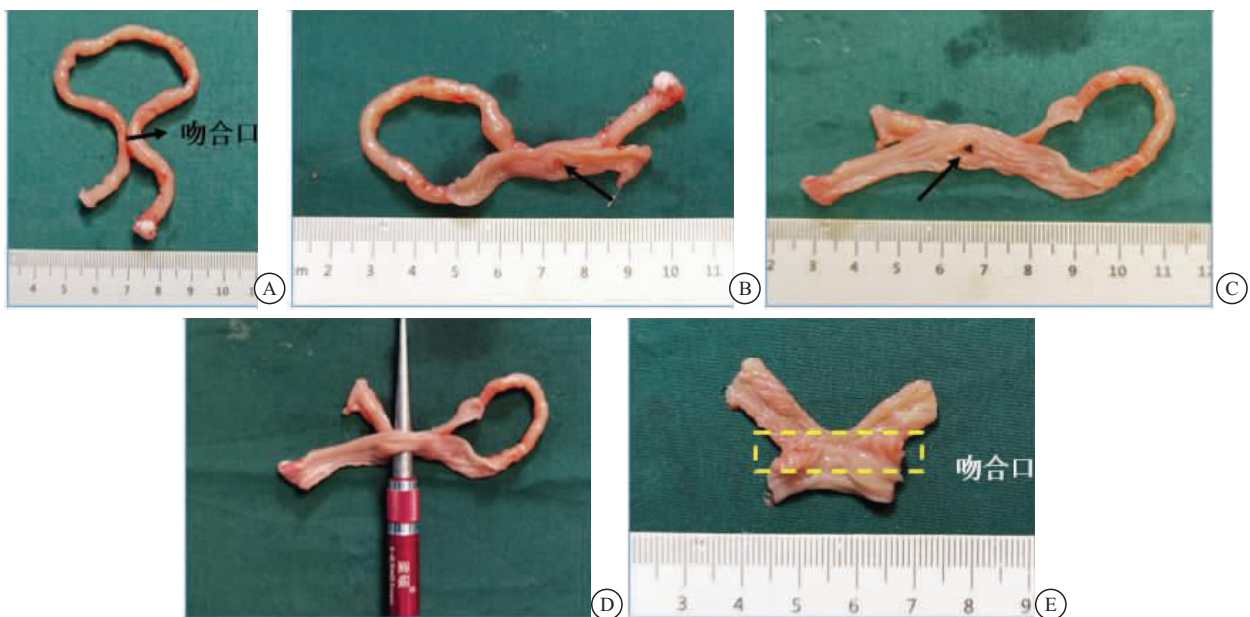


图 4 结肠侧侧磁吻合大体标本

Figure 4 Side-to-side magnetic anastomosis gross specimen of the colon

注:A. 大体标本;B. 纵向剖开近端结肠所见吻合口;C. 纵向剖开远端结肠所见吻合口;D. 测量吻合口直径;E. 吻合口黏膜面。

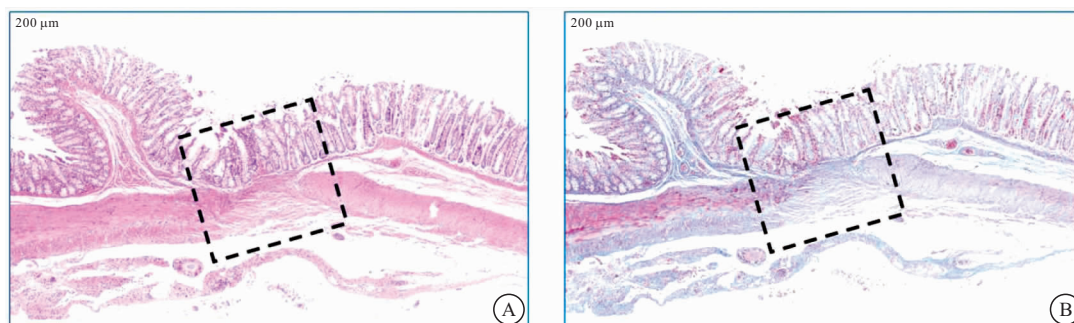


图 5 结肠侧侧磁吻合口组织学观察

Figure 5 Histological observation of the side-to-side magnetic anastomosis of the colon

注: A. HE 染色(6.0×); B. Masson 染色(6.0×)。

### 3 讨论

自日本学者大洞庆郎利用磁体进行血管吻合以来, MCA 经历了 40 多年的发展。国内外学者利用 MCA 针对消化道、血管及输尿管等空腔脏器进行了一系列动物实验及临床应用探索。目前, 关于消化道 MCA 的相关研究已遍及整个消化道管腔。消化道 MCA 在前期的研究主要是对各种消化道吻合器的可行性探索研究, 消化道吻合器由最初简单的圆柱及圆环形状向更为巧妙的“可变形”设计发展<sup>[15-17]</sup>, 逐步拓宽 MCA 的临床应用场景。另一方面, 学者们对吻合过程中组织病理变化过程的研究也逐步深入。因此, 在磁吻合机制研究中理想动物模型的构建显得至关重要。SD 大鼠与犬、猪等大动物相比具有成本低、易于饲养和管理的优点<sup>[18]</sup>。在磁吻合研究中常常需要切开肠管, 磁体置入完成磁吻合后再缝合关闭肠管。但是, 大鼠的胃肠道管径较细, 肠管切开再缝合增加了手术操作步骤, 并且对手工缝合的技术要求较高, 术后出现肠管狭窄、肠痿、出血等并发症的风险较高, 降低了模型制备成功率<sup>[19-20]</sup>。因此, 在消化道磁吻合中, 使用大鼠作为实验动物模型的研究较少。

肛门作为消化道自然管腔的出口, 在临床上可实施经自然腔道手术, 如结直肠肿瘤经肛自然腔道取标本手术<sup>[21]</sup>、完全经肛腔镜下全直肠系膜切除术<sup>[22]</sup>等。经肛门手术具有更加微创、术后恢复快等诸多优点。本研究采用了经肛门自然腔道磁体置入的方法, 豁免了切开肠管和缝合肠管的操作, 在不影响观察磁吻合效果的前提下尽可能减少对实验动物的创伤, 提高动物模型制备成功率。该研究将为同行采用大鼠作为消化道磁吻合动物模型提供一定的借鉴意义, 尤其是经肛自然通路下置入磁体的方式极大地简化了手术操作过程。

本研究结果显示, 直径 5 mm 的磁体能够顺利经肛门置入, 在下腹部小切口辅助下可将子、母磁体顺

利推送到欲吻合的结肠部位。开腹辅助操作的目的在于有以下几点: ①由于目前缺乏适用于大鼠的内窥镜操作系统, 因此只能在开腹直视下来精确定位磁体位置。②大鼠结肠侧侧磁吻合中旷置部分需要预留足够的长度, 以避免结肠肠管角度过小, 造成肠梗阻, 这在开腹直视下可以有效规避。③大鼠肠道解剖结构显示在近端结肠与远端结肠之间还有小肠, 当子、母磁体盲吸时可能会导致小肠肠管被夹在磁体之间形成肠梗阻。

根据对实验大鼠结肠侧侧磁吻合标本的观察和分析可见, 结肠磁吻合口黏膜光滑平整, 光镜下显示黏膜连续性良好, 与既往报道的消化道磁吻合组织学改变基本一致<sup>[23-25]</sup>。因此该模型适用于消化道磁吻合机制方面研究, 如磁力大小、磁场强度、吻合磁体工作面结构差异性对吻合口形成情况的影响等。该模型也有其自身的局限性。该实验中磁体是在完全经肛门路径下置入, 同时不切开肠管, 因此不适用于磁吻合与其他吻合方法之间的对比研究。

### 4 结论

经大鼠肛门磁体置入结肠侧侧磁吻合具有可行性, 能够最大程度上简化手术操作、缩短手术时间、减少手术创伤, 具有简单易行、成功率高等优点, 可以作为消化道磁吻合机制研究的理想动物模型。

### 【参考文献】

[1] 张苗苗, 吉琳, 牟星宜, 等. 磁吻合研究现状与发展趋势[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(11): 45-48.  
 [2] 严小鹏, 商澎, 史爱华, 等. 磁外科学体系的探索与建立[J]. 科学通报, 2019, 64(8): 815-826.  
 [3] OBORA Y, TAMAKI N, MATSUMOTO S. Nonsuture microvascular anastomosis using magnet rings: preliminary report[J]. Surg Neurol, 1978, 9(2): 117-120.  
 [4] HOLLER A S, KÖNIG T T, CHEN C, et al. Esophageal magnetic compression anastomosis in esophageal atresia repair: a PRISMA-compliant systematic review and comparison with a no-

- vel approach[J]. *Children*, 2022, 9(8): 1113.
- [5] GAGNER M, ABULADZE D, KOIAVA L, *et al.* First-in-human side-to-side magnetic compression duodeno-ileostomy with the magnet anastomosis system[J]. *Obes Surg*, 2023, 33(8): 2282-2292.
- [6] ZHANG M M, ZHAO G B, ZHANG H Z, *et al.* Novel deformable self-assembled magnetic anastomosis ring for endoscopic treatment of colonic stenosis *via* natural orifice[J]. *World J Gastroenterol*, 2023, 29(33): 5005-5013.
- [7] YE D, ZHANG M M, SHI A H, *et al.* Construction of esophago-gastric anastomosis in rabbits with magnetic compression technique[J]. *J Gastrointest Surg*, 2021, 25(12): 3033-3039.
- [8] 邓博, 徐庶钦, 王方舟, 等. 磁压榨技术治疗输尿管远端梗阻的实验研究[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2021, 39(3): 319-322.
- [9] 张苗苗, 吉琳, 盖敬慈, 等. 基于磁压榨技术的无创化胃造瘘的大鼠模型研究[J]. *中国普通外科杂志*, 2021, 30(10): 1175-1183.
- [10] 张苗苗, 冒健骐, 任宇翔, 等. 基于磁压榨技术的膀胱造瘘动物实验研究[J]. *中国医疗设备*, 2022, 37(6): 12-14, 28.
- [11] ZHANG M M, MAO J Q, LI Y X, *et al.* A novel magnetic compression technique for cystostomy in rabbits[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 12209.
- [12] 高慧敏, 邱明龙, 张砚超, 等. 磁压榨超微创技术建立兔获得性气管食管瘘动物模型[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2019, 37(2): 223-227.
- [13] ZHAO G B, MA J, YAN X P, *et al.* Optimized force range of magnetic compression anastomosis in dog intestinal tissue[J]. *J Pediatr Surg*, 2019, 54(10): 2166-2171.
- [14] ZHANG M M, LYU X, ZHAO G B, *et al.* Establishment of Yan-Zhang's staging of digestive tract magnetic compression anastomosis in a rat model[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 12445.
- [15] ORE A S, ASKENASY E, RYOU M, *et al.* Evaluation of sutureless anastomosis after ileostomy takedown using the self-forming magnet anastomosis system in a porcine model[J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(10): 7664-7672.
- [16] ZHANG M M, MAO J Q, MA J, *et al.* Endoscopic gastrointestinal bypass anastomosis using deformable self-assembled magnetic anastomosis rings (DSAMARs) in a pig model[J]. *BMC Gastroenterol*, 2024, 24(1): 20.
- [17] ZHANG M M, HE S X, SHA H C, *et al.* A novel self-shaping magnetic compression anastomosis ring for treatment of colonic stenosis[J]. *Endoscopy*, 2023, 55(S 01): E1132-E1134.
- [18] ZHANG M M, JI L, CHANG K X, *et al.* A novel micromagnetic ring used for biliary-enteric anastomosis in rats[J]. *J Pediatr Surg*, 2022, 57(10): 451-456.
- [19] AN Y F, ZHANG Y C, LIU H, *et al.* Gastrojejunal anastomosis in rats using the magnetic compression technique[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 11620.
- [20] MA F, MA J, MA S J, *et al.* A novel magnetic compression technique for small intestinal end-to-side anastomosis in rats[J]. *J Pediatr Surg*, 2019, 54(4): 744-749.
- [21] 陈凯凡, 张炜烘, 李俊鹏, 等. 结直肠肿瘤经肛自然腔道取标本手术与传统腹腔镜结直肠癌手术的临床对比研究[J]. *临床普外科电子杂志*, 2022, 10(3): 6-10, 75.
- [22] 康亮, 黄美近, 汪建平, 等. 完全经肛腔镜下全直肠系膜切除术五例[J]. *中华胃肠外科杂志*, 2014(8): 825-827.
- [23] BAI J G, HUO X W, MA J, *et al.* Magnetic compression technique for colonic anastomosis in rats[J]. *J Surg Res*, 2018, 231: 24-29.
- [24] ZHANG M M, LI Y X, PAN M, *et al.* Creation of gastroenteric anastomosis through natural orifice in rats by magnetic compression technique [J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(11): 8170-8177.
- [25] TIAN B Y, ZHANG M M, MA J, *et al.* Influence of different magnetic forces on the effect of colonic anastomosis in rats[J]. *World J Gastrointest Surg*, 2024, 16(3): 860-870.

(收稿日期: 2024-03-07; 修回日期: 2024-03-28; 编辑: 刘灵敏)