第665次学术讨论会·磁外科学机遇和挑战

磁外科学技术在泌尿、妇产科中的应用进展

折占飞¹, 李金萍², 汪蕾³, 何士军⁴, 徐浩宇¹, 王众¹, 李奇灵^{3*}, 马锋^{5*}

1. 鄂尔多斯市中心医院普外科, 鄂尔多斯 017000;

2. 天津市第一中心医院肾内科, 天津 300192;

3. 西安交通大学第一附属医院妇产科, 西安 710061;

4. 西安市第一医院泌尿外科, 西安 710002;

5. 西安交通大学第一附属医院精准外科与再生医学国家地方联合工程研究中心, 陕西省再生医学与外科工程研究中心, 西安 710061

* 联系人, E-mail: liqilinglady@163.com; mafeng7904@mail.xjtu.edu.cn

2019-12-18 收稿, 2020-02-05 修回, 2020-02-06 接受, 2020-02-10 网络版发表

国家自然科学基金(81460134)和西安交通大学第一附属医院新医疗新技术项目(XJYFY-2019W17)资助

摘要 磁外科(磁外科学)是近年来建立的交叉性学科, 经过不断革新与发展, 现已初步形成磁外科学体系, 主要包括磁压榨、磁锚定、磁导航、磁悬浮、磁示踪技术. 特别是在消化道疾病诊疗和手术中, 磁外科学技术的应用高速发展, 日趋成熟. 泌尿、妇产科也在自身发展过程中不断吸收和融合磁压榨、磁锚定及磁导航技术原理, 在创新诊疗方式、设计医疗器械、改进医疗操作等方面进行了一些探索, 使得泌尿科及妇产科诊疗更为便捷、微创、精准、安全. 但总体而言, 磁技术在泌尿、妇产科的应用范围比较局限, 基础研究薄弱, 临床数据匮乏, 发展进程较缓, 至今在磁悬浮和磁示踪技术方面仍是空白. 基于此, 本文总结磁外科学技术在泌尿、妇产科中的发展现状和应用进展, 为临床和基础创新提供方向, 以进一步融合、完善学科体系, 促进磁外科与泌尿、妇产科的交互式发展.

关键词 磁外科, 磁压榨技术, 磁锚定技术, 磁导航技术, 泌尿科, 妇产科

磁性材料间无需直接接触即可在空间内产生相互吸引或排斥的磁场力, 这种独特的作用方式已广泛应用于生产、生活领域, 医疗领域也不例外. 1978年, 日本学者Obora等人^[1]报道了利用磁体间的机械压榨力进行血管吻合的实验研究, 自此开启了磁压榨的应用历程. 此后, 国内外展开了一系列研究, 磁应用不断创新, 并在临床实践中安全、有效应用, 逐步得到学术领域的认可. 现在, 磁技术已经辅助改良了许多种疾病诊疗方法, 促进开发了新的医疗器械, 尤其在胃肠外科^[2,3]、肝胆外科^[4,5]手术中, 有利于降低操作难度, 节省手术时间, 改善术后并发症, 克服传统弊端, 解决了既往的很多手术难题, 效果显著, 表现出巨大的应用价值. 在此背景下, 吕毅教授团队^[6]认为, 磁压榨的概念不足以涵

盖宏观磁力在外科领域的应用范畴, 因而提出了磁外科(magnetic surgery, MS, 磁外科学)的概念, 磁外科学体系初步建立, 对其更加全面、深入、系统地研究和应用势在必行.

纵观泌尿、妇产科领域, 磁外科学技术在创新诊疗方式、设计医疗器械、改进医疗操作等方面也进行了曲折的探索, 使得泌尿科及妇产科诊疗向更为便捷、微创、精准、安全的方向发展. 但总体而言, 磁外科学技术在泌尿、妇产科的应用范围局限, 基础和临床研究分散, 发展进程较缓. 因此, 本文结合当下磁外科的范畴, 针对磁外科的相关技术内容, 简述其在泌尿科、妇产科的应用历程, 介绍相关基础研究或临床实例, 旨在总结现阶段学科研究进展, 加快基础和临床创新, 完善

引用格式: 折占飞, 李金萍, 汪蕾, 等. 磁外科学技术在泌尿、妇产科中的应用进展. 科学通报, 2020, 65: 1188–1195

She Z F, Li J P, Wang L, et al. Advances of magnetic surgery in the field of urology, obstetrics, and gynecology (in Chinese). Chin Sci Bull, 2020, 65: 1188–1195, doi: 10.1360/TB-2019-0846

磁外科学体系的建设。

1 磁外科技术内容

当下磁外科的技术内容主要包括5大类^[6]：(1) 磁压榨技术(magnetic compression technique, MCT)通过母磁体(parent magnet, PM)与子磁体之间近距离吸引产生的机械性压力，使压榨区坏死脱落而周围组织重新粘连愈合，形成新的吻合通路或阻隔异常窦道；(2) 磁锚定技术(magnetic anchor technique, MAT)通过内外磁体之间非接触性吸引力的作用，靶磁体(target magnet, TM)可透过人体皮肤或腔道组织被体外另一磁体间接地控制和定位；(3) 磁导航技术(magnetic navigation technique, MNT)通过导航磁体(navigation magnet, NM)靶向牵引、带动响应磁体(response magnet, RM)或者顺磁性物质，在磁场中沿目的路径到达目标位置，从而帮助检查或者携带设备移动到所需部位；(4) 磁悬浮技术(magnetic levitation technique, MLT)利用磁体间同极相斥的基本特性，以实现特殊的医学诊疗目的；(5) 磁示踪技术(magnetic tracer technique, MTT)将液体的磁性相关物质注射到人体管腔或与管腔相通的脏器内，磁性物质沿着管腔或代谢途径进行扩散，利用体外磁性检测设备对其进行监测和追踪。

在泌尿、妇产科领域，磁压榨、磁锚定和磁导航技术有了初步探索，但当前在磁悬浮和磁示踪技术应用方面仍是空白(图1)。本文的重点也将是前三者。

2 磁外科在泌尿科的应用

反观磁外科在泌尿科领域的交叉渗入，我们发现磁外科在泌尿专业的临床实践远远早于其他专业。虽然早期也是以磁压榨技术居多，但随后研究及应用的重点转向了磁锚定和磁导航方面。

2.1 磁压榨技术的应用

磁力吸引可以增加腔道阻力，因此磁压榨装置可实现对管腔内容物的限流。1983年，德国的Grüneberger和Hennig^[7]在雌性绵羊的耻骨后植入一块磁体，然后在阴道内置入另一块磁体，依靠磁体吸引力轻轻地闭合尿道，起到人工尿道括约肌的作用，并可以通过调整阴道内磁体的磁力强度实现对尿道口压力的调整。该实验观察时长达33周，期间并未发现技术上的缺陷，也没有观察到阴道壁和尿道的坏死。在动物实验成功的基础上，他们将该磁性闭合装置应用于临床治疗女性尿

图1 (网络版彩色)磁外科技术在泌尿、妇产科临床应用

Figure 1 (Color online) The clinical application of magnetic surgery technique in the field of urology, obstetrics and gynecology

失禁，在复发性尿失禁患者耻骨后植入一块弓形磁体，固定在耻骨联合内缘，阴道放置另一块磁体以期闭合尿道，随访年限长达5年。有一部分患者经阴道尿道悬吊治疗失败后，使用磁装置被治愈，因此认为磁闭合装置易于操作，且能提高复发性尿失禁的治愈率^[8~11]。这可能是最早的磁压榨型人工尿道括约肌。2000年，Ali-El-Dein等人^[12]用雌性杂种狗进行类似装置的实验，通过低位正中切口将一块磁体放入雌狗尿道前方，在距离膀胱颈3 cm处固定，另一块磁体放入阴道。记录实验动物在麻醉静息状态下和磁体压迫状态下的尿道压力和漏尿点压力，同时使用药物阻断尿道肌的方式模拟尿失禁状态。通过数据对比，他们认为该磁性装置能够有效增加尿道压力，且连续压迫阴道壁和尿道2周不会对组织造成损伤。尽管上述研究说明磁性装置可以增加尿道压力且相对安全，磁外科可能是治疗女性尿失禁的潜在方法，但2015年，Anding等人^[13]却报道了该磁压榨装置临床应用失败的案例。一例患者术后随访13年，不仅没有达到治疗尿失禁的效果，还因为糜烂和瘢痕形成导致尿路进行性变窄，甚至无法自主排尿。另外，磁体破裂渗入膀胱或者散落在骨盆中，最终需要手术取出并修补膀胱。这种不良结局至少提示硅胶包裹磁体型人工尿道括约肌可能存在一定风险，这也可能是其相对于美国医疗系统AMS800型人工尿道括约肌的劣势。近10多年来，磁技术在治疗女性尿失禁方面无其他研究。

另外，1989年，Stepanov等人^[14]报道了应用磁体治疗儿童尿道狭窄，并通过5例实践认为，对于长度不超过0.5 cm的狭窄使用磁技术治疗是有效的、安全的。1993年，Lubashevskii等人^[15]报道了在儿科手术中应用

环形磁体及据此进一步开发出的钕钴永磁压榨技术进行输尿管膀胱吻合,具有一定的优势. 2012年, Uygun等人^[16]将微小磁体经尿道注入雌性小鼠膀胱,并在耻骨上区皮下埋入一个球形磁体,借助磁压榨力实现了膀胱造瘘,其有效性及安全性在小鼠模型中得到了证实,为膀胱造瘘方法提供了一个新思路. 此后,关于泌尿管腔的磁压榨报道鲜少.

磁压榨技术在泌尿外科的发展迟缓,笔者认为主要原因如下: (1) 早年由于材料学发展的限制,缺乏高强度、小体积、组织相容性好的磁体; (2) 磁体间的机械吸引力随距离减小而增大,但这种变化是非线性的,并且磁体本身的性质、形状以及中间介质都会对此产生影响,其计算相对复杂,不利于量化与控制; (3) 泌尿腔内治疗技术迅速发展,取得了很好的临床效果,引领了专业领域的潮流,因而分散了对磁技术的研究.

2.2 磁锚定技术的应用

2007年,美国德州泌尿外科微创治疗中心(Clinical Center for Minimally Invasive Urologic Cancer Treatment, Department of Urology, Dallas, Texas, USA)^[17]利用非接触性磁锚定技术的原理设计了新型经腹磁锚定引导系统,并在该平台辅助下,经15 mm套管通路布置了各种牵拉、锚定设备,实现了腹腔镜下左肾切除. 由此得出,磁锚定平台单孔腹腔镜肾切除术在技术上是可行的,而且这项技术可以通过不断改良来克服目前腹腔镜和机器人手术的局限性,有望用于经自然腔道的腹腔内手术.

2014年,前第三军医大学黄赤兵等人^[18]依据磁体间吸引力的特性,设计了配套使用的输尿管支架及磁性导尿管,可以在免膀胱镜情况下取出输尿管支架. 输尿管支架一侧设计有磁性的牵引线,导尿管头部配合有磁性材料;当输尿管支架需要取出时,将磁性导尿管置入膀胱,捕捉到磁性牵引线,然后顺导尿管置入导尿管外鞘,在外鞘和导尿管头端的夹持作用下牵拉牵引线,最终实现输尿管支架的取出. 笔者以为,这也是基于接触性磁锚定的技术原理. 相比而言,德国一款名为Blackstar^[19-21]的磁性输尿管支架在临床有了不错的应用,也是基于接触性磁锚定原理定位,全程操作不需膀胱镜辅助,不需射线透视. 一项前瞻性随机对照研究显示,磁性输尿管支架取出的平均时间为9.55 min(7~14 min),而膀胱镜下传统取出方式的平均时间为21.35 min(18~30 min),而且磁性支架取出时的疼痛程

度明显小于镜下取出组^[19]. 目前该磁性支架已经在儿童和肾移植患者中应用,尤其体现出其在特殊群体中的优势^[20,21].

磁感应热疗也是基于磁锚定的一种介入治疗方式. 在肿瘤内注入磁性介质,然后施加外部磁场,这些磁性介质在外部中频交变磁场作用下产热,使肿瘤局部快速形成高温区,达到杀灭肿瘤细胞的目的,具有特异性、靶向性、局部聚集性等优点. 早在20世纪60年代就提出了相关的医学研究,后来不断拓展并逐步应用到临床肿瘤治疗中^[22]. 2000年, Tucker等人在动物实验基础上,将磁性介质镍铜合金(长14 mm, 直径1 mm)植入T1/T2期的前列腺癌病灶内进行磁感应热疗,并通过随后一系列的临床研究证实磁粒子介导的磁感应热疗治疗早期前列腺癌是安全、有效的^[22]. 之后,随着纳米级磁性材料的出现,磁纳米颗粒(或磁流体)介导的磁感应热疗逐步发展. 2005年, Johannsen等人^[23]在动物实验基础上,首次报道了磁性纳米颗粒介导的磁感应热疗治疗局部复发性前列腺癌,并通过前列腺特异性抗原的监测证实了其有效性,而且在持续的核磁共振监测中发现,所用磁性纳米颗粒在前列腺癌病灶内能够稳定沉积至少6周^[24]. 后来, Oliveira等人^[25,26]在鼠膀胱模型上展开了对磁纳米颗粒介导的磁感应热疗治疗膀胱癌的可行性研究,证实磁感应热疗加热膀胱是可行的,且加热温度具有可控性. 随着磁性纳米颗粒的不断改进及与化疗药的结合,未来有望实现在外加磁场作用下药物的靶向释放、精准释放.

2.3 磁导航技术的应用

2013年, Rodrigues等人^[27]在对6只猪进行输尿管镜检查时,将带电磁跟踪传感器的导管置入所需穿刺部位,然后用一根带有类似电磁跟踪传感器的跟踪针进行肾和输尿管定位穿刺,所有肾盂穿刺均一次成功,中位时间为15 s. 由此,他们认为电磁导航示踪肾盂穿刺方案具有准确、简便、快速的特点,并于2017年选择10例肾结石患者行临床首次电磁导航技术辅助下的经皮肾盂穿刺,均一次成功^[28]. 这项新技术克服了传统穿刺方法的固有局限性,体现了一定的临床应用价值. 2019年,梁亮亮等人^[29]应用电磁定位导航进行了小型猪的精准肾脏穿刺,一次穿刺准确率为84.4%,其相对于CT引导的经皮肾穿刺21.9%的一次性准确率有显著的优势. 李翔^[30]也认为该项技术能够提供更加安全简便的肾盂穿刺,大大缩短了手术学习曲线,尤其适用于

初学者。

磁技术在肾内科的应用研究匮乏。在血液透析中,带隧道和涤纶套的透析导管(tunnelled cuffed catheter, TCC)应用广泛。TCC置管时,右侧颈静脉至上腔静脉走形基本为直线,置管相对简单,而左侧颈内静脉、左侧头臂静脉、上腔静脉走形中有两个生理弯曲,左侧置管难度大于右侧,容易出现导管异位^[31]。另外,腹膜透析中导管移位(漂管)是中止腹透的主要原因,影响腹膜透析的普及和发展。现有的各种置管或复位方法对患者一般状况有要求,或存在辐射^[32~35]。基于此,可利用磁导航技术,在体外磁场作用下,使得静脉置管引导丝顺利通过两个生理弯曲;通过腹膜透析管体外段向体内置入响应磁体,使得导管体内段尖端复位。最近,天津市第一中心医院肾内科在猪腹膜透析漂管模型上行导管复位术(未发表数据),包括导管向右漂管至右上腹、向左漂管至左上腹,甚至沿着左侧漂管至右上腹,发现沿着腹膜透析管体外段向体内段置入镶嵌有响应磁体的导丝,在体外钕铁硼磁体产生的磁场作用下,移位导管沿着预设路线均能顺利恢复至正常的功能位置,复位后腹膜透析液进出通畅,可立即恢复腹膜透析,操作简便、无创,无X射线辐射风险,价格低廉,且无严重并发症,安全可靠。磁导航技术在血液净化治疗患者中的应用前景值得期待。

3 磁外科在妇产科的应用

磁技术在妇产科的应用起步较晚,主要集中在磁压榨和磁锚定技术,较为局限,发展进程缓慢。近年来,磁技术在妇产科领域不断创新,一系列成功的实践正逐步积累经验,帮助拓展磁外科的应用领域。

3.1 磁锚定技术的应用

减戳卡手术,尤其是单孔腹腔镜手术,因具有微创、安全、美观等优势而在外科领域兴起,尤其受到妇产科女性患者群体的青睐。但该手术缺乏“操作三角”,器械之间相互干扰碰撞,操作困难,视野欠佳,为术者操作带来了挑战,限制了减戳卡手术的普及。尽管有智能机械臂出现,但其成本效应欠佳;预弯设计的器械也未从根本上解决操作弊端。磁锚定的腔镜器械可通过腹壁耦合实现腔内操作,不需要占用套管空间,解决了器械拥挤的现象,同时内磁体可随外磁体控制移动而产生不同方向的作用力,为术者提供了“操作三角”,符合人体工学特点。2011年,Padilla等人^[36]报道了

磁锚定器械辅助经脐单孔腹腔镜手术的成功。该项回顾性研究记录了两例儿童患者中进行的卵巢囊肿切除术平均手术时长为95 min。术中所用内抓取钳由钢夹和钕磁体连接而成,由12 mm切口将其置入腹腔。外部磁体安装在活动架上,通过距离腹壁的远近来调节磁力大小。术中磁锚定器械帮助提拉、牵引脏器,更好地暴露术野,为快速、成功实施减戳卡手术提供了巨大的帮助。手术过程无严重并发症,安全有效。2013年,在动物实验中完成了磁锚定辅助自然孔腔的妇科腔镜手术^[37],用磁夹和磁性套管针分别对猪进行了经胃的部分子宫角切除术。实验证明,这两种磁性设备可以在手术中顺利提起靶器官,并随外部磁体控制而移动,未引起严重并发症,也不影响其他手术仪器的正常工作。其中,磁套管针在手术时间和疗效方面较磁夹更优。最近,西安交通大学第一附属医院李奇灵团队利用磁锚定的内抓取钳,在18例妇科良性疾病患者中进行了一系列单孔腹腔镜手术(未发表数据),包括全子宫切除术、子宫肌瘤剔除术、双侧或单侧附件切除术、卵巢囊肿剥除术等(图2),认为磁性器械在术中起到帮助固定的作用,尤其在卵巢手术中提拉卵巢固有韧带或在单手操作缝合阴道残端时作用可靠、使用简便,能克服单孔腹腔镜操作弊端,缩短学习曲线。同时,术中、术后无严重并发症,微创美观,安全有效。另外,有文献报道在其他部位手术中,如腹腔镜下结直肠切除手术中,磁性抓持器尖端提拉子宫,对更好地观察骨盆、暴露术野也有帮助^[2]。因此,磁外科技术有利于妇科减戳卡手术的普及。

在儿童期或者青春期治疗先天性无阴道或阴道闭锁患者过程中,阴道再造、成形常常要求患者反复佩

图2 (网络版彩色)磁锚定内抓取钳辅助妇科单孔腹腔镜手术
Figure 2 (Color online) The magnetic anchoring grasper in gynecological laparoscopic single-site surgery

戴阴道扩张模具,治疗效果不佳,而且痛苦、繁琐,导致患者依从性差.研究者根据磁原理,设计了一种由磁力牵引的可降解的阴道成形支架,能提高阴道扩张治疗效果,促进阴道伤口愈合^[38].磁性阴道内支架为可降解材料,防止了新成形阴道的纤维化,其形状类似于橄榄球,置入阴道内,借助于腹腔内置入磁体之间的磁力产生持续压迫且逐渐增加的作用力,辅助扩张阴道.这种磁牵引阴道支架效果持续,简化了术后护理,降低了患者不适感和羞耻感,笔者认为这是磁锚定技术在妇产科灵活运用的又一大创新.

3.2 磁压榨技术的应用

传统手术修复直肠阴道瘘主要是通过缝合、粘连或者组织填充,难度高,效果差,常常因为组织水肿、感染导致手术失败或复发;而多次手术或者肠造瘘严重影响了患者的生活质量,令患者身心俱疲.目前临床尚无治疗直肠阴道瘘的最佳手术方式和指南.磁压榨技术通过两磁体间吸引力机械性压迫,使中空器官或腔孔窦道被闭合,此原理不需要进行缝合,已成功用于血管吻合^[39,40]、消化道吻合^[3,4]等手术.2016年,西安交通大学第一附属医院^[41]报道了临床第一例磁压榨直肠阴道瘘修复手术,对一名38岁、既往治疗后多次复发的患者进行手术并随访.术中使用了长50 mm、弦长12 mm、厚4 mm的弓形钕磁体,表面磁感应强度约3400 GS(1 GS=10⁻⁴ T)(图3).在充分暴露阴道内2 mm长的瘘口后,周围间断挂线,向阴道侧提拉起整个瘘管及其周围组织,在其根部分别对应放置两块磁体,吸合后磁体凸面朝向直肠.术后16 d磁体即脱落,术后21 d检查阴道和直肠黏膜愈合良好,术后12月随访中未复发,无并发症.该团队^[42]还在猪的直肠阴道造瘘模型中进行了对照研究,发现与传统缝合手术相比,磁压榨手术修复直肠阴道瘘手术平均时间缩短,即使在感染和水肿的条件下进行一期修补也有较好的效果.组织学分析发现术后瘘口完全愈合,周围组织连续性好,炎症反应小.后来又对磁压榨装置改良,在原基础上加入针孔设计防止滑脱,配合辅助平移吻合钳用于术中磁体的吸合或分离,便于控制,使操作时间进一步缩短^[43].实践证明,磁压榨修复直肠阴道瘘从根本上改变了传统的缝合手术,简单安全,极具潜力.

3.3 磁导航技术的应用

磁导航技术已成功应用于心血管手术^[44]、胃肠道

图3 磁压榨直肠阴道瘘闭合修补装置

Figure 3 Rectovaginal fistula repair device based on magnetic compression technique

胶囊内镜导航^[45]等,但在妇产科领域鲜有报道.2004年,Dietrich等人^[46]在妇产科子宫动脉栓塞术体外模型中,评估了磁导航导丝和标准0.014英寸(1英寸=2.54 cm)导丝的优劣.他们建立了0.1 T磁场,血管内磁性导丝尖端可根据磁场矢量方向偏转.充满水的动脉血管模型模拟了不同直径的盆腔大、中、小血管分支,分别使用两种导丝在其中操作,记录操作时间.结果表明,与标准导丝相比,在大、中血管中使用磁性导丝能显著缩短操作时间;在小血管中,磁导航导丝平均手术时间稍延长,但经过分析,这可能与体外模型中的小血管分支不如生理状态下体内血管平滑有关.另外,磁导航显著降低了术中需要X射线透视的累积时间,即有望减少医生和患者的辐射暴露.虽然是体外模型实验,但是磁导航技术为子宫动脉栓塞手术提供了一种极具应用潜力的装置,未来有望扩展磁导航技术在妇产科领域的应用实践.

4 总结与展望

磁外科学充分总结了磁性材料在外科临床实践中的应用基础,从最初的模糊概念,到现今构建了较完善的学科体系,并不断发展壮大.泌尿、妇产科促进、融入了这一浪潮,通过找寻自己的位置及方向,使磁外科的内涵更加全面、系统,同时也实现了自身交叉式的发展.在现代泌尿外科领域,无论是磁感应热疗、磁导

航定位等热点治疗, 还是发展相对缓慢的磁压榨、磁锚定技术, 均凭借泌尿道相对固定且与外界相通的特点使诊疗不断微创、精准化。纵观磁技术在妇产科领域的发展历程, 虽然开始利用磁压榨技术和磁锚定微创手术的起步较晚, 但发展的深度和广度不断扩展, 借鉴其他外科已形成的应用体系, 一系列创新实践正在并将继续使诊疗更为微创、高效、安全。

磁悬浮和磁示踪技术在泌尿、妇产科领域的应用

尚待开发, 究其原因可能是: (1) 斥力稳定性小于引力, 计算和控制具有一定难度; (2) 具有低细胞毒性、良好生物相容性的液态磁体或磁性造影剂的开发受限。相信随着材料科学的进步, 特别是磁性纳米材料的流体化、可降解化, 钕铁硼强磁体的不断优化, 以及生物医学的发展, 特别是生物材料和医工结合的发展, 磁外科在泌尿、妇产科领域将有更多的应用, 以更丰富的方式造福患者。

参考文献

- Obora Y, Tamaki N, Matsumoto S. Nonsuture microvascular anastomosis using magnet rings: Preliminary report. *Surg Neurol*, 1978, 9: 117–120
- Davalos G, Lan B Y, Diaz R, et al. Single-center experience with magnetic retraction in colorectal surgery. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2019, 29: 1033–1037
- Ryou M, Cantillon-Murphy P, Azagury D, et al. Smart Self-Assembling MagnetS for Endoscopy (SAMSEN) for transoral endoscopic creation of immediate gastrojejunostomy (with video). *Gastrointest Endosc*, 2011, 73: 353–359
- Li J, Lü Y, Qu B, et al. Application of a new type of sutureless magnetic biliary-enteric anastomosis stent for one-stage reconstruction of the biliary-enteric continuity after acute bile duct injury: An experimental study. *J Surg Res*, 2008, 148: 136–142
- Zhu H, Shang Y, Ma T, et al. 10-mm laparo-endoscopic single-site cholecystectomy using multiple magnetically anchored and controlled instruments. *J Surg Res*, 2019, 239: 166–172
- Yan X P, Shang P, Shi A H, et al. Exploration and establishment of magnetic surgery (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2019, 64: 815–826 [严小鹏, 商澎, 史爱华, 等. 磁外科学体系的探索与建立. 科学通报, 2019, 64: 815–826]
- Grüneberger A D, Hennig G R. A magnetic urethral closure device: Preliminary report of an experimental study. *J Urol*, 1983, 130: 798–801
- Grüneberger A D. Development of a magnetic urethral closure and initial clinical experiences. *Urol-Ausg A*, 1987, 26: 106–111
- Grüneberger A D. Clinical experiences with magnetic urethral closure. *Geburtsh Frauenheilk*, 1990, 50: 150–154
- Grüneberger A D, Hennig G R. Development of a magnetic urethral closure device: An animal experiment study. *Zentralbl Gynakol*, 1993, 115: 328–331
- Grüneberger A D. Magnetic closure with colposuspension in complicated recurrent incontinence. *Geburtsh Frauenheilk*, 1994, 54: 80–83
- Ali-El-Dein B, El-Demerdash R, Kock N G, et al. A magnetic device for increasing the urethral resistance to flow: An experimental study in female dogs. *BJU Int*, 2000, 85: 150–154
- Anding R, van Ahlen H, Müller S C, et al. Magnetic urethral closure device. Negative outcome after implantation for the treatment of female urinary incontinence. *Urol-Ausg A*, 2015, 54: 1010–1013
- Stepanov E A, Erokhin A P, Nikolaev V V, et al. Treatment of short urethral strictures in children using magnets. *Urol Nefrol (Mosk)*, 1989, (3): 8–11
- Lubashevskii V T, Shabanov A M, Vasil'ev G S. The inflammatory-reparative processes in the implantation of the ureter into the bladder by using the mechanical forces of permanent magnets. *Biull Eksp Biol Med*, 1993, 116: 550–552
- Uygun I, Okur M H, Cimen H, et al. Magnetic compression ostomy as new cystostomy technique in the rat: Magnacystostomy. *Urology*, 2012, 79: 738–742
- Zeltser I S, Bergs R, Fernandez R, et al. Single trocar laparoscopic nephrectomy using magnetic anchoring and guidance system in the porcine model. *J Urology*, 2007, 178: 288–291
- Wang J, Huang C B, Feng J Y, et al. A novel ureteral stent and the magnetic catheter (in Chinese). *Beijing Biomed Eng*, 2014, 33: 179–184, 220 [王璿, 黄赤兵, 冯嘉瑜, 等. 一种新型输尿管支架管及磁性导尿管. 北京生物医学工程, 2014, 33: 179–184, 220]
- Rassweiler M C, Michel M S, Ritter M, et al. Magnetic ureteral stent removal without cystoscopy: A randomized controlled trial. *J Endourol*, 2017, 31: 762–766
- Mitchell A, Bolduc S, Moore K, et al. Use of a magnetic double J stent in pediatric patients: A case-control study at two Canadian pediatric centers. *J Pediatr Surg*, 2020, 55: 486–489
- Capocasale E, Cremaschi E, Valle R D, et al. Implementing a ureteric magnetic stent in the kidney transplant setting. *Transplantation*, 2019, 103: 2654–2656
- You H J, Wang L. Research progress of magnetic induced hyperthermia for prostate cancer (in Chinese). *J Contemp Urol Reprod Oncol*, 2017, 9:

- 375–378 [游慧娟, 王良. 磁感应热疗技术治疗前列腺癌的研究进展. 现代泌尿生殖肿瘤杂志, 2017, 9: 375–378]
- 23 Johannsen M, Gneveckow U, Eckelt L, et al. Clinical hyperthermia of prostate cancer using magnetic nanoparticles: Presentation of a new interstitial technique. *Int J Hyperther*, 2005, 21: 637–647
- 24 Johannsen M, Thiesen B, Wust P, et al. Magnetic nanoparticle hyperthermia for prostate cancer. *Int J Hyperther*, 2010, 26: 790–795
- 25 Oliveira T R, Stauffer P R, Lee C T, et al. Magnetic fluid hyperthermia for bladder cancer: A preclinical dosimetry study. *Int J Hyperther*, 2013, 29: 835–844
- 26 Oliveira T R, Stauffer P R, Lee C T, et al. Preclinical dosimetry of magnetic fluid hyperthermia for bladder cancer. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*, 2013, 8584: 1656985
- 27 Rodrigues P L, Vilaça J L, Oliveira C, et al. Collecting system percutaneous access using real-time tracking sensors: First pig model *in vivo* experience. *J Urol*, 2013, 190: 1932–1937
- 28 Lima E, Rodrigues P L, Mota P, et al. Ureterscopy-assisted percutaneous kidney access made easy: First clinical experience with a novel navigation system using electromagnetic guidance (IDEAL Stage 1). *Eur Urol*, 2017, 72: 610–616
- 29 Liang L L, Yao W B, Su T Z, et al. Experimental study on the feasibility of electromagnetic positioning and navigation in renal tumor puncture in BA-Ma mini pigs (in Chinese). *Hebei Med J*, 2019, 41: 2444–2447 [梁亮亮, 么文博, 苏铁柱, 等. 电磁定位引导巴马小型猪肾穿刺的实验研究. 河北医药, 2019, 41: 2444–2447]
- 30 Li X. European Urology: A novel navigation system using electromagnetic guidance applied to ureterscopy-assisted percutaneous kidney access (in Chinese). *J Mod Urol*, 2017, 22: 554 [李翔. European Urology: 新型电磁导航系统应用于输尿管软镜辅助经皮肾穿刺. 现代泌尿外科杂志, 2017, 22: 554]
- 31 Wang L, Liu Z, Wang C, et al. Rare malposition following left jugular vein catheterization: Case reports and a literature review. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8: 18543–18547
- 32 Tu W T, Su Z, Shan Y S. An original non-traumatic maneuver for repositioning migrated peritoneal dialysis catheters. *Perit Dial Int*, 2009, 29: 325–329
- 33 Savader S J, Lund G, Scheel P J, et al. Guide wire directed manipulation of malfunctioning peritoneal dialysis catheters: A critical analysis. *J Vasc Interv Radiol*, 1997, 8: 957–963
- 34 Miller M, McCormick B, Lavoie S, et al. Fluoroscopic manipulation of peritoneal dialysis catheters: Outcomes and factors associated with successful manipulation. *Clin J Am Soc Nephrol*, 2012, 7: 795–800
- 35 Krezalek M A, Bonamici N, Lapin B, et al. Laparoscopic peritoneal dialysis catheter insertion using rectus sheath tunnel and selective omentopexy significantly reduces catheter dysfunction and increases peritoneal dialysis longevity. *Surgery*, 2016, 160: 924–935
- 36 Padilla B E, Dominguez G, Millan C, et al. The use of magnets with single-site umbilical laparoscopic surgery. *Semin Pediatr Surg*, 2011, 20: 224–231
- 37 Magdeburg R, Hauth D, Kaehler G. New methods of magnet-based instrumentation for NOTES. *Minim Invas Ther Allied Technol*, 2013, 22: 324–329
- 38 Wancura M, McCracken J M, Steen E, et al. Emerging technologies in pediatric gynecology. *Curr Opin Obstetr Gynecol*, 2019, 31: 309–316
- 39 Klima U, MacVaugh H R, Bagaev E, et al. Magnetic vascular port in minimally invasive direct coronary artery bypass grafting. *Circulation*, 2004, 110: II55–II60
- 40 Liu S, Lei P, Cao Z, et al. Nonsuture anastomosis of arteries and veins using the magnetic pinned-ring device: A histologic and scanning electron microscopic study. *Ann Vasc Surg*, 2012, 26: 985–995
- 41 Yan X P, Zou Y L, She Z F, et al. Magnet compression technique: A novel method for rectovaginal fistula repair. *Int J Colorectal Dis*, 2016, 31: 937–938
- 42 She Z F, Yan X P, Ma F, et al. Treatment of rectovaginal fistula by magnetic compression. *Int Urogynecol J*, 2017, 28: 241–247
- 43 Fu S, Ma J, Zhao G B, et al. Improved design of rectovaginal fistula repair device based on magnetic compression technique (in Chinese). *China Med Devices*, 2018, 33: 46–49 [付珊, 马佳, 赵广宾, 等. 磁压榨直肠阴道瘘闭合修补装置的改良设计. 中国医疗设备, 2018, 33: 46–49]
- 44 Danon A, Shurrab M, Nair K M, et al. Atrial fibrillation ablation using remote magnetic navigation and the risk of atrial-esophageal fistula: International multicenter experience. *J Interv Card Electrophysiol*, 2015, 43: 169–174
- 45 Carpi F. Magnetic capsule endoscopy: The future is around the corner. *Expert Rev Med Devices*, 2010, 7: 161–164
- 46 Dietrich T, Kleen M, Killmann R, et al. Evaluation of magnetic navigation in an *in vitro* model of uterine artery embolization. *J Vasc Interv Radiol*, 2004, 15: 1457–1462

Summary for “磁外科技术在泌尿、妇产科中的应用进展”

Advances of magnetic surgery in the field of urology, obstetrics, and gynecology

Zhanfei She¹, Jinping Li², Lei Wang³, Shijun He⁴, Haoyu Xu¹, Zhong Wang¹, Qiling Li^{3*} & Feng Ma^{5*}

¹ Department of General Surgery, Ordos Central Hospital, Ordos 017000, China;

² Department of Nephrology, the First Central Hospital of Tianjin City, Tianjin 300192, China;

³ Department of Obstetrics and Gynecology, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;

⁴ Department of Urology, Xi'an No.1 Hospital, Xi'an 710002, China;

⁵ Shaanxi Provincial Center for Regenerative Medicine and Surgical Engineering, National Local Joint Engineering Research Center for Precision Surgery & Regenerative Medicine, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China

* Corresponding authors, E-mail: liqilinglady@163.com; mafeng7904@mail.xjtu.edu.cn

Currently, magnetic devices have been widely used in the fields of production and daily living, including surgical practice. By generating attractive or repulsive force without direct contact, magnetic materials have shown high superiority in simplifying the process of diagnosis and treatment, developing novel medical instruments, reducing postoperative complications, and overcoming drawbacks of traditional operations. Especially in the diagnosis and treatment of gastrointestinal and hepatobiliary surgery, the clinical application of magnetic surgery has developed rapidly and is becoming increasingly mature.

With the wide use of magnets in clinical practice, the discipline of magnetic surgery has been developed in recent years. After further innovation and continuous development, a magnetic system for clinical application is produced and contains five parts: Magnetic compression technique, magnetic anchor technique, magnetic navigation technique, magnetic levitation technique, and magnetic tracer technique.

In the field of urology, obstetrics, and gynecology, researchers have constantly absorbed and integrated the advantages of magnetic compression technique, magnetic anchor technique, and magnetic navigation technique to explore more minimally invasive, more accurate, simpler, and safer operations. Magnetic devices have been used in clinical practice effectively to develop new diagnosis and treatment methods. However, the application range of magnetic technology in urology, obstetrics, and gynecology is limited; fundamental and clinical research is scattered; and the development process is slow. There is still no breakthrough in magnetic levitation and magnetic tracer technique. Therefore, combined with the current content of magnetic surgery, this article briefly describes the development status of magnetic surgery technology and summarizes fundamental research or clinical examples of magnetic technique application in urology, obstetrics, and gynecology. It consists of three parts: Introduction of the content of magnetic surgery system, demonstration of application in urology, obstetrics, and gynecology, and discussion on future prospects.

In general, the use of magnetic technology in the field of urology starts relatively early, but the development is slow; the interaction between magnetic technology and obstetrics and gynecology starts late, but the depth and breadth are rapidly expanding. Magnetic technology makes diagnosis and treatment more minimally invasive, more efficient, and safer. Although magnetic levitation and magnetic tracer techniques are rarely used in the field of urology, obstetrics, and gynecology, it is believed that with the advancement of biomaterial science combined with modern surgery, especially the combination of medicine and engineering, magnetic surgery will have a broader effect. Rapid development of magnetic surgery will be achieved, and its richer application will be beneficial to human health.

This paper is aimed at introducing advances of magnetic surgery in the field of urology, obstetrics, and gynecology in recent years, providing references and directions for clinical innovation in future research. At the same time, summarizing the current research advances of the discipline is beneficial for further interdisciplinary integration and the mutual promotion between the magnetic surgery system and the field of urology, obstetrics, and gynecology.

magnetic surgery, magnetic compression technique, magnetic anchor technique, magnetic navigation technique, urology, obstetrics and gynecology

doi: [10.1360/TB-2019-0846](https://doi.org/10.1360/TB-2019-0846)