

影像磁导航系统的基本原理及临床应用

战丽波

【中图分类号】R811 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2011)10-1112-03

许多人儿时把玩过小磁体,隔着障碍物用磁力移动书钉之类的小铁件。磁场力的这种非接触的跨空间作用方式为各领域进行遥控操作提供了科学基础。影像磁导航技术(magnetic navigation techniques, MNT)就是利用外界磁场控制铁磁小球运动,引导药物或其他治疗手段至患者病变处,从而完成复杂外科手术的一种全新的治疗手段。

MNT 是介入医学中独特的新方法。近年来,随着介入诊疗技术的飞速发展,越来越多的外科手术治疗逐步被微创介入治疗所取代。在传统的介入手术中,为了使导管能准确到达所需要的解剖位置,往往需要介入医生有丰富的经验和熟练的插管技术,而疾病的复杂程度及病理解剖位置的不确定,大大增加了插管的难度,延长了插管的时间。磁导航技术革命性地改变了介入手术的方法学,降低了操作的难度,减少了插管的时间,使基于导管的操作程序更加简单和准确,提高了介入治疗的效率和治愈率,解决了困扰介入医生的许多难题。

磁导航系统的工作原理

影像手术导航系统的设计原理源自 GPS 全球卫星定位系统。它的设计原理是现代影像技术、立体定向技术与先进的计算机技术(包括无线电和信号学等相关领域)有机结合的成果^[1]。临床中常用的磁导航外科手术系统^[2]指的是在计算机控制的三维磁场作用下,在立体定向系统、成像系统的引导下,使预先植入人体的铁磁小球按照规定的路径运动,直接作用于患处或者引导各种手术器件(如介入式导管、放射性物质等)在人体内进行各类复杂操作的一种微创手术装置。

传统的介入手术是医生站在患者身边,在 X 线图像的引导下手工操作导管实现的,在插管的过程中是通过回拉导丝使导管的头端实现一定的转向或弯曲而进入目标。而磁导航系统的基本原理是利用磁场来引导导管的行进方向,并通过自动推进器使导管自动快速到达所需要的位置,打破了传统的插管方式^[3]。磁导航的全称为磁力辅助导航介入系统,它的核心部分就是在数字平板心血管造影系统的基础上,增加了磁导航技术。该系统由半球形磁体、磁性导管、导管推进器、计算机导航系统、X 线部分、其他整合系统等部分组成。

1. 半球形磁体

磁导航的主要部件是位于导管床的两个半球形永久性磁体(图 1、2),目前采用是铷-铁-硼复合物组成的永久磁体^[4]。两磁体可以相向互动,360°自由旋转。每个磁体的运动分别由 6 个马达控制,使得磁体分别能上下、左右、前后摆头,旋转,工作位及停车位运动。专门的计算机控制变频控制器精确地操纵着马达的工作,使得两个磁体根据需要的方位很快运动到位,

构成所需的偏转矢量^[5]。

每个半球形磁体由 100 余个小磁体组成,其磁场可以在人体内会聚,产生强度相对均匀,约 0.08~0.10T,直径 15~20 cm 的复合球体磁场(简称导航球 Navi Sphere),对人体内的磁性器件导航。当两侧的磁体旋转时,通过控制磁体位置的变化来改变磁力线的方向,在磁场范围内产生不同强度和方向的磁场,使得磁性导管在不同磁矩的作用下改变尖端的方向。手术结束后,两个半球形磁体可旋转 90°移开至“停放”位置,方便患者上下。磁体在“停放”位置,相当于普通的心血管介入系统,可以在不用磁导航的情况下常规做心血管介入手术。

2. 磁性导管

导管是特制的专用磁导管(图 3)。磁性导管为顶端与前段镶嵌一至数块磁性材料的双极标测和温控消融导管。由于在导管的尖端包埋了非常小的磁性物质,导管的方向就能被体外的磁场所控制。在磁场外导管前段极软,在磁场内则有张力,可随导航球的综合向量多方向自由弯曲和旋转。当两侧的半球形磁体旋转时,在磁场范围内对磁性导管可产生不同强度和方向的磁场力,使得其中的磁性导管在不同的扭矩力的作用下改变尖端的方向。磁性导管可以任意角度弯曲或伸直,能够进行 360°旋转,可实现最小距离 1 mm,最小转动角度 1°的精确定位。

目前使用的磁性消融导管是第 3 代,头端包有 3 块磁性金属,可进行 4 极标测和温控消融。和传统的消融导管相比,磁导航专用导管的柔韧性好,可以任意方向弯曲,并且定位精确^[6]。

3. 导管推进器

导管推进器是驱动导管行进的自动化动力驱动控制器。导管尾部连接导管推进器,导管推进器由齿轮驱动器和遥控操纵杆组成,导管夹在推进器的 2 个齿轮中间,导管的前进或后退由与之配套的自动推进系统完成。

用控制室医生在操纵杆、鼠标或触摸屏上的箭头指示对导管进行控制,其进退的快慢和距离由计算机控制,最终导管按照医生设定的目标方向或靶点位置行进,可以实现偏转 1°及进退 1 mm 的精确定位。另外,推进系统加入记忆功能,使前次定位可由计算机系统控制自动归位^[7]。

4. 计算机导航系统

计算机导航系统位于控制室内,由高速计算机硬件和图形交互处理软件组成工作站(图 4)^[8]。工作站整合患者各种影像,提供模拟器官的三维图像在显示屏上。智能化的软件显示的三维图像明确地标出导航球的综合向量,也就是导管前进的方位。

导航系统配备了专用的控制软件。操作者可在计算机屏幕的三维虚拟或解剖影像上借助方向导航、靶点导航和解剖标志导航实现对磁性导管的遥控操作(图 5)^[9]。方向导航通过控

作者单位:264003 山东,滨州医学院

作者简介:战丽波(1978—),女,山东烟台人,硕士,讲师,主要从事医用放射学的研究。

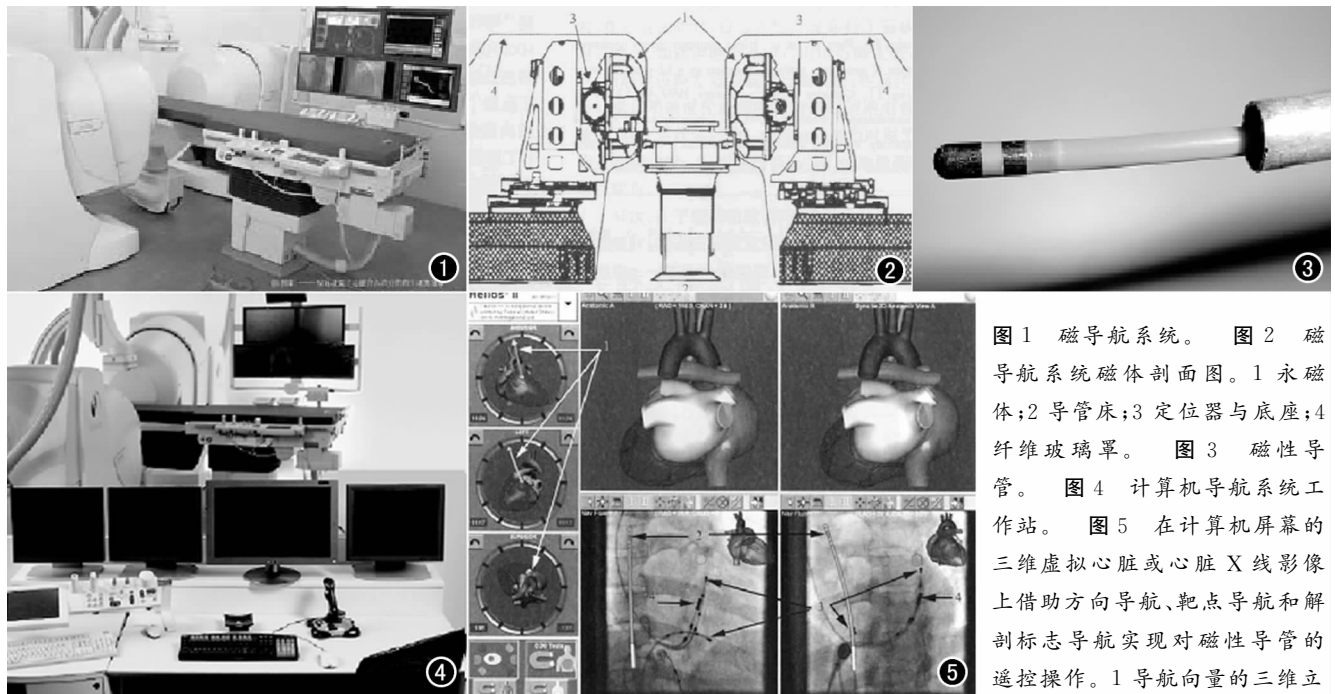


图 1 磁导航系统。图 2 磁导航系统磁体剖面图。1 永磁体;2 导管床;3 定位器与底座;4 纤维玻璃罩。图 3 磁性导管。图 4 计算机导航系统工作站。图 5 在计算机屏幕的三维虚拟心脏或心脏 X 线影像上借助方向导航、靶点导航和解剖标志导航实现对磁性导管的遥控操作。1 导航向量的三维立

体方向,2 虚拟导管,指示磁性导管的进退方向,3 普通电极导管,4 磁性电极导管,已在室外遥控下放置于冠状静脉窦。

制磁体自由旋转角度,计算、预设和储存导航球的综合向量,由综合向量调控体内磁性导管的弯曲、旋转与进退方向。靶点导航通过在采集的互交 X 线影像上,点击目标靶点,调整磁性导管的进退方向;解剖标志导航通过预先设定的解剖标志向量,将磁性导管导向某些解剖部位。

导管的方向由显示器上的箭头指示。医生可在床旁点击触摸屏上的箭头指示进行自动插管,医生点到哪,软件控制磁体自动运行,导管就到那。操作者也可在控制室进行遥控,导管可以连续进退,也可以定量多次步进,整个手术过程均可在控制室内遥控完成,使得插管操作变得既简单又准确。

5. X 线部分

X 线部分为磁导航专用平板探测器心血管造影系统。由于传统的影像增强器是真空部件,在强大磁场下图像会发生畸变。为了防止磁场对图像的干扰,常规具有产生电子束的真空器件均不能使用,所以磁导航配置专用的防磁功能的平板探测器。

同时,CRT 显示器全部使用具有防磁作用的液晶显示屏。其他的附属设备如高压注射器、心电压力监护装置等也全部用防磁材料或经过防磁处理。

6. 其他整合系统

其他整合系统包括在强磁场条件下 Carto-RMT (Biosense Webster) 三维电解剖标测系统与多导生理记录仪,电刺激器、射频消融仪和导管床等设备。

磁导航系统的优势

磁导航系统是目前研发的新型导航系统,是在针对介入手术的复杂性,临床对手术的适应证范围、速度、难度精确定位,最大程度减少射线辐射的要求不断背景下的产物。与光学导航系统相比,磁导航系统具有明显的优势:①磁导航系统无光线信号阻挡的局限性,无手术盲区,术中可以自由地使

用手术器械,而不用担心阻挡信号的接收;②磁导航系统比光学导航系统明显轻便,可自由移动,更利于在手术中接入,而且操作简单;③“零”射线辐射伤害。整个手术过程可在控制室内遥控完成,而不是像传统血管造影机那样,医生必须在机器旁手工操作;④定位精确。这种以计算机控制导管代替人工手动控制,不但在临床技术操作上有了极大的改进,而且其导管定位精度高,可以在人体内某些重要部位进行十分精密的外科手术,能帮助介入医生解决使用常规方法不容易治疗的复杂病例,提升了导管操作程序的简易性和准确性,提高手术的成功率^[10];⑤大大缩短手术时间,尤其是复杂病例时。磁导航系统导管定位速度快、精度高,可使导管准确快捷地到达病变部位,尤其对复杂病变或心脏特殊部位,可大大缩短手术时间,也可大大降低术中意外和术后并发症的发生,提高手术的安全性,同时节省耗材的使用;⑥扩大临床适应证,特别是复杂、特殊病例(如锐角病变、分支病变、全闭塞血管、心腔或血流压力较高的部位、特殊部位的介入治疗等)^[11]。

作为一项新的遥控导航技术,与传统的手术方法相比,它还具有的很多优点如创口小、患者痛苦少、无毒等不良反应、恢复时间短等。但磁导航系统由于自身设计的原因也存在一定的缺点。因手术处于磁场的环境下,所以置入了起搏器和金属人工关节的患者不能进行手术。导管贴靠组织时,顶端受到的力量不像传统手动导管能得到及时有效的反馈。另外,导管床两侧半球形磁体在一定程度上限制了 C 臂旋转角度。如只能获得心脏 LAO30°~RAO30°之间的影像^[12]。

磁导航系统的应用

磁导航平板探测系统可实现导管在任何弯曲程度血管的快速行进和精确定位。这项技术首先应用于心血管疾病的介入诊疗,在电生理标测、射频消融及双心室起搏器植入方面磁导航系统可使导管持续、准确定位在心内膜的靶点上,大大缩

短手术时间,同时扩展了复杂性心律失常的治疗范围,同时也提高了治疗复杂病变的成功率。慢性全堵的冠脉病例,可利用磁场对导丝的精确控制,便捷地穿过血管的中心,使这部分患者免于开胸手术。

除心脏系统外,神经介入也将成为注目的焦点。临床神经介入手术的要求极高,针对脑血管复杂、细小等特点,磁导航系统可结合平板或 CT、MRI 等图像的三维处理/模拟内镜“FLY”功能,进行精确的定位和治疗。磁性封堵介质的研究将推动血管瘤的快速介入治疗。外周血管和脏器的介入手术已在临床广泛开展,为广大的血管及肿瘤等疾病患者带来了生机。对于复杂血管及内脏器官的介入诊断和治疗磁导航的应用也将发挥重要的作用。美国已基本完成神经和放射介入的动物实验,正式步入临床应用^[13]。

在非 X 线照射条件下,通过遥控导航技术操作导管,成功完成手术是整个介入领域今后发展的一个重要方向。这项技术的成功应用改变了介入手术的工作方式,给介入治疗带来革命性的进步,必将对整个介入领域产生重大影响。

参考文献:

- [1] 伍子英,黎明. 影像电磁导航系统的临床应用[J]. 医疗保健器具, 2007,16(9):28-29.
- [2] Meeker DC, Maslen EH, Ritter RC. Optimal realization of arbitrary force in a magnetic stereotaxis system[J]. IEEE Trans Magn, 1996,32(2):320-327.

- [3] 胡益斌. 磁导航心血管介入系统的工作原理及其临床应用[J]. 医疗卫生装备, 2006,27(11):64-65.
- [4] 方冬平,郭成军. 磁导航技术遥控介入操作的原理与应用研究[J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2007,21(5):382-385.
- [5] 金锡军. 心脏介入治疗的新武器——磁导航[J]. 中国医疗器械信息, 2006,12(7):63-64.
- [6] 白焯,杨明,王秋良,等. 磁导航外科手术模型系统设计和建造[J]. 北京生物医学工程, 2006,25(3):261-264.
- [7] 王明伟. 磁导航系统在心脏介入手术中临床应用进展[J]. 心血管病学进展, 2008,29(3):389-392.
- [8] 王明伟. 计算机辅助外科技术的应用与发展[J]. 中国医疗器械信息, 2007,13(1):125-135.
- [9] 郭成军,吕树铮,陈韵岱,等. 应用磁导航技术遥控标测和消融治疗快速性心律失常[J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2007,21(4):319-323.
- [10] 杨明,白焯,王秋良,等. 磁导航定位手术系统(MSS)的研究[J]. 电工电能新技术, 2005,24(4):63-67.
- [11] 官泳松,杨林,周翔平. 介入电磁导航系统[J]. 中国医疗器械信息, 2005,29(5):358-359.
- [12] 马长生,苗成龙. 磁导航系统在心律失常介入治疗中的应用[J]. 中华老年多器官疾病杂志, 2009,8(6):193-194.
- [13] 耿茜,曹永胜,王皓. 医学影像技术与创新[J]. 医疗设备信息, 2004,19(1):1-4.

(收稿日期:2010-12-27)

《中华临床医师杂志(电子版)》2012 年度征稿

《中华临床医师杂志(电子版)》由国家卫生部主管,中华医学会主办,是中国科技论文统计源期刊、中国科技核心期刊。半月刊,全年出刊 24 期,定价 672 元,国内刊号 CN 11-9147/R,邮发代号 80-728,以电子版、纸版导读同时面向全国公开出版发行,被万方数据库、中国期刊网、维普数据库、美国化学文摘、乌利希期刊指南、波兰哥白尼索引等国内外知名数据库收录。

本刊 2012 年上半年刊出重点栏目分别为:器官移植;腹部内镜;肿瘤介入治疗;生殖医学;白血病防治;风湿病;肾脏疾病;青光眼、白内障;精准手术、外科导航;外科感染;老年医学;围产医学;冠心病介入治疗;癫痫等。

欢迎广大临床医师积极投稿并订阅杂志! 欢迎各位专家组织、推荐、撰写重点栏目论文!

投稿信箱:100035 北京市 100035-50 信箱 编辑部 收

投稿邮箱:Lcdoctor@163.com Lcyszz@163.com

电话:010-62219211 传真:010-62222508

网址:www.clinicmed.net