科学通报 2020 年 第 65 卷 第 13 期: 1274 ~ 1282

《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

香山科学会议专栏 评 述

第665次学术讨论会·磁外科学机遇和挑战

磁锚定技术及其临床应用

张勇[1,2,3], 熊力[4], 李奇灵[5], 任莉[6], 柴宁莉[7], 龚伟[8], 王荣峰[2,3,9], 董鼎辉[2,3,9], 任冯刚[2,3,9], 吕毅[2,3,9], 白纪刚[2,3,9*]

1. 西安交通大学第一附属医院胸外科, 西安 710061;
2. 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, 西安 710061;
3. 西安交通大学第一附属医院陕西省再生医学与外科工程研究中心, 西安 710061;
4. 中南大学湘雅二医院普外科, 长沙 410011;
5. 西安交通大学第一附属医院妇产科, 西安 710061;
6. 西安交通大学第一附属医院消化内科, 西安 710061;
7. 解放军总医院消化内科, 北京 100853;
8. 南方医科大学深圳医院消化内科, 深圳 518000;
9. 西安交通大学第一附属医院肝胆外科, 西安 710061

* 联系人, E-mail: bjgxa@126.com

2020-02-09 收稿, 2020-02-25 修回, 2020-02-25 接受, 2020-03-04 网络版发表

国家重点研发计划(2018YFC0115300)、陕西省重点研发计划(2019SF-014)、白求恩公益基金项目(HZB-20181119-070)、陕西省卫生和计划生育委员会计划项目(2018D056)、西安交通大学第一附属医院新医疗新技术项目(XJYFY-2018W3, XJYFY-2019W3)、西安交通大学新医疗新技术项目(XJLS-2018-029, XJLS-2019-048)和西安交通大学大学生创新训练项目(SJ201910698100, SJ201910698098)资助

摘要 磁锚定技术是磁外科体系的重要组成部分, 该技术利用磁体以“场”相互作用的特点, 通过操作体外的锚定磁体, 将体内靶磁体及其携带的器械牵拉至目标位置, 协助暴露手术视野. 目前国内外已将磁锚定技术应用于普通外科、胸外科、妇产科、泌尿外科和内镜操作等诸多领域. 在减戳孔或者单孔腔镜手术中, 建立有效的操作三角比较困难, 而且由于需要在狭小的手术入口内同时容纳主操作器械、辅助腔镜抓钳、腔镜摄像系统等, 器械之间容易出现相互碰撞干扰, 增加了操作难度, 术者也不易掌握. 磁锚定技术通过胸、腹壁耦合, 成功减少了胸腹壁所需的戳孔及常规牵拉器械, 建立了有效的操作三角, 获得了良好的手术视野, 提高了手术的微创化和精准化. 这些优势体现在腹腔镜胆囊切除术、阑尾切除术、全子宫切除术、子宫肌瘤剔除术、附件切除术、卵巢囊肿切除术、肾脏切除术及前列腺癌根治术、胸腔镜肺切除术及食管切除术、内镜下黏膜剥离术中. 另外, 磁锚定技术在乳腺癌根治术及肝移植供肝修整中得到了很好的应用. 随着强化磁性材料、生物力学和临床诊疗技术的不断深度交叉融合, 未来磁锚定技术将进一步拓宽应用领域, 推动我国外科诊疗技术及器械产业的共同进步.

关键词 磁锚定技术, 磁外科, 普外科, 胸外科, 泌尿外科, 妇产科

当前我国外科发展面临两大挑战: 微创化、精准化方面进展不足; 医疗设备未摆脱国外垄断. 我国外科领域专家紧跟时代脉搏, 研发出了一种具有显著临床应用价值的创新医疗技术——磁外科技术. 磁外科是利用磁技术、磁设备、磁载体进行的诊治、手术或外科辅助诊疗. 目前我国磁外科体系正在逐步完善, 主要构成部分有磁压榨技术、磁锚定技术、磁导航技术、磁悬浮技术以及磁示踪技术. 其中, 磁锚定技术(magnetic anchor technique, MAT)是磁外科研究的重要方向, 其利用磁性材料可通过直接或间接接触方式产生

引用格式: 张勇, 熊力, 李奇灵, 等. 磁锚定技术及其临床应用. 科学通报, 2020, 65: 1274–1282
Zhang Y, Xiong L, Li Q L, et al. Magnetic anchor technique and its clinical application (in Chinese). Chin Sci Bull, 2020, 65: 1274–1282, doi: 10.1360/TB-2020-0113

© 2020《中国科学》杂志社

力作用的特性，实现牵拉暴露或功能模块的空间定位，从而完成传统方式难以进行的体腔内部疾病的诊断和治疗. 磁锚定装置由两部分组成，包括部署在体内(胸腔、腹腔内等)手术操作区域的靶磁体及器械和放置在体外(胸壁、腹壁上等)定位区域的锚定磁体，借助耦合联动机制通过锚定磁体操纵靶磁体带动器械牵拉或移位. 目前为止，磁锚定技术辅助腹腔镜手术方面的研究相对较多[1~5]，借助磁锚定装置的辅助，减少了腹腔镜器械及戳卡的数量或直径，提高了手术微创性. 随着致力于磁外科领域研究的外科医师不断增多，磁锚定技术已经在多个外科学科方向得到了广泛的应用，显示出了其在各个学科应用的优势.

1 磁锚定技术的临床应用

1.1 磁锚定技术在普通外科的应用

(ⅰ) 磁锚定技术辅助单孔腹腔镜胆囊切除术. 目前已经上市用于辅助腹腔镜手术的有Levita^{TM}(San Mateo, CA, 美国)(图1(a))和IMANLAP^{TM}(Buenos Aires, 阿根廷)(图1(b))两种磁锚定牵引系统. Levita^{TM}是第一个获得美国FDA(Food and Drug Administration)批准的磁性手术系统，包括在体内的磁力组织钳和体外操纵组织钳的锚定磁体. Rivas等人[6]通过一项前瞻性多中心临床试验评估了Levita^{TM}在单孔腹腔镜手术(laparoendoscopic single-site surgery, LESS)胆囊切除中的应用. 所有50名患者均成功完成了手术，未报告与器械相关的严重不良事件，证实了其安全性及有效性. IMANLAP^{TM}由体内的靶磁体及组织夹和体外的锚定磁体组成，Dominguez 等人[4]采用IMANLAP^{TM}辅助开展了40例LESS胆囊切除术，术中无并发症、无中转开腹、无需增加戳卡.

西安交通大学第一附属医院(简称西安交大一附院)设计的用于辅助腹腔镜的磁锚定装置[7](图1(c))包括两部分: 体外锚定磁体和体内内置抓钳. 锚定磁体为直径50 mm、高140 mm的圆柱状磁体, 采用N50烧结钕铁硼加工而成，表面镍镀层，轴向饱和充磁，外套壁厚5 mm的树脂外壳. 内置抓钳包括靶磁体和组织夹. 靶磁体直径10 mm、高15 mm，采用N50烧结钕铁硼加工而成，表面镍镀层，轴向饱和充磁，外套壁厚1 mm的45$^{\#}$钢壳，钢壳表面磷化处理. 组织夹采用不锈钢材料加工而成. 组织夹与靶磁体之间以丝线连接在一起. 内置抓钳总长度为55 mm. 锚定磁体与靶磁体在间距5 mm时吸力约为35 N. 白纪刚等人[7]应用西安交大一附院的磁锚定装置完成6例减戳孔腹腔镜胆囊切除术(图2)，术野显露良好，无并发症发生，证实手术安全可行.

(ⅱ) 磁锚定技术辅助LESS阑尾切除术. Padilla等人[8]利用磁锚定牵引系统(IMANLAP^{TM})实现磁助LESS阑尾切除术(图3). 在临床儿童阑尾切除术中，使用磁锚定辅助LESS阑尾切除安全可行，可提供更好的操作三角，可实现单人操作的阑尾切除术.

(ⅲ) 磁锚定技术辅助腹腔镜摄像系统. 除了磁锚定牵引系统以外，磁锚定技术还可以用来改善腹腔镜摄像系统，如磁锚定导航系统(magnetic anchoring guidance systems, MAGS). 它是由德克萨斯大学西南医学

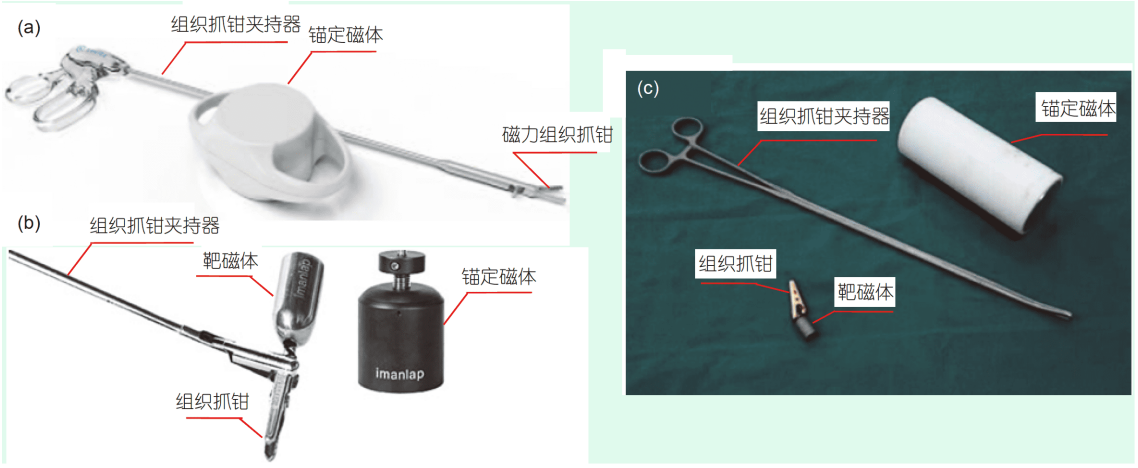


图 1 (网络版彩色)腹腔镜磁锚定牵引系统[4,6]. (a) Levita^{TM}[6]; (b) IMANLAP^{TM}[4]; (c) 西安交大一附院磁锚定牵引系统

Figure 1 (Color online) Magnetic anchor traction system for laparoscopic surgery[4,6]. (a) Levita^{TM}[6]; (b) IMANLAP^{TM}[4]; (c) magnetic anchor traction system of the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University

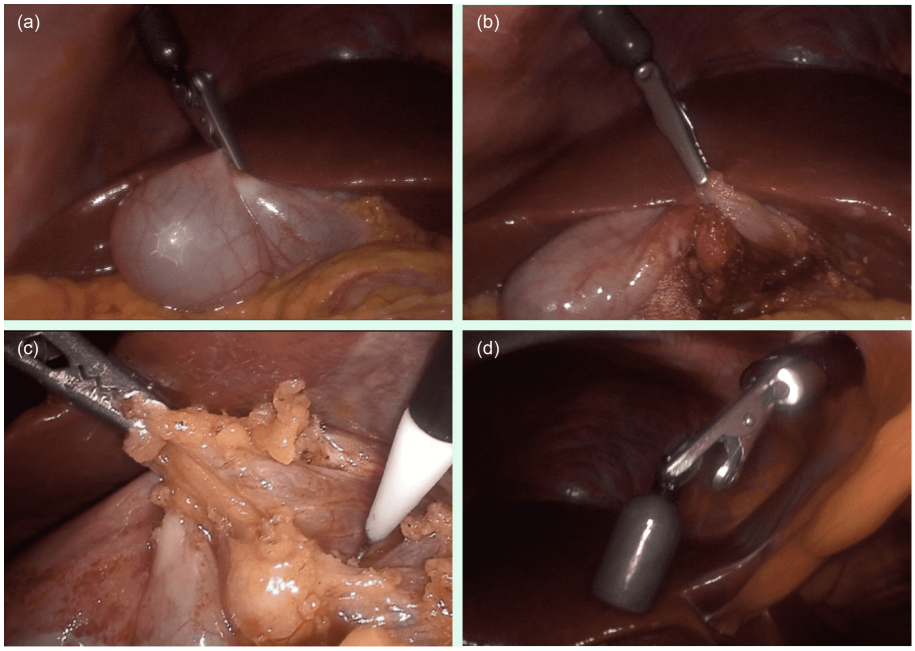


图 2 (网络版彩色)磁锚定技术辅助腹腔镜胆囊切除术[7]. (a) 内置抓钳钳夹于胆囊底部; (b) 内置抓钳协助暴露胆囊三角; (c) 磁锚定辅助下分离胆囊管; (d) 经剑突下戳卡取出内置抓钳

Figure 2 (Color online) Magnetic anchor technique assisted laparoscopic cholecystectomy[7]. (a) The magnetic anchor grippers were clamped at the bottom of the gallbladder. (b) The magnetic anchor grippers assisted in exposing the gallbladder triangle. (c) The magnetic anchor grippers assisted in separating cystic duct. (d) Remove the magnetic anchor grippers through the subxiphoid trocar

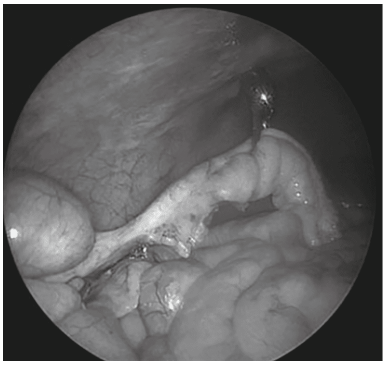


图 3 磁锚定技术辅助阑尾切除术[8]

Figure 3 Magnetic anchor technique assisted laparoscopic appendectomy[8]

中心发明, 由体外锚定磁体控制体内摄像系统, 减少了用于进出摄像系统的戳孔, 避免了手术中摄像系统对于手术的干扰, 已成功用于经胃、经肛门和经阴道的胆囊切除术、肾切除以及阑尾切除术中[9].

1.2 磁锚定技术在胸外科的应用

自从2011年Gonzalez-Rivas等人[10]报道了单孔胸腔镜下肺叶切除术以来, 单孔胸腔镜手术得到了迅速发展. 同为单孔手术, 单孔胸腔镜手术存在与单孔腹腔镜手术(LESS)同样的困境[11~13]. 那么, 磁锚定技术是否也可以在胸腔镜手术中发挥其优势、优化胸腔镜手术流程、减少手术创伤呢? Gonzalez-Rivas[14]及Giaccone等人[15]均认为MAGS及磁锚定牵引系统可以应用于胸腔镜手术中, 有利于手术野的暴露、减少手术器械之间的相互干扰以及改善手术者的术中体验. 结合西安交大一附院前期大量的动物实验及临床经验, 应用自行研制的腹腔镜磁锚定牵引系统(图1(c)), 开展了磁锚定辅助胸腔镜下肺切除及食管切除术.

(ⅰ) 磁锚定技术辅助胸腔镜肺切除术. 在磁锚定技术辅助单孔胸腔镜下肺楔形切除术中, 用钛钳置入磁锚定内置抓钳, 钳夹于病灶部位, 用体外磁铁进行吸引, 通过改变内置抓钳的位置和方向, 牵拉肺组织以暴露术野. 于病灶基底部完整切除病灶后, 用腔镜抓钳吸引内置抓钳尾端磁体, 将内置抓钳连同病灶组织一同牵拉离体[16](图4).

(ⅱ) 磁锚定技术辅助胸腔镜食管切除术. 以内置抓钳的钳夹食管牵引带, 用体外磁铁进行吸引, 通过改变内置抓钳的位置和方向, 牵拉食管显露术野, 游离食管(未发表数据). 在清扫左侧喉返神经旁淋巴结时, 将食管牵拉至脊柱侧, 显露神经走形. 胸腔段食管游离完

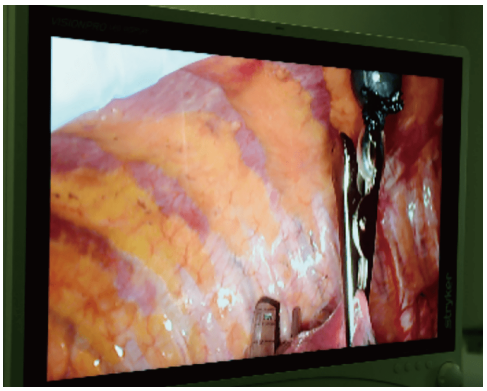


图 4 (网络版彩色)磁锚定技术辅助肺楔形切除术[16]
Figure 4 (Color online) Magnetic anchor technique assisted pulmonary wedge resection[16]

成后, 用腔镜抓钳吸引内置抓钳尾端磁体, 将内置抓钳牵拉离体.

1.3 磁锚定技术在妇产科的应用

磁锚定技术在LESS妇产科手术中发挥着同样的优势, 成功应用于全子宫切除术、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, 除此之外, 还开拓性地应用于治疗先天性无阴道或阴道闭锁.

(ⅰ) 磁锚定技术辅助LESS妇产科手术. 2011年Padilla等人[5]报道了两例磁锚定器械辅助经脐LESS卵巢囊肿切除术. 体外锚定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, 控制体内靶磁体及抓钳对器官的提拉、牵引, 帮助更好地暴露术野, 无术中并发症, 安全有效. 2013年, Magdeburg等人[17]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, 分别应用磁夹和磁性套管针对猪进行了经胃的部分子宫角切除术. 实验证明这两种磁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, 无术中并发症, 也不影响其他手术仪器的正常工作. 最近, 西安交大一附院李奇灵团队利用自制的腹腔镜磁锚定牵引系统(图1(c)), 在18例妇科良性疾病患者中进行了一系列LESS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, 认为磁锚定装置在术中起到协助固定的作用, 尤其在卵巢手术中提拉卵巢固有韧带或在单手缝合阴道残端时作用可靠、简便.

(ⅱ) 磁锚定技术治疗先天性无阴道或阴道闭锁. 在治疗儿童期或者青春期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戴阴道扩张模具, 治疗效果不佳, 而且痛苦、繁琐, 患者依从性差. 有学者根据磁原理, 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[18]. 磁性阴道内支架形状类似于橄榄球, 置入阴道内, 借助与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. 而可降解材料防止了新成形阴道的纤维化. 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, 我们认为这是磁锚定技术在妇产科灵活运用的又一大创新.

1.4 磁锚定技术在泌尿外科的应用

(ⅰ) 磁锚定技术辅助LESS肾脏切除术. LESS肾脏切除术逐渐被认为是常规腹腔镜肾脏切除术的替代方法. 但是, 即使具有丰富腹腔镜手术经验的外科医生, 在一些LESS手术中仍需要额外的戳卡, 且手术时间较普通腔镜手术长; 而这些额外的戳卡可能导致出血、内部器官损坏或术后疼痛和疝气, 从而使LESS手术的价值明显降低. 因此, 为进一步推广LESS肾脏切除技术, 磁锚定技术被引入肾脏切除术中. 研究表明, 通过使用磁锚定装置, 可以将肾脏拖到腹壁, 并且可以将椎弓根拉直以便于手术操作, 与不使用磁锚定装置相比, 使用磁锚定装置的手术时间更短, 血管损伤更少[19](图5(a)).

(ⅱ) 磁锚定技术辅助机器人前列腺癌根治术. 腹腔镜前列腺癌根治术中, 组织牵拉主要基于重力或使用额外的戳卡和器械. 2019年, 美国西南大学的Steinberg等人[20]将Levita™磁定位抓钳器械成功应用于机器人前列腺癌根治术. 磁锚定抓钳可替代第四机械臂实现术中组织牵拉. 结果表明, 利用磁锚定组织抓紧器/牵开器辅助机器人前列腺切除术安全有效. 该系统的使用消除了对第四条机械臂的需求, 且磁锚定完成的三臂机器人前列腺切除术是在不改变手术基本步骤的情况下完成的(图5(b)).

1.5 磁锚定技术与内镜技术相结合

我国是消化道肿瘤高发国, 消化道肿瘤的发病率及患病率较高, 随着内镜技术普及率的明显提高, 许多消化道疾病能够得到早期发现, 实现早期诊断和早期治疗[21]. 内镜下黏膜下剥离术(endoscopic submucosal dissection, ESD)在日本已被确立为早期胃癌的标准治疗方法. 目前ESD已发展出多种辅助牵引方法[22], 但传

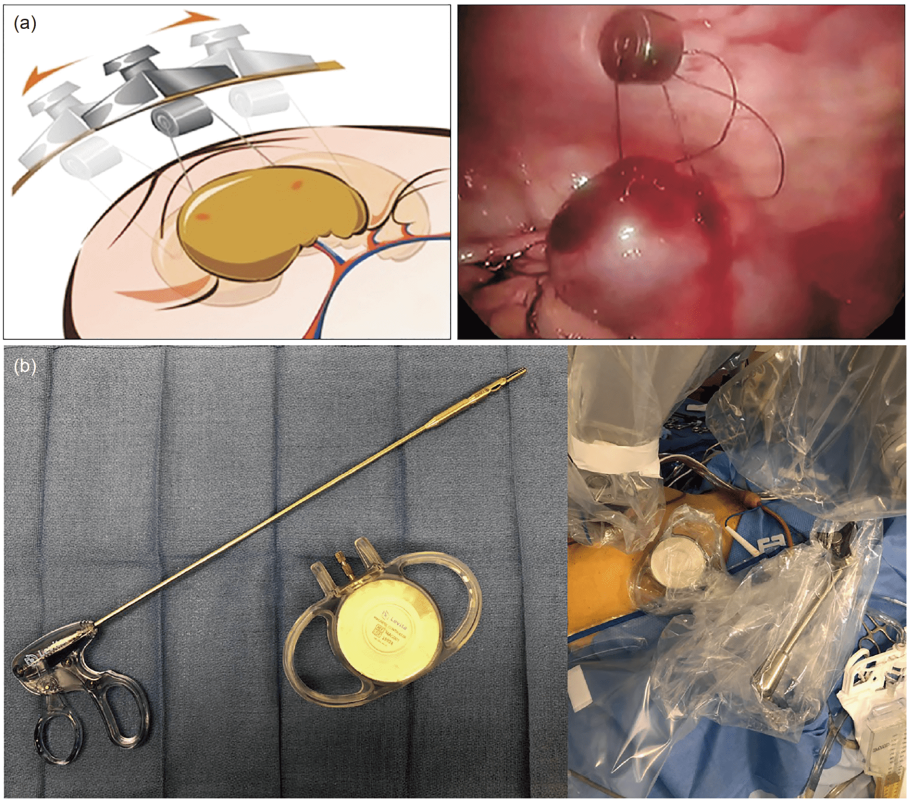


图 5 (网络版彩色)磁锚定技术在泌尿外科的应用[19,20]. (a) 磁锚定技术辅助减戳卡肾切除术[19]; (b) 磁锚定技术辅助机器人前列腺切除术[20]
Figure 5 (Color online) Urological applications of magnetic anchor technique[19,20]. (a) Magnetic anchor technique assisted reduced port nephrectomy[19]. (b) Magnetic anchor technique assisted robotic prostatectomy[20]

统方法仍具一定局限性. 磁锚定技术作为一项新兴的技术, 运用单通道内镜、锚定抓钳、体外锚定磁铁三部分即可在内镜下完成全部操作, 可便捷、多角度地提供牵引, 且无需额外戳孔或是增加内镜数目.

早在2004年, Kobayashi等人[23]设计出了最初的磁锚定装置. 随后多项ESD临床试验得以开展: Gotoda等人[24]收集了23例早期胃癌患者, 进行了磁锚定辅助内镜下黏膜下剥离术(magnetic anchor-guided endoscopic submucosal dissection, MAG-ESD)的临床试验, 并予15~32个月的随访. Matsuzaki等人[25]从2016年10月~2018年12月募集了50例结肠肿块患者, 成功进行了MAG-ESD(图6(a)~(d)). 在这期间, 他们也将MAG-ESD技术运用于结肠息肉切除, 取得良好效果. 所有试验小组均能完整切除病灶, 且无不良事件发生[24,25,27].

近几年, 该技术在国内外得到进一步的发展. 2017年, 美国克利夫兰诊所提出将磁锚定技术运用于早期胃癌胃镜下黏膜下剥离手术[26]. Matsuzaki等人[28]将锚定抓钳材料替换为不锈钢, 运用不锈钢锚定钳和体外钕制磁铁, 完成了一例结肠息肉切除术, 证实其可行性. Dobashi等人[29]开发了一种磁力较弱的内部磁牵引装置(magnet traction device, MTD). 国内, 华西医院报道了1例十二指肠的磁珠辅助ESD(magnetic beads-assisted ESD, MBA-ESD), 患者术后第5天出院, 无明显并发症[30]. 他们认为MBA-ESD可以用于辅助困难ESD, 如十二指肠和结直肠, 但该方式牵引力主要依靠磁珠重力, 只有增加磁珠数量, 才能增强牵引力[31]. 2019年, 刘豪等人[32]首次开展磁性水凝胶运用于ESD的动物实验. 内磁体的形态由固态发展为液态, 需要的空间更少, 适合食管等狭小部位的操作. 西安交大一附院为改善上消化道梗阻提出了电磁-液磁耦合胃肠锚定穿刺方案, 结合消化道造影技术于离体犬的胃和肠道模型上完成了胃壁-空肠穿刺[33].

1.6 磁锚定技术的其他应用

(ⅰ) 磁锚定技术辅助乳腺癌根治术. 乳腺癌根治手术术中皮瓣游离是手术操作的重要环节之一, 术中

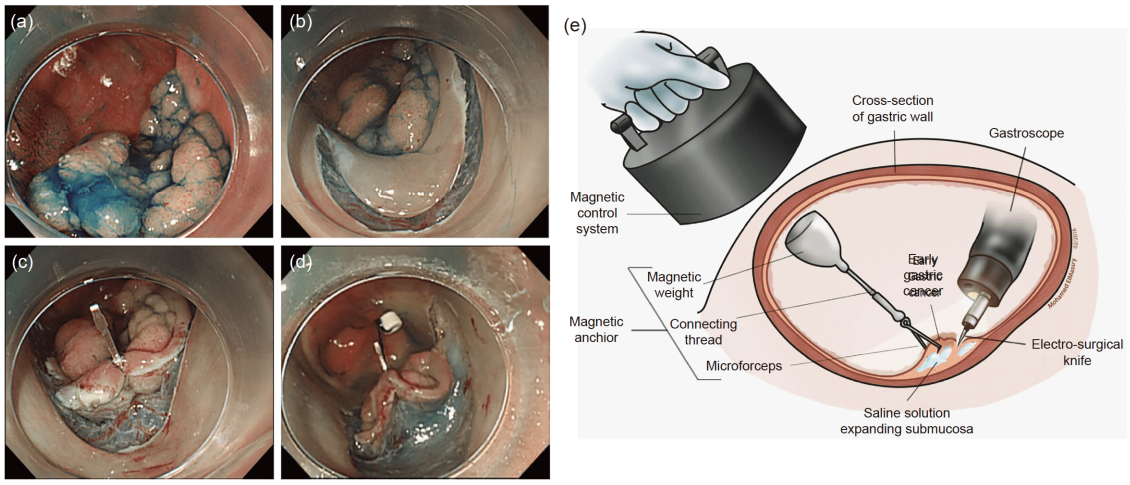


图 6 (网络版彩色)MAG-ESD术[25,26]. (a) 发现盲肠肿物[25]; (b) 电刀确定手术切缘[25]; (c) 使用锚定装置提供牵引后可清晰看见黏膜下组织, 有助于手术部位暴露, 方便手术剥离病灶[25]; (d) 在磁锚定装置协助下分离黏膜下组织, 最终完整切除病灶[25]; (e) MAG-ESD手术示意图[26]

Figure 6 (Color online) MAG-ESD[25,26]. (a) Endoscopic image showing an elevated lesion in the cecum[25]. (b) After partial dissection, the mucosal edge before attaching the magnetic anchor[25]. (c) Direct visualization of the submucosal layer by the magnetic anchor facilitated the submucosal dissection[25]. (d) Adequate traction was obtained by maneuvering the external magnet during the whole procedure[25]. (e) MAG-ESD surgical diagram[26]

良好的术野暴露尤为重要, 传统做法需要2名助手辅助. 如何在保证术中良好显露的同时, 减少所需助手人数一直是外科医生关注的问题. 针对此问题, 吕毅团队[34]研制出磁悬吊牵引系统, 在世界上首次提出将磁锚定技术引入乳腺癌外科治疗领域, 不仅可以改善深部组织暴露效果, 还可减少手术人数, 甚至实现部分术式的单人操作(图7(a)).

(ⅱ) 磁锚定技术辅助供肝修整. 在进行肝移植手术的供肝修整术时, 组织牵拉暴露至关重要. 通常情况下, 主刀至少需要两名助手辅助才能实现良好的组织牵拉暴露. 然而, 供肝修整术通常在修肝盆中进行, 操作空间较常规手术小, 助手常常会干扰主刀操作. 此外, 心脏死亡器官捐献(donation after cardiac death, DCD)是现阶段肝移植供体的主要来源, 工作涉及面广, 人员、场地等限制因素较多. 因此, 良好的解决方案是研发特殊的牵拉装置, 使其能够代替人手操作. 针对此, 吕毅团队[35]研制出磁蜘蛛人装置, 能够有效替代人手进行牵拉操作, 且体积小巧、定位灵活, 可按术者意愿完成组织牵拉暴露, 并不占用操作空间, 使术者能够实现单人DCD供肝修整(图7(b)).

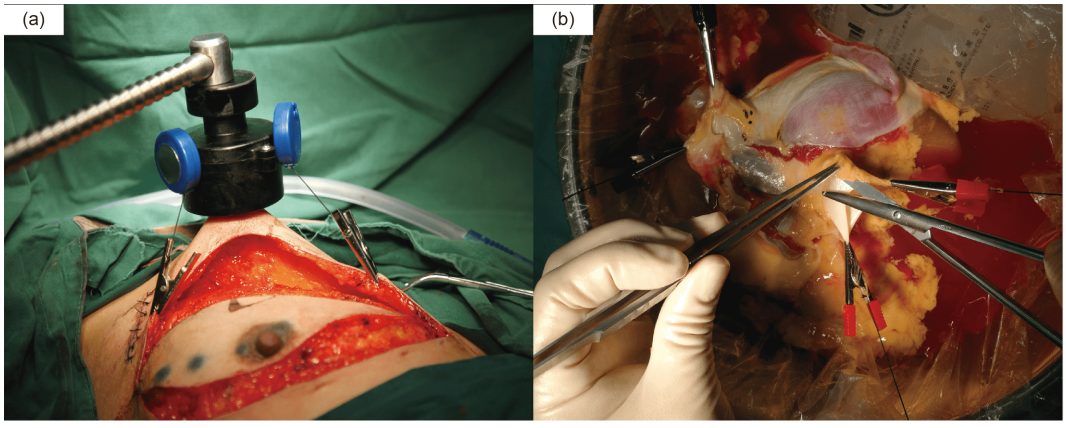


图 7 (网络版彩色)磁锚定技术的其他应用[34,35]. (a) 磁悬吊乳腺牵拉装置[34]; (b) 磁蜘蛛人装置[35]

Figure 7 (Color online) Other applications of magnetic anchor technique[34,35]. (a) Magnetic suspension breast traction device[34]. (b) Magnetic spiderman device[35]

2 总结及展望

作为磁外科的重要分支, 磁锚定技术当前已成功应用于普通外科、胸外科、妇产科、内镜操作、胃肠锚定穿刺术[36~38]及其他相关领域中. 磁锚定装置的突出优势在于定位装置设计简单, 不需占据太大空间, 同时易于变换定位位置, 使功能模块在工作空间内可灵活移动, 同时辅助牵拉暴露可以减少术中参与人数. 随着当今外科正向着微创化、精准化进一步发展, 磁锚定技术将有更为广阔的应用空间. 需要指出的是, 当前磁锚定技术也存在诸多不足, 不能够实现在临床中"全场景"应用, 当体腔内放置多个锚定夹时相互之间会有一定的影响. 患者肥胖程度、置入体内路径等仍然是制约磁锚定技术临床应用的重要因素[39,40]. 因此, 未来磁锚定技术需要在靶磁体、锚定磁体的设计、牵引装置优化等方面进一步深入研究. 虽然目前磁场对人体影响多为正面报道[40~42], 但是仍需要进一步研究明确体内植入稳态磁场后对机体的电生理活动及细胞学行为的磁场剂量-效应关系. 另外, 使用磁锚定技术时需计算所需的磁力, 避免磁力过大引起组织损伤.

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. 相信随着材料科学和现代外科的进步, 特别是磁性纳米材料的流体化以及钕铁硼强磁的不断优化, 磁外科在磁锚定技术领域将有更多的应用, 以更丰富的方式造福患者.

参考文献

1 Arain N A, Cadeddu J A, Hogg D C, et al. Magnetically anchored cautery dissector improves triangulation, depth perception, and workload during single-site laparoscopic cholecystectomy. J Gastrointest Surg, 2012, 16: 1807–1813
2 Shang Y, Guo H, Zhang D, et al. An application research on a novel internal grasper platform and magnetic anchoring guide system (MAGS) in laparoscopic surgery. Surg Endosc, 2017, 31: 274–280
3 Best S L, Cadeddu J A. Use of magnetic anchoring and guidance systems to facilitate single trocar laparoscopy. Curr Urol Rep, 2010, 11: 29–32
4 Dominguez G, Durand L, De Rosa J, et al. Retraction and triangulation with neodymium magnetic forceps for single-port laparoscopic cholecystectomy. Surg Endosc, 2009, 23: 1660–1666
5 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
6 Rivas H, Robles I, Riquelme F, et al. Magnetic surgery. Ann Surg, 2018, 267: 88–93
7 Bai J G, Lin Y, Li Y, et al. Clinical application of magnetic anchor technique in laparoscopic cholecystectomy (in Chinese). J Laparoscopic Surg, 2019, 24: 782–785 [白纪刚, 吝怡, 李宇, 等. 磁锚定技术在腹腔镜胆囊切除术中的临床应用. 腹腔镜外科杂志, 2019, 24: 782–785]
8 Padilla B E, Dominguez G, Millan C, et al. Initial experience with magnet-assisted single trocar appendectomy in children. J Laparoendosc Adv Surg Tech, 2013, 23: 463–466
9 Cadeddu J, Fernandez R, Desai M, et al. Novel magnetically guided intra-abdominal camera to facilitate laparoendoscopic single-site surgery: Initial human experience. Surg Endosc, 2009, 23: 1894–1899
10 Gonzalez-Rivas D, Fieira E, Mendez L, et al. Single-port video-assisted thoracoscopic anatomic segmentectomy and right upper lobectomy. Eur J Cardio-Thorac Surg, 2012, 42: e169–e171
11 Sano A, Yotsumoto T. Single-port thoracoscopic lung wedge resection using the Endo GIA Radial Reload. Surg Today, 2018, 48: 248–251
12 Wang L, Liu D, Lu J, et al. The feasibility and advantage of uniportal video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) in pulmonary lobectomy. BMC Cancer, 2017, 17: 75
13 Martin-Ucar A E, Aragon J, Nadal S B, et al. The influence of prior multiport experience on the learning curve for single-port thoracoscopic lobectomy: A multicentre comparative study. Eur J Cardio-Thorac Surg, 2017, 51: 1183–1187
14 Gonzalez-Rivas D. Unisurgeon' uniportal video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy. J Vis Surg, 2017, 3: 163
15 Giaccone A, Solli P, Bertolaccini L. Magnetic anchoring guidance system in video-assisted thoracic surgery. J Vis Surg, 2017, 2: 17
16 Yan X P, Li Y X, Fu J K, et al. Magnetic anchor technique assisted thoracoscopic pulmonary wedge resection 3 cases (in Chinese). Chin J Clin Thorac Cardiovasc Surg, 2020, 27: 229–230 [严小鹏, 李益行, 付军科, 等. 磁锚定技术辅助胸腔镜肺楔形切除术3例. 中国胸心血管外科临床杂志, 2020, 27: 229–230]
17 Magdeburg R, Hauth D, Kaehler G. New methods of magnet-based instrumentation for NOTES. Minim Invasive Ther Allied Technol, 2013, 22: 324–329
18 Wancura M, McCracken J M, Steen E, et al. Emerging technologies in pediatric gynecology. Curr Opin Obstetr Gynecol, 2019, 31: 309–316
19 Choi Y H, Lee H W, Lee S Y, et al. Laparoendoscopic single-site simple nephrectomy using a magnetic anchoring system in a porcine model.

Investig Clin Urol, 2016, 57: 208–214
20 Steinberg R L, Johnson B A, Cadeddu J A. Magnetic-assisted robotic surgery: Initial case series of reduced-port robotic prostatectomy. J Robot Surg, 2019, 13: 599–603
21 Zhou P H, Cai M Y, Yao L Q. Expert consensus on endoscopic submucosal desection of gastrointestinal mucosal diseases (in Chinese). J Diagn Concepts Pract, 2012, 11: 531–535 [周平红, 蔡明琰, 姚礼庆. 消化道黏膜病变内镜黏膜下剥离术的专家共识意见. 诊断学理论与实践, 2012, 11: 531–535]
22 Imaeda H, Hosoe N, Kashiwagi K, et al. Advanced endoscopic submucosal dissection with traction. World J Gastrointest Endosc, 2014, 6: 286–295
23 Kobayashi T, Gotohda T, Tamakawa K, et al. Magnetic anchor for more effective endoscopic mucosal resection. Jpn J Clin Oncol, 2004, 34: 118–123
24 Gotoda T, Oda I, Tamakawa K, et al. Prospective clinical trial of magnetic-anchor-guided endoscopic submucosal dissection for large early gastric cancer. Gastrointest Endosc, 2009, 69: 10–15
25 Matsuzaki I, Isobe S, Hirose K, et al. Magnetic anchor-guided endoscopic submucosal dissection for colonic tumor. Gastrointest Endosc, 2017, 85: 1111–1112
26 Mortagy M, Mehta N, Parsi M A, et al. Magnetic anchor guidance for endoscopic submucosal dissection and other endoscopic procedures. World J Gastroenterol, 2017, 23: 2883–2890
27 Matsuzaki I, Hattori M, Yamauchi H, et al. Magnetic anchor-guided endoscopic submucosal dissection for colorectal tumors. Surg Endosc, 2019, 34: 1012–1018
28 Matsuzaki I, Yamauchi H, Goto N, et al. Magnetic anchor-guided endoscopic submucosal dissection using a stainless steel anchor. Endoscopy, 2019, 52: E80–E81
29 Dobashi A, Storm A C, Song L M W K, et al. Efficacy and safety of an internal magnet traction device for endoscopic submucosal dissection: *Ex vivo* study in a porcine model. Surg Endosc, 2019, 33: 663–668
30 Guo L J, Ye L, Huang Z Y, et al. Magnetic beads-assisted endoscopic submucosal dissection of duodenal heterotopic gastric mucosa with fibrosis. Endoscopy, 2019, 51: E113–E115
31 Hu B, Ye L S. Endoscopic applications of magnets for the treatment of gastrointestinal diseases. World J Gastrointest Endosc, 2019, 11: 548–560
32 Liu H, Zhao G B, Zhang Y, et al. Magnetic hydrogel assisted endoscopic submucosal dissection operation based on magnetic anchor technique (in Chinese). China Med Devices, 2019, 34: 19–34 [刘豪, 赵广宾, 张勇, 等. 基于磁锚定技术的磁性水凝胶辅助内镜黏膜下剥离术. 中国医疗设备, 2019, 34: 19–34]
33 Ma S J, Du Y Y, Zhao G B, et al. Magnetic anchor technique assisting endoscopic gastrojejunostomy (in Chinese). China Med Devices, 2018, 34: 15–18 [马思捷, 杜妍莹, 赵广宾, 等. 磁锚定技术辅助内镜下胃空肠吻合. 中国医疗设备, 2018, 34: 15–18]
34 Dong D H, Tang X J, Wang Y, et al. Development of magnetic suspension traction system for adenomammectomy (in Chinese). China Med Devices, 2019, 34: 45–48 [董鼎辉, 汤小江, 王越, 等. 用于乳腺切除手术的磁悬吊牵拉系统的研制. 中国医疗设备, 2019, 34: 45–48]
35 Tian B Y, Dong D H, Wang Y, et al. Development of magnetic spiderman to optimize the procedures of repairment of donor liver from organ donation (in Chinese). Organ Transplant, 2018, 19: 200–204 [田波彦, 董鼎辉, 王越, 等. 面向器官捐献供肝修整操作优化的磁蜘蛛人研制. 器官移植, 2018, 19: 200–204]
36 Khan A Y, Berkowitz D, Krimsky W S, et al. Safety of pacemakers and defibrillators in electromagnetic navigation bronchoscopy. Chest, 2013, 143: 75–81
37 Tugwell J, Brennan P, O'Shea C, et al. Electropermanent magnetic anchoring for surgery and endoscopy. IEEE Trans Biomed Eng, 2015, 62: 842–848
38 Yan X, Ren F, Liu W, et al. Gastrostomy in dogs with magnetic compression technique combined with endoscopy. Chin J Gastrointest Sur, 2015, 18: 832–834
39 Haskins I N, Strong A T, Allemang M T, et al. Magnetic surgery: First U.S. experience with a novel device. Surg Endosc, 2018, 32: 895–899
40 Best S L, Bergs R, Gedeon M, et al. Maximizing coupling strength of magnetically anchored surgical instruments: How thick can we go? Surg Endosc, 2011, 25: 153–159
41 Zhang L, Hou Y, Li Z, et al. 27 T ultra-high static magnetic field changes orientation and morphology of mitotic spindles in human cells. eLife, 2017, 6: e22911
42 Luo Y, Ji X, Liu J, et al. Moderate intensity static magnetic fields affect mitotic spindles and increase the antitumor efficacy of 5-FU and Taxol. Bioelectrochemistry, 2016, 109: 31–40

Summary for “磁锚定技术及其临床应用”

Magnetic anchor technique and its clinical application

Yong Zhang[1,2,3], Li Xiong[4], Qiling Li[5], Li Ren[6], Ningli Chai[7], Wei Gong[8], Rongfeng Wang[2,3,9], Dinghui Dong[2,3,9], Fenggang Ren[2,3,9], Yi Lü[2,3,9] & Jigang Bai[2,3,9*]

[1] *Department of Thoracic Surgery, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;*
[2] *National Local Joint Engineering Research Center for Precision Surgery & Regenerative Medicine, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;*
[3] *Shaanxi Provincial Center for Regenerative Medicine and Surgical Engineering, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;*
[4] *Department of General Surgery, the Second Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410011, China;*
[5] *Department of Obstetrics and Gynecology, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;*
[6] *Department of Gastroenterology, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;*
[7] *Department of Gastroenterology, General Hospital of PLA, Beijing 100853, China;*
[8] *Department of Gastroenterology, Shenzhen Hospital of Southern Medical University, Shenzhen 518000, China;*
[9] *Department of Hepatobiliary Surgery, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China*
* Corresponding author, E-mail: bjgxa@126.com

Magnetic anchor technique (MAT) is an important part of the magnetic surgery that utilizes the characteristics of the “field” interaction of magnets. By operating the anchoring magnets outsides the body, it draws the target magnets in the body and the instruments carried by them to the target position to assist expose the surgical field. At present, MAT has been applied in many fields, such as general surgery, thoracic surgery, gynecology and obstetrics, urinary surgery and endoscopic operation. In the reduction trocar or single incision laparoscopic surgery, it is difficult to establish triangulation. Besides, the main operating instrument, laparoscopic grasping forceps, laparoscopic camera system, etc. need to be accommodated in a narrow surgical entrance, they are easy to collide and interfere with each other, which increases the difficulty of operation and makes it difficult for operators to master. With the chest and abdominal wall coupling, MAT successfully reduces the trocar and pulling instruments, establishes effective triangulation, obtains a good surgical insight, and makes the surgery more minimally invasive and precision. MAT has been successfully used in laparoscopic cholecystectomy, appendectomy, total hysterectomy, hysteromyomectomy, adnexectomy, ovarian cyst resection, nephrectomy and radical prostatectomy, thoracoscopic pulmonary wedge resection and esophagectomy, endoscopic submucosal dissection. Besides, it also works well in radical mastectomy and preparation of donor liver in liver transplantation. In magnet-assisted single trocar (MAST) surgery, magnetic instruments provide sufficient retraction, good triangulation and surgical field exposure, improving the human mechanics of the surgeon during appendectomy and cholecystectomy. With the help of MAT, single incision laparoscopic surgery has been successfully completed appendectomies, cholecystectomies, Nissen fundoplications, gastrojejunostomies, splenectomies, ovarian tumor/cyst resections, retroperitoneal lymphangioma resection, adrenalectomy, total abdominal colectomy and pulmonary wedge resection. The traction generated by the combination of external magnets and internal magnets makes it possible to carry out NOTES surgery in patients with thick abdominal walls, and obtain a powerful traction/reverse traction without abdominal puncturing. With the deep cross and integration of magnetic materials, biomechanics and clinical diagnosis and treatment technique, MAT will expand the application in the future and promote the progress of surgical diagnosis and treatment technique and medical device industry.

magnetic anchor technique, magnetic surgery, general surgery, thoracic surgery, urology surgery, obstetrics and gynecology

doi: 10.1360/TB-2020-0113