DOI:10.16016/j.1000-5404.1979.03.018

实验报告

超短波与微波加热深度的比较

——动物实验报告——

第一附属医院理疗科　吴宗耀　魏庆书　高永成

为了探讨高温治癌的较好治疗因子，我们曾对超短波和微波加热的深度进行了一些动物实验，现将主要结果报告如下：

实验对象和方法

一、实验对象：为本校动物所饲养的成年家兔和犬，性别和体重未限。

二、加热方法：

1．微波加热：将兔或狗用3％戊巴比妥钠静脉麻醉，基本剂量1ml/kg体重，必要时补充注射。麻醉成功后使俯卧，固定之，在测温点插入感温热电偶丝。以微波辐射器对准一侧或两侧臀部进行辐射如图1。

我们选用的微波治疗机为国产的WZ—75与WL-752型，频率2450MHz，最大输出200mA，约等于150—180W。两机均用直径90mm的筒形辐射器，我们使用辐射器较小，是为了减少对全身体温的影响。

2．超短波电缆加热：采用捷克制ULTRA ENDOTHERM型超短波治疗机，波长6米，最大输出350mA，功率450W。

动物麻醉固定同前。因为狗臀的左右径约二倍于上下径，为了防止电磁能经上下径较短的距离作用于体内，故将臀部的上下均垫以布单，使上下径近于左右径。然后再绕以2—3cm厚的布单，使上下左右径均约20—22cm，用电缆绕三圈（如图2 A）。

3．超短波盘状电极加热：机器同前。将电缆盘成3—4圈的园盘，圈距3.5cm，置于臀的一侧，平行于体表，中心对准测温点(如图2 B)。电极盘与皮肤间垫以1.5cm厚的布单。

4．超短波电容器电极加热：采用国产80型超短波治疗机，频率41MC，波长约7.3米，最大输出300mA，不小于250W（如图2 C）。

三、测温方法：

采用φ0.15mm的绝缘铜丝和φ0.05mm的绝缘康铜丝配对，在末端焊接成为热电偶感温端。热电动势用FY—73型交直流放大器放大，然后用AVO-7型万用电表测量，总灵敏度为0.25℃/mm/格。在热偶丝接FY—73处置水温计测量室温，作为参考温度。曾用精度0.1℃的水银温度计校验，本测温系统有±0.2℃的随机误差。

热电偶丝用腰椎穿刺针引导，送入待测温的部位，然后拔出套针，有如肌电图线电极的引导法。

无论是兔臀或狗臀，均在脊柱两旁埋入一热偶丝，在左右皮下埋入一热偶丝。在狗臀则再在两丝中间等距离埋入两丝，两侧共埋入8丝。尽可能使各感温点在垂直于动物矢状面的同一条直线上。由于臀部加热时肛温仅代表局部温度，故在前肢肩胛骨下插入一热偶丝测温以代表体温。

结　果

一、微波加热兔臀的效果：

用微波治疗机从一侧或双侧加热兔臀，

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

测量温度，绘制线条图（本文从略）。从图中可以看出，微波加热是距离体表愈远，温度升高愈少，升温梯度很大。我们按图计算了距皮表3cm处的升温（△t3cm）与皮下升温（△t0.5cm）的比值，作为温度梯度的指标，结果如表一。

表1 微波加热兔臀的温度梯度

加热方法	实验号	△t0.5cm（℃）	△t3cm/△t0.5cm
单机	5	19.3	0.5
	9	5.5	2.0
	10	6.2	0.55
	12	11.8	0.45
	平均		0.88
双机	11左	29	0.21
	11右	8	0.83
	13左	13	0.91
	13右	11	1.23
	平均		0.80

二、微波加热狗臀的效果：

微波加热狗臀的效果均绘制成图（图3为部分结果）。按图计算了微波加热的温度梯度。不仅计算了△t3cm/△t0.5cm，△t7cm/△t0.5cm，还计算了升温半衰层（△t半衰层）。后者是指升温程度只及皮下升温一半的某点与皮下的距离，结果见表2。

表2 微波加热狗臀的温度梯度

加热方法	实验号	△t0.5cm（℃）	△t3cm/△t0.5cm	△t7cm/△t0.5cm	△t半衰层（cm）
单机	14	12	0.53	0.45	3.5
	15	12	0.62	0.42	5.2
	16a	10	0.56	0.26	2.9
	17	9	0.17		1.5
	18a	7.5	0.59	0.26	3.5
	18b	9	0.50	0.22	2.5
	19	9.5	0.91	0.40	5.7
	20	21.2	0.23	0.03	1.6
	平均		0.51	0.29	3.3
双机	16a	12.5	0.62	0.26	3.3
	21	16	0.37	0.28	2.0
	23	14.5	0.62	0.41	3.2
	平均		0.54	0.32	2.8

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

三、超短波加热的结果见图4—5。按图计算了各项指标如表3（计算以左侧数据为准）。盘状电极法由于皮下升温过多，超过了测温系统的量程，测不出准确的皮下温度，无法计算各项指标。主要是从△7cm/△t0.5cm和△t半衰层看超短波的加热深度，二者均显然优于微波。

表3 超短波加热狗臀的温度梯度

加热方法	实验号	Δt0.5cm（℃）	Δt3cm/Δt0.5cm	Δt7cm/Δt0.5cm	Δt半衰层（cm）
电容器电极	29a	1.2	3.8	3.0	>8
	30a	2.0	1.05	0.5	7
	31	5.3	1.9	0.7	>8
	平均		2.3	1.4	
电缆电极	27	4.5	1	0.83	>7.5
	28	3.0	0.8	0.77	>8
	29a	5.2	1.4	1.6	>7.5
	36	4.8	1.3	0.89	>5
	平均		1.1	1.0	

讨　论

一、关于温度测量

测量生物体内的温度必需感温元件热堕性很小，否则测不准。水银温度计无法满足这一要求，常用为热电偶或热敏电阻。二者体积都可以作成很小，热堕性可以低至1—5秒，灵敏度可以达到0.01—0.0005℃[1][2]。从临床要求来看，有0.1℃的精度已经足够，因为在一般实验和临床条件下不可控因素造成的误差远大于这个范围。我们测量的精度为±0.2℃，与实验结果的最高升温5—10℃比较，误差并不算太大。

应用热偶或热敏电阻测温都要使用一套测量电路。研究高频电，特别是研究短波或超短波电磁场的作用时，测量电路将受电磁场影响而有很大误差，甚至完全不能测温。解决的办法之一是在测量电路中串入扼流圈[1]，办法之二是测温时关闭高频治疗机[5]，我们采取了后者。这就是在超短波治疗时，测温电路既不接电源也不接感温元件。测量温度时则关闭治疗机，甚至把邻近房间的一切高频治疗机都关闭。这样效果很好，测温很稳定。由于我们测温迅速，每次9个点测温的关机时间不到一分钟，因此对超短波治疗的效果影响不大。

微波治疗时测温则比较简单，只要辐射器的方向与测温针的方向恰当，就不会破坏微波场的作用，而可以连续正确测温[6][7]。我们的经验也是如此，微波加热时连续测温的结果都比较稳定可靠。

二、微波加热的深度

微波的生物物理学特性和它的热效应已经充分研究，Schwan[3][4]曾对此作了深入的分析。微波是单向辐射，辐射能到达介质后被反射或吸收。微波能的吸收及其产热与介质的各种物理特性有关，可以精确的计算。有人按照理论计算了2450MC的微波对于肌肉组织的穿透深度（能量降至起始值的1/e的距离）为9mm，即能量降低1/2的距离为6mm[7][8][9][10]。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

但是在实际的模型和标本中测量时，衰减没有如此之大。因为介质内的热传导使温差减小而半衰层增加，加温愈久则这种变化愈明显。Ливенсон[11]以模型实测证明，2450MC的微波在肌肉中的升温半衰层较460MC的微波短一半。Lehmann[10]用化学模型证明433.92MC的微波加热20分钟后，肌肉层的升温半衰层为22mm，换算成2450MC时则为11mm左右，较理论计算（不考虑热传导因素）的6mm大些。Lehmann[7][12]又以2450MC的微波加热猪的肌肉标本，证明在肌肉层的升温半衰层开始为8—8.4mm，加热26分钟后>18mm[7]。

在活体中由于血液循环的关系，血液从温度高的组织将热带走使温差更进一步减小。加温愈久，温度愈高，则血流的这种热平衡作用愈明显[14]。Lehmann[13]用2450MC的微波加热人的股部，在加热10分钟左右时，肌肉层的升温半衰层仍近15mm左右，比模型或标本的实测值略高。继续加热到30分钟时，升温半衰层增至23mm左右。就证实了这一分析。

关于微波加热的热分布资料极多，我们这里主要引证了Lehmann等的结果，因为他们在这一方面进行了长时间的研究，前后10多年间发表了10篇以上的论文，资料比较系统，可比性较好。他们的资料也比较详尽，包括有脂肪、肌肉、骨的综合研究。我们这里只引用了肌肉部分的数据，因为我们的实验对象是狗，而我们解剖所见狗的皮下脂肪层微不足道，我们所测的结果实际上是肌肉层的结果。

我们在狗的活体上测得的升温半衰层约为30mm左右。Osborne[15]用12.2cm的微波照射狗腿，升温半衰层也是30mm，与我们的结果一致。但Ливенсон[11]在狗腿上测得的是17mm左右，Lehmann[13]在人体上测得的是23mm左右，和我们的结果相差略大。这可能是个体差异，因为所有报告的例数均不太多。

二、超短波的加热深度

超短波治疗的方法不同，作用的物理原理不同，加热的效果也就不同。

1．盘状电极的作用实际上是单向辐射，作用很浅，不过比微波深些[2]，有人记载仅5—6cm。我们和Скурихина[9]的研究结果也都证明，盘状电极加热时愈近电极愈热，温度梯度很大。

2．我们从临床实际出发比较超短波和微波的加热效果，结果表明超短波的加热深度远大于微波。以表2、3中△t7cm/△t0.5cm的比值为例，前者平均为1.4，后者平均为0.29，$P<0.001$，差异非常显著。用微波加热深度3cm以上的组织来达到治疗目的实际上不可能，因有使皮肤烫伤的危险。超短波加热的升温半衰层在7—8cm以上，人体的前后径一般也就是16—20cm左右。故可以用超短波把人体的任何一点加热升温1—4℃，而浅层组织升温不超过深部升温的二倍（未考虑脂肪层的影响。）

超短波电容器电极治疗时，高频电流可以穿透人体的任何部位，无所谓穿透深度问题，或者说穿透深度至少与波长在同一数量级[16]（体内的波长和空气中的波长不同[18]）。用41MC的超短波加热人体时，电磁能的穿透深度实际上是无限的。

但是在电极间的介质的产热多少决定于介质的电学特性和排列结构，其原理在Не-тушил[17]的著作中已经作了详细的论述。根据这种理论计算，超短波治疗时脂肪的产热总是比肌肉高[8]。电流通过脂肪进入深部以后，由于电流的扩散，深部组织的电流密度将低于浅层，因此升温也低于浅层，我们的结果也显示了这一点。但是这种衰减不是和微波一样按指数规律进行，这说明影响超短波电流分布的因素比较复杂。

3．从表3看来，△t7cm/△t0.5cm的比值在电容器法和电缆法差别不显著，$P>$

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0.5。从升温半衰层看也难以判定何法优越。考虑到电缆加热时主要是因磁感应产生涡流而生热，曾经希望用电缆法使深部含水较多的组织产热多些，而减少脂肪的过热。但是无论理论计算还是实测结果都告诉我们[3-8]，和中波比较，短波或超短波电缆加热可以减少脂肪升温对肌肉升温的比值，但该比值仍远大于1。这是因为电缆法时磁场强度还是近电缆为强，而且各圈电缆间的电容要产生电场，对于邻近的浅表的电介质加热。Скурихина[9]的结果也证实了这一点。

小　结

本文的目的在于比较高频加热时，超短波和微波何者作用更深些。经过兔和狗的实验证明，微波加热表浅，升温半衰层仅3cm左右，不可能使较深的组织利用微波加热来治疗，因有皮肤烫伤的危险。而超短波加热时，升温半衰层在中小动物身上测不出，至少在7—8 cm以上，因而实际上可以达到人体的任何深度，远优于微波。

超短波电容器法的作用深度和电缆法无明显差异，但盘状电极法则显然比较浅表而单向。

参考文献

1. 乔．阿．施敏格著，华蕴博译：生物学和医学中的电测量，141—158页，人民卫生出版社　北京　1960

2. Licht S:Therapeutic Heat, PP.21—25, Elizabeth Licht Publisher, New Haven, 1958。

3. 同上：PP.55—116

4. LeVeen HH:JAMA 236:1691,1976

5. Abramson DI,et al,:Am. J Phys Med 39:87—95, 1960。

6. Тягин НВ:Бюлл Эксперим Биол и Мед46 "8":67—70, 1958。

7. Lehmann JF, et al.:Arch Phys Med 43:69—76, 1962。

8. Schwann HP, et al.:Am J Phys Med 33:371—404, 1954。

9. Скурихна Л, А. идр: Вопр. Кур р од "3":212-215, 1962

10. Ливенсон АК:Вопр Курортол"5":434—441, 1965。

11. Lehmann JF, et al.:Arch Phys Med 56:145—151, 1975

12. Lehmnn JF, et al':Arch Phys Med 43:502—507, 1962。

13. Lehmann JF, et al.:Arch Phys Med 46:307—314, 1965。

14. Richardson AW:Am J Phys Med 33:103—107, 1957。

15. Osborne SL, et al.:JAMA 137:1036—1040, 1948。

16. A A福盖尔著，小冰译。高频电流在工业中的应用。

17. A. B. 涅图什尔等著，肖人译：介质和半导体高频加热，128—193页，国防工业出版社，北京。

18. Лезаровин ВГ| Влияние Электромагнитных лолей на обмен веществ в организме, стр12, Вища Школа Лbвов, 1978。

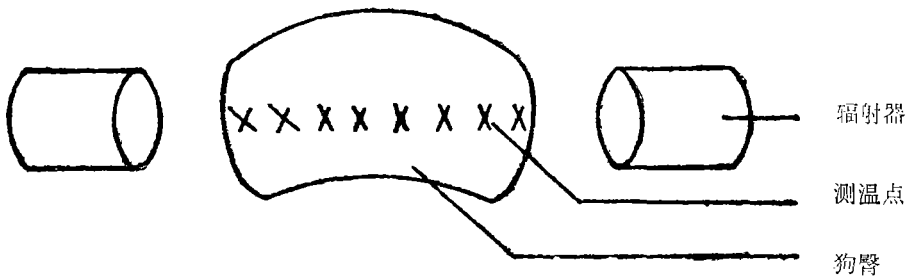
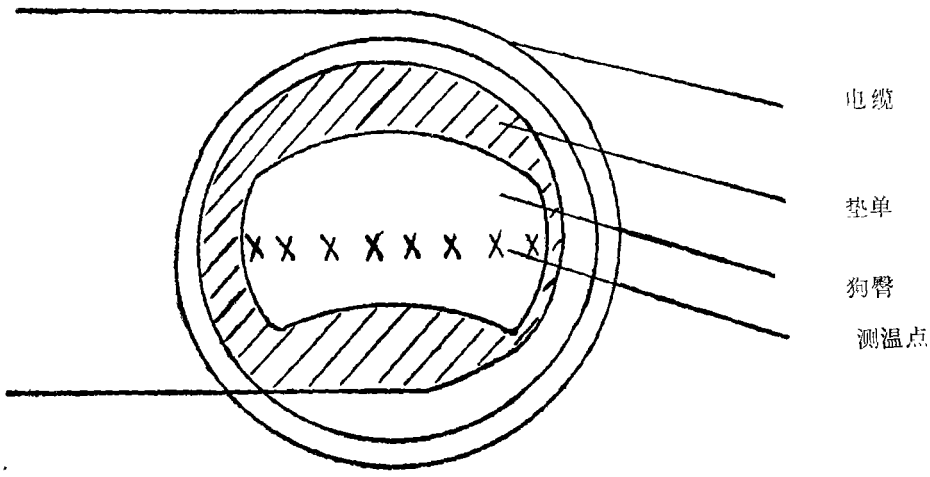
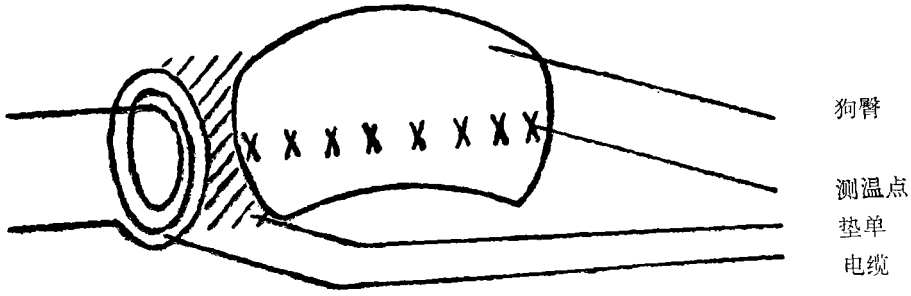


图1　微波加热的方法

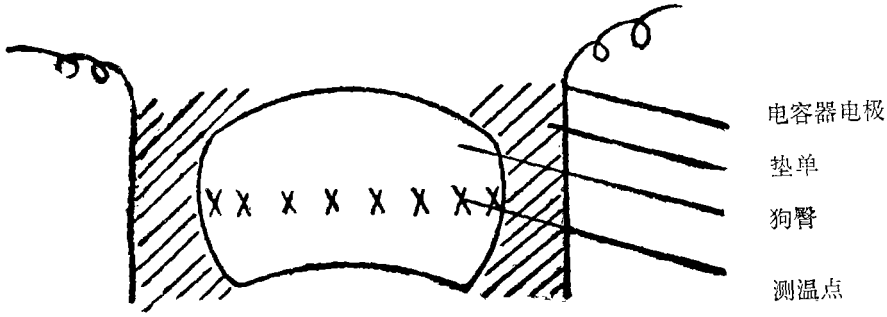
?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



A. 电缆法



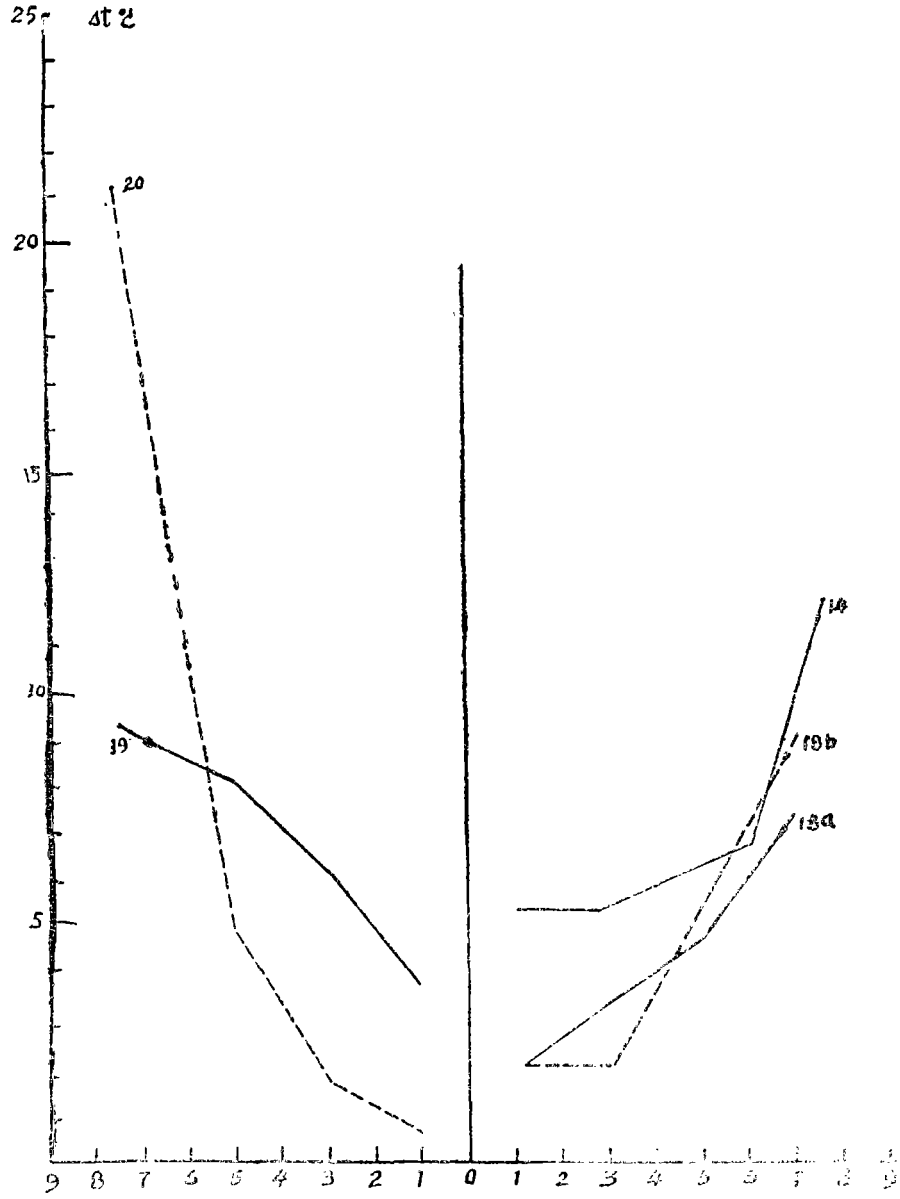
B. 盘状电极法



C. 电容器电极法

图2 超短波加热的方法

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



注明　1．注号为实验号
2．横轴为测温点与中线的距离
3．纵轴为较热处理前的增温
4．箭头为微波作用的方向

图3　微波单机加热狗臀的效果（部分实验结果）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

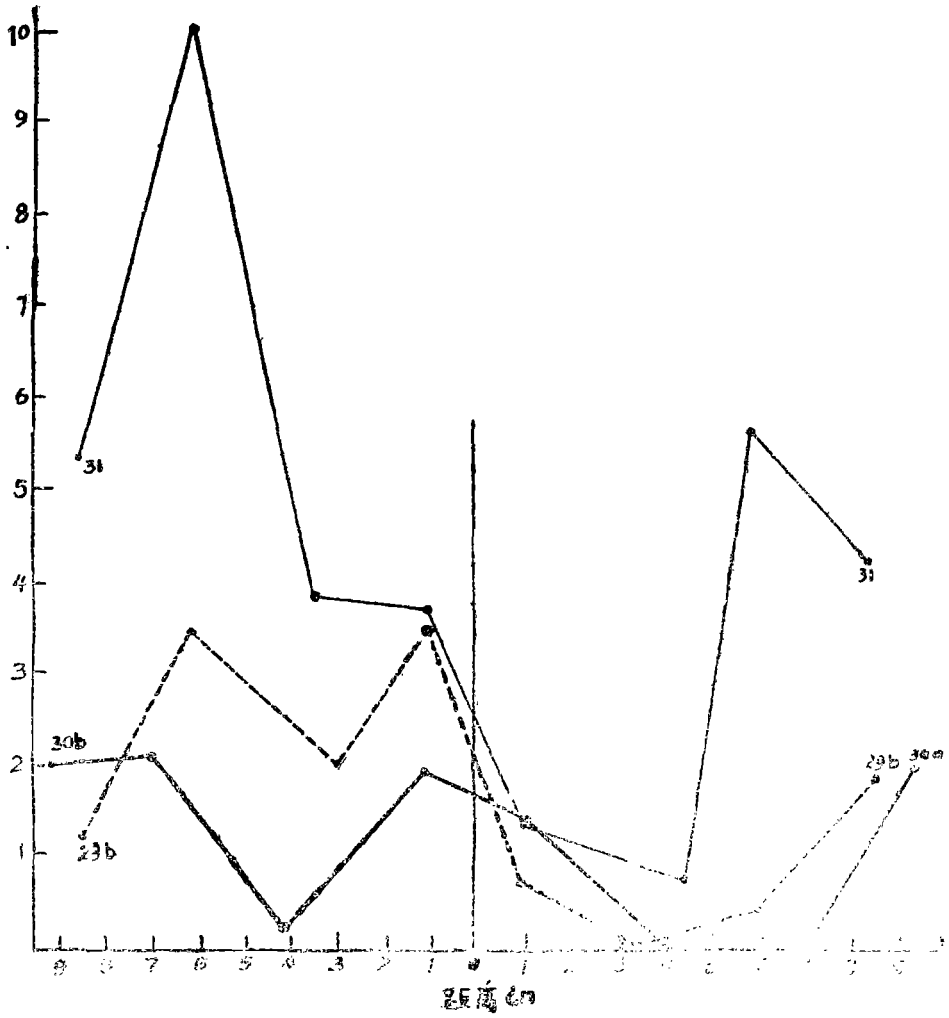


图4　电容器电极加热狗臀的效果
各项说明如图3

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

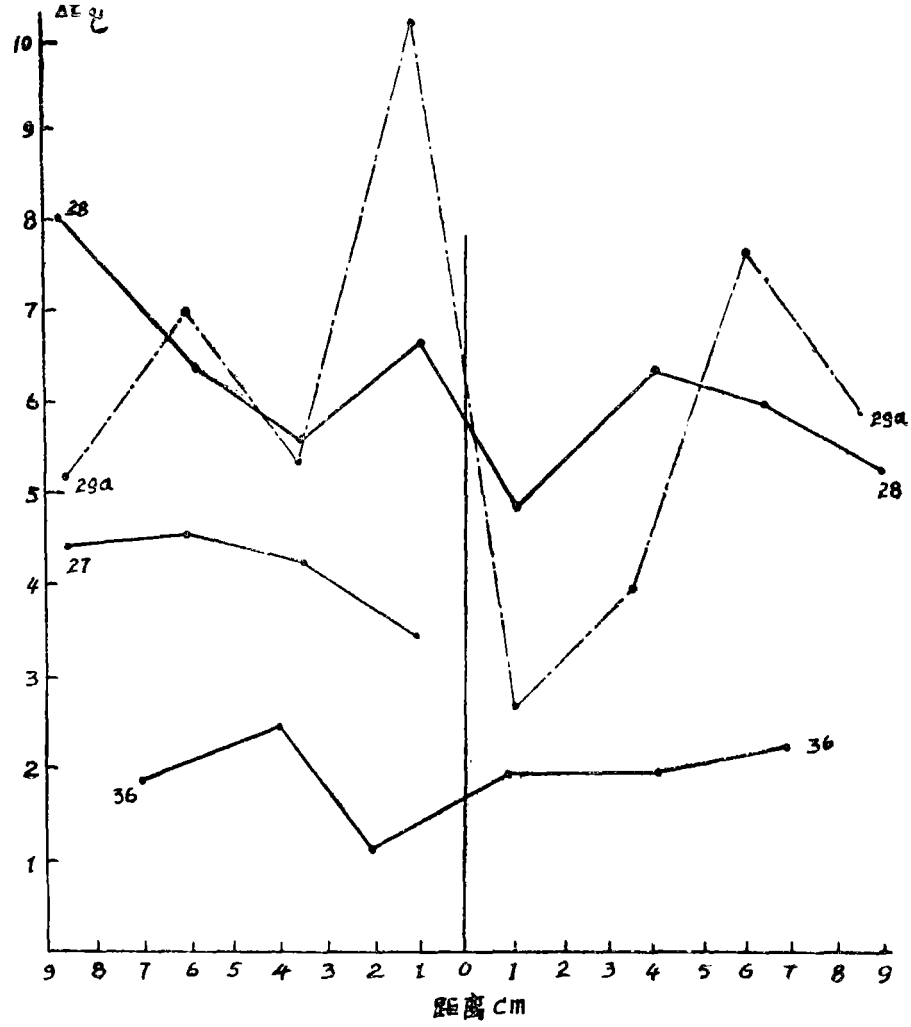


图5　电缆加热狗臀的效果
各轴线的意义同图3

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net