加；当电压在 800 V 以上时，坏死区分布整个电极包围范围内，且其轮廓分布与电场分布仿真图（图 2）基本吻合。



图 1　坏死轮廓图

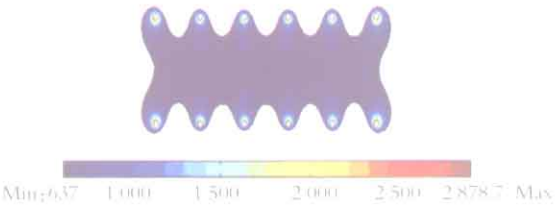


图 2　电场分布仿真图

3　讨论

电脉冲疗法是通过外加电场，诱导细胞跨膜电压增加，引起细胞发生可逆性或不可逆性电穿孔的物理过程。我们在有关电脉冲疗法的前期实验中已证实单一电脉冲对培养细胞、离体及在体肿瘤有确切杀伤作用，并初步探讨了电脉冲的治疗机制[2,3]。

实验结果显示，脉冲作用约 5 min 后，电极包围的整个肝组织有苍白缺血现象，阴极附近的肝脏组织变褐色且有淡红色泡沫样液体自电极处溢出。可能原因为血管受到外在的电脉冲刺激后，引起血管平滑肌细胞的收缩，导致脉管缩小，血运减少；血管内皮细胞受损，管腔内血栓形成，小动脉持续性收缩甚至闭塞；阴极区肝组织发生间质水肿反应，大量液体集聚。此实验现象与 Sersa 等[4] 的实验结果类似。

12 针电场分布仿真图显示：对于同一电压，产生的电场强度最大值出现在电极附近，电极包围范围内其余部分场强相对较小，但比较均匀。实验结果表明：脉冲作用后肝组织坏死面积随着电压的增加而增加，描绘其坏死轮廓与 12 针电场仿真图基本吻合。电压达到 800 V 时，电极包围范围内的肝组织均匀坏死，说明当电压增加到 800 V 时，电极包围范围内的电场场强均达到了不可逆性电击穿阈值。故可以推测 12 针状电极阵列的有效布置方式，其电场尽可能为均匀分布。

上述诸多证据表明：电场在活体组织中的分布与 12 针电极电场分布仿真图基本吻合；12 针状电极阵列的有效布置方式使电场分布比较均匀。我们在实验中将组织中的电场分布和理论电场分布仿真图相互结合，相互校验，以求控制实际使用时的电场杀伤范围，可以根据肿瘤的大小形态来选择针状电极阵列的有效布置方式，为其应用于临床治疗提供参考。

关键词：电脉冲；不可逆性电击穿；电场分布仿真图

中图法分类号：R454.1　　文献标识码：B

参考文献：

1　Miklavcic D, Semrov D, Mekid H, *et al*. A validated model of *in vivo* electric field distribution in tissues for electrochemotherapy and for DNA electrotransfer for gene therapy[J]. Biochim Biophys Acta, 2000, 1523(1): 73-83.

2　孙才新，姚陈果，熊　兰，等. 陡脉冲电场对恶性肿瘤细胞杀伤效应的研究[J]. 生物物理学报，2002，18(4)：474-477.

3　熊　兰，孙才新，李天强，等. 能量可控陡脉冲杀伤肿瘤的离体试验研究[J]. 生物医学工程学杂志，2002，19(3)：440-443.

4　Sersa G, Krzic M, Sentjurc M, *et al*. Reduced blood flow and oxygenation in SA-1 tumours after electrochemotherapy with cisplatin[J]. Br J Cancer, 2002, 87(9): 1047-1054.

（编辑　陈聪连）

欢迎订阅 2008 年《护理学报》

《护理学报》是南方医科大学（原第一军医大学）主办的护理专业核心期刊，是我国唯一的护理学报。月刊，大 16 开，96 页，每月 20 日出版，国内外公开发行。本刊办刊特色鲜明，标准化、规范化程度高；文章选题新颖，内容实用性、科学性、学术导向性强。本刊为中国科技论文统计源期刊（中国科技核心期刊）、《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊、全军优秀医学期刊。本刊“以质量求生存，以服务铸品牌”的经营理念已赢得广大护理界朋友的赞誉和喜爱。本刊栏目：专家论坛、论著、综述、研究生园地、专科护士园地、循证护理、调查研究、护理教育、临床护理、护理管理、国外护理研究、药械护理、心理卫生、社区护理、健康教育、护理创新、中医护理、学术争鸣、经验荟萃等。

本刊于 2007 年正式开通了《护理学报》网站（http://www.hlxb.com.cn），功能日趋完善，使用更加方便，拥有网上投稿、审稿进度查询、过刊全文检索、本刊最新信息发布等强大功能，在形式、功能上与《护理学报》印刷本互补、互助，是本刊读、作者的亲密伙伴。订阅本刊并参加学习者可获Ⅰ类继续教育学分。欢迎订阅，欢迎垂询。本刊定价：7 元/本，84 元/年（已含邮资）。订购：全国各地邮局，或随时汇款至编辑部邮购。CN 44-1631/R，ISSN 1008-9969，邮发代号：46-200。

地址：广州市广州大道北 1838 号 护理学报编辑部　　**邮编**：510515

电话：(020)61641193；(020)87280550（**传真**）　　E-mail：nfhlxb@fimmu.com