

· 综 述 ·

房颤微波消融天线研究现状

翟飞 南群 张会娟 丁金立 刘有军

摘 要 微波消融是治疗房颤效果显著的新方法,但其技术尚不成熟。微波治疗系统中最关键、最难解决且直接影响疗效的是制造高效稳定的微波天线。本文介绍了房颤手术的原理、微波作为其能源的优势、微波消融原理,以及微波消融系统的构成,重点介绍了微波消融天线的结构、特点及研究现状,并对其发展进行了展望。

关键词 微波消融;房颤;微波天线

DOI:10.3969/j.issn.1002-3208.2013.01.19.

中图分类号 R318.6 **文献标志码** A **文章编号** 1002-3208(2013)01-0095-06

Review of microwave ablation antenna for atrial fibrillation

ZHAI Fei, NAN Qun, ZHANG Huijuan, DING Jinli, LIU Youjun

College of Life Science and Bio-engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124

【Abstract】 Microwave ablation of atrial fibrillation is an effective new treatment method. However, the technology is not mature. In the microwave treatment system, the creation of an efficient and stable microwave antenna directly influences the curative effect. This paper introduces the operation principle of atrial fibrillation, the advantage of microwave as its energy, the principle and the system structure of microwave ablation. Especially, this paper introduces the structure, characteristics, present situation and prospect of microwave ablation antennas.

【Key words】 microwave ablation; atrial fibrillation; microwave antenna

0 引言

房颤是临床较常见的快速型心律失常,占普通人群的0.4%~1%^[1],房颤仅次于早搏而居心律失常的第二位,是心肌丧失了正常有规律的舒缩活动,而代之以快速而不协调的颤动,致使心房失去了正常的有效收缩,房颤由多种原因引起,会导致心脏组织不能够泵出足够的血量来满足身体的需要^[2]。同时,房颤可能导致血流动力学变化,诱发血栓栓塞等并发症,加重原有疾患,增加患者死亡率,是较难

治愈的临床顽症^[3-5]。

1 房颤手术的原理

1991年Cox经动物实验和临床电生理研究发现房颤患者的心房肌肉内有多个大折返环持续运转,折返阵面在右心房环绕腔静脉口、界嵴或通过房间隔环绕肺静脉口运行并不断改变运转模式和位置,从而创造出迷宫手术。迷宫手术经历了由Ⅰ~Ⅲ型的不断改良,其基本原理是造成一条能使窦房结的冲动(兴奋波)到达房室结的通路以驱动心室,还必须提供给这条主要通路的多个盲径,以使所有心肌在电冲动的作用下兴奋^[6]。根据房颤产生的大致原因,经典的“迷宫手术”通过形成组织瘢痕线切断引发房颤的电冲动的形成和传输,阻断了折返循环,建立了新的稳定的从心房到心室的传输通路,

基金项目:国家自然科学基金(31070754)、北京市优秀人才资助项目(2010D005015000006)、北京工业大学博士科研启动基金(X0015999201101)资助

作者单位:北京工业大学生命科学与生物工程学院(北京 100124)

作者简介:翟飞,男,硕士研究生。E-mail:741546293@qq.com

通信作者:南群,副教授,博士

从而可以恢复窦性激动对心室及心房起搏点的心动控制^[7]。虽然这种手术的成功率很高,但它所需要的手术时间很长,复发率高。因此,后来的人们开发了多样的除颤技术,但是它们仍然都是按照迷宫手术的基本治疗原理进行^[8]。

2 微波消融

2.1 微波消融的原理

近年来,根据心房迷宫术治疗心房颤动的思路,导管消融已经是多种心律失常的首选治疗手段,也是疗效比较好的方式之一^[9]。因此如何改进导管消融的技术及方法,就成了重要的研究课题。对于导管消融,目前可供选用的能量有射频、冷冻、微波、超声和激光等^[10-11]。

微波消融技术作为一种新技术取得了良好的临床效果。在现在的临床治疗中,微波消融技术大致有 3 种手术方式:一为心房外膜消融,二为介入式导管心内膜消融,三为心脏停跳体外循环下切开心脏的治疗方案。房颤消融通常用在同时要求进行瓣膜置换术或冠状动脉搭桥手术的患者身上^[8]。

微波是高频状态下产生的电磁波,能促使偶电子(如水分子)摆动或旋转而产生热量。其可以加热物质的特性,已经被相当广泛地应用在生物医学治疗中,包括有癌症治疗中的微波热疗^[12]、微波消融^[13-15],还有微波的辅助球囊成形术^[16-18]。

在微波消融心房颤动中,消融术的功率一般是 65 W 左右,消融时间一般是 1 min 以内。当微波能量被组织吸收转化为热能后,就会产生热量在组织中的传输而引起组织的温升。实验研究证实,微波通过热变性产生心房肌的线性全层损伤,使心肌产生凝固性坏死和心肌收缩带的坏死,损伤组织形成硬的瘢痕;消融灶内细胞坏死,电活动消失,进而阻断异常的折返通路;微波消融组织深度主要取决于其能量、时间和频率。

2.2 微波消融的优势

对比现在最常用的射频消融技术,分析得出微波消融技术有以下 4 个主要优势。

(1) 因为心脏富含血管和血液,血流的循环和流动会带走消融区的热量从而产生冷却作用,微波消融技术较射频而言受到血流冷却作用小,这样可以在房颤消融中拥有优势。

(2) 活体内微波传导不依赖于组织的导电性,

不受到组织炭化和干燥的影响,微波消融技术是主动性消融而非射频消融技术的被动性消融,因而微波消融技术可以使消融区域的温度达到足够高,这样就可以保证消融的深度,消融时间更加得短,消融效果更好。

(3) 不同于射频消融,多个微波能量源同时工作,不会造成互相干扰的现象,因此微波在多点消融时可以更加快捷有效。

(4) 微波不会产生心内膜炭化,因而降低了血栓形成的风险^[19]。

经计算机模拟,及实验和临床验证,微波消融较射频消融具有明显的优势,主要体现在更深的消融体积和更少的表面炭化^[20-22]。

3 微波消融天线

3.1 消融系统构成

微波治疗系统一般由微波凝固治疗仪、电缆和植入式微波天线及测温系统组成。

3.2 天线的基本原理

天线作为一种能量转换器,它把传输线上传播的导行波,变换成在媒介中传播的电磁波,或者进行相反的变换。天线产生的交变电磁场可分为性质不同的两个部分,其中一部分电磁场能量在辐射源周围空间及辐射源之间周期性地来回流动,不向外发射,称为感应场;另一部分电磁场能量脱离辐射体,以电磁波的形式向外发射,称为辐射场。

在微波消融中,微波天线发射的电磁波在感应场作用于人体组织,人体单位体积内吸收的功率 P 为:

$$P = (2\pi\epsilon E^2 \text{tg}\delta) f \quad (1)$$

式中, ϵ 为人体的介电常数; E 为人体内的电场强度; f 为工作频率。

3.3 微波消融天线的基本要求

国内外采用的治疗仪基本相同,大致有 2450 MHz^[23] 和 915 MHz 两种频率选择。由于微波源发射的微波属分米波,功率低,适于同轴电缆传输;微波治疗系统中微波天线的选取制造是较为关键和难于解决的,它直接影响到疗效^[24]。

以下是微波天线的 5 点基本要求。

(1) 可以对心房组织进行永久性的透壁消融。微波消融天线所造成的阻滞线必须可以很好地切断引发房颤的折返电流传导,这就要求消融范围可以

穿透这个壁面。

(2) 热图与治疗部位具有良好的一致性。这一点是微波天线可行与否最基本的要求。加热消融的区域不应该超出治疗部位,如果超出,很可能会对周围心房组织造成破坏。

(3) 阻抗匹配。阻抗匹配是指信号传输过程中负载阻抗和信源内阻抗之间的特定配合关系。一件器材的输出阻抗和所连接的负载阻抗之间所应满足的某种关系,以免接上负载后对器材本身的工作状态产生明显的影响。阻抗匹配则不会有信号反射回源点,从而提升能源效益。

(4) 体积小和有足够的机械强度。房颤的微波消融多采用介入治疗,即在不开刀暴露病灶的情况下,在血管、皮肤上作直径几毫米的微小通道,或经人体原有的管道,在影像设备(血管造影机、透视机、CT、MR、B 超)的引导下对心脏组织进行治疗的方法。创伤范围尽可能小,这也就要求了微波天线必须具有体积小、机械强度大的特点。

(5) 可以承受一定的微波功率和电平。

3.4 微波天线设计的实际测试

3.4.1 动物实验

通过对动物本身生命现象的研究,推测人体的生命现象。动物实验给人提供了方便、直接、令人信服实验结论。微波天线通过对动物组织的实验,使得消融的效果一目了然;但其缺点也很明显,即不能提供准确的实验数据,而且每次实验其条件不同,不可控的因素过多,会使结果有所不同。

3.4.2 体模实验

一种具有人体组织电特性的人为材料称体模^[25]。其优点是代替肌肉,保持不变质,使用时间长,可以制成各种形状。体模在热疗研究和临床实践中必不可少。体模实验可以非常好地对比不同的微波天线在同样的实验条件下所起到的效果。但体模实验的缺点是缺乏活体组织的一些条件及性质。

3.4.3 计算机仿真模拟分析

计算机模拟的方法可以获取组织的三维热场图,为热疗提供了一定的计量学依据。常用的方法有有限时域差分法和有限元分析法。

有限差分是一种常用的数值解法,它是在微分方程中用差商代替偏导数,得到相应的差分方程,通过解差分方程得到微分方程解的近似值;有限元分析则是用较简单的问题代替复杂问题后再求解。它

将求解域看成是由许多称为有限元的小的互连子域组成,对每一单元假定一个合适的近似解,然后推导求解这个域总的满足条件,从而得到问题的解。有限元不仅计算精度高,而且能适应各种复杂形状,因而成为行之有效的工程分析手段。

3 种验证方法各有优缺点,能有机地相互协同,才能得到完善有意义的结果。现阶段,动物实验、体模实验、基于生物介质电磁场计算、支持微波天线研发的数学模型日趋完善,为高效微波天线的研发和性能评价奠定了坚实的理论基础。

4 微波消融治疗效果与天线性能

对于房颤的微波消融来说,评价其消融效果的好坏,即是能否使心脏跳动恢复窦性房速,并且保持不复发。而能保证其治疗效果最重要的就是微波对组织的穿透力,它直接关系到消融的范围和准确程度,从而能从根本上保证微波消融房颤的成功率。

微波对组织的穿透力主要取决于消融的频率、时间和能量。微波能量比吸收率 SAR 表示的是组织对电磁波的吸收状况^[26]。SAR 是单位质量生物组织所吸收的微波功率,评价的是外加能量对组织的加热能力和生物组织对外加能量的吸收特性。SAR 主要取决于外加物理能量在生物组织中的传播、吸收特性、生物组织的介电特性(介电常数和电导率)以及密度等物理参数。故影响 SAR 的因素主要是微波的频率、发射功率,以及微波发生器的几何位置,组织对该频段微波的响应特性参数的变化等^[27]。在实际中,测量某点处的温度变化率便可得到该处的 SAR^[28];在计算机模拟中,通过有限元软件可以方便准确地得到整个空间范围内的比吸收率^[29]。

通过比吸收率的测定,可以比较准确地观测出消融的范围和各个点消融的强度(即吸收电磁辐射的能量),然后进而得出各个点的消融温度。通过对不同消融天线的模拟仿真,可以比较直观且准确地得出不同条件下(频率、时间和能量等条件),不同的消融天线在心肌组织中所造成的消融效果。

目前众多学者对于临床不同病症所需要的微波消融天线及其比吸收率进行了研究。Yang 等^[30]针对肝脏微波消融研究浮动套筒天线(floating sleeve antenna),Chiu 等^[31]针对心律失常,包括房颤及心室性心动过速分别研发了 CSA(coaxial slot array)及

BWM(bent wire monopole)微型天线。南群等^[32]针对热消融术中的水冷式微波天线的特性进行了研究,采用体模实验确定了天线的比吸收率及热消融范围,表明水冷式微波天线能降低中心区温度,避免炭化现象的产生,热消融区类似于椭球形。Paolo Bernard 等^[33]用一种数值模拟软件通过仿真模拟得出 SAR 等数据,全面地分析了一种帽袖微波房颤消融天线的性能。研究者全面地分析各种不同的因素下所得到的 SAR 值,包括天线的放置方式,是否考虑血液循环对热的损耗等。

综合分析可以看出,在有更好评估手段出现之前,SAR 无疑是衡量消融成果,指导消融方案的重要指标之一。

5 微波天线的研究现状

研究用于医疗领域的微波天线已经取得了广泛的成果,其中有不少专门用于微波消融治疗房颤或者心律失常的微波天线设计。

Heng-Mao Chi 和 Andrew R. Weily 等设计了一种用于治疗房颤的新型改进扩大尖端金属导线的微波天线(ETW),达到更好的消融效果,并且可以通过调节其天线的结构来获得最好的消融计划效果^[34][图 1(a)]。

M. Cavagnaro 和 C. Amabile 等研究了传统的开放式尖端裂隙消融天线,指明其开放尖端在渗透组织的能力上有所不足,并且可能在其深入组织的过程中,使得感染组织扩散。为了克服传统天线的弊端,他们设计了闭合尖端的裂隙微波天线,这个设计的特色是一个微型的袖结构和设计成箭头形状的前部尖端,它可以使微波天线更容易地插入到组织中,这种天线的设计具有很小的纵向尺寸,从而适用于像微波消融房颤这种的经皮手术^[35][图 1(b)]。研究者指出。因为现在医学界还是无法准确的通过天线的设计来定量消融区的准确情况,所以在实际治疗中,需要在微波天线的周围植入很多的热电偶来检测温度,使得受损组织范围加大,所以目前消融治疗中最关键的还是要找到天线模型与治疗实际消融区域的关联^[36]。

GuZeji、Carey M. Rappaport 设计的新型的微波心脏消融天线它的同轴天线设计成螺旋形状,通过一个绝缘气囊插入到心脏组织的目标位置,然后气囊撑开,螺旋天线进入到球囊内,这种大孔径的微波

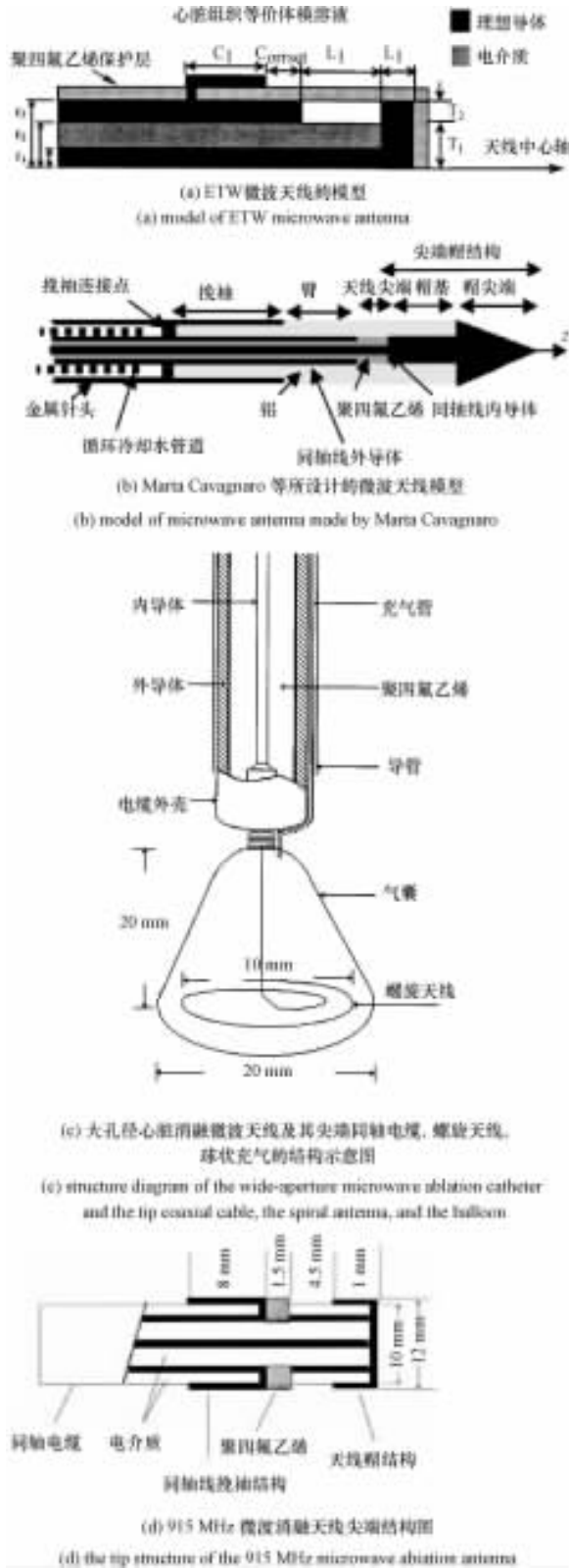


图 1 房颤微波消融天线结构图

Figure 1 The structure of microwave antenna for AF ablation

消融天线,比起常用的射频消融天线和其他的微波天线的设计,可以形成更大更深的消融面积,并提供一个更精确和更易操控的热场^[37-38][图1(c)]。

常规的微波天线都是采用2450 MHz的频率设置,另有一种Stefano Pisa、Marta Cavagnaro所设计的微波天线是采用了915 MHz的频率设置,经过设计分析、计算机模拟、实验验证,此微波天线同样达到了令人满意的效果。这种消融天线在损伤区、可控性方面都有很好的表现,而且这种微波天线的消融效果跟其插入组织内的深度无关^[39][图1(d)]。

消融天线的多样类型表明了研究取得的广泛成果;但是,也体现了研究缺乏交流性,缺乏业内统一的标准等弊端。

6 微波天线的前景

微波天线在微波消融治疗房颤中起到了不可替代的重要作用,其研究方向有如下。

(1) 微波天线在保证其坚固可靠稳定的同时更加小巧灵活。

(2) 微波天线消融范围更加精确。

(3) 消融深度更加稳定,保证房颤微波消融中对透壁的要求。

(3) 手术中对天线及周围的温度监控非常重要,微波天线的发展应该能更好地配合监控仪器,为手术提供更好的保障。

(4) 微波天线能量利用率更合理,更大,使消融时间进一步缩短,对正常组织造成更小的伤害。

7 结论

房颤热消融中微波天线类型的选取,其目的在于通过形成阻滞线,切断异常的折返通路,从而使心脏恢复正常的窦性心律。

微波天线的选取是微波消融治疗房颤的核心课题。选取正确的微波天线,可以有效地形成预期的透壁消融区域而尽可能地不损伤周围的正常组织。在实际的临床应用中,可以根据不同患者的不同情况,制定个性化的治疗方案,微波天线类型繁多,但是仍然需要大量的理论上的创新与实践上的检验。

参考文献

[1] Kannel WB, Abbott RD, Savage DD, et al. Epidemiologic features of chronic atrial fibrillation: the Framingham study [J]. New

England Journal of Medicine, 1982, 306(7):1018-1022.

[2] Lin JC. Microwave surgery inside the heart [J]. IEEE Microwave Magazine, 2006, 7(3):32-36.

[3] 顾松, 苏丕雄, 刘岩, 等. 冠状动脉旁路移植术后心房纤颤的高危因素分析 [J]. 中华心律失常学杂志, 2002, 6(4):207-210.

Gu Song, Su Pixiong, Liu Yan, et al. Risk factors of atrial fibrillation after coronary artery bypass grafting [J]. Chinese Journal of Cardiac Arrhythmias, 2002, 6(4):207-210.

[4] 顾松, 苏丕雄, 刘岩, 等. 小剂量胺碘酮预防冠状动脉旁路移植术后心房纤颤 [J]. 中华胸心血管外科杂志, 2003, 19(2):89-91.

Gu Song, Su Pixiong, Liu Yan, et al. Low dose amiodarone for prevention of atrial fibrillation after coronary artery bypass grafting [J]. Chinese Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2003, 19(2):89-91.

[5] 邓贵智, 胡建新. 心房颤动的机制及预防 [J]. 中国医药科学, 2011, 7(7):64-65, 81.

[6] 屈正. 改良迷宫手术治疗心房颤动新进展 [J]. 继续医学教育, 2006, 20(10):34-36.

Qu Zheng. The recent advancement of modified maze procedure treating atrial fibrillation [J]. Continuing Medical Education, 2006, 20(10):34-36.

[7] Madhavan G, Gaudette G, Bérubé D, et al. Microwaving the heart [J]. IEEE Potentials, 2009, 23(1):18-20.

[8] Rosen A, Greenspon A, Walinsky P. Microwaves treat heart disease [J]. IEEE Microwave Magazine, 2007, 8(1):70-75.

[9] 陈铮. 经导管消融治疗房颤技术日臻完善 [N]. 中国医药报药学周刊, 2009/12/22(B3).

[10] 徐亚伟, 唐恺. 心律失常导管消融可供选择的能量 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2007, 21(3):256-258.

Xu Yawei, Tang Kai. Alternative energy of catheter ablation of arrhythmia cordis [J]. Chinese Journal of Cardiac Pacing and Electrophysiology, 2007, 21(3):256-258.

[11] Glibnow A, McCarthy P, Marrouche N, et al. Contemporary surgical treatment for atrial fibrillation [J]. PACE, 2003, 26(2):1641.

[12] Christensen D, Durney C. Hyperthermia production for cancer therapy: a review of fundamentals and methods [J]. Microwave Power, 1981, 16(2):89-105.


[13] Labonte S, Ali H, Roy L. Monopoles for microwave catheter ablation of heart tissue [J]. IEEE MTT Symp Dig, 1995, 1:303-306.

[14] Langberg J, Chin M. Ablation of atrioventricular junction using radiofrequency energy using a new electrode catheter [J]. Amer J Cardiol, 1991, 67:142.

[15] Gu Z, Rappaport C, Wang P, et al. Development and experimental verification of the wide-aperture catheter-based microwave cardiac ablation antenna [J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 2000, 48(11):1892-1900.

[16] Kasevich R, McQueeney F, Crooker R. Microwave balloon

- angioplasty; U. S. Patent 5057106 [P]. 1991.
- [17] Liu P, Rappaport C. Microwave assisted balloon angioplasty [J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1996, 44: 1819-1831.
 - [18] Rosen A, Wallinski P, Smith D, et al. Percutaneous transluminal microwave balloon angioplasty [J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1990, 38(1): 90-93.
 - [19] 袁彪, 赵胜, 赵忠, 等. 非体外循环下心外膜微波消融治疗心房颤动的临床效果 [J]. 中华心血管病杂志, 2006, 34(4): 316-318.
Yuan Biao, Zhao Sheng, Zhao Zhong, et al. Clinical effect of off-pump epicardial microwave ablation of atrial fibrillation [J]. Chinese Journal of Cardiology, 2006, 34(4): 316-318.
 - [20] Rappaport C. Treating cardiac disease with catheter-based tissue heating [J]. IEEE Microwave Magazine, 2002, 3(1): 57-64.
 - [21] Wayne J, Nath JS, Haines DE. Microwave catheter ablation of myocardium in vitro, assessment of the characteristics of tissue heating and injury [J]. Circulation, 1994, 89(5): 2390-2395.
 - [22] VanderBrink B, Gu Z, Rappaport C, et al. Microwave ablation using a wide-aperture antenna design in a porcine thigh muscle preparation: In vivo assessment of temperature profile and geometry [J]. Cardiovascular Electrophysiology, 2000, 11: 193-198.
 - [23] Lin JC, Hariman RJ. Microwave catheter ablation of the atrioventricular junction in closed-chest dogs [J]. Medical & Biological Engineering & Computing, 1996, 34(4): 295-298.
 - [24] 翟栋材, 高平蕊. 间质微波消融天线的现状与进展 [J]. 医疗设备信息, 2007, 22(2): 46-47.
Zhai Dongcai, Gao Pingrui. A review of interstitial microwave ablation antenna in tumor treatment [J]. Information of Medical Equipment, 2007, 22(2): 46-47.
 - [25] 李万捷, 郝晋. 微波体模的制备及其介电特性 [J]. 中国生物医学工程学报, 2003, 22(1): 79-82.
Li Wanjie, Hao Jin. Preparation of microwave phantom and its specific dielectric properties [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2003, 22(1): 79-82.
 - [26] 朱光明, 刘伟, 杨昆, 等. 肿瘤微波热疗的温度场预示及热损伤研究 [J]. 工程热物理论, 2005, 26(z1): 191-194.
Zhu Guangming, Liu Wei, Yang Kun, et al. The temperature and thermal injury research for microwave thermal therapy of tumor [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2005, 26(z1): 191-194.
 - [27] 张会娟, 丁金立, 南群, 等. 计算机模拟建模及应用: 微波消融治疗心房颤动的温度场 [J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(39): 7384-7387.
Zhang Huijuan, Ding Jinli, Nan Qun, et al. Thermal field of microwave ablation therapy for atrial fibrillation: application of computer simulation [J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2011, 15(39): 7384-7387.
 - [28] 肖秋全. 内冷却天线微波消融热场的研究 [D]. 北京: 中国人民解放军军医进修学院, 2005: 1-86.
Xiao Jinqiu. Study on thermal field of microwave ablation using internally cooled antenna [D]. Beijing: The Chinese People's Liberation Army Military Medical College of Further, 2005: 1-86.
 - [29] 洪焦, 高宏建, 吴水才. 脑组织射频消融的有限元仿真与分析 [J]. 北京生物医学工程, 2012, 31(1): 10-15.
Hong Jia, Gao Hongjian, Wu Shuicai. Finite element simulation analysis of radiofrequency ablation in brain [J]. Beijing Biomedical Engineering, 2012, 31(1): 10-15.
 - [30] Yang D, Bertram J, Converse M, et al. A floating sleeve antenna yields localized hepatic microwave ablation [J]. IEEE Trans Biomed Eng. 2006, 53(3): 533-537.
 - [31] Chiu H, Mohan A, Guy D, et al. Miniaturized antennas for microwave ablation of cardiac arrhythmias [C]. Microwave Conference. 2000, 12(6): 50-53.
 - [32] 南群, 李颀, 刘友军, 等. 水冷式微波消融天线的特性研究 [J]. 北京工业大学学报, 2009, 35(5): 674-678.
Nan Qun, Li Liang, Liu Youjun, et al. Characteristic study on a water-cooled microwave ablation antenna [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2009, 35(5): 674-678.
 - [33] Bernardi P, Cavagnaro M, Lin JC, et al. Distribution of SAR and temperature elevation induced in a phantom by a microwave cardiac ablation catheter [J]. IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques, 2004, 52(8): 1978-1986.
 - [34] Weily A, Chiu H. Analysis of a novel expanded tip wire (ETW) antenna for microwave ablation of cardiac arrhythmias [J]. IEEE Trans on Biomedical Engineering, 2003, 50(7): 890-899.
 - [35] Cavagnaro M, Amabile C, Pisa S. A minimally invasive antenna for microwave ablation therapies: design, performances, and experimental assessment [J]. IEEE Trans on Biomedical Engineering, 2011, 58(4): 949-959.
 - [36] Cavagnaro M, Amabile C, Bernardi P, et al. Design and realization of a new type of interstitial antenna for ablation therapies [C]. Proceedings of the 39th European Microwave Conference. 2009: 878-881.
 - [37] Gu ZJ, Rappaport CM. Development and experimental verification of the wide-aperture catheter-based microwave cardiac ablation antenna [J]. IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques, 2000, 48(11): 1892-1900.
 - [38] Gu ZJ, Rappaport CM, Wang P, et al. A conformal microwave antenna applicator for circumferential ablation [J]. IEEE MIT-S Digest, 2003, 1: 391-394.
 - [39] Pisa S, Cavagnaro M, Bernardi P, et al. A 915 MHz antenna for microwave thermal ablation treatment: physical design, computer modeling and experimental measurement [J]. IEEE Trans on Biomedical Engineering, 2001, 48(5): 599-601.

作者: 翟飞, 南群, 张会娟, 丁金立, 刘有军, ZHAI Fei, NAN Qun, ZHANG Huijuan,
DING Jinli, LIU Youjun
作者单位: 北京工业大学生命科学与生物工程学院, 北京, 100124
刊名: 北京生物医学工程 
英文刊名: BEIJING BIOMEDICAL ENGINEERING
年, 卷(期): 2013, 32(1)

参考文献(39条)

1. Kannel WB; Abbott RD; Savage DD Epidemiologic features of chronic atrial fibrillation: the Framingham study 1982 (07)
2. Lin JC Microwave surgery inside the heart [外文期刊] 2006 (03)
3. 顾松; 苏丕雄; 刘岩 冠状动脉旁路移植术后心房纤颤的高危因素分析 [期刊论文] - 中华心律失常学杂志 2002 (04)
4. 顾松; 苏丕雄; 刘岩 小剂量胺碘酮预防冠状动脉旁路移植术后心房纤颤 [期刊论文] - 中华胸心血管外科杂志 2003 (02)
5. 邓贵智; 胡建新 心房颤动的机制及预防 [期刊论文] - 中国医药科学 2011 (07)
6. 屈正 改良迷宫手术治疗心房颤动新进展 [期刊论文] - 继续医学教育 2006 (10)
7. Madhavan G; Gaudette G; Bérubé D Microwaving the heart 2009 (01)
8. Rosen A; Greenspon A; Walinsky P Microwaves treat heart disease [外文期刊] 2007 (01)
9. 陈铮 经导管消融治疗房颤技术日臻完善 2009
10. 徐亚伟; 唐恺 心律失常导管消融可供选择的能量 [期刊论文] - 中国心脏起搏与心电生理杂志 2007 (03)
11. Gilibnow A; McCarthy P; Marrouche N Cortemporary surgical treatment for atrial fibrillation 2003 (02)
12. Christensen D; Durney C Hyperthermia production for cancer therapy: a review of fundamentals and methods 1981 (02)
13. Labonte S; Ali H; Roy L Monopoles for microwave catheter ablation of heart tissue 1995
14. Langberg J; Chin M Ablation of atrioventricular junction using radiofrequency energy using a new electrode catheter 1991
15. Gu Z; Rappaport C; Wang P Development and experimental verification of the wide-aperture catheter-based microwave cardiac ablation antenna [外文期刊] 2000 (11)
16. Kasevich R; McQueeney F; Crooker R Microwave balloon angioplasty 1991
17. Liu P; Rappaport C Microwave assisted balloon angioplasty 1996
18. Rosen A; Wallinski P; Smith D Percutaneous transluminal microwave balloon angioplasty [外文期刊] 1990 (01)
19. 袁彪; 赵胜; 赵忠 非体外循环下心外膜微波消融治疗心房颤动的临床效果 [期刊论文] - 中华心血管病杂志 2006 (04)
20. Rappaport C Treating cardiac disease with catheter-based tissue heating 2002 (01)
21. Wayne J; Nath JS; Haines DE Microwave catheter ablation of myocardium in vitro, assessment of the characteristics of tissue heating and injury 1994 (05)

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>