

· 临床研究 ·

A 型肉毒毒素对偏瘫患者上肢 Brunnstrom 运动恢复阶段的影响

徐霁华 谈跃 敖丽娟

【摘要】目的 评价 A 型肉毒毒素结合康复治疗对脑卒中后偏瘫患者上肢 Brunnstrom 运动恢复阶段及对日常生活活动能力的影响。**方法** 选取脑卒中患者 30 例,随机分为 A 型肉毒毒素组(BTXA 组)和对照组。所有患者患侧上肢 Brunnstrom 分级及 Ashworth 分级 $\geq$ II 级。BTXA 组注射 BTXA 后进行康复训练,对照组仅进行康复训练。在治疗前和治疗后 1 周,1,2,3 个月进行 Ashworth 评测以评价痉挛状态,Brunnstrom 及 Fugl-Meyer 上肢运动评测以评价运动功能恢复程度,功能独立性评测(FIM)以评价日常生活活动(ADL)能力。**结果** BTXA 组的痉挛程度较对照组显著降低($P < 0.05$),Brunnstrom 分级提高($P < 0.05$),FIM 评分无显著差异($P > 0.05$),但其 2 个月时的自理评分与对照组比较,差异有显著性意义($P < 0.05$)。治疗过程中未发现不良反应。**结论** BTXA 可缓解偏瘫上肢的痉挛状态,辅以康复治疗可以促进偏瘫患者上肢 Brunnstrom 运动恢复的等级,提高上肢运动能力和自理能力。

【关键词】 A 型肉毒毒素; 脑卒中; 上肢痉挛

The effect of Botulinum toxin type A (BTXA) on Brunnstrom stages of upper limb in stroke patients XU Ji-hua*, TAN Yue, AO Li-juan. * Department of Gerontology, the Second Affiliated Hospital, Kunming Medical College, Kunming 650101, China

【Abstract】Objective To investigate the effect of Botulinum toxin type A (BTXA) and rehabilitation intervention on upper limb Brunnstrom stages and ADL performance of stroke patients. **Methods** In a randomized controlled trial, 30 patients were allocated to either an experimental group ($n = 15$) that received BTXA injection into muscles of the affected arm or to a controlled group ($n = 15$). All patients' Brunnstrom stage and MAS stage were $\geq$ grade II. All the patients were treated with rehabilitative techniques. The intervention was applied for 3 months. All were evaluated for the severity of spasticity (Modified Ashworth Scale, MAS), the level of impairment (Brunnstrom assessment and Fugl-Meyer upper limb test) and disability (Functional Independence Measure, FIM) before and after 1 week, 1, 2, 3 months of treatment. **Results** Patients who received BTXA had significant reduction of muscle tone ($P < 0.01$). Patients in the experimental group performed better on the Brunnstrom stages and Fugl-Meyer test at the end of 2 months of treatment ($P < 0.05$). FIM score was not significantly changed, but self-care significantly improved at the end of 2 months. There were no major adverse events associated with injection of BTXA. **Conclusion** Intramuscular injection of BTXA is safe and useful in reducing spasticity of the affected arm and finger muscles in stroke patients. Combined with rehabilitation intervention, it can improve the patients' upper limb Brunnstrom stages, motor ability and self-care.

【Key words】 BTXA; Stroke; Upper limb; Spasticity

脑卒中后,患者经历一个从急性期到恢复期的过程。根据 Brunnstrom 分级,偏瘫肢体的运动恢复过程分为 6 个等级。提高 Brunnstrom 运动恢复阶段等级是脑卒中康复的重点。应用 A 型肉毒毒素(botulinum toxin type A, BTXA)治疗痉挛性偏瘫已有报道,但疗效不一。肉毒毒素治疗对脑卒中后 Brunnstrom 运动恢复阶段的影响如何,能否缩短运动恢复过程尚需临床证实。为此,我们对 15 例 Brunnstrom II 级及 Ashworth 分级达 II 级(或以上)的脑卒中偏瘫患者的痉挛上肢进

行 A 型肉毒毒素注射治疗及康复训练,并随访 3 个月,以观察其安全性和有效性。

资料与方法

一、一般资料

30 例脑卒中患者全部符合 1995 年全国脑血管病诊断标准^[1],并经 CT 或 MRI 证实。其中男 25 例,女 5 例;年龄 38 ~ 75 岁,平均(58.07 ± 8.07)岁;脑梗死 10 例,脑出血 20 例。所有患者患侧上肢 Brunnstrom 分级及 Ashworth 分级 $\geq$ II 级。排除妊娠者,有过敏反应或哮喘史、严重肝肾功能不全、注射部位感染、近 1 周内

作者单位:100020 北京,北京朝阳医院神经内科(徐霁华);昆明医学院第二附属医院老年病科(谈跃),康复医学科(敖丽娟)

使用某些加重神经肌肉接头传递障碍的药物(如奎宁、氨基糖甙类抗生素、吗啡等)、重症肌无力、Lambert-Eaton 综合征、运动神经元病等患者,上肢肌挛缩严重者,服用抗痉挛药物或曾注射过酚、酒精者,有严重认知障碍及精神障碍者。将 30 例患者随机分为 BTXA 组与对照组。对照组 15 例,其中男 12 例,女 3 例;年龄 49~68 岁,平均(59.07 ± 9.37)岁;脑梗死 6 例,脑出血 9 例;伴发疾病、既往疾病评分分别为(4.13 ± 2.13)分与(4.93 ± 1.22)分,患侧上肢痉挛肌肉数共为 35 块。BTXA 组 15 例,其中男 13 例,女 2 例;年龄 44~75 岁,平均(57.47 ± 7.83)岁;脑梗死 44 例,脑出血 11 例;伴发疾病、既往疾病评分分别为(3.40 ± 1.72)分与(4.33 ± 2.09)分,患侧上肢痉挛肌肉数共为 37 块。2 组比较,差异无显著性意义($P > 0.05$)。BTXA 组采用注射 BTXA 治疗与康复训练,对照组仅进行康复训练。

二、康复评价

2 组在治疗前,治疗后 3 d、1 周、1 个月、2 个月、3 个月采用改良的 Ashworth 分级(modified ashworth scale, MAS)评定痉挛状态^[2],Brunnstrom 及 Fugl-Meyer 上肢运动评测评定运动恢复程度^[3],功能独立性评测(functional independence measure, FIM)评定日常生活活动(activities of daily living, ADL)能力。

三、注射方法

BTXA 为卫生部兰州生物制品研究所研制的冻干结晶毒素,每安瓿含 110 U 或 50 U,注射时以生理盐水稀释为每 0.1 ml 含 5 U 的 BTXA,药物应于使用当天配制,避免过期,配制时避免产生气泡,否则会损失其效力。

注射肌肉包括肱二头肌、肱肌、桡侧腕屈肌、尺侧腕屈肌、指浅屈肌/指深屈肌、拇长屈肌、掌长肌、旋前圆肌。根据部位不同,每块肌肉注射剂量为 25~75 U,每次共注射 1~5 块肌肉。常规碘酒酒精消毒后,每点注射 0.2 ml,并观察患者注射前、后的生命体征变化及有无毒副反应。每块肌肉的注射剂量及总剂量由靶肌的大小及痉挛程度决定,药物剂量个体化,从小剂量开始。一般由助手帮助患者将肢体摆放为痉挛肌肉最为突出的体位,选择痉挛最明显部位进针,并确定注入受累肌肉。如有必要,可在 1 周内补充注射,但每次注射总剂量不得超过 400 U。每个患者的注射剂量参考兰州生物制品研究所王荫椿教授提供的剂量标准及 Brin 等^[4]总结的成人参考剂量。

四、康复训练

采用 Bobath 方法、Brunnstrom 方法、神经肌肉本体促进法(proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF)、Rood 方法、运动再学习和 ADL 训练。康复训练每次

30~60 min,每日 1~2 次。所有患者康复训练至少持续 3 个月。

五、统计学分析

所有计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 10.0 统计软件包进行统计分析,计量资料方差齐者进行 t 检验或方差分析,方差不齐者进行非参数检验,等级资料采用 χ^2 检验或秩和检验。

结 果

一、2 组患者治疗前、后患侧上肢痉挛状态的变化

2 组患者在治疗后患侧上肢肌肉的痉挛状态都有所改善,BTXA 组在注射后 1 周即出现显著差异,疗效至少持续 3 个月,以 2 个月末时疗效最为显著,尽管在 3 个月时其痉挛程度有所回升,但与注射治疗前比较,差异仍有显著性意义;对照组在治疗后 1 周时痉挛状态无改变,在 1 个月左右出现显著差异,其疗效持续 3 个月,并呈持续降低的趋势,但其降低的趋势较 BTXA 组缓慢(表 1)。

表 1 2 组患者治疗前、后患肢痉挛状态的变化(例)

组 别	痉挛肌肉数	MAS 等级				
		0	I	I ⁺	II	III
BTXA 组	37					
治疗前		0	0	0	21	16
治疗 1 周后 [*]		0	0	10	23	4
治疗 1 个月后 ^{*△}		0	4	21	12	0
治疗 2 个月后 ^{*△△}		0	11	18	8	0
治疗 3 个月后 ^{*△}		0	6	24	7	0
对照组	35					
治疗前		0	0	0	23	12
治疗 1 周后		0	0	5	23	7
治疗 1 个月后 [*]		0	2	7	26	0
治疗 2 个月后 [*]		0	2	10	23	0
治疗 3 个月后 [*]		0	2	17	15	1

注:与治疗前比较,^{*} $P < 0.01$;与对照组比较,[△] $P < 0.05$,^{△△} $P < 0.01$

二、2 组患者治疗前、后患侧上肢和手的 Brunnstrom 分级的变化

1. 治疗前、后 2 组患者患侧上肢 Brunnstrom 分级的变化:2 组患者在治疗后 1 周时其患侧上肢的 Brunnstrom 分级均无改变。BTXA 组在治疗 1 个月其患侧上肢 Brunnstrom 分级与治疗前比较,差异有显著性意义($P < 0.05$),而在 2 个月末时差异有极显著性意义($P < 0.01$),3 个月末时差异仍有显著性意义($P < 0.05$),但较 2 个月末时统计学差异降低。表明在采用注射 BTXA 治疗和康复训练 2 个月末时 Brunnstrom 的运动恢复阶段的改善最为显著,其疗效至少持续 3 个月。对照组 Brunnstrom 分级在治疗后 1,2 个月时与治疗前比较,差异无显著性意义

($P > 0.05$), 仅在 3 个月末时差异才有显著性意义 ($P < 0.05$), 表明康复训练对上肢 Brunnstrom 运动恢复阶段的影响在 3 个月末时出现。BTXA 组与对照组比较, 在 2 个月末时差异有显著性意义 ($P < 0.05$), 表明在 2 个月末时 BTXA 组的疗效较对照组明显 (表 2)。

表 2 2 组患者治疗前、后患侧上肢 Brunnstrom 分级变化 (例)

组 别	例数	Brunnstrom 分级					
		I	II	III	IV	V	VI
BTXA 组	15						
治疗前		0	6	8	1	0	0
治疗 1 周后 *		0	6	8	1	0	0
治疗 1 个月后 *		0	2	11	2	0	0
治疗 2 个月后 ** Δ		0	1	12	2	0	0
治疗 3 个月后 ** Δ		0	1	11	3	0	0
对照组	15						
治疗前		0	7	7	1	0	0
治疗 1 周后		0	7	7	1	0	0
治疗 1 个月后		0	7	6	2	0	0
治疗 2 个月后		0	5	8	2	0	0
治疗 3 个月后 *		0	4	8	3	0	0

注: 与治疗前比较, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; 与相应对照组比较, $\Delta P < 0.05$

2. 治疗前、后 2 组患者患侧手的 Brunnstrom 分级变化: 2 组患者在治疗后 1 周时其手的 Brunnstrom 分级均无改变。BTXA 组在治疗后 2 个月末其手的 Brunnstrom 分级与治疗前比较, 差异有显著性意义 ($P < 0.05$), 3 个月末时差异虽无显著性意义 ($P > 0.05$), 但较治疗 1 个月末时有一定程度的改善。表明采用注射 BTXA 治疗和康复训练仅在 2 个月末时手的 Brunnstrom 的运动恢复阶段有改善。对照组在治疗后 1, 2, 3 个月时与治疗前比较, 差异均无显著性意义 ($P > 0.05$), 表明康复训练对手的 Brunnstrom 运动阶段恢复的影响不显著 (表 3)。

表 3 2 组患者治疗前、后患侧手的 Brunnstrom 分级变化 (例)

组 别	例数	Brunnstrom 分级					
		I	II	III	IV	V	VI
BTXA 组	15						
治疗前		2	6	4	3	0	0
治疗 1 周后		2	6	4	3	0	0
治疗 1 个月后		1	7	4	3	0	0
治疗 2 个月后 *		0	7	4	4	0	0
治疗 3 个月后		0	6	4	5	0	0
对照组	15						
治疗前		3	5	5	2	0	0
治疗 1 周后		3	5	5	2	0	0
治疗 1 个月后		3	5	5	2	0	0
治疗 2 个月后		3	5	4	3	0	0
治疗 3 个月后		2	6	4	3	0	0

注: * 与治疗前比较, $P < 0.05$

三、2 组患者治疗前、后患侧上肢 Fugl-Meyer 评分的变化

2 组患者在治疗 1 周后与治疗前比较, 差异有显著性意义 ($P < 0.05$), 治疗后 1, 2, 3 个月与治疗前相比, 差异有显著性意义 ($P < 0.01$)。表明注射 BTXA 治疗和康复训练共同作用于患者或单纯康复训练都可以改善患者的运动功能。BTXA 组与对照组比较, 仅在注射后 2 个月末时差异有显著性意义 ($P < 0.05$), 而其他时间段相比, 差异无显著性意义, 表明在 2 个月末, BTXA 组运动功能改善较对照组显著 (表 4)。

四、2 组患者治疗前、后 ADL 能力的变化

BTXA 组和对照组与治疗前比较, 在治疗后 1 周差异无显著性意义, 治疗后 1, 2, 3 个月差异均有显著性意义 ($P < 0.01$), 表明注射 BTXA 治疗和康复训练共同作用和单纯康复训练都可以提高日常生活活动能力。BTXA 组和对照组比较, 在治疗后 1 周和 1, 2, 3 个月均无显著性差异 ($P > 0.05$) (表 5)。

表 4 2 组患者治疗前、后患侧上肢 Fugl-Meyer 评分变化 (分, $\bar{x} \pm s$)

组 别	例数	治疗前	治疗 1 周后	治疗 1 个月后	治疗 2 个月后	治疗 3 个月后
BTXA 组	15	13.73 $\pm$ 9.81	14.73 $\pm$ 10.11 *	23.60 $\pm$ 10.77 **	32.27 $\pm$ 10.42 ** Δ	35.86 $\pm$ 9.57 **
对照组	15	13.13 $\pm$ 10.13	13.73 $\pm$ 9.92 *	20.53 $\pm$ 10.34 **	24.07 $\pm$ 10.79 **	30.27 $\pm$ 11.33 **

注: 与治疗前比较, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; 与对照组比较, $\Delta P < 0.05$

表 5 2 组患者治疗前、后 FIM 评分及自理能力评分的变化 (分, $\bar{x} \pm s$)

组 别	例数	FIM 评分				
		治疗前	治疗 1 周后	治疗 1 个月后	治疗 2 个月后	治疗 3 个月后
BTXA 组	15	66.53 $\pm$ 26.94	68.20 $\pm$ 27.17	81.47 $\pm$ 23.27 **	89.00 $\pm$ 22.18 **	93.27 $\pm$ 19.16 **
对照组	15	69.40 $\pm$ 13.28	70.07 $\pm$ 12.96	83.40 $\pm$ 11.21 **	90.66 $\pm$ 9.41 **	93.07 $\pm$ 9.21 **
组 别	例数	自理能力评分				
		治疗前	治疗 1 周后	治疗 1 个月后	治疗 2 个月后	治疗 3 个月后
BTXA 组	15	18.20 $\pm$ 7.64	19.40 $\pm$ 8.06	25.27 $\pm$ 6.87 **	29.67 $\pm$ 6.79 ** Δ	31.47 $\pm$ 6.41 **
对照组	15	16.66 $\pm$ 4.79	17.13 $\pm$ 4.52	22.53 $\pm$ 4.40 **	25.47 $\pm$ 3.56 **	28.93 $\pm$ 3.59 **

注: 与治疗前比较, ** $P < 0.01$

FIM 评定分为自理、大小便控制等 6 项内容,而与上肢和手密切相关的为自理项,因此评分单独列出。BTXA 组和对照组比较,在治疗前,治疗后 1 周、1 个月、3 个月差异均无显著性意义,仅在 2 个月末差异有显著性意义 ($P < 0.05$)。表明在 2 个月末时,注射 BTXA 治疗和康复训练共同作用 2 个月末时疗效较单纯康复训练显著。BTXA 组和对照组治疗后 1 周、1 个月、2 个月、3 个月分别和治疗前比较,差异均有显著性意义。表明注射 BTXA 治疗和康复训练共同作用或单纯康复训练对患者自我护理方面的疗效是显著的。

五、副作用

所有患者均可耐受 BTXA 的注射治疗,未出现不良反应。心电图、肝、肾功能、三大常规均未见明显改变。

讨 论

肉毒毒素 (botulinum toxin, BTX) 是迄今为止最强的神经毒素。它是由革兰氏阳性厌氧肉毒梭状杆菌产生的一种外毒素。根据其抗原的不同,分为 A、B、C₁、C₂、D、E、F、G 共 8 型。它们具有相似的结构和分子量。各型 BTX 神经毒素均由一条单一的多肽链组成,具有相似的分子量 (约为 150 000),由内源或外源性蛋白水解酶将其切割为双链而显示其毒性。临床上广泛应用的是 A 型肉毒毒素。1989 年 Das 等^[5]第一次使用肉毒毒素治疗中枢神经系统受损引起的继发性肌强直后,相继有报道肯定了其在脑卒中、脑损伤后肌痉挛、肌强直中的治疗作用。

根据 Brunnstrom 的运动恢复阶段理论,将运动恢复分为弛缓、联带运动、协同运动、部分分离运动、分离运动和正常运动 6 个阶段。实际上是运动模式的质变过程。此过程的转换因病因、个体及诸多因素的影响而时限不一。痉挛是影响随意运动的主要因素,减轻痉挛,尽可能地缩短运动恢复过程,是促进患者运动功能康复的关键。有研究指出^[6],注射 BTXA 治疗结合康复训练使患者 Brunnstrom 分级、Fugl-Meyer 评分较对照组显著提高,但仅在恢复期时提高。我们的研究表明,注射 BTXA 治疗对上肢痉挛状态有所改善,以注射后 2 个月时疗效最为明显,至少持续 3 个月,与对照组比较,痉挛改善出现的时间早,联合康复训练,疗效更为明显。可以认为,注射 BTXA 治疗对缩短 Brunnstrom 的运动恢复过程有促进作用。上肢 Fugl-Meyer 评分表明,注射 BTXA 治疗和康复训练较单独康复训练改变更为显著。FIM 评定除一般的生活活动能力外,还包括认知功能方面的评价,可反映患者整体的 ADL 能力。在治疗前、后,组内比较差异有显著性意义,但 BTXA 组与对照组比较差异无显著性意义,表明 FIM 对上肢活动能力的评价并不敏感。而自理部分的评分出现统计学差异,差异性最

明显的表现在 2 个月后,疗效至少持续 3 个月。BTXA 注射可使上肢痉挛程度在 1 周后缓解,如此时结合康复训练,可以较好地提高其上肢的活动能力。通过对痉挛的控制,可以促进患者日常生活活动能力恢复的进程,并缩短其住院时间及费用。

注射 BTXA 治疗痉挛的剂量及量效关系目前尚无统一标准。Bakheit 等^[7]在对 82 例脑卒中患者的随机、双盲、安慰剂对照的研究中,采用 500 U、1 000 U 和 1 500 U 的 Dysport (1U BOTOX = 3-5U Dysport) 进行治疗,结果表明其最适剂量为 1 000 U。但多数文献建议药物剂量个体化,从小剂量开始,根据受累靶肌的多少和痉挛程度而定。国外学者多应用肌电图引导以准确定位和检测注射肌肉。国内较少使用。本研究是由助手帮助患者将肢体摆放为痉挛肌肉最为突出的姿势,选择痉挛最明显部位进针,并确实注入受累肌肉内。因上肢肌肉较小且分层多,注射时有时不能分清单块肌肉,多以肌群为单位进行注射。一般采用多点注射,使 BTXA 可以很快结合到局部而对邻近组织没有影响或不引起全身毒性,既安全又高效。当药物的直接反应消失后 (多为 3 个月),可以考虑重复注射。Lagalla 等^[8]重复注射治疗上肢痉挛,尽管每次注射的平均剂量并无明显改变,但每次注射间期延长,共观察 2~3 年,疗效无进行性减低。本研究中有 2 例患者在治疗后 1 周内重复注射,主要是因为患者第一次注射包括上肢和下肢痉挛肌肉,位点较多,1 周后其疗效明显,故重复注射以加强疗效。

不同患者因病因、病变性质、部位和个人的恢复潜力差别很大,因此有的患者可能停滞在 Brunnstrom 分级的某一阶段而很长时间不再进展。本研究中尽量排除了来自外界的干扰因素,如年龄、病变部位等,但并未做到完全统一。本研究把痉挛作为主要因素进行研究,可能并不全面,而且样本量相对较少,因此,有待于进一步扩大样本量及相关研究因素。我们的研究为脑卒中后偏瘫肢体痉挛状态的治疗及促进运动功能恢复进程提供了一个更新、更合理的治疗方案,为 BTXA 更好地应用于脑卒中后康复提供了依据。

参 考 文 献

- 1 中华医学会. 各类脑血管疾病诊断要点. 中华神经科杂志, 1996, 29: 379-380.
- 2 Anthony BW. Assessment of muscle tone. Age Ageing, 2000, 29: 385-386.
- 3 谈跃, 任惠, 主编. 脑卒中现代临床与康复. 昆明: 云南科学技术出版社, 1999. 49-52.
- 4 Brin MF. Dosing, Administration, and a treatment algorithm for use of botulinum toxin A for adult-onset spasticity. Muscle Nerve, 1997, 6: 208.
- 5 Das TK, Park DM. Effect of treatment with botulinum toxin on spasticity. Postgrad Med J, 1989, 65: 208-210.
- 6 Hilde MF, Willy JD, Beat ES, et al. Effect of a therapeutic intervention

for the hemiplegic upper limb in the acute phase after stroke a single-blind, randomized, controlled multicenter trial. Stroke, 1998, 29: 785-792.

7 Bakheit AMO, Thilman AF, Ward AB, et al. A randomized double-blind placebo-controlled, dose-ranging study to compare the efficacy and safety of three doses of botulinum toxin type A (dysport) with placebo in upper limb spasticity after stroke. Stroke, 2000, 31: 2402-2406.

8 Lagalla G, Danni M, Reiter F, et al. Post-stroke spasticity management with repeated botulinum toxin injections in the upper limb. AM J Phys Med Rehabil, 2000, 79: 377-384.

(修回日期:2004-06-16)
(本文编辑:郭正成)

· 短篇论著 ·

微波治疗中的温度检测

冯辰生 潘英俊 周大秋 吴芳

在微波治疗中,温度的检测和控制非常重要。当采用热电偶测温时,会在测温电路上形成干扰电压,引起测量误差,因此必须采取相应的措施排除电磁干扰。为了有效地减轻微波对热电偶的干扰,我们设计了一种改进型温度传感器——双屏蔽层热电偶,报道如下。

一、材料与方法

试验一:用水做负载,分别用不加屏蔽层的热电偶、加单屏蔽层的热电偶和加双屏蔽层的热电偶进行实验。不同功率下,在微波场中采用热电偶测量温度(A),关闭微波源后用水银温度计测量实际温度(B)。如图1所示,杯中盛水,读出热电偶在微波场中所测温度值,然后迅速关闭微波源,从插入的水银温度计上读出此时热电偶所处位置的水温(打开微波源时应拿出水银温度计)。

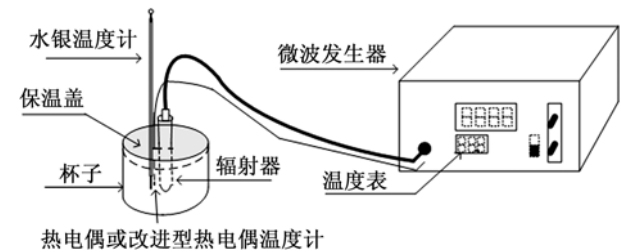


图1 实验装置示意图

试验二:用空气作为负载,将单层屏蔽热电偶和双层屏蔽热电偶紧贴辐射器侧壁放置,记录关闭微波源前、后的温度值A和B,温度值相差越小说明所受微波场干扰越小。

二、结果

以水或空气作负载时,不同功率下所测温度值的比较见表1和表2。

三、讨论

从表1数据可知,负载为水时,无屏蔽热电偶所测温度A均比实际温度B高,差值最大达1.15℃。其主要原因在于微波场中的无屏蔽热电偶可产生很强的干扰电流,导致测量值产生误差。而单层屏蔽热电偶所测的温度A与实际温度B相差的最大值不超过0.25℃,双层屏蔽热电偶所测的温度差最大不超过0.1℃。空气为负载时,单层屏蔽热电偶所测的温度A与温度B的差值最大可达0.6℃,而双层屏蔽热电偶的温差则不大

于0.2℃。我们采用的改进型温度传感器为双层金属屏蔽层,可使透射入的电磁波在屏蔽层内传播时继续衰减。由于外界媒质和金属交界面的阻抗不连续,尚未衰减完的剩余电磁波传播到屏蔽层的另一个界面时可产生反射,这种反射在屏蔽层两个界面间可重复多次。经过双层屏蔽层的衰减,能干扰内部热电偶传感器的电磁波已经很弱,可抵抗微波的干扰。因此,我们认为双层屏蔽热电偶无论以水还是空气作为负载,都能较好地屏蔽微波的干扰。

表1 水作负载时不同功率下所测温度值比较(℃)

无屏蔽热电偶			
功率(W)	温度A	温度B	差值
26	28.7	28.20	0.50
35	29.3	28.55	0.75
44	29.9	29.10	0.80
51	30.2	29.40	0.80
65	30.9	29.75	1.15

单层屏蔽热电偶			
功率(W)	温度A	温度B	差值
27	28.0	27.75	0.25
36	28.9	28.85	0.05
42	29.8	29.70	0.10
50	30.9	30.80	0.10
67	31.8	31.55	0.25

双层屏蔽热电偶			
功率(W)	温度A	温度B	差值
29	27.7	27.70	0
35	28.7	28.75	0.05
43	29.7	29.60	0.10
51	30.6	30.62	0.02
68	31.7	31.62	0.08

表2 空气作负载时不同功率下所测温度值比较(℃)

单层屏蔽热电偶				双层屏蔽热电偶			
功率(W)	温度A	温度B	差值	功率(W)	温度A	温度B	差值
26	29.9	29.9	0	13	29.0	29.0	0
38	30.6	30.3	0.3	24	29.4	29.4	0
47	31.3	31.0	0.2	47	30.0	29.9	0.1
55	32.8	32.2	0.6	56	30.2	30.1	0.1
71	33.0	32.5	0.5	77	32.5	32.3	0.2

(修回日期:2004-03-25)
(本文编辑:吴倩)