·基础研究·

一种创新的输尿管回肠吻合方法——基于兔模型的磁吻合

张苗苗[1,2]，万嘉辉[1,2]，龚瑞敏[3]，钟秋烨[3]，吕　毅[1,2]，严小鹏[1,2]

（西安交通大学第一附属医院：1.肝胆外科；2.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）

An innovative method of uretero-ileal anastomosis: magnetic anastomosis based on rabbit models

ZHANG Miaomiao[1,2], WAN Jiahui[1,2], GONG Ruimin[3], ZHONG Qiuye[3], LYU Yi[1,2], YAN Xiaopeng[1,2]

(1. Department of Hepatobiliary Surgery, 2. Shaanxi Provincial Key Laboratory of Magnetic Medicine, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061; 3. Zonglian College, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China)

ABSTRACT: Objective　To investigate the feasibility of magnetic anastomosis for uretero-ileal anastomosis using experimental rabbit models. Methods　Six experimental rabbits were used as the models. The lower part of the left ureter was cut with scissors, the daughter magnet (DM) was placed in the middle of the ureter, and the distal end of the ureter was ligated. After that, the ileum wall was opened, the parent magnet (PM) was inserted through it, the positions of the PM and DM were adjusted so that their ends were attracted to each other, and then ileum wall incision was sutured. The operation time, intraoperative blood loss, postoperative complications and magnet discharge time were recorded. Two weeks after operation, left ureterography was performed to obtain the specimens of the uretero-ileal anastomosis, and to observe the patency of the anastomosis. The formation of the anastomosis was observed with naked eyes and light microscope. Results　Uretero-ileal magnetic anastomosis was performed successfully in 6 experimental rabbits. The operation time was 28－39 (32.50±3.94) min, and the intraoperative blood loss was less than 5 mL. The rabbits recovered well after operation, and no complications were observed. All animals survived to the end point of observation. The disconnection time of magnet after operation was 9－13 (10.83±1.72) days. The gross specimen showed that the anastomosis was patent. The histological observation showed that the mucosa of the anastomosis was continuous and smooth, and the anastomosis was well formed. Conclusion　Magnetic anastomosis is feasible for uretero-ileal anastomosis with simple operation and good anastomosis formation. After further experimental verification, this technique is expected to be used in clinical practice.

KEY WORDS: magnetic compression technique; magnetic surgery; uretero-ileal anastomosis; magnetic anastomosis; magnet

摘要：**目的**　使用实验兔动物模型，探讨磁吻合技术用于输尿管回肠吻合的可行性。**方法**　以6只实验兔为模型，剪开左侧输尿管下段，将子磁体置入到输尿管中段，结扎远端输尿管。打开回肠肠壁，经此置入母磁体，调整子、母磁体位置使其端端相吸，缝合关闭回肠肠壁切口。记录手术操作时间、术中出血量、术后并发症及磁体排出时间。术后2周行左侧输尿管造影，观察吻合口通畅情况，获取输尿管回肠吻合口标本，肉眼及光镜观察吻合口形成情况。**结果**　6只实验兔顺利实施了输尿管回肠磁吻合手术。手术操作时间28～39 min，平均(32.50±3.94)min，术中出血量均<5 mL。实验兔术后恢复良好，未见外科手术相关并发症发生，所有动物均存活至实验观察终点。术后磁体排出时间9～13 d，平均(10.83±1.72)d。大体标本肉眼可见吻合口通畅，组织学观察见吻合口黏膜连续、光滑平整，吻合口形成良好。**结论**　磁吻合用于输尿管回肠吻合操作简单、吻合口形成良好，具有可行性，后续有望应用于临床患者。

关键词：磁压榨技术；磁外科；输尿管回肠吻合；磁吻合；磁体

中图分类号：R737.14　　**文献标志码**：A　　**DOI**：10.3969/j.issn.1009-8291.2025.04.013

膀胱癌是泌尿系统常见恶性肿瘤，发病率呈逐年上升趋势[1]。对于肌层浸润性膀胱癌，根治性膀胱切除联合尿流改道是标准治疗方案[2]。在诸多的尿流改道术中，最常用的是回肠通道术和原位膀胱术。根治性膀胱切除联合尿流改道的并发症高达25%～64%，其中与尿流改道相关的并发症占比一半，以输尿管肠吻合口狭窄(ureteroenteric anastomosis stricuture，UES)最常见且较为严重，是导致患者术后肾

收稿日期：2024-12-02　　**修回日期**：2025-01-23

基金项目：陕西省重点研发计划项目(No.2024SF-YBXM-447)；西安交通大学第一附属医院科研发展基金项目(No.2022MS-07)；陕西省医工融合高端医疗装备共性技术研发平台项目(No.2023GXJS-01)。

通信作者：严小鹏，副研究员，博士研究生合作导师。E-mail：yanxiaopeng99@163.com

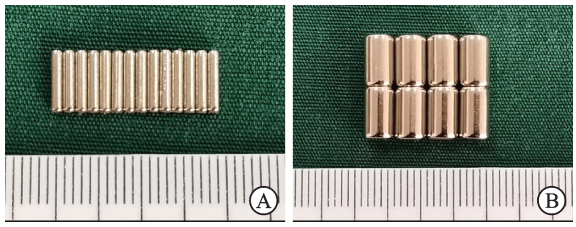
作者简介：张苗苗，博士研究生在读。研究方向：磁外科，肝胆胰疾病。E-mail：zhangmiaomiao722@163.com

功能下降的主要原因[3]。放疗、肥胖、腹部手术史、手术技术等是有可能导致 UES 的危险因素[4]。对于术者来说，如何改进吻合技术，降低根治性膀胱切除联合尿流改道后 UES 的发生率具有重要的临床意义。

磁压榨技术（magnetic compression technique，MCT）是利用 2 个或 2 个以上磁体（或数个磁体与顺磁性材料）之间的磁性吸引力，通过开腹（胸）手术、腔镜手术、内镜操作、介入操作等来实现脏器的连接再通、组织的压榨闭合、管腔内容物的限流等，从而实现对临床疾病进行诊断和治疗的目的[5]。磁压迫吻合（magnetic compression anastomosis，MCA）又称磁吻合，是 MCT 中最重要的临床应用技术，被誉为继手工缝线吻合和机械钉式吻合之后的第 3 种吻合模式[6]，可用于食管吻合[7-8]、胃肠吻合[9-10]、结肠吻合[11]、血管吻合[12-13]、输尿管膀胱吻合[14]等，吻合效果较好。但国内外尚未见有关输尿管回肠磁吻合相关研究，本文以实验兔为模型探讨了磁吻合用于输尿管回肠吻合的可行性，现报道如下。

1 材料与方法

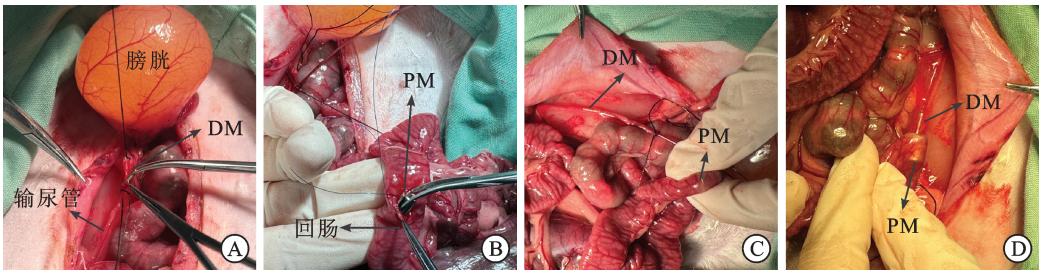
1.1 实验材料 输尿管回肠磁吻合装置包括子磁体（daughter magnet，DM）和母磁体（parent magnet，PM）两部分。DM 为直径 1.5 mm、高 7 mm 的圆柱体，PM 为直径 5 mm、高 7.5 mm 的圆柱体（图 1）。DM 和 PM 均由 N48 烧结钕铁硼永磁材料加工而成，表面镍镀层，轴向饱和充磁。DM 质量 0.07 g，底面磁感应强度 220 mT；PM 质量 1.00 g，底面磁感应强度 420 mT。DM 和 PM 端端相吸时，在零距离获得最大吸力为 0.5 N。实验所用动物为日本大耳白兔 6 只，雌雄各 3 只，年龄 6 月龄，体质量 3.0～3.5 kg，购自西安交通大学实验动物中心。本研究经西安交通大学动物实验伦理委员会批准（No.XJTULAC2019-1007）。



A：子磁体；B：母磁体。

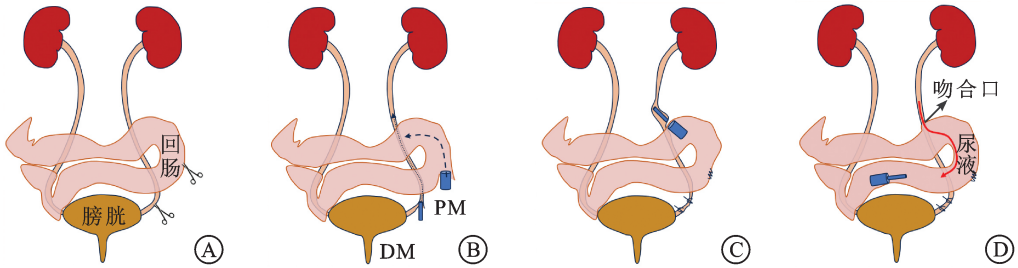
图 1 磁吻合装置

1.2 操作方法 实验兔称重后经耳缘静脉缓慢注射体积分数 3% 的戊巴比妥钠溶液（1 mL/kg）。麻醉生效后仰卧位固定四肢，电动剃毛器剃除腹部体毛，常规消毒铺巾。取腹部正中切口，长约 10 cm，逐层进腹。将腹腔内肠管拉向右侧，显露左肾、左侧输尿管及膀胱。解剖游离左侧直径约 2 mm 输尿管中下段，剪开输尿管前壁，经此置入 DM，3-0 丝线结扎输尿管开口的上下两端。寻找靠近左侧输尿管的一段回肠，对系膜缘打开肠壁约 5 mm，经此处置入 PM，缝合关闭回肠切口。调整 DM 和 PM 位置，使其端端相吸。检查腹腔无出血后关腹，术毕。术后立即行 X 射线检查确定 DM 和 PM 的相吸状态和位置。手术操作过程见图 2，示意图见图 3。



A：左侧输尿管置入 DM；B：回肠置入 PM；C：调整 DM 和 PM 于合适位置；D：DM 和 PM 自动对位相吸；DM：子磁体；PM：母磁体。

图 2 输尿管回肠磁吻合手术操作过程



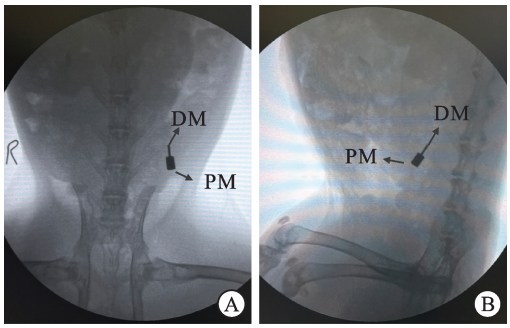
A：剪开左侧输尿管下段管壁及远端回肠肠壁；B：分别经输尿管及回肠侧壁开口置入 DM 和 PM；C：调整 DM 和 PM 于合适位置，使其端端相吸；D：磁体压榨一段时间后，输尿管回肠磁吻合口建立，磁体进入远端肠管，最终随粪便自行排出体外；DM：子磁体；PM：母磁体。

图 3 输尿管回肠磁吻合手术操作示意图

2　结　果

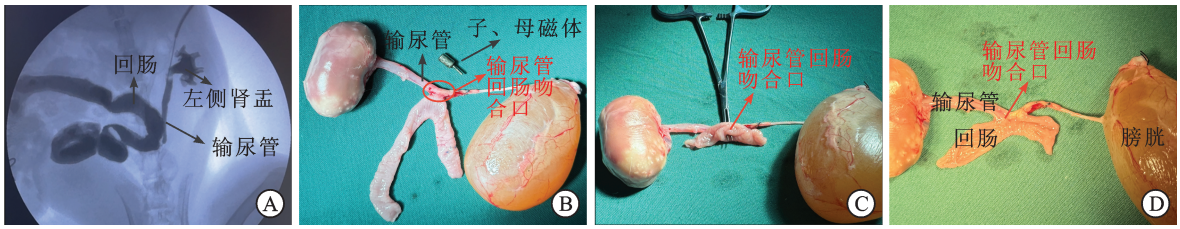
6 只实验兔均顺利完成了输尿管回肠磁吻合手术。术后立即行腹部 X 射线检查显示 DM 和 PM 对位吸合良好(图 4)。手术时间(32.50±3.94)(范围 28～39)min,术中出血量均<5 mL。实验兔苏醒后单笼喂养,自由食水。术后平均磁体排出时间(10.83±1.72)(范围 9～13)d。

术后 2 周,静脉麻醉后再次进腹,直视下经肾盂插管推注造影剂可见左侧肾盂、左侧输尿管中上段显影,同时可见造影剂自输尿管回肠吻合口进入回肠,回肠显影良好(图 5A)。安乐死处死实验兔,获取左肾、左侧输尿管、部分回肠及膀胱大体标本(图 5B)。纵向剖开回肠及输尿管,可见输尿管回肠吻合口(图 5C),进一步纵向剖开吻合口,可见吻合口处黏膜光滑平整(图 5D)。吻合口组织 HE 和 Masson 染色后光镜下观察可见吻合口浆膜连续性建立,愈合良好(图 6)。



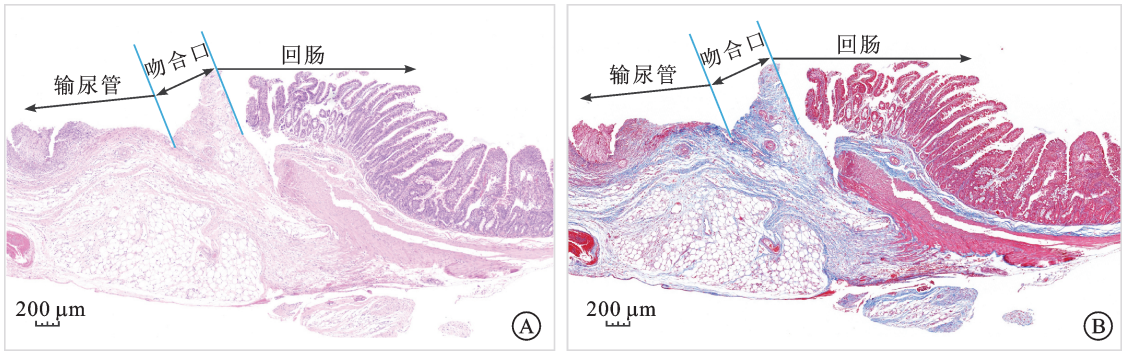
A:腹部正位片;B:腹部侧位片;DM:子磁体;PM:母磁体。

图 4　实验兔输尿管回肠磁吻合术后腹部 X 射线图



A:左侧输尿管造影;B:输尿管回肠吻合口外面观;C:肠管侧所见吻合口;D:吻合口剖面观。

图 5　输尿管造影及输尿管回肠吻合口大体标本



A:HE 染色;B:Masson 染色。

图 6　输尿管回肠吻合口组织学观察

3　讨　论

本文结果显示 6 只实验兔均成功建立了输尿管回肠磁吻合,成功率 100%,磁体留置期间未出现肠梗阻等并发症,吻合建立后磁体均顺利排出,大体标本和组织学观察均显示吻合口形成良好。MCA 目前在消化道吻合中的研究较多,GAGNER 等[15-16]将其用于腹腔镜辅助下减重手术,并认为 MCA 在降低吻合口瘘方面有巨大优势。磁力再通术作为 MCA 的特殊情况,目前在临床上已被用于治疗获得性食管狭窄[17-18]、结直肠狭窄/闭锁[19-23]、肝移植术后胆道狭窄[24]等,取得了良好的治疗效果。根据组织学观察,我们认为输尿管回肠 MCA 依然遵循消化道吻合时的病理学变化特点,即受压组织发生缺血-坏死-脱落,而压榨旁组织则发生粘连-修复-愈合[5]。

尽管本实验结果证实 MCA 能够在输尿管和回肠之间建立良好的吻合口,但设计方面还存在以下不足。第一,研究未设置对照组。本研究的目的是探讨输尿管回肠 MCA 的可行性,而非比较吻合效果的优劣性,因此未设立对照组,但如果要进一步深入研究或临床推广 MCA 技术,对照研究不可或缺。第二,本研究动物样本量偏少。由于输尿管回肠 MCA 是笔者团队首次提出的,为了探讨该技术是否具备可行性,选用了少量实验动物样本,拟待可行性论证后再进一步扩大样本量。第三,观察时间较短。本研究将术后 2 周作为观察终点,尽管已经证明该技术具备可

行性,但远期的通畅性也需进一步观察。第四,手术方式设计较为简单。本研究围绕输尿管回肠吻合展开,因此实验兔未行真正意义上的根治性膀胱切除联合尿流改道术,与临床实际还有较大差距。第五,磁体留置期间左侧输尿管是梗阻状态,会影响左肾功能。在未来的临床转化中,需要进一步优化磁体设计,使其在完成吻合的同时还能维持尿液引流。第六,在后续的进一步研究中可考虑选用大型动物如猪或犬作为动物模型,以便于观察磁吻合口长期通畅性及再狭窄情况。

本实验为可行性验证实验,因此以健康实验兔为模型,结果显示输尿管回肠 MCA 手术操作简单,吻合口形成良好。后续需改进磁体设计、优化操作流程,有望应用于临床实践。

参考文献:

[1] 郑荣寿,陈茹,韩冰峰,等.2022 年中国恶性肿瘤流行情况分析[J].中华肿瘤杂志,2024,46(3):221-231.

[2] ALMASSI N, BOCHNER BH. Ileal conduit or orthotopic neobladder: selection and contemporary patterns of use[J]. Curr Opin Urol,2020,30(3):415-420.

[3] 柯志滨,林镔,许宁.尿流改道术后输尿管肠吻合口狭窄的诊疗进展[J].临床泌尿外科杂志,2024,39(9):797-802.

[4] 李云云,韦海荣,栾婷,等.膀胱癌新膀胱术后输尿管肠吻合口狭窄的临床诊疗进展[J].现代泌尿外科杂志,2021,26(9):793-797.

[5] 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,2019,64:815-826.

[6] 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.

[7] 张苗苗,吉琳,刘培楠等.磁压榨技术用于食管吻合重建的实验研究[J].中国胸心血管外科临床杂志,2022,29(1):95-99.

[8] ZHANG MM, MAO JQ, XUE KH, et al. A novel deformable self-assembled magnetic anastomosis ring (DSAMAR) for esophageal stenosis recanalization without temporary gastrostomy in beagle dogs[J]. J Pediatr Surg,2024,59(6):1204-1209.

[9] 张苗苗,李恒,吝怡,等.基于磁屏蔽设计的磁吻合环建立大鼠胃旁路手术的实验研究[J].中国医疗设备,2021,36(5):19-21.

[10] 张小宾,吝怡,樊茜,等.磁压榨技术建立大鼠胃肠吻合模型的实验研究[J].现代生物医学进展,2019,19(23):4429-4433.

[11] ZHANG MM, LYU X, ZHAO GB, 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.

[12] YAN XP, FAN C, MA J, et al. Portacaval shunt established in six dogs using magnetic compression technique[J]. PLoS One,2013,8(9):e76873.

[13] WANG HH, MA J, WANG SP, et al. Magnetic anastomosis rings to create portacaval shunt in a canine model of portal hypertension[J]. J Gastrointest Surg,2019,23(11):2184-2192.

[14] 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.

[15] GAGNER M, KRINKE T, LAPOINTE-GAGNER M, et al. Magnetic compression anastomosis gastrojejunostomy: feasibility and efficacy of a novel device in a swine model[J]. Surg Obes Relat Dis,2024,20(11):1098-1107.

[16] GAGNER M, ALMUTLAG L, GNANHOUE G, et al. Magnetic single-anastomosis side-to-side duodeno-ileostomy for revision of sleeve gastrectomy in adults with severe obesity: 1-year outcomes[J]. World J Surg,2024,48(10):2337-2348.

[17] ZHANG MM, SHA HC, LU GF, et al. Treatment of refractory esophageal stenosis after endoscopic submucosal dissection with magnetic compression anastomosis[J]. Endoscopy, 2024, 56(S 01):E280-E282.

[18] 叶丹,邱明龙,高慧敏,等.磁压榨技术治疗小儿食管闭锁和狭窄的临床应用探索[J].中华小儿外科杂志,2020,41(4):370-374.

[19] 张苗苗,高义,沙焕臣,等.磁压榨技术治疗直肠狭窄 1 例并文献回顾[J].中国普通外科杂志,2022,31(9):1229-1236.

[20] ZHANG MM, SHA HC, XUE HR, et al. Recanalization of rectal anastomosis atresia with magnetic compression anastomosis[J]. Endoscopy,2024,56(S01):E907-E909.

[21] ZHANG MM, SHA HC, XUE HR, et al. Novel magnetic compression technique for the treatment of postoperative anastomotic stenosis in rectal cancer: a case report[J]. World J Gastrointest Surg,2024,16(6):1926-1932.

[22] ZHANG MM, HE SX, SHA HC, et al. A novel self-shaping magnetic compression anastomosis ring for treatment of colonic stenosis[J]. Endoscopy,2023,55(S 01):E1132-E1134.

[23] ZHANG MM, SHA HC, QIN YF, et al. Y-Z deformable magnetic ring for the treatment of rectal stricture: a case report and review of literature[J]. World J Gastroenterol,2024,30(6):599-606.

[24] 严小鹏,史爱华,王善佩,等.磁压榨技术治疗复杂性胆道狭窄的临床应用探索[J].中华肝胆外科杂志,2019,25(3):237-240.

(编辑 钟娇娇)