

双极射频控温热凝器体外量效关系的实验研究

张超 王平 刘爱峰 张君涛 尹广斌 金哲峰 李远栋 杨硕 王晓东

【摘要】 目的 研究双极射频控温器时间、预设温度、间距对两电极热效应的影响。**方法** 选择新鲜鸡蛋清,按随机数字表法分为不同间距组、温度组和时间组,固定 2 个射频电极保持针身垂直置入方盘中央蛋清内,用预设温度(50~90℃)、射频时间(60 s、120 s)、电极间距(0.25、0.50、1.00 和 2.00 cm)进行干预,通过游标卡尺、秒表、阻抗及温度检测,观测两电极真实温度、出现纺锤形连接的间距、不同温度下蛋清变性的时间跨度、蛋清阻抗变化、蛋清变性的最低温度、不同时间蛋清变性质量(体积)和不同温度下蛋清变性阻抗的变化。**结果** ①当电极间距固定保持 2.00 cm,预设温度设定在 63℃,主电极真实温度为 63.7℃,次电极真实温度 52.6℃,次极温度与预设温度、主极温度的分布差异有统计学意义($P<0.05$),电极间距在 0.25、0.50、1.00 cm 时,次极温度-预设温度和主极温度-次极温度差异有统计学意义($P<0.01$);②在间距为 0.25 cm,56℃时开始出现蛋清变性,在 0.25 cm、0.50 cm 间距,温度 70℃以上两电极之间出现纺锤形连接,在 1.00 cm 和 2.00 cm 间距时同样温度未出现该现象;③在间距为 0.25 cm 时,预设温度 75℃,单次射频 60 s、单次射频 120 s 及 2 个单次射频 60 s 后蛋清体积分别为 $(90.21\pm 0.64)\text{mm}^3$ 、 $(95.08\pm 0.53)\text{mm}^3$ 、 $(92.88\pm 0.74)\text{mm}^3$,蛋清的变性体积差异均有统计学意义($P<0.01$);④单次射频 60 s 蛋清射频前、后电阻差异无统计学意义($P=0.11$),单次射频 120 s 蛋清射频前和射频后电阻分别为 $(128.41\pm 8.04)\Omega$ 和 $(121.29\pm 8.04)\Omega$,差异有统计学意义($P=0.02$)。**结论** 双极射频能使蛋清组织变性,温度越高、时间越长、电极间距越小引起的变性效率越高。

【关键词】 双极射频; 蛋清实验; 剂量效应关系

基金项目:国家自然科学基金委员会资助面上项目资助(81673994,51573137)

Dose-effect relationships of bipolar radio frequency heating Zhang Chao*, Wang Ping, Liu Aifeng, Zhang Juntao, Yin Guangbin, Jin Zhefeng, Li Yuandong, Yang Shuo, Wang Xiaodong. * Department of Orthopedics, The First Teaching Hospital of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300380, China
Corresponding author: Liu Aifeng, Email: draifeng@163.com

【Abstract】 Objective To study the effect of the preset temperature, heating time and the spacing of radio frequency electrodes. **Methods** Fresh egg white was used to study the effects of heater spacing, temperature and heating time. Two electrodes were fixed to keep the needles perpendicular to the center of egg white confined on a square plate. Temperatures from 50 to 90℃ were tested with heating times of 60 and 120 seconds and electrode spacings of 2.0, 1.0, 0.5 and 0.25 centimetres. The real-time temperature and the time to the appearance of a spindle-shaped bridge between the electrodes was observed. The egg white's impedance and resistance, the lowest temperature of denaturation, and the mass (or volume) denatured at different time points were also observed. **Results** With an electrode spacing of 2 cm and the thermostat set at 63℃, the true electrode temperatures were 63.7 and 52.6℃, with the secondary electrode the cooler. Significant differences between the secondary electrode temperature and the preset temperature as well as the temperature between the primary and the secondary electrodes were observed. It was also found that different electrode spacing caused significant differences between the preset temperature and the primary as well as the secondary electrode temperature. Denaturation began at 56℃ with a spacing of 0.25 cm. At spacings of 0.25 and 0.50 cm, a spindle-shaped connection between the two electrodes was observed at temperatures above 70℃, but higher temperature was required at 1.00 and 2.00 cm. When the spacing was 0.25 cm and the preset temperature was 75℃, the denatured volume after 60 s of heating was $90.21\pm 0.64\text{mm}^3$. Heating for 120 s denatured $95.08\pm 0.53\text{mm}^3$ and two 60 s heatings $92.88\pm 0.74\text{mm}^3$, all significant differences. There were no significant differences in the resistance of the egg white before and after a single heating for 60 s, but after a single heating lasting 120 s it had

increased significantly from 128.41 ± 8.04 to $121.29 \pm 8.04 \Omega$. **Conclusion** Bipolar radio frequency heating can denature egg white. Higher temperature, longer heating and smaller electrode spacing heat more effectively.

【Key words】 Radio frequency heating; Dose-effect relationships; Egg white; Denaturation

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81673994, 51573137)

射频靶点热凝术和臭氧消融治疗椎间盘突出症是近几年国内外兴起的新型微创技术,疗效肯定,术后有效率保持在 80% 以上^[1-3]。随着临床的需要和产品技术不断升级,射频热凝技术从单极射频温控器发展到了双极射频热凝控制器。双极射频是两个电极同时治疗,提高治疗效率,节省时间,适应证更广泛。目前,对射频热凝技术缓解疼痛的机制存在一些不同的观点,但热效应是其工作的基础原理,本研究通过对双极射频热凝控制器的时间、温度、距离三者热效应的量效关系进行体外蛋清实验,旨在为该技术能更准确地应用于临床提供可靠依据。

材料与方法

一、实验材料和试剂

新鲜鸡蛋若干、10 ml 注射器、游标卡尺(千分尺)、秒表、手电筒、无菌纱布若干、电极规格(22 G, 长 100 mm, 直径 5 mm), R-2000 B 型射频温控热凝器(北京北琪医疗科技公司, 功率 100 VA, 刺激频率 1 ~ 200 Hz)。

二、取材方法

将新鲜鸡蛋壳打破,用 10 ml 注射器小心吸取分离蛋清液备用,不要破坏蛋黄完整性,以免影响蛋清液纯度。将足量蛋清液放置在长 12 cm、宽 8 cm、深 3.5 cm 的树脂实验方盘中。

三、实验方法

1. 两电极间距对实时温度的影响: 将两电极间距分为 0.25、0.50、1.00 和 2.00 cm 四组, 每组测量 9 次。首先固定两射频电极针并保持针身垂直间距 0.25 cm 置入方盘中央蛋清内, 将两电极与调试正常的射频仪连接, 分别观察并记录预设温度 60、65、70、75、80、85 和 90 ℃ 处理时间 60 s 后, 两射频电极针的真实温度, 重复测量 9 次。用无菌纱布清洁两射频电极针, 分别以 0.50、1.00 和 2.00 cm 间距重复上述操作。

2. 两电极出现纺锤形连接的间距: 依次保持两电极针间距 0.25、0.50、1.00 和 2.00 cm, 预设温度 60、65、70、75、80、85 和 90 ℃ 处理时间 60 s 后, 用无菌纱布清洁射频电极针, 最后分别观察并记录出现两电极纺锤形连接的间距。

3. 不同温度下蛋清变性达到最大体积的时间跨度: 固定射频电极针并保持针身垂直间距 0.25 cm 置入方盘中央蛋清液内, 将两电极与调试正常的射频仪

连接; 然后进行射频处理, 射频温度设定为 60 ~ 90 ℃, 每档间隔 5 ℃。灯光透视照射下, 肉眼观察射频针尖区域蛋清变性的变化, 以出现蛋清变性的所需时间为蛋清变性最短时间, 而蛋清变性不再增加的所需时间为蛋清变性最长时间, 两者之差即蛋清变性的射频时间跨度。

4. 不同射频时间对蛋清最大变性体积的变化: 将实验分为单次射频 60 s、单次射频 120 s 及 2 个单次射频 60 s 三组, 以 0.25 cm 间距, 射频温度设定为 75 ℃ 对蛋清液进行射频处理, 每组重复测 7 次。灯光透视照射下肉眼观察射频针尖区域蛋清变性的形态, 用游标卡尺(千分尺)测量记录蛋清变性的长、宽、高, 并以椭圆球体体积公式计算蛋清变性体积 $V = (\text{长} \times \text{宽} \times \text{高} \times \pi) / 6$ 。用无菌纱布清洁射频电极针, 同法行单次 120 s 及 2 个单次射频 60 s 操作。

5. 蛋清射频前后电阻的变化: 将实验分为单次射频 60 s、单次射频 120 s 两组, 以 0.25 cm 间距对蛋清液进行射频处理, 射频温度设定为 60 ~ 90 ℃, 每档间隔 5 ℃, 共 7 种不同温度, 通过射频温控热凝器自带阻抗测量功能监测记录蛋清样本射频前后的电阻。

四、主要检测手段及观测指标

通过游标卡尺、秒表、射频温控热凝器监测阻抗及温度功能, 先观测两电极真实温度、出现纺锤形连接的间距、不同温度下蛋清变性的时间跨度、蛋清阻抗变化、蛋清变性的最低温度、不同时间蛋清变性质量(体积)和不同温度下蛋清变性阻抗的变化。

五、统计学方法

使用 SPSS 19.0 版统计软件进行统计学分析处理, 计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示, 计量资料符合正态分布采用 t 检验或单因素方差分析, 不符合正态分布采用非参数相关样本检验中的秩和检验或卡方检验, $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

结 果

一、两电极间距对实时温度的影响

当电极间距固定保持 2.00 cm, 预设温度设定在 63 ℃, 主电极真实温度为 63.7 ℃, 次电极真实温度 52.6 ℃。4 组电极间距下真实温度的比较结果显示详见表 1。电极间距在 0.25、0.50、1.00 和 2.00 cm 时, 次极温度-预设温度和主极温度-次极温度差异有统计学意义($P < 0.01$)。

表 1 不同双极间距的电极真实温度的比较

组别	测量 次数	主极温度- 预设温度		次极温度- 预设温度		主极温度- 次极温度	
		Z 值	P 值	Z 值	P 值	Z 值	P 值
电极间距 0.25 cm	9	-0.421	0.674	-2.668	0.008 ^a	-2.666	0.008 ^a
电极间距 0.50 cm	9	-0.772	0.440	-2.666	0.008 ^a	-2.666	0.008 ^a
电极间距 1.00 cm	9	-0.237	0.812	-2.668	0.008 ^a	-2.666	0.008 ^a
电极间距 2.00 cm	9	-1.542	0.123	-2.666	0.008 ^a	-2.666	0.008 ^a

注：^a $P<0.01$

主极温度和预设温度二者温度曲线有极高的拟合程度,而次极温度与预设温度、主极温度的温度曲线拟合程度较差,随着间距变小,这种拟合程度越来越好(如图 1 所示)。

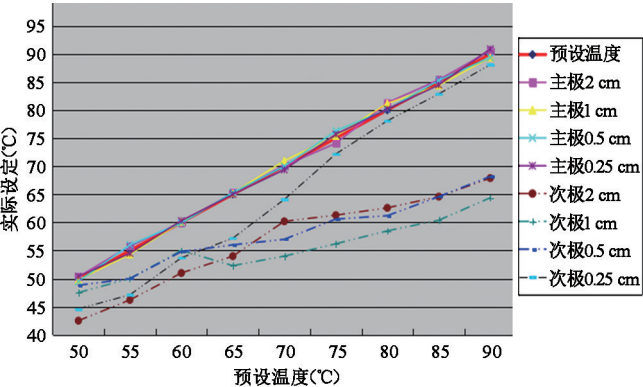


图 1 不同双极间距的电极真实温度情况

二、出现纺锤形连接的间距

实验观察发现,在 0.25 cm、0.50 cm 间距,温度为 70 °C、75 °C、80 °C、85 °C、90 °C 时两电极之间出现纺锤形连接,而在 1.00 cm 和 2.00 cm 间距时相应温度未出

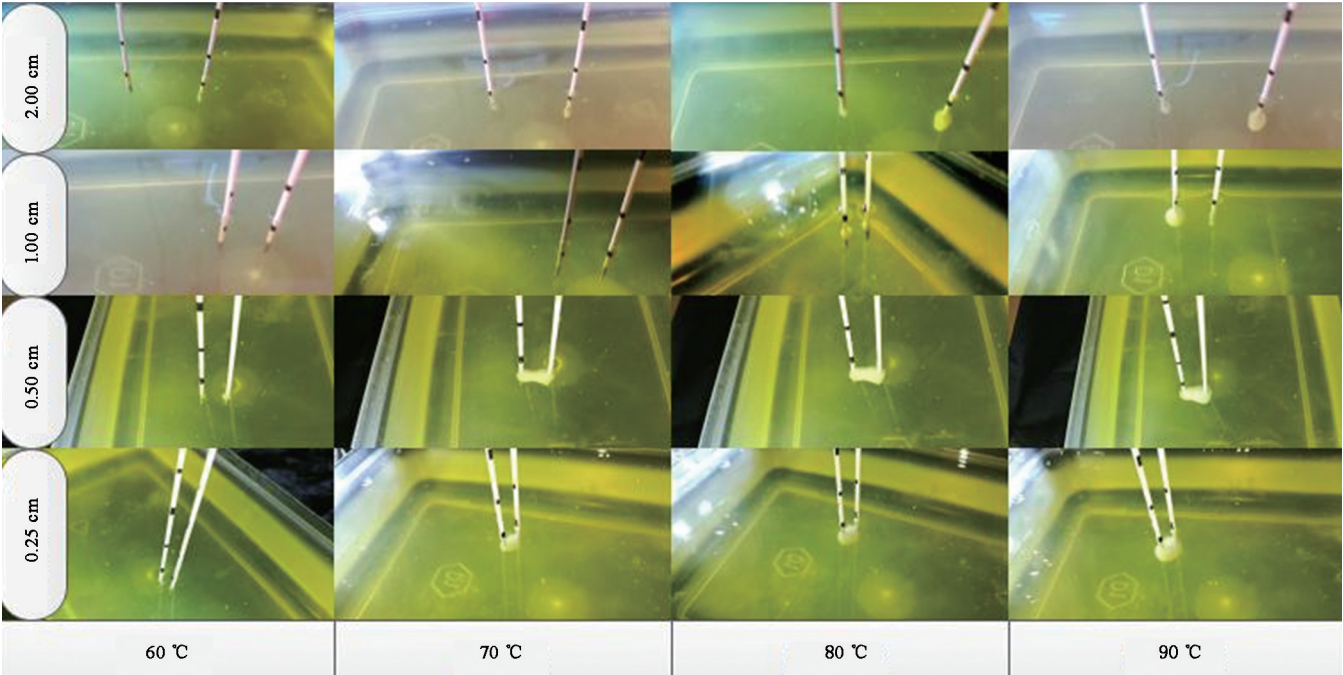


图 2 不同间距与温度蛋清变化情况

现该现象(图 2)。
三、不同温度下蛋清变性达到最大体积的时间跨度
在间距为 0.25 cm,射频温度设定在 50 °C、55 °C 未观察到蛋清变性,56 °C 时出现蛋清变化,60 °C 时射频后 8 s 时出现蛋清变性,65~90 °C 射频开始即出现变性(如图 3 所示)。

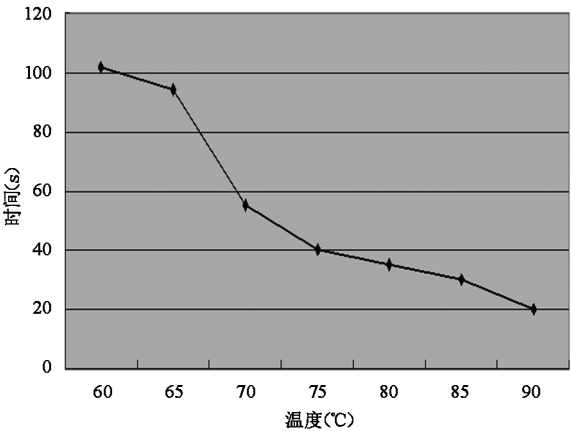


图 3 不同温度下蛋清变性达到最大体积的时间

四、不同射频时间对蛋清最大变性体积的影响

在间距为 0.25 cm 时,预设温度 75 °C,分别单次射频 60 s、单次射频 120 s 及 2 个单次射频 60 s 三种射频参数下,蛋清的变性体积分布差异有统计学意义($P<0.01$),详见表 2。

五、蛋清射频前后电阻变化

在单次射频 60 s 前后蛋清电阻变化差异无统计学意义($P>0.05$),在单次射频 120 s 前后蛋清电阻变

化差异有统计学意义($P<0.05$)。

表 2 3 种射频参数下蛋清变性体积比较

射频时间	测量次数	蛋清变性体积 (mm ³ , $\bar{x}\pm s$)
单次射频 60 s	7	90.21±0.64 ^{ab}
单次射频 120 s	7	95.08±0.53 ^b
2 个单次射频 60 s	7	92.88±0.74

注:与单次射频 120 s 比较, ^a $P<0.01$;与 2 个单次射频 60 s 比较, ^b $P<0.01$

表 3 2 种射频参数下蛋清电阻比较

射频时间	蛋清 例数	蛋清电阻(Ω , $\bar{x}\pm s$)		Z 值	P 值
		射频前	射频后		
单次射频 60 s	7	124.43±8.26	121.71±8.24	-1.57	0.12
单次射频 120 s	7	128.43±8.04	121.29±8.04 ^a	-2.37	0.02

注:与单次射频 120 s 射频前比较, ^a $P<0.05$

如图 4 所示,4 条蛋清电阻变化曲线呈现出“M”型,整体呈现随着温度升高电阻降低的趋势,在预设温度 75℃ 单次射频 60 s 后及 70℃ 时间单次 120 s 后,电阻分别出现“M”曲线双峰之间最低点。

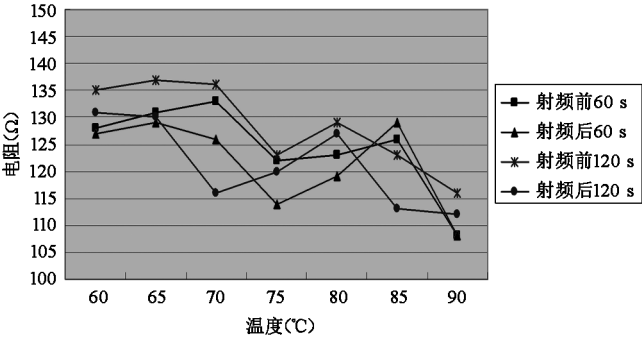


图 4 2 种不同时间单次射频参数下蛋清射频前后电阻情况

讨 论

本研究选择鸡蛋清作为研究对象,因为其理化特性与人椎间盘的类似,且有学者对其进行过相关的射频体外试验^[4]。射频电流是一种高频交流电,射频仪将射频能量通过电极尖端的裸露部分发射产生的高热温度可以使蛋白变性。本研究发现,在间距为 0.25 cm 时,使蛋清中蛋白质变性的最低射频温度为 56℃,2 个电极都存在蛋清变性现象,验证了双极射频是两电极同时产生热量,双极间距对电极的真实温度有一定影响,主电极的温度更接近预设温度,间距会增大次电极真实温度与预设温度的偏差,提示选择合适的间距(如 0.50 cm、0.25 cm)甚至更小的间距,会提高射频的实际效果。本研究电极间距在 1.00 cm 以上时,两电极产生的蛋白质变性之间无连接,而在 0.50 cm、0.25 cm 间距时两电极之间出现变性蛋白的连接现象,提示在临床操作中两电极间距设置在 0.50 cm 范围以内会增加射频范围。

本研究还发现,双极射频温度控制在 75℃,间距为 0.25 cm 时,单次射频 120 s 蛋清体积为 95.08 mm³,较单

次射频 60 s 和 2 个单次射频 60 s 明显增大,差异有统计学意义($P<0.01$),提示影响蛋白变性范围的一个重要因素是时间,射频时间越长其范围越大,但当达到其最大变性体积后,不再随时间及温度升高而变化。本研究中射频前后对蛋清的电阻变化在 60 s 时不显著,但在单次射频 120 s 后蛋清阻抗由 128 Ω 将至 121 Ω ,蛋清阻抗变化有显著差异,这说明射频可以降低蛋清的阻抗。

双极射频温度、时间、电极间距三者之间不同量效关系会产生不同热效应,在临床应用中也有学者发现腰椎间盘突出症患者经射频热凝术后的临床疗效与突出物大小变化无明显相关^[5]。姚鹏等^[6]对双侧三叉神经痛患者分别采用 70℃ 与 75℃ 进行射频热凝术,术后对其疼痛的缓解、并发症及满意度情况进行统计,发现 2 个温度均可以有效缓解原发性三叉神经痛,但 70℃ 在术后并发症及患者满意度方面均优于 75℃。这说明临床应用中不仅要注重射频靶点选择,还要控制以上三者的适宜参数,这样更能提高疗效,缩短手术时间及减少并发症。

综上所述,体外蛋清试验研究表明,双极射频是两电极同时工作,在达到蛋清变性温度后,随着时间的延长、温度的升高、两电极间距的缩短,两电极产生的蛋白变性的效率越高,但当蛋清达到最大蛋白变性体积后,时间、温度的变化对其影响不显著。由于本研究主要用蛋清进行体外试验,因此还有待于进一步的动物实验来研究双极射频干预间盘组织产生的病理学变化,而关于射频的镇痛机制及是否会激活间盘重吸收有待于进一步深入研究。

参 考 文 献

[1] 王明友,胡效坤.CT 引导下臭氧消融术治疗椎间盘突出症的临床应用[J].中国临床医学影像杂志,2008,19(11):827-828. DOI:10.3969/j.issn.1008-1062.2008.11.024.

[2] 王旭辉,张文川,李世亨,等.CT 引导下射频靶点治疗腰椎间盘突出症的临床研究[J].神经疾病与精神卫生,2009,9(3):245-247. DOI:10.3969/j.issn.1009-6574.2009.03.021

[3] 孔德文,朱巧珍,胡静君,等.CT 引导下靶点射频热凝联合臭氧消融术治疗腰椎间盘突出症[J].中国现代医学杂志,2012,22(35):76-79.

[4] 韩四勋,符明伟,高小丽.体外观察射频在不同温度下热凝范围的变化[J].中国卫生标准管理,2014,12(5):69-70. DOI:10.3969/j.issn.1674-9316.2014.12.042.

[5] 张学学,张达颖,章勇,等.椎间孔入路射频热凝术治疗腰椎间盘突出症临床疗效与突出物形态变化相关性研究[J].中国疼痛医学杂志,2011,17(7):401-403. DOI:10.3969/j.issn.1006-9852.2011.07.006.

[6] 姚鹏,王志彬,洪涛,等.不同温度射频热凝术治疗双侧三叉神经痛的对比观察[J].中国疼痛医学杂志,2017,23(1):33-38. DOI:10.3969/j.issn.1006-9852.2017.01.007.

(修回日期:2018-05-25)
(本文编辑:汪 玲)