

间质微波消融天线的现状与进展

翟栋材¹,高平蕊²

(1. 河北省邢台市人民医院 功能科,河北 邢台 054000;2. 河北省邢台医学高等专科学校,河北 邢台 054000)

[摘要]微波热消融治疗肿瘤是近年发展起来的新的肿瘤治疗方法,消融治疗的疗效在很大程度上取决于微波天线的性能。微波天线的研究和制作遵循特定的原理及计算方法,本文就微波天线的模拟电磁场计算和数学模型以及近几年微波天线最新进展作简要介绍。

[关键词]间质微波消融天线,模拟计算

[中图分类号]R454.1;TN821 [文献标志码]B [文章编号]1007-7510(2007)02-0046-02

A Review of Interstitial Microwave Ablation Antenna in Tumor Treatment

ZHAI Dong-cai¹, GAO Ping-rui²

(1. Ultrasound Department of Xingtai People's Hospital, Xingtai Hebei 054000, China;

2. Xingtai Medical College, Xingtai Hebei 054000, China)

Abstract: Microwave ablation of tumor is a new approach to tumor treatment that is restricted by the efficacy of microwave antenna. Interstitial microwave applicators are researched and made followed by specified principles and analog computation. In this paper, the electric magnetic computation and mathematic model as well as the recent development of the microwave antenna are introduced.

Key words: interstitial microwave ablation antenna; analog computation

肝癌严重威胁人类健康,全球每年死于肝癌的人数超过百万,虽然科技水平迅猛发展,一大批肝癌被早期确诊,手术切除比例增大,但仍有近90%肝癌由于种种原因不能手术。微波热凝消融通过微创手段穿刺肿瘤组织利用局部高温原位灭活肿瘤,是近年发展起来的新的肿瘤治疗技术。与射频消融相比,微波热凝消融在血流灌注较丰富的区域能形成较大的凝固灶,组织碳化对热凝效果的影响较小,其远期治疗效果优于手术至少与手术效果相当,1年、3年、5年的累计生存率达94.87%、80.44%和68.63%。微波治疗系统一般由微波凝固治疗仪、同轴电缆和植入式微波天线及测温系统组成。国内外采用的治疗仪基本相同即915MHz或2450MHz固定频率,80W~200W输出功率连续可调。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;微波治疗系统中最为关键、直接影响疗效、最难解决的是制造高效稳定的微波天线。

从理论上讲,对医用微波天线的基本要求是:①热图与治疗部位具有良好的一致性②阻抗匹配③可以承受一定的微波功率电平④体积小和有足够的机械强度^[1]。近几年,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。

1 生物介质电磁场模拟计算的主要技术

1.1 时域有限差分法(FDTD)

直接从时域进行计算,把含时间变量的Maxwell 旋度方程在Yee氏网格空间中转换为显式的差分方程。根据边界条件和初始条件可以计算网格空间中场量随时间的变化,建立电磁场的三维模型。这种方法评估微波天线在组织内的电磁辐射时经常用到。计算过程用时较长。

1.2 有限元分析法(FEM)

广泛用于射频消融的热场模拟,可以为治疗过程提供热传导的快速、准确的解决方案。基本思想是:将连续的求解区域划分为有限个且按一定方式相互连接在一起的单元组合体,在每个单元内选择若干个点作为插值点,用每个单元内假设的近似函数来表示未知的场变量^[2]。这样通过离散化过程便把复杂的电磁场分布问题简化为求解有限个未知数的问题,可以模拟化几何形状复杂的求解域。

1.3 矩量法(MoM)

将电磁场积分方程经矩量法离散后可以得到矩阵方程求解出电磁向量,确定微波天线在介质中的电流分布和辐射形式。其缺点是对复杂的结构及不均质介质的热特性评价较为困难。

收稿日期:2006-11-01

修回日期:2006-12-27

微波热凝治疗的效果通过比吸收率 (SAR) 反映, SAR ($\text{w} \cdot \text{kg}^{-1}$) 为单位质量的组织中沉积的能量, 数学表达式

$$\text{SAR} = \frac{\sigma}{2\rho} |\vec{E}|^2 \quad (\text{w} \cdot \text{kg}^{-1}), \sigma \text{ 为组织的传导系数, } \rho \text{ 为}$$

组织密度, E 为电场强度。在对深部肿瘤热凝固治疗时, 天线的 SAR 图形应高度集中于天线顶端附近。不同能量输入的情况下 SAR 图形的分布不同, SAR 分布的形态与输出功率之间不是简单的线性关系^[3]。天线的效能可以用一定频率下的反射系数定量评价, 其表达式为:

$$\Gamma(f) = 10 \cdot \log \left[\frac{\text{Pr}(f)}{\text{Pin}} \right] [\text{dB}], \Gamma \text{ 为反射系数, } \text{Pr} \text{ 表示反}\text{射能量, } \text{Pin} \text{ 为入射能量。反射系数最小时的频率称之为共振}\text{频率, 近似等于微波发生器的频率, 天线在高反射系数的条件}\text{下工作时, 会造成馈线电缆温度过高和周围组织及皮肤的灼}\text{伤。}$$

2 微波天线的种类

根据微波天线的结构可以分为单极天线和偶极子天线。每种天线又有许多变化形式。

2.1 单极天线

单极天线的基本结构为 50Ω 同轴电缆, 剥去外导体使内导体延伸出适当的长度。早期的微波热凝天线多属此类, 有两种亚型即: 全裸天线和半绝缘天线。单极天线的凝固灶呈泪滴状, 随插入深度的变化热图形状及大小也发生改变, 实验表明单极天线凝固发生快, 范围小, 外导体剥脱处凝固最明显, 此点与天线垂直方向凝固范围最大。近场区组织碳化严重, 天线与组织粘连明显, 顶端存在“冷区”, 由于凝固范围有限, 不能治疗体积较大的肿瘤, 而且反射能大极易造成周围正常组织损伤和皮肤灼伤。需要合适的设计, 以减少无法控制的能量反射, 降低驻波比。董宝玮等通过研究发现天线裸露芯线长度为波长 $1/4$ 的整数倍时, 天线与组织的阻抗匹配最佳, 可以得到形状呈水滴状或椭球体的凝固灶^[4]。

鉴于单极天线的弱点, 通过在天线外层增加扼流圈 (choke) 等方法减少反射能以降低针杆温度, 其结果使天线外径增大, 创伤增大。

2.2 同轴偶极子天线

同轴偶极子天线是目前使用最为广泛的天线类型。其基本结构由 50Ω 同轴电缆做成, 在偶极子中有连接点, 内导体与外导体焊接在一起形成扩展节。数值模拟和体模实验发现当偶极子长度 $< \lambda/4$ 时, 热沉积较为均匀的分布在天线周围, 以馈点为中心呈核桃状。当偶极子长度 $> \lambda/4$ 时, 热场分布不均匀呈

葫芦串状。偶极子长度 $= \lambda/4$ 时, 组织中沉积的能量最多, 高出一个数量级。

与单极天线比较 SAR 分布向天线顶端集中。在偶极子天线基本结构的基础上, 通过改善天线的材料, 结构衍变, 研制出了许多偶极子天线的亚型, 比较常见的类型有:

- ①偶极子单裂隙天线、偶极子双裂隙天线;
- ②挽袖天线;
- ③三轴天线;
- ④同轴扼流圈天线。

每类亚型中又有不同的结构变化, 如裂隙天线中有水冷、气冷, 挽袖天线有固定挽袖和浮动挽袖。设计变化的根本目的是降低针杆温度、扩大消融范围。目前发表的文献以顶端加帽 (cap-choke) 天线, 浮动挽袖天线^[5], 水冷天线^[6], 微型扼流圈同轴天线的 SAR 数值模拟及体模实验效果最令人满意。

随着对组织的热物性研究的深入, 天线设计更为合理和理想, 但单极微波热凝的最大范围仍 $< 6.0\text{cm}$, 就进一步扩大微波消融的体积和适形性方面还有许多工作要做, 最小创伤前提下的天线阵列和微波消融, 联合其他方法扩大消融范围将成为今后的研究重点。

[参考文献]

- [1] Wong TZ. A theoretical model for input impedance of interstitial microwave antennas with choke[J]. Int Radiat Oncol Bio Phys. 1994, 28: 673-682.
- [2] Camart JC, Despretz D, Chive M, et al. Modeling of various kinds of applicators used for microwave hyperthermia based on the FDTD method[J]. IEEE Trans Microw Theory Tech. 1996, 44: 1811-1818.
- [3] Clibbon KL, Mccowen A. Efficient computation of SAR distributions from interstitial microwave antenna arrays[J]. IEEE Trans Microw Theory Tech. 1994, 42: 595-600.
- [4] 董宝玮, 梁萍, 于晓玲, 等. 超声引导下微波治疗肝癌的实验研究及临床初步应用 [J]. 中华医学杂志, 1996, (6): 87-91.
- [5] Yang DS, Bertram JM, Converse MC, et al. A floating sleeve antenna yields localized hepatic microwave ablation[J]. IEEE Trans Biomed Eng. 2006, 53: 533-537.
- [6] 何年安, 王文平, 季正标, 等. 新型内冷微波天线离体肝组织凝固实验—凝固灶短轴径与时间、功率的关系初探 [J]. 中华超声影像学杂志, 2005(14): 706-708. ☆

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,一直致力于专注于微波、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>