科学通报 2020 年 第 65 卷 第 13 期: 1196 ~ 1202

《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

香山科学会议专栏 进 展

第665次学术讨论会·磁外科学机遇和挑战

磁外科技术在创伤领域的应用研究及展望

张红梅[1], 史源[2*], 孟珂伟[2], 吕毅[3], 王浩华[3], 杨涛[2], 马峰[3], 史爱华[3], 宋嘉树[3], 杜锡林[4]

1. 南部战区空军医院, 广州 510602;
2. 天津市第一中心医院, 天津 300192;
3. 西安交通大学第一附属医院, 西安 710061;
4. 空军军医大学唐都医院, 西安 710038

* 联系人, E-mail: doctorshiyuan@163.com

2020-01-17 收稿, 2020-04-02 修回, 2020-04-02 接受, 2020-04-03 网络版发表
军队后勤科研项目(CKJ 19C037)资助

摘要 随着磁力和磁性材料的迅速发展及其在医学中的应用, 外科领域产生了一个崭新的分支——磁外科. 磁外科包括磁压榨、磁锚定、磁导航、磁示踪、磁悬浮等多项技术, 在创伤救治领域中显示出极大优势. 本文详细阐述磁相关技术的原理及优势, 综述磁力和磁性材料在消化道重建、创伤后压迫止血、血管快速重建、骨折内固定等创伤治疗领域的研究现状和优缺点, 并介绍磁外科技术在创伤领域的应用前景.

关键词 磁外科, 创伤, 修复, 磁吻合, 磁导航

随着科学技术的发展, 磁相关技术逐步应用于医学领域. 1978年, Kanshin等人[1]首次在胃肠手术中利用磁铁吸引产生的机械性压榨作用创建无缝线吻合术. 随后, 这项技术逐步趋于成熟和完善. 2018年, 西安交通大学吕毅教授主持召开“首届国际磁外科大会”, 首次将磁外科定义为利用磁技术进行的外科治疗[2], 包括但不限于磁压榨技术、磁锚定技术、磁导航技术、磁示踪技术、磁悬浮技术等多个分支领域, 围绕磁相关技术在外科实践中发挥独特优势. 这是国际磁外科(磁外科学)发展的重要里程碑, 确立了中国在国际磁外科领域内的领导者角色[3].

创伤是指机械力传给人体后造成机体结构完整性破坏的损伤, 是45岁以下人群死亡的首要原因. 新式武器和作战模式的应用导致出现严重和复杂的战创伤. 近年来, 随着我国交通业和建筑业的快速发展, 创伤的发病率逐年递增. 磁外科技术在创伤救治领域中显示出极大优势, 现综述如下.

1 磁外科技术原理

1.1 磁吻合技术

磁吻合(magnetic compression anastomosis, MCA)技术是利用磁性材料间的吸引力对组织产生机械性压迫作用, 造成受压部位缺血坏死, 外缘相邻组织逐渐愈合的外科技术. MCA作为一种新的吻合技术, 具有操作简便、吻合迅速、对合精确、无穿透性吻合损伤、吻合口止血效果好、脱落后无异物残留等优势[4]. 目前, 临床广泛应用的吻合方式主要为缝线和钛钉吻合器吻合. 消化道受到创伤后, 需要快速处置以降低腹腔感染风险. 传统的缝线吻合术耗时较长, 救治效率较低; 易损伤组织, 缝线异物反应明显, 术后易发生裂漏; 对医生的手术技巧要求高, 难以满足严重腹部创伤(特别是

引用格式: 张红梅, 史源, 孟珂伟, 等. 磁外科技术在创伤领域的应用研究及展望. 科学通报, 2020, 65: 1196–1202
Zhang H M, Shi Y, Meng K W, et al. Application research and prospect of magnetic surgery techniques in trauma (in Chinese). Chin Sci Bull, 2020, 65: 1196–1202, doi: 10.1360/TB-2020-0053

© 2020《中国科学》杂志社

战场条件下创伤)的救治需求. 消化道受创后常发生严重的炎症和水肿, 术后感染风险较高, 钛钉吻合器应用受限. 已有研究证实, MCA适用于感染状态下的消化道重建, 实现肠瘘Ⅰ期修补[5]. 与缝线或钉式吻合时的纵向牵拉切割相比, 磁吻合时组织承受的是均匀平面压力. 因此, MCA对炎症水肿的管壁组织愈合质量确切, 明显优于手工缝线吻合. 磁吻合有可能改变以前的感染状态下不能实现Ⅰ期修复的传统治疗观念, 具有重要意义. 笔者总结出MCA应用于消化道重建的优势和劣势, 如表1所示.

表 1　MCA应用于消化道重建的优势和劣势

Table 1　Advantages and disadvantages of MCA applying to digestive tract reconstruction

优势	劣势
吻合简便快速	磁体排出前无法进行磁共振检查
压榨力量可调节	磁体有一定重量
磁体排出后无异物残留	压榨力较小时, 容易脱开
对组织剪切力小, 压榨均匀	压榨力较大时, 容易愈合前脱落
愈合过程中压榨力量逐渐增大	存在消化道排出困难的风险
非穿透性吻合损伤	
磁生物学效应, 上调血管内皮生长因子VEGF, 改善微循环, 促进愈合	

1.2　磁锚定技术和磁导航技术

磁锚定技术(magnetic anchor technique, MAT)是利用磁体与磁体, 或磁体与顺磁性物质之间的磁场吸引力, 使锚定磁体对靶磁体进行非接触性空间锚定的技术. 通过控制外加磁场, 牵拉控制体内带有磁性材料的组织或微小器械, 进行传统方式难以实现的体腔内部无创或微创诊治操作. 磁锚定技术能够有效解决腔镜手术中存在的主辅器械与照明摄像器械相互纠缠的缺陷, 减少腹壁戳孔数目, 缩短手术时间.

基于磁锚定技术, 逐步发展出多种磁锚定/磁导航系统(magnetic anchoring and guidance system, MAGS). 这是一项利用磁场来操控医疗器械开展诊断和治疗的新技术. 其中, 磁导航远端锁钉系统应用最为广泛. 该系统是通过磁场作用力定位, 具有无辐射、能够建立实时三维空间的特点, 极大降低了医患双方受X射线辐射量, 提高了定位准确度, 降低了手术操作时间, 临床效果显著.

2　磁吻合技术在创伤后消化道重建中的应用

2.1　消化道吻合

研究显示, 磁压榨技术应用于创伤后消化道快速重建, 术后3 d的吻合强度可达60%以上, 术后7 d吻合口愈合, 磁吻合环逐渐脱离吻合口并于术后14~21 d随粪便排出体外[3]. 1978年, Kanshin等人[1]利用MCA原理开展犬十二指肠-空肠侧侧吻合术, 吻合口均于术后1周愈合, 未出现手术并发症, 病理检查显示吻合口愈合良好. 1981年, Jansen等人[6,7]进行小肠磁吻合术的大动物实验, 术后4 d吻合口愈合, 磁环脱落后排出, 术后10 d吻合口病理提示黏膜下层愈合良好, 胶原形成. 随后进行21例临床MCA结直肠吻合术, 磁环相互对合时, 磁吸引力为11.8 N, 4 cm距离时为2.5 N; 术后7~12 d吻合口愈合, 磁环脱落后排出.

2009~2018年, 美国Harrison公司开展了系列MCA吻合实验及临床研究, 为MCA技术的应用做出重要贡献. 2009年, Harrison公司设计梯度压榨MCA磁环, 将钕铁硼磁体固定于聚四氟乙烯一体成型, 分别开展经皮和腹腔镜下的猪肠肠吻合术, 结果显示压榨面形状会影响吻合效果; 与普通MCA吻合环相比, 梯度压榨MCA磁环具有更高的吻合口强度、更早的趋势通畅率, 未出现吻合口狭窄, 吻合效果优于传统手工缝合[8]. 2017年, Harrison公司设计包裹在聚碳酸盐外壳中的自动定位对合磁环——Harrison环, 完成首个小肠磁吻合的前瞻性临床试验(图1): 5位患者均存在严重合并疾病, 并同时接受输尿管重建手术; 所有磁环均顺利脱离排出, 无梗阻或者疼痛, 13个月平均随访期未出现吻合相关的术后并发症(肠瘘、出血、狭窄等)[9]. 结果认为, (1) 该装置适用患者年龄范围较广, 患有基础疾病等高风险手术患者亦可应用; (2) 即使磁环未排出, 患者亦可安全出院; (3) 非导磁手术器械有助于操控磁环; (4) 磁环内造口的机械装置可简化手术操作, 减少手术时间; (5) 缓慢组织重塑和无异物残留有助于创造愈合良好的吻合口, 减少吻合口瘘风险.

2019年, 吕毅教授团队“用稀土钕铁硼强磁生物效应创新消化外科修复重建技术的系列研究”获中华医学科技奖医学科学技术奖一等奖. 聚焦于现有常规方法难以有效解决的腹部外科棘手病例, 突破现有外科重建思维的束缚, 利用稀土金属钕铁硼强磁生物效应, 建立“磁吻合”新型消化道重建技术, 极大简化了手术操作, 降低了手术难度, 明显缩短了手术时间, 显著提



图 1 (网络版彩色)Harrison环进行小肠吻合的临床试验
Figure 1 (Color online) Clinical trial of intestine anastomosis by Harrison rings

高了手术的安全性和治疗效果. 该项技术因兼具高效和高质双重优点而成为“智慧吻合”方式, 成为医工结合前沿尖端科技创新领域重点关注的热点和焦点.

近年来, 磁吻合器的设计不断开辟新思路. (1) 磁吻合辅助器械的设计: 以机械结构辅助对合, 避免传统磁吻合装置需要手工对合、挤压吻合口带来的操作不稳定性; 使用磁屏蔽壳, 有效减少同时使用多个磁吻合装置时的彼此吸力, 避免误吸导致消化道瘘的风险; 设计帮助吻合用的推拉杆或释放装置“吻合枪”, 枪头可根据消化道内径更换, 在节约生产和治疗成本的情况下, 更加有利于个体化治疗的实施; 将机械传动与磁吻合技术相结合, 有利于产品化, 进而推动磁吻合技术的临床应用推广[10]. (2) 磁力可调式磁吻合装置: 合适的磁力是磁压榨消化道吻合重建成败的关键; 磁力与磁体间距离相关, 磁体间距取决于吻合部位消化道管壁的厚度. 磁力可调式消化道磁吻合装置包含母磁体、子磁体、加载磁体及组装架四部分. 通过调整组装架, 针对不同患者、不同消化道管壁厚度进行自由加载组装磁体, 从而调控磁力大小[11]. (3) 胃肠吻合最佳压缩力: Lambe等人[12]通过文献分析, 总结胃肠吻合最佳压缩力在2 mm间距时为2.55~3.57 kg, 相关的压缩压力不应超过60 N/cm^2, 并提供免费在线分析软件(http://magda.ucc.ie/)帮助MCA吻合器选择最佳设计和改进. (4) 吻合器顺利排出: 体内腔道的解剖尺寸决定了磁吻合器的设计尺寸, 某些磁体规格较大, 脱落排出较困难, 设计并制作可变性、生物降解的磁吻合器以确保安全排出.

2.2 结肠创伤

结肠创伤常见于刀刺或交通事故, 多为贯通伤, 常合并腹腔感染与腹腔内其他脏器损伤. 非战时结肠损伤大多可行Ⅰ期手术修补, Ⅰ期修补或Ⅰ期切除术的吻合口瘘发生率较低(2%~7%)[13]. 战时结肠损伤发生率高, 行Ⅰ期修补或吻合术的病死率高达30%, 目前以肠管外置或近端造口作为首选治疗[14]. Zhang等人[15]通过大动物实验模拟结肠损伤, 8 h后在严重腹膜炎条件下行肠吻合, 分别采用MCA、钛钉和手工缝合方法. 结果提示, MCA磁环吻合口愈合良好, 术后顺利排出体外; 手工缝合组和钛钉吻合组分别有1例和3例发生肠瘘; MCA组吻合时间明显缩短. 病理显示MCA组的吻合口黏膜光滑, 黏膜下层与肌层对位准确, 效果优于其他组. MCA Ⅰ期吻合有望成为安全有效的结肠造口替代方案.

2.3 肠瘘修补

肠瘘是指肠内容物经肠壁缺损处漏出, 引起腹腔污染或严重感染. 肠瘘发生后, 由于腹腔感染, 局部组织炎症、水肿明显, 难以实施Ⅰ期缝合. 其治疗策略几经改进, 但效果仍不尽如人意. 1992年, Stepanov等人[16]采用磁吻合方式对46例儿童进行了肠瘘旁路吻合, 将肠瘘儿童死亡率从31%降至13%. 2011年, 马海军等人[5]应用MCA技术进行肠瘘Ⅰ期修补的实验研究, 空肠横行切开约l cm, 建立犬高位肠瘘模型. 48 h后采用磁通量为2500 G的MCA磁环压榨修补瘘口. 结果显示, MCA组犬肠瘘修补全部成功, 术后均长期存活; 手工缝合组犬4只术后死亡. MCA组犬吻合口渗漏压明显高于对照组. MCA组吻合口浆肌层和黏膜层愈合良好, 周围炎症反应轻微, 胶原纤维含量少, 瘢痕增生不明显.

2.4 胃造瘘

创伤后胃造瘘是实施肠内营养的重要途径, 对于严重创伤后患者营养支持具有重要意义. 传统的胃造瘘术需在全身麻醉下通过外科手术完成, 创伤大、操

作繁琐、并发症多. 经皮内镜下胃造瘘术(percutaneous endoscopic gastrostomy, PEG)无须全身麻醉和外科手术, 已替代传统的外科胃造瘘术, 但仍存在并发症, 如腹膜炎、造瘘管移位或脱落和穿刺致腹腔血管损伤等. MCA技术利用磁体间"非接触性"磁力进行空腔脏器吻合重建, 具有操作简单和吻合效果可靠等优势. 2015年, 严小鹏等人[17]提出磁压榨技术联合胃镜实施犬胃造瘘, 装置包含成对带孔的圆柱状子磁体和母磁体. 母磁体孔内固定14 F胃管. 胃内子磁体和腹膜外母磁体自动相吸压榨胃壁和腹膜, 利用穿刺针将夹在子磁体和母磁体之间的腹膜和胃壁反复穿刺打通, 磁压榨胃造瘘术即完成. 4只实验犬手术均获成功, 手术时间为11~15 min. MCA技术可快速通过胃造瘘建立肠内营养通道, 造瘘管通畅性良好; 造瘘口胃壁与腹膜愈合良好, 腹腔无粘连. MCA胃造瘘术具有操作简单、创伤小、安全性高, 有望向临床推广.

3 磁压榨技术在创伤后大血管止血中的应用

控制腹腔大出血关键在于迅速找出受损血管, 然后进行分流、阻断、结扎或修补, 然而缺乏清晰的手术视野、没有良好的暴露是影响血管阻断的最主要因素. 对此, 吕毅等人[18]提出磁性压迫血流阻断的理念. 通过设计体外电磁单元和体内磁阻断单元两个核心部分, 将体外电磁体单元置于患者背部, 体内磁阻断单元置于腹腔大血管腹侧. 通过改变体外电磁体单元的电流来调节磁力大小, 使两个磁体单元相互吸引, 压迫并阻断损伤血管的出血, 从而达到控血的目的, 其原理如图2所示. 此设计即使在没有清晰的术野和良好的暴露状态下, 仍能准确地阻断腹主动脉起始部. 最重要的是, 通过磁性压迫, 无须分离血管而直接施压阻断腹腔血供来源, 为进一步处理出血赢得宝贵时间和清晰的术野. 该系统能够提高腹部创伤大出血患者的救治成功率, 为高出血风险的腹部手术提供更安全的控血保障, 在肝脏部分切除术中更能简便降低中心静脉压, 减少肝脏创面渗血. 磁压榨技术在战场条件下应用于大血管损伤止血, 对于挽救伤员生命极其重要.

4 磁吻合技术在创伤后血管快速重建中的应用

创伤性血管损伤的处理对外科医生是一项重要而艰巨的挑战. 传统手工缝合吻合速度慢、血管阻断时间长, 存在缝针与缝线对血管壁的损伤、缝线存留血管腔引起异物反应、促进血管内膜过度增生导致吻合口狭窄等并发症. 临床应用的血管吻合器具有快速、操作简便、血管内膜对合良好等优点, 但其针环材料不可吸收的弊端使其无法符合避免吻合材料与血液直接接触的原则. 1978年, 日本Obora等人[19]创造性地提出了无缝线微血管磁环压迫吻合技术, 并用钴稀土永磁体进行犬和大鼠血管吻合. 2003年, 美国Ventrica公司利用磁力使两根血管形成瞬间吻合, 血管内膜可以显著增生, 完全覆盖裸露的磁环连接处[20]. 2004年, Erdmann等人[21]利用磁性血管固定器成功完成了犬动脉及静脉侧侧吻合, 成功率达91%, 术后吻合口通畅性良好. 2017年, Li等人[22]开发用于动静脉的血管耦合系统以及配套工具, 广泛用于冠状动脉搭桥手术; 多中心临床试验证实其效果良好, 长期通畅率高. 2004年, Shi等人[23]设计氧化钛涂层的钕铁硼磁环, 并进行犬肝移植大血管吻合实验, 结果提示吻合过程迅速简便, 无肝期明显缩短, 血管吻合口通畅无狭窄, 术后无血栓形成; 磁性血管吻合器具有操作简便、生物相容性好、安全可靠等优点. 2016年, Shi等人[24]将磁吻合技术用于大鼠肝上下腔静脉快速重建, 结果证实MCA组术后生存率高于缝线组, 吻合口愈合良好.



图 2 磁性压迫血流阻断
Figure 2 Blood flow block by magnetic compression technique

完成消化道吻合后, 吻合器可经肠道蠕动排出体外. MCA应用于血管吻合时, 磁吻合器将在体内永久存留. 磁材料不仅影响心脏起搏器的使用及核磁共振检查, 还易造成血管扭曲, 影响血管的收缩与扩张功能. 因此, 需要进一步研发生物相容性好、方便拆卸或可降解吸收的磁性吻合器.

5 磁导航技术在创伤后骨折内固定中的应用

目前, 高能量伤造成的骨折增加. 骨折内固定方法主要有钢板、髓内钉及外固定支架固定等. 交锁髓内钉内固定术符合微创理念, 具有生物学和力学优势, 成为目前最为常用的治疗方法之一. 但是受诸多因素的影响, 远端锁钉的置入失败率较高(8%~29%), 影响内固定效果. 近年来研发的磁导航远端锁钉系统由带磁

块的探头、磁力导航探测器、髓内钉、外置导向杆、调节装置组成. 探头上的磁块与探测器上的磁块在髓内钉远端第2锁钉孔处相对时产生一定的磁力并转化为机械力, 带动探测器上的指针上下摆动, 触动探测器上的光感器发出连续不断的响声. 髓内钉远端第1锁钉孔与定位杆远端瞄准孔相对应, 钻头即可准确通过锁钉孔. 曹培锋等人[25]使用磁力导航交锁髓内钉内固定治疗56例股骨干骨折, 远端锁钉112枚全部成功, 取得了满意的效果, 准确率高(可达100%)、锁钉迅速(3~9 min)、手术时间短(平均50 min). 王臣等人[26]回顾性分析了股骨干骨折患者92例, 分为磁力导航交锁髓内钉组(EM组)和徒手髓内钉远端锁钉组(FH组). EM组远端2枚螺钉锁定时间为(7.74±2.02) min, 术中X射线透视时间、失血量、一次性锁定成功率均显著优于FH组. 张晶等人[27]采用META-NAIL锁定型胫骨髓内钉治疗胫骨干骨折, 远端锁钉不受髓内钉变形或连接微动的影响, 成功率高, 定位准确, 避免了反复钻孔造成的手术损伤, 缩短了手术时间. 手术无须在X射线下操作, 减少了X射线对患者和医护的损伤.

6 磁锚定技术在创伤后微创手术中的应用

目前, 微创外科技术发展迅速, 创伤后的救治正逐步走向微创化, 以最小的手术损伤和生理扰乱达到最佳治疗目的. 2018年, Giaccone等人[28]利用磁锚定技术开展腹腔镜胆囊切除术的首个前瞻性临床试验, 效果良好, 无手术意外和并发症. 该项技术相继在腹腔镜胆囊切除[29]、内镜黏膜下剥离术[30]等手术中崭露头角. 在此基础上衍生出磁操控(magnetic actuation)的概念, 即通过控制外加磁场, 不仅可以非接触地固定和引导内部器械, 还可以对其进行操控, 如使摄像头旋转[31], 或者控制抓钳的开合[32]. 此外, 磁锚定在泌尿外科领域及胸外科领域也有较大应用潜力. 磁锚定技术应用于创伤后微创手术时, 不仅需要考虑手术适应证、有效性和安全性, 还要求术者具备丰富的腔镜手术经验, 以应对复杂的伤情. 腹腔镜探查适用于循环稳定的可疑膈肌损伤、空腔脏器穿孔、腹腔异常液体积聚, 或者情况未明、无须手术的并发症以及可疑脾脏损伤等情况. 磁锚定技术还存在材料选择、磁力控制等问题. 因此, 磁锚定技术在创伤后微创手术中的应用仍受到较大限制.

7 总结与展望

磁外科技术作为新兴学科, 在创伤治疗领域中的应用才刚刚起步, 其临床应用尚未达到较大面积的普及, 特别是其在微创外科中才崭露头角, 但已经提供了多种微创操作的可能性. 磁吻合技术能够实现消化道和血管的无线无钉吻合; 对管壁组织损伤小, 吻合口愈合良好; 吻合迅速, 缩短抢救时间, 在创伤领域, 特别是战创伤救治中的应用价值很大. 虽然磁吻合技术操作简便, 但仍存在诸多问题: 肝胆系统管道和血管吻合后材料留置体内; 磁性材料在体内环境发生腐蚀; 磁性材料影响心脏起搏器及磁共振成像检查; 强磁材料容易吸引含铁的手术器械而影响操作; 多个吻合口之间互相吸引导致吻合口狭窄或者扭曲等.

同时, 磁压榨的生物力学研究仍欠深入. 磁体间压榨力与磁材料和磁体的形状尺寸、机械加工程序、充磁条件和参数均有密切关系, 磁压榨力的安全范围、压榨力与组织愈合效果之间的普遍规律仍缺乏翔实的实验数据论证, 相关的基础研究数据欠一致. 我们期待随着科技的进步和交叉学科的发展, 未来能够实现磁外科材料的理化和生物性能要求, 使其在创伤领域得到更广泛的应用, 推动临床医学的实践. 未来有望在腹腔镜、内镜、介入或杂交手术环境下使用MCA磁环. 更为重要的是, 其大小可变, 适用于广泛的消化道吻合重建, 例如肠道、泌尿外科、胆道手术等, 未来外科应用领域广泛.

参考文献

1 Kanshin N N, Permiakov N K, Dzhalagoniia R A, et al. Sutureless anastomoses in gastrointestinal surgery with and without steady magnetic field (experimental study). Arkh Patol, 1978, 8: 56–61

2 Lv Y, Shi Y. Xi'an consensus on magnetic surgery. Hepatobiliary Surg Nutr, 2019, 8: 177–178

3 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]

4 Du X L, Fan C, Zhang H K, et al. Application value of magnetic compression anastomosis in digestive tract reconstruction (in Chinese). Chin J Gastrointest Surg, 2014, (5): 512–515 [杜锡林, 樊超, 张洪科, 等. 磁性压榨吻合在消化道重建中的价值. 中华胃肠外科杂志, 2014, (5): 512–515]

5 Ma H J, Wang S P, Fan C, et al. Application of magnetic compression anastomosis in one-stage repair of the intestinal leakage (in Chinese). Chin J

Dig Surg, 2011, (1): 64–67 [马海军, 王善佩, 樊超, 等. 应用磁压榨吻合术行肠瘘一期修补的实验研究. 中华消化外科杂志, 2011, (1): 64–67]
6 Jansen A, Becker A E, Brummelkamp W H, et al. The importance of the apposition of the submucosal intestinal layers for primary wound healing of intestinal anastomosis. Surg Gynecol Obstet, 1981, 152: 51–58
7 Jansen A, Brummelkamp W H, Davies G A, et al. Clinical applications of magnetic rings in colorectal anastomosi. Surg Gynecol Obstet, 1981, 153: 537–545
8 Ramin J B, Jacob T S, Jared G C, et al. Magnamosis: magnetic compression anastomosis with comparison to suture and staple technique. J Pediatr Surg, 2009, 44, 222–228
9 Graves C E, Co C, Hsi R S, et al. Magnetic compression anastomosis (magnamosis): First-in-human trial. J Am Coll Surg, 2017, 225: 676–681.e1
10 Zhang H K, Lü Y, Liu C, et al. The development of anastomat of digestive tract based on the magnetic compressive technique (in Chinese). Chin J Med Instrum, 2015, (5): 331–333 [张洪科, 吕毅, 刘昌, 等. 基于磁吻合技术的消化道吻合器的研制. 中国医疗器械杂志, 2015, (5): 331–333]
11 Ma J, Zhu X L, Li J H, et al. Development of magnetic adjuestable magnetic anastomosis device for digestive tract (in Chinese). China Med Dev, 2019, (3): 9–11 [马佳, 祝旭龙, 李建辉, 等. 磁力可调式消化道磁吻合装置的研制. 中国医疗设备, 2019, (3): 9–11]
12 Lambe T, Ríordáin M G, Cahill R A, et al. Magnetic compression in gastrointestinal and bilioenteric nastomosis: How much force? Surg Innov, 2014, 21: 65–73
13 Li Y, Ren J A. Progress in treatment of intra-abdominal infection caused by abdominal trauma (in Chinese). Chin J Pract Surg, 2016, 36: 238–240 [李原, 任建安. 腹部创伤合并腹腔感染诊治进展. 中国实用外科杂志, 2016, 36: 238–240]
14 Wang H P, Xu X F, Lu Y, et al. Animal models used in gunshot wound for abdominal wound research (in Chinese). Chin J Disaster Med, 2018, 11: 610–615 [王海平, 徐先锋, 鲁阳. 新型枪弹伤动物模型应用于腹部战创伤研究. 中华灾害救援医学, 2018, 11: 610–615]
15 Zhang H, Tan K, Fan C, et al. Magnetic compression anastomosis for enteroenterostomy under peritonitis conditions in dogs. J Surg Res, 2017, 208: 60–67
16 Stepanov E A, Vasil'ev G S, Nikolaev V V. The treatment of intestinal fistulae in children by applying a by-pass anastomosis using magnetic devices. Khirurgiia, 1992, (11-12): 93–95
17 Yan X P, Ren F G, Liu W Y, et al. Gastrostomy in dogs with magnetic compression technique combined with endoscopy (in Chinese). Chin J Gastrointest Surg, 2015, 8: 832–834 [严小鹏, 任冯刚, 刘雯雁, 等. 磁压榨技术联合内镜实施犬胃造瘘术. 中华胃肠外科杂志, 2015, 8: 832–834]
18 Yan X P, Lü Y, Ma F, et al. The development of the system of blood flow block by using magnetic compression abdominal large vascular (in Chinese). Chin J Med Instrum, 2014, 2: 107–109 [严小鹏, 吕毅, 马锋, 等. 磁性压迫腹部大血管血流阻断系统的研制. 中国医疗器械杂志, 2014, 2: 107–109]
19 Obora Y, Tamaki N, Matsumoto S. Nonsuture microvascular anastomosis using magnet rings: Preliminary report. Surg Neurol, 1978, 9: 117–120
20 Zeebregts C J, Heijmen R H, van den Dungen J J, et al. Non-suture methods of vascular anastomosis. Br J Surg, 2003, 90: 261–271
21 Erdmann D, Sweis R, Heitmann C, et al. Side-to-side sutureless vascular anastomosis with magnets. J Vasc Surg, 2004, 40: 505–511
22 Li H, Gale B K, Sant H, et al. A novel vascular coupling system for end-to-end anastomosis. Cardiovasc Eng Technol, 2015, 6: 294–302
23 Shi Y, Lv Y, Wang B, et al. Novel magnetic rings for rapid vascular reconstruction in canine liver transplantation model. Transplant Proc, 2006, 38: 3070–3074
24 Shi Y, Zhang W, Deng Y, et al. Magnetic ring anastomosis of suprahepatic vena cava: Novel technique for liver transplantation in rat. Transpl Int, 2015, 28: 89–94
25 Cao P F, Hong Y P, Sun Y, et al. Magnetic navigation interlocking intramedullary is used for treating femoral shaft fractures (in Chinese). Chin J Orthop Trauma, 2009, 11: 686–687 [曹培锋, 洪勇平, 孙勇, 等. 磁力导航交锁髓内钉内固定治疗股骨干骨折. 中华创伤骨科杂, 2009, 11: 686–687]
26 Wang C, Xiao W J. Analysis on clinical application value of Sureshot Distal Targeting System in locking intramedullary nail for femoral shaft fracture (in Chinese). J Trauma Surg, 2017, 43: 866–868 [王臣, 肖万军. Sureshot远端瞄准系统进行股骨髓内钉远端锁钉操作的临床应用价值分析. 创伤外科杂志, 2017, 43: 866–868]
27 Zhang J, Ma J W. Magnetic navigation META-NAIL interlocking intramedullary nailing for tibial shat fractures via the supra-patellar approach (in Chinese). Chin J Tissue Eng Res, 2017, 21: 4336–4341 [张晶, 马江卫. 磁力导航META-NAIL锁定型胫骨髓内钉髌上入路治疗胫骨干骨折的优势. 中国组织工程研究, 2017, 21: 4336–4341]
28 Giaccone A, Solli P, Bertolaccini L. Magnetic anchoring guidance system in video-assisted thoracic surgery. J Vis Surg, 2017, 2: 17
29 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
30 Liu X, Mancini G J, Tan J. Design and analysis of a magnetic actuated capsule camera robot for single incision laparoscopic surgery. In: International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2015, 17: 229–235
31 Garbin N, Di Natali C, Buzzi J, et al. Laparoscopic tissue retractor based on local magnetic actuation. J Med Devices, 2015, 9: 011005
32 Rivas H, Robles I, Riquelme F, et al. Magnetic surgery: Results from first prospective clinical trial in 50 patients. Ann Surg, 2018, 267: 88–93

Summary for “磁外科技术在创伤领域的应用研究及展望”

Application research and prospect of magnetic surgery techniques in trauma

Hongmei Zhang[1], Yuan Shi[2*], Kewei Meng[2], Yi Lü[3], Haohua Wang[3], Tao Yang[2], Feng Ma[3], Aihua Shi[3], Jiashu Song[3] & Xilin Du[4]

[1] *Air Force Hospital of Southern Theater Command of the People's Liberation Army, Guangzhou 510602, China;*
[2] *Tianjin First Central Hospital, Tianjin 300192, China;*
[3] *The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;*
[4] *Tangdu Hospital, the Airforce Military Medical University, Xi'an 710038, China*
* Corresponding author, E-mail: shiyuan@163.com

With the rapid development of magnetic force and magnetic materials and their application in the medicine, a novel field of magnetic surgery has been created. Magnetic surgery uses magnetic technology for surgical treatment, including magnetic anastomosis technology, magnetic anchoring technology, magnetic navigation technology, magnetic tracer technology, magnetic levitation technology and other branches. Research on magnetic surgery has lasted for more than 40 years, and its development process has been divided into three stages: The experimental demonstration stage, the free exploration stage, and the department construction stage.

In 2018, Professor Yi Lü discussed the development of magnetic surgery with foreign experts from worldwide, including the United States, South Korea and Czech Republic, and they signed the “International Development of Magnetic Surgery-Xi'an Consensus”. This is a milestone in the development of international magnetic surgery. It has established China's role as a leader in the field of international magnetic surgery. Magnetic surgery has begun to enter a scientific, standardized, in-depth and comprehensive department construction stage. Trauma refers to the damage to the structural integrity of the body caused by the mechanical force transmitted to the human body. Incidence of trauma is increasing worldwide, with mortality accounting for about 7% of the diseases. High-tech local wars will lead to more complicated traumatic wounds and more difficult treatments. Magnetic surgery technology has shown great advantages in the field of wound treatment.

This article elaborates on the principles and advantages of magnetic compression anastomosis, reviews the research status, advantages and disadvantages of magnetic and magnetic materials in the field of trauma treatment such as digestive tract reconstruction, post-traumatic compression hemostasis, rapid reconstruction of blood vessels, and fracture internal fixation, and their application prospects.

The advantages of MCA include: (1) The device works safely in a wide range of ages and even in high-risk patients. (2) Patients can be safely discharged from the hospital with the device in place. (3) Nonmagnetic instruments improve the surgeon's ability to handle the magnets. (4) A mechanism to create immediate patency between the mated magnets would simplify and shorten the procedure. The magnamosis device's method of slow tissue remodeling without leaving foreign bodies creates a well-formed anastomosis, which may decrease the incidence of anastomotic leaks. Moreover, the simplicity of merely “sticking” the two segments of intestine together can save significant operative time. However, open surgery is not the best way to showcase the merits of magnamosis. In the future, we plan to focus on laparoscopic delivery of the magnamosis device, which currently can be deployed using laparoscopic, endoscopic, radiographic, or hybrid techniques. Moreover, it is scalable, and can be sized and adapted to a variety of intra-luminal anastomoses, including intestinal, urologic, and biliary applications, with wide-reaching implications for the future of surgery.

magnetic surgery, trauma, reconstruction, magnetic compression anastomosis, magnetic navigation

doi: 10.1360/TB-2020-0053