

· 基础研究 ·

对探针式同轴探头在骨肿瘤微波热疗中电磁场分布的数值模拟分析

席晓莉 汪文秉

【摘要】目的 研究探针式热疗探头在骨肿瘤微波热疗中产生电磁场分布的模拟数值结果。**方法** 取分层柱状结构骨肿瘤模型,将同轴电缆剥掉外导体后构成探针式探头。采用有限元数值分析方法,对不同插入深度及不同尺寸的同轴探头在组织中产生的电磁场进行数值模拟计算。**结果** 当探头外导体的截断面处于组织内部时,辐射能量能较好地集中于被辐射组织中;当探头接近被辐射组织顶端但又不穿透时,可使顶端辐射增强。**结论** 热疗时探头不同的插入深度及规格,可使被辐射组织的电磁场发生相应变化,故在临床微波热疗操作中,应根据肿瘤大小、部位等特性合理选择探头尺寸进行治疗。

【关键词】 骨肿瘤; 微波热疗; 有限元法; 电磁场

Analysis of the simulated electromagnetic field distribution of the insert applicator used in microwave hyperthermia for treating bone tumors XI Xiao-li, WANG Wen-bing. Electric and Information Engineering College, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

【Abstract】Objective To simulate and investigate the electromagnetic field distribution of the insert applicator used in microwave hyperthermia for treating bone tumors. **Methods** Bone tumor model with layered cylindrical shape was made. The applicator was made from a coaxial cable that peeled off the out copper at the end, which were inserted into the cylindrical bone with different depths. The three dimensions finite element method (FEM) was used to calculate the various parameters of the simulated electromagnetic field. **Results** The electromagnetic energy could be well transmitted into the tissues when the section of the out copper cutting was embedded in the tissues. The electromagnetic energy to the tissue was enhanced when the tip of the applicator got close to but not penetrated the tissue. **Conclusion** The intensity of irradiation to the target tissue was determined by the dimension and depth of insertion of the applicator. This is very important for the selection of the type and insertion depth of the applicator when using microwave hyperthermia for treating bone tumor in clinical practice.

【Key words】 Bone tumors; Microwave hyperthermia; Finite element method

微波热疗是近年引起广泛重视的肿瘤治疗方法之一。该技术采用合理的微波探头对肿瘤组织进行辐射,能较好地实现微波能量对肿瘤局部区域的加热,从而达到杀灭肿瘤组织的目的,且对正常组织损伤很小^[1,2]。目前已有部分医疗单位将微波热疗用于骨肿瘤的保肢治疗之中^[3,4],即首先在患者病灶区域原位分离肿瘤组织,再用 2.450 GHz 频率的微波对肿瘤组织进行高温灭活,最后对灭活后的骨组织进行修复重建。该技术既灭活了肿瘤组织,又完整保留了骨、关节的结构及功能,临床研究业已显示其具有良好的应用前景。

在骨肿瘤微波热疗中,微波探头结构与其在组织中电磁场的分布范围及强度将直接影响临床治疗效果,故设计合理的微波探头将有助于实现对局部肿瘤组织的均匀加热而不损伤正常组织,对临床治疗骨肿瘤具有重要意义。本文采用有限元研究方法,对目前

骨肿瘤微波热疗中应用的同轴微波辐射探头在不同插入部位及不同插入深度情况下,在骨肿瘤治疗模型中产生的电磁场分布进行模拟计算,以便为临床治疗选择合适的探头尺寸及插入部位提供理论指导。

模型与方法

一、骨肿瘤组织模型

本研究中,我们采用的骨肿瘤组织模型为规则的圆柱状结构,最外层为骨皮质,内层为肿瘤组织。模型的具体尺寸为:骨组织长 80 mm,骨肿瘤组织直径 40 mm,皮质外直径 50 mm。骨模型组织在 2.45 GHz 频率下的电参数及密度见表 1,相对磁导率均为 1;肿瘤组织的参数与高含水量的肌肉组织接近,随肿瘤类型的不同而不同。在数值计算中,我们将同轴探头垂直插入骨肿瘤中央,探头长度(h1)及插入深度(h2)均可调整(见图 1)。当外导体截断部位位于模型外时,则记为 h2 = 0 mm。

二、探头模型

基金项目:陕西省教育厅 2003 年科研计划项目(No. 03JK086)

作者单位:710049 西安,陕西省西安交通大学电子与信息工程学院

微波插入探头由耐高温的 SFF-50-5 型聚四氟乙烯同轴电缆剥去外导体及绝缘护套后构成, 电缆具体尺寸及参数如下: 内、外导体直径分别为 1.48 mm 和 4.60 mm, 电缆外径 6.4 mm, 内、外导体间及电缆护套绝缘材料的相对介电常数为 2.2。

三、数值模拟计算

1. 确定计算区域: 采用三维有限元法^[7]对模型内的电磁场进行数值计算, 计算区域取直径为 110 mm、高度为 140 mm 的圆柱体。同轴电缆的输入功率为 1 W。

2. 边界处理: 将金属导体表面设为理想导体表面, 各种组织间及其与空气间均为自由边界, 整个计算区域边界为辐射边界。

本研究设定不同参数情况如下: ①当 $h_2 = 25$ mm 时, h_1 分别为 28 mm、20 mm 和 17 mm; ②当 $h_2 = 0$ mm 时, h_1 分别为 55 mm 和 35 mm; ③当 $h_2 = 7$ mm 时, h_1 分别为 17 mm 和 35 mm。分别对上述情况下肿瘤模型研究区域内的电磁场分布进行模拟计算, 以期了解不同探头插入深度及不同探头长度对微波能量输出传输效率的影响; 同时对不同治疗模型下的 S 参数进行模拟计算(注: S 参数的幅度直接反映了组织对输入电磁场的反射情况)。

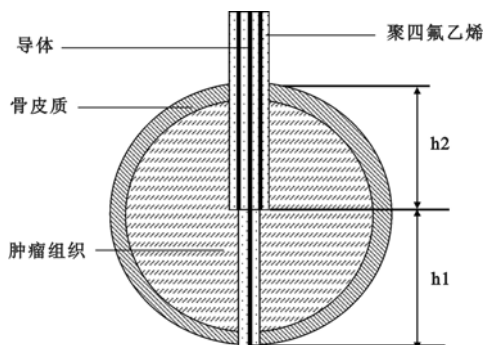


图 1 探头插入骨模型组织的横截面示意图

表 1 各种组织的电参数及密度^[5,6]

媒质	相对介电常数 (ϵ_r)	电导率 (σ , s/m)
骨皮质	11	0.4
肿瘤组织	49	2.2
聚四氟乙烯	2.2	0
导体	—	∞
空气	1	0

结 果

一、S 参数计算结果分析

我们模拟计算并比较了不同插入深度及不同长度探头情况下热疗模型同轴电缆输入端口处 S 参数的变化情况, 具体见表 2。

从表 2 的 S 参数变化情况可以看出, 当探头的插

入深度及长度发生变化时, 可导致探头的输入阻抗发生变化, 引起 S 参数大小及相位的变化。当同轴电缆的外导体截断面处于组织内部时, 反射系数较小, S 参数的幅度值小于 0.3, 能量输出效率较高; 当同轴电缆外导体截断面处于组织外部时, 反射系数较大, S 参数的幅度值大于 0.5, 反射的能量超过 50%, 因此能量输出效率较低。

表 2 探头不同插入部位及不同尺寸下的 S 参数比较

探头插入部位及尺寸 (mm)		S 参数	
		S 幅度	S 相位
$h_2 = 0$	$h_1 = 55$	0.51736	129.567
$h_2 = 0$	$h_1 = 35$	0.55146	126.183
$h_2 = 7$	$h_1 = 17$	0.27332	97.709
$h_2 = 7$	$h_1 = 35$	0.27286	-5.067
$h_2 = 25$	$h_1 = 28$	0.26213	-50.266
$h_2 = 25$	$h_1 = 20$	0.11082	33.403
$h_2 = 25$	$h_1 = 17$	0.26835	-52.735

二、电磁场分布的模拟结果分析

图 2 及图 3 分别为在不同插入深度及不同探头长度情况下, 经模拟计算得到的骨肿瘤模型中电场模值在骨组织中径向截面和轴向截面的分布情况。

从图 2、图 3 探头在骨肿瘤模型中产生的电场强度模值分布图可以看出, 当探头外导体截断面在骨肿瘤模型外时(图 2a、2b 及图 3a、3b), 电场能量主要集中在组织外部的自由空间, 进入组织内部的能量很有限, 能量利用率较低且电磁污染严重, 临床治疗中应避免使用; 当探头外导体截断面处于骨肿瘤模型深部时(图 2e、2f、3g 及图 3e、3f、3g), 电磁场能量主要集中在组织内部, 以探头外露臂为中心, 自由空间中能量辐射很小; 当探头外导体截断面处于骨肿瘤模型浅层时, 自由空间中的电磁辐射要比在深层时的辐射强(图 2c、2d 及图 3c、3d); 当探头横穿骨组织时, 探头顶端辐射较强(图 2a、2e 及图 3a、3e); 当探头顶端部分接近骨肿瘤组织边缘时(但并不穿透骨肿瘤组织), 同样也可以得到较强的顶端电磁场辐射图(图 2c、2f 及图 3c、3f)。

结 论

在微波热疗中, 探头一般处于结构复杂的有耗媒质中, 组织对探头输入能量的反射情况主要通过 S 参数描述, 其参数值与媒质特性和结构、探头的形状和尺寸以及探头与媒质的相对位置等多种因素有关, 当任一条件发生变化时, 其值均会发生相应变化。从本文研究结果可以看出, 影响 S 参数的主要因素是探头的插入深度和外露臂长度。为了减少电磁反射, 治疗时应尽量使外导体截断面处于被辐射组织内部。

在进行微波热疗时, 探头插入深度及外露臂长度可根据实际治疗模型适当选择。例如, 对范围较小的

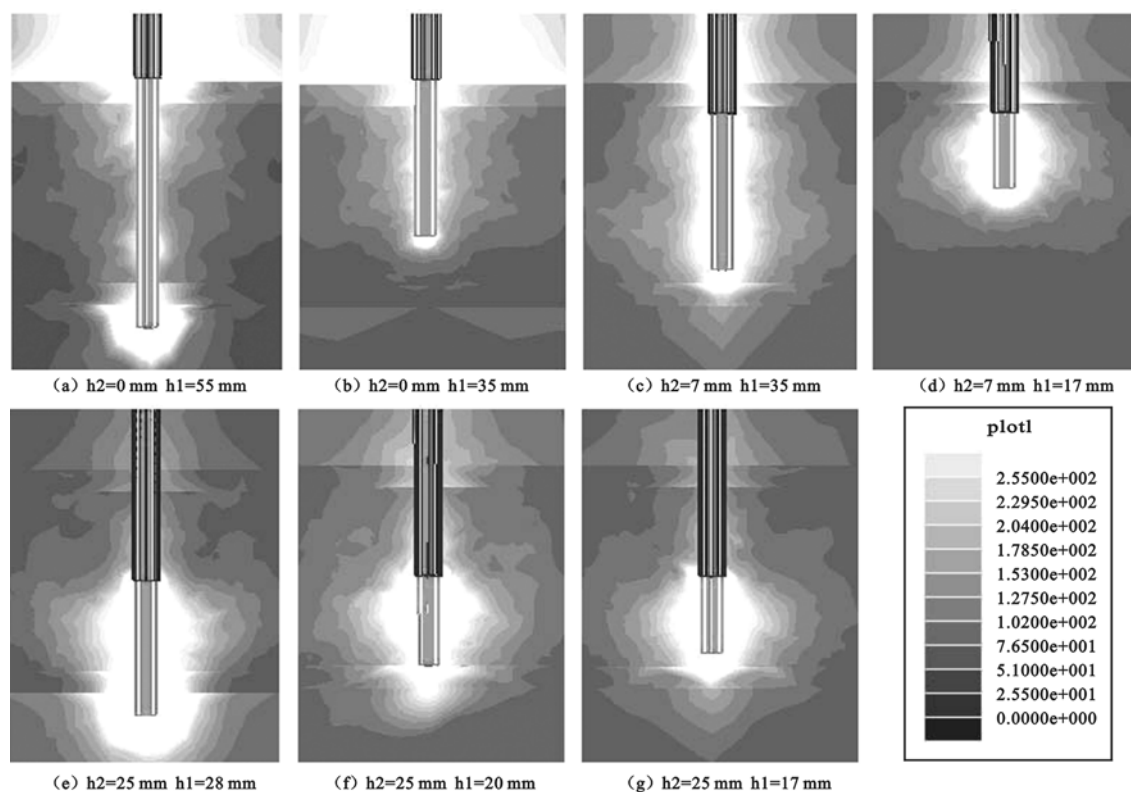


图 2 不同插入深度及不同探头长度在骨组织轴向截面的电场模分布情况

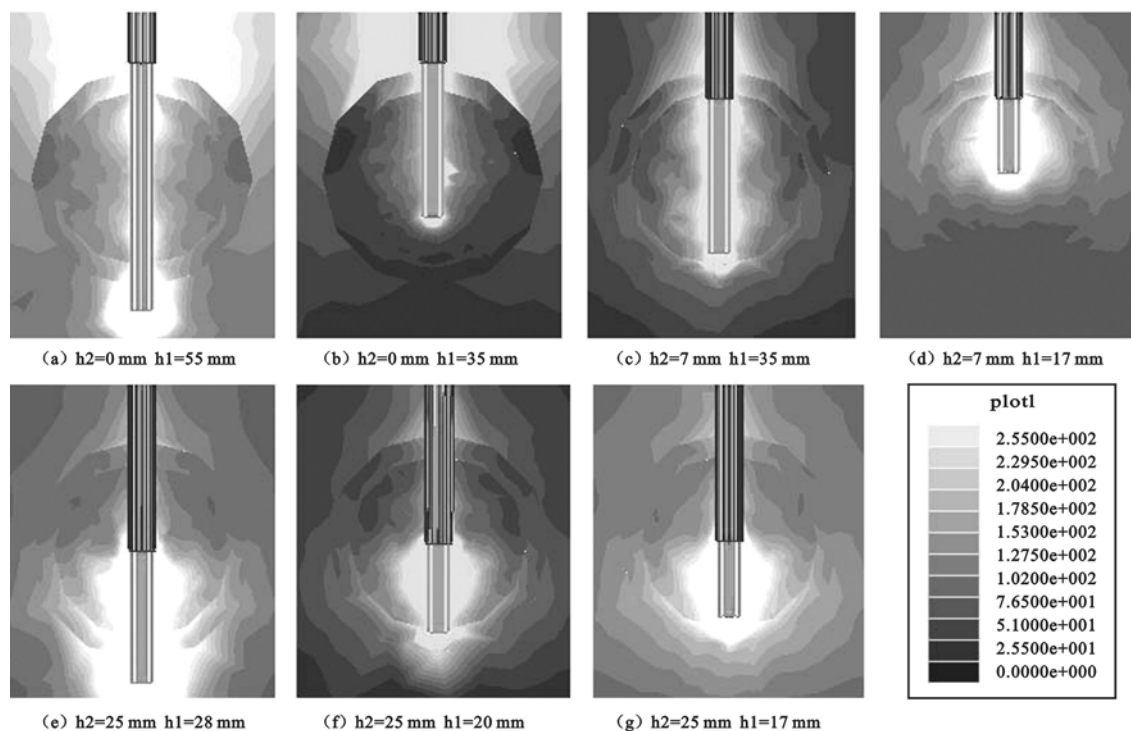


图 3 不同插入深度及不同探头长度在骨组织径向截面的电场模分布情况

肿瘤组织,可选择外露臂长度较短的探头,通过调整外导体截断面在组织中的位置而达到最佳治疗效果;对范围较大的肿瘤组织可使外露臂长度加长,一般取 $1/4$ 波长的整数倍;当需要对组织顶端加热时,可尽量使探头接近组织顶端,如将探头尽量与骨皮质内表面接触而不

穿透骨皮质,既可以达到治疗顶端组织的目的,同时又可以减小对组织的损伤及肿瘤再种植的机率;对范围较大的肿瘤组织,则需要采用多探头阵列进行治疗,其中各探头的选择及插入方式可借鉴本文的研究结果。

我们相信,由本研究所得到的相关结论对临床热

疗具有积极的指导意义,有助于改进和完善治疗设备,提高临床疗效。我们将进一步对微波热疗中探头阵列产生的电磁场及温度场分布进行模拟计算,并进行相关的实验研究,以提高我国在微波热疗领域内的治疗水平。

参 考 文 献

- 1 Jan V, Miroslav L, Ladislav O. Technical aspects of microwave thermotherapy. Bioelectrochem Bioenerg, 1999, 48: 305-309.
- 2 Hiraoka M, Mitsumori M, Hiroi N, et al. Development of RF and microwave heating equipment and clinical applications to cancer treatment in Japan. Microwave Theor Tech, 2000, 48: 1789-1798.
- 3 Fan QY, Ma BA, Zhou Y. Bone tumors of the extremities or pelvis treated

by microwave-induced hyperthermia. Clin Orthop, 2003, 24: 165-175.

- 4 Fan QY, Ma BA, Qiu XC, et al. Preliminary reports on treatment of bone tumors with microwave-induced hyperthermia. Clin Orthop, 1996, 17: 218-222.
- 5 李缉熙, 牛中奇, 著. 生物电磁学概论. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990. 70-76.
- 6 Gabriel S, Lau RW, Gabriel C. The dielectric properties of biological tissues: III. parametric models for the dielectric spectrum of tissues. Phys Med Biol, 1996, 41: 2271-2293.
- 7 金建铭, 王建国. 电磁场有限元方法. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1998. 96-103.

(修回日期: 2003-10-25)

(本文编辑: 易 浩)

· 短篇论著 ·

微波治疗口腔扁平苔藓及白斑

高子彬 段玉芹

我院于 1997 年 2 月 ~ 2003 年 1 月期间采用微波治疗口腔扁平苔藓及白斑 124 例, 疗效显著, 报道如下。

一、资料与方法

口腔扁平苔藓和白斑患者 124 例, 女 75 例, 男 49 例; 年龄 35 ~ 67 岁, 平均 51 岁; 白斑 82 例, 扁平苔藓 42 例; 病变分布于舌部 52 例, 腭部 20 例, 颊黏膜 27 例, 25 例患者舌、颊、腭、唇部及牙槽嵴等多处口腔黏膜出现扁平苔藓或白斑。

采用成都产 WB-100C 型微波多功能治疗机, 输出功率 5 ~ 60 W, 所有患者均在局麻下接受治疗, 选用针状或与病损面积大小相适应的圆盘状辐射器, 治疗功率 5 ~ 20 W, 紧贴病变部位辐射, 直至黏膜变白形成假膜或轻度焦痂。术后给予漱口液含漱, 口服抗生素 3 d, 预防感染。当日进流质饮食, 次日进软食, 禁食粗硬食物。10 ~ 14 d 后复诊。

疗效标准: 根据 1998 年全国“两病”防治研究组第 2 次座谈会制定的标准^[1]进行评判。痊愈——病损全部消退, 症状完全消失; 显效——病损区缩小 2/3 以上, 无明显症状; 好转——病损区缩小不及 2/3, 症状减轻; 无效——病损区未缩小, 症状无减轻。

二、结果

术后痊愈 81 例, 显效 24 例, 好转 12 例, 无效 7 例; 患者均有不同程度局部水肿, 但无疼痛感; 2 例有疤痕形成, 其中白斑及扁平苔藓各 1 例, 均为颊部, 余 122 例黏膜均正常。每半年复查 1 次, 其中痊愈的 81 例患者中有 2 例在 5 年内复发, 1 例为位于颊黏膜的糜烂型扁平苔藓, 术后 1 年半复发并癌变; 另 1 例为位于唇黏膜的结节性白斑, 术后 3 年复发。

三、讨论

口腔扁平苔藓是口腔黏膜中常见的慢性病损^[2], 主要表现为口腔黏膜白色病变、充血、糜烂。病因复杂, 病程迁延, 易复发, 严重者可影响患者的语言、进食及咀嚼功能, 特别是糜烂型

患者尤为严重。近年来, 该病常被列为癌前病变范畴^[3]。林焕彩^[4]在 21 例白斑患者活检中, 发现 3 例有上皮异常增生, 1 例癌变。据世界卫生组织癌前病变研究中心资料显示, 白斑的恶变率为 0.13 ~ 6.00%^[5]。

以往的治疗方法主要包括建立良好的口腔卫生习惯、去除病灶、不良修复体以及使用激素、调节免疫功能药物、维生素、镇静剂、心理治疗等, 疗效均不明显。

微波是一种波长在 1 ~ 1 000 mm, 频率在 300 ~ 300 000 MHz 的高频电磁波。医学常用频率为 2 450 MHz, 波长 12.25 cm。作用原理为微波产生的电磁场迫使带自由电荷的物质分子作正负周期性振动, 使物质内部温度迅速升高产生热效应。微波有加热快, 受热均匀且局限等特点。治疗口腔白斑和扁平苔藓是利用微波的热效应使患处形成凝固、坏死和脱落。治疗过程中对病变较轻的患者一般选用功率 5 ~ 10 W 即可形成凝固, 糜烂严重者需设置微波功率为 20 W 才能凝固或形成轻度焦痂。

总之, 微波治疗口腔白斑及扁平苔藓疗效肯定, 安全经济, 治疗中无出血, 无毒副作用, 经临床观察无疤痕形成, 值得推广。

参 考 文 献

- 1 党向红, 阿斯娅, 王孟槐. 微波治疗口腔扁平苔藓 20 例的体会. 实用口腔医学杂志, 2003, 19: 75.
- 2 毛祖彝, 主编. 口腔科学. 第 4 版. 北京: 人民卫生出版社, 1996. 130.
- 3 金岩, 杨连甲. 扁平苔藓与癌前病变 - 形态计量学研究. 华西口腔医学杂志, 1995, 13: 2.
- 4 林焕彩, 于秦曦, 郭媛珠, 等. 口腔白斑的流行病学研究. 临床口腔医学杂志, 1992, 8: 1.
- 5 李秉琦, 主编. 实用口腔黏膜病学. 成都: 四川科学技术出版社, 1987. 213.

(收稿日期: 2003-09-11)

(本文编辑: 阮仕衡)