• 综 述 •

微波对生殖危害研究的进展

上海医科大学劳动卫生学教研室 金锡鹏 王 英

微波是指波长为1米的电磁波,通常为分米波、厘米波和毫米波的统称(300~300 000MHz兆赫)。微波广泛地应用于天文、航天、航海导航、探测、通讯、高能物理、工业、农业、医疗卫生等领域,微波能应用亦已进入家庭环境,如微波炉。第二次世界大战期间西方学者已开始注意微波对军事人员影响的观察,50年代苏联科学工作者发现从事微波工作的人员大多数有神经衰弱综合征,从此围绕着微波的生物效应展开了一系列的研究。研究表明,长期接触较大强度*的微波可引起中枢神经衰弱综合征,早期还可出现血压波动、窦

性心律不齐,大强度较长时间接触可引起眼晶状体改变以及生殖、内分泌系统的一系列变化。近年来对微波的生殖危害研究引起了国内外学者的关注。本文就近年来微波对生殖危害的研究概况作以介绍。

一、微波对实验动物和人体影响的研究

1. 动物实验

(1) 对生殖细胞的影响 各国学者对动物的生殖细胞进行了致突变和致畸等众多试验(表1)。一般认为当微波引起组织发热到一定程度时,可损伤睾丸精曲小管,从而影响精子的生成。

表 1 微波对动物生殖细胞的影响^(1,2)

实验动物	实验条件	实验结果	作者
雄性小鼠	2450MHz, 30分 SAR**; 44w/g	精子计数显著下降, 异形精子数明显上升, 以照射后1~2周变化最大, 精子异常导致受孕率下降, 但不影响着床前后生存力	Kowalczyk (1983)
雄性小鼠(精子)	2450MHz, 30分	致突变(-)	Saunders(1983)
雄性大鼠	2450MHz 28mw/cm ²	生殖细胞致突变(-) 有暂时性不育	Berman (1980)
雄性小鼠 (生殖细胞)	2450MHz, 30分/天 10mw/cm ² , 40mw/cm ²	精细胞染色体畸变(-)	Beechey (1986)
雄性大鼠 (精子)	1.3GHz 脉冲式 SAR: 7.7w/g→精曲小管温度40°C, 各级精细胞计数显著下降 4.2w/g→精曲小管温度<38°C, 各级精细胞计数无变化		Lebovitz(1987)

**SAR: 比吸收率, 表示单位重量组织中吸收微波的能量

(2) 对受精及胚胎发育的作用 一般认为胚胎的散热作用较弱, 但微波对受精卵和胚胎发育作用并不十分显著(表2), 大多数学者认为微波辐射对受精卵和胚胎发育的作用很大程度受辐射强度的影响。

(3) 微波对动物妊娠结局的影响 微波对动物妊娠结局影响的研究内容包括致畸作用、胚胎发育、胚胎存活状况和出生后的体重及神经系统功能等方面的变化。表3列出了微波对动物妊娠结局影响的研究结果, 实验所用的频率多为915MHz和2450MHz的微波加热用频段, 功率密度均大于美国现行卫生标准的10mw/cm², 可见上述所见的阳性结果都在超生理负荷状况下进行。

2. 人的资料

微波对人体生殖功能的影响早在50年代就引起了人们的高度重视。Rubin(1959)、Cocoza(1960)提出接触微波的女性有可能引起流产, 但均缺乏现场的测定资料, 调查结果也未很好进行统计处理。Marha(1971)认为接触微波的女工有月经周期的改变, 出生的胎儿发育迟缓并有先天性缺陷, 母亲有乳汁分泌减少现象, 可是这一调查报告未设立对照组, 可信度较差。

* 通常用功率密度(毫瓦/平方厘米或微瓦/平方厘米)衡量微波照射的强度

表2 微波对动物受精卵和胚胎发育影响的研究^(3~5)

实验动物	实验条件	实验结果	作者
CD-1雌性小鼠	2450MHz		
(妊2~3天)	9mw/cm ²	→环境温度38°C, 着床前胚胎发育未受影响	Jnouye (1982)
	19mw/cm ²	→环境温度>38°C, 着床前胚胎发育受影响	
大鼠	6000MHz		Jensh (1984)
	35mw/cm ²	胚胎发育迟缓	
SD ₁ 大鼠	2450MHz		Berman (1981)
(妊6~15天)	28mw/cm ²	受孕力正常, 无死胎、死产、胎仔各系统发育正常, 胎仔体重正常	
小鼠	2450MHz		Berman (1984)
(妊6~17天)	28mw/cm ²	胎仔各系统发育异常, 低出生体重仔, SAR: 16.5w/kg 脑发育异常	
小鼠	2450MHz		Chazan (1983)
(妊娠全过程)	10mw/cm ²	→无异常	
	40mw/cm ²	→胚胎发育严重异常, 胎儿出血, 胎儿死亡增加	
CD-1小鼠	2450MHz		Nawrot (1981)
妊1~15天	5mw/cm ² , SAR: 67mw/g	→无异常	
妊1~6天	21mw/cm ² , SAR: 28.4mw/g	→着床位点减少, 胎仔体重下降	
妊8~15天	30mw/cm ² , SAR: 40.2mw/g	→胎仔畸形增加(腭裂)	
妊1~6天	普通加热, 肛温升高2.3°C	→母鼠体重下降	
妊6~15天			

表3 微波对动物妊娠结局影响的研究^(6,7)

实验动物	实验条件	实验结果	作者
大鼠	915MHz 10mw/cm ²	致畸试验均为(-)	Jensh
	2450MHz	胚胎毒作用(-) 致畸(-)	(1982~1984)
	20mw/cm ²	胎仔体重, 胎仔各器官重量均正常	
	6000MHz 35mw/cm ²	胚胎发育迟缓	
CD-1小鼠	2450MHz	胚胎死亡增加	Nawrot
	30mw/cm ²		(1985)
(妊1~5天)	SAR: 40.2mw/g		
CD-1小鼠	2450MHz		Berman
(妊6~17天)	28mw/cm ²	胎仔出生体重下降	(1982, 1984)
SD大鼠	2450MHz	胸骨发育迟缓	
(妊6~15天)	40mw/cm ²		
大鼠	2450MHz	胎仔神经行为受影响	Jensh
	20mw/cm ²		(1983)
小鼠	2450MHz	胎仔羊红细胞、淋巴细胞增加, 但杀伤细胞活性不受影响	Smialowicz
(妊6~18天)	28mw/cm ²		(1982)
猴	2450MHz	胚胎期→脑浦金野细胞不可逆影响	Albert
	10mw/cm ²	产后一段时间→脑浦金野细胞可逆影响	(1981)
大鼠	2450MHz	体温调节中枢受影响	Donald
(出生后6~7天胎仔)	5mw/cm ²		(1987)

Rosenthal (1968)⁽⁸⁾报告了一名经常开机修理气象雷达的工人(31岁),在修理雷达发射机时未穿着防护服,全身有温热感觉而未见烧灼征象。工作两年后主诉不育。去医院检查,发现精子数目减少,次年又作睾丸活组织检查,发现精原细胞减少并有精曲小管萎缩,间质水肿,支持细胞和间质细胞完整无缺,提示支持和营养各期精细胞的功能和雄性激素分泌状态正常。尿中测定17-酮、17-羟甾类激素和促性腺激素在正常范围,染色体核型分析未见异常。病人住院两月,出院后疗养3月,精子数目上升,至第5月恢复。病人自觉全身状况佳,无性欲异常。四年后复诊,实验室检查全部正常,但病人拒绝再作睾丸活组织检查。

Qdland (1972)⁽⁹⁾对1943~1954年间曾在美国空军服役接触雷达者1947人进行眼晶状体10年随访(1959~1968)中,发现少数人曾有精子数量减少和暂时性不育。经调查询问,原来这部分军人多驻扎在寒冷地区,他们在进行打扑克游戏时,因下肢寒冷而用微波来照射取暖。上述发现引起了人们的高度重视。

Lancranjan(1975)⁽¹⁰⁾观察了31名长期接触微波的技术员(功率密度为数十~数百 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$),发现74%的人有精子异常(精子数下降,活力不足及形态异常),而17-酮类固醇和促性腺激素测定值正常,说明睾丸间质细胞功能未减退。发现异常的人员在脱离3个月后,精子生成状况即有所改善,说明上述变化系由微波作用所致。

四川医学院朱玲美等(1983)⁽¹¹⁾对5例志愿受试者,用2450MHz微波(输出功率60~70瓦)对睾丸进行照射(未说明功率密度),以精子乳酸脱氢酶-X活性为指标,发现微波照射后酶活性下降,间隔一段时间后恢复正常。一般认为该酶只出现在性成熟后的精子中,故可作为男性生育力的指标。

1980年全美健康调查⁽¹²⁾显示:低体重儿母亲中接触微波的比例高于非低体重儿母亲,但差别无显著性。

1982年瑞典学者Kallen等曾报道⁽¹³⁾,关于女性理疗工作者妊娠结局的队列研究,1973~1978年共调查2018名女性、2043名婴儿,队列中又套入病例对照研究,并作了结婚年龄、社会、经济地位等因素的校正,调查有关死产、严重畸形、早产、低出生体重等项目,结果显示非电离辐射中(包括微波)除短波外,对妊娠结果无影响,可见近年来的职业流行病学调查资料的可信度比以往的报告可靠。

二、如何正确认识微波对生殖系统的影响

微波对机体的致热作用已被医学界所公认,它的非致热作用也逐步被认识。前述有关微波动物实验的报道,均在高于热作用限值以上进行,因此在评价微波生物学作用方面虽有一定的科学价值,但从动物实验结果外推到人的影响时,就必须区别两个原则性的问题:(1)动物实验结果是在较大强度(以功率密度或用比吸收率表示)、体位基本固定不变的情况下进行,人能否接受如此大的强度,应作具体分析,且人们的活动是多变的;(2)必须认识到动物与人类的种属差异,切切不可将动物实验的资料直接外推到人或混为一谈。

总之,微波对人体生殖功能影响的材料还是十分有限,从现有资料来看,微波对男性的生殖机能作用是肯定的,但多属功能性、可复性(除意外事故)。至于微波对生殖机能有无远期效应,有待继续研究和观察。对女性生殖机能影响方面,多数认为月经周期的改变是微波引起植物神经功能紊乱所致,不是微波对女性生殖功能的直接作用。关于微波可引起先兆流产、先天愚型等资料,证据均不充分,尚须深入研究。

最后,应引起重视的是微波可加重或促进其他物理、化学因素对生殖功能的危害。Roux⁽¹⁴⁾和Marcickiewicz⁽¹⁵⁾(1986)分别观察到在微波与 γ 射线和阿糖胞苷(均为阳性致畸物)同时存在时,显示极强的致畸联合作用,也有报道与X射线同时接触时可加重对机体的损伤。

我们认为,今后研究工作的重点应放在对职业性接触微波人群的系统性动态观察上,并着重研究接触水平-反应关系和其他危害因素的联合作用。

参 考 文 献

1. Beechey CV. Cytogenetic effects of microwave irradiation on male germ cells of the mouse. *Int J Radit Biol* 1986; 50(5): 909~918.
2. Lebovitz RM. Effects of pulse-modulated microwave radiation and conventional heating on sperm production. *J Appl Physiol* 1987; 62(1): 245~252.
3. Jensch RP. Studies of the teratogenic potential of exposure of rats to 6000-MHz microwave radiation. *Radiat Res* 1984; 97: 272~281.
4. Berman E. Growth and development of mice offspring after irradiation in utero with 2450-

(下转第40页)

表4 上呼吸道疾患检查统计

检查人数	咽 炎		扁 体 肿 大		鼻 炎		鼻 甲 肥 大		鼻 中 隔 偏 曲	
	例	%	例	%	例	%	例	%	例	%
接尘组	104	52	14	13.5	25	24.0	12	11.5	7	6.7
对照组	45	10	2	4.4	4	8.9	1	2.2	1	2.2

3. 肺功能检查: 接触羽尘及非接尘工人肺通气功能测定结果见表5。

表5 两组肺通气功能测定结果比较

检查人数	VC (实/预%)		FEV _{1.0} (实/预%)		MBC (实/预%)	
	例	%	例	%	例	%
接尘组	104	38	31	29.8	25	24.0
对照组	45	9	5	11.1	7	15.6
		$\chi^2 = 3.978$	$\chi^2 = 5.992$		$\chi^2 = 1.340$	
		$P < 0.05$	$P < 0.005$		$P > 0.1$	

4. X线胸片检查: 104名接触羽尘工人进行X线摄胸片检查结果, 诊为“羽毛尘肺”1例(占0.96%), “0+”4例(占3.85%); 该例羽毛尘肺患者为分绒工, 接尘工龄18年, 其胸片X线形态, 主要分布在两中、下肺区, 不规则小阴影(S/s), 密集I级, 并可见少

许类圆形小阴影, 未见肺气肿, 胸膜无改变。

五、讨论

动物羽毛中主要含动物蛋白、脂肪及其它杂质, 其中有混杂的泥土以及被污染的细菌和寄生虫。本次调查结果, 羽毛尘中游离SiO₂含量为6.9~17.2%, 由此表明羽毛尘的危害主要是SiO₂。生产环境羽毛尘浓度高达618.7mg/M³, 说明羽毛尘的危害是严重的。

据有关报道, 接触动物性粉尘工人可使机体产生变态反应性疾病, 这种反应主要是吸入含抗原霉菌的粉尘所引起。本次调查粉尘中虽含有霉菌抗原物质, 但体检没有发现患变态反应性疾病的工人。仅发现本组工人上呼吸道疾患高于对照组。我们认为这与吸入含抗原粉尘的次数、强度和接触时间的长短有关, 而机体的变态反应, 又取决于霉菌变应原的作用。

羽毛工尘肺致病原因首先应考虑是羽毛尘中游离SiO₂的作用。接尘者长期吸入含游离SiO₂的羽毛尘, 从而导致肺部X线胸片上出现尘肺样改变。其X线形态以两中、下肺区不规则s形小阴影为主, 密集为I级, 并可见少许类圆形小阴影。肺功能测定, 接尘者三项通气功能指标损害者高于非接尘者, 说明羽毛尘对肺通气功能是有影响的, 应进一步开展这方面的研究工作。

(参加本调查工作的有劳卫科全体同志, 并得到该厂卫生所的大力支持, 在此表示感谢。)

(上接第35页)

MHz microwave. Teratology 1984; 30: 393~402.

5. Chazan B. Effects of microwave exposure in utero on embryonal, fetal and postnatal development of mice. Biol Neonate, 1983; 44: 339~348.

6. Nawrot D. Teratogenic biochemical and histological studies with mice prenatally exposed to 2.45GHz microwave radiation. Radiat Res 1985; 102(1): 35~45.

7. Donald E. Thermoregulatory responses of the immature rat following repeated postnatal exposures to 2450-MHz microwaves. Bioelectromagnetics 1987 8: 283~294.

8. Rosenthal DS. Hypogonadism after microwave radiation JAMA 1968; 205(4): 245~247.

9. Odland LT. Observations on microwave hazards to USAF personnel. J O M 1972; 14(7): 544~547.

10. Lancranjan. Gonadic function in workmen

with long-term exposure to microwaves. Health Physics 1975; 29(3): 381~383.

11. 朱玲美, 等. 微波照射对成人精子乳酸脱氢酶-X的影响. 四川医学院学报1983; 14(3): 252~255.

12. Hamilton PM. Radiation procedures performed on U.S. women during pregnancy: findings from two 1980 surveys. Public Health Rep 1984; 99(2): 146~151.

13. Kallen B. Delivery outcome among physiotherapists in Sweden. Is nonionizing radiation a fetal hazard? Arch Environ Health 1982; 37(2): 81~85.

14. Roux. Association of microwaves and ionizing radiation: polentiation of teratogenic effects in the rat. Radiat Res 1986; 108(3): 317~326.

15. Marcickiewicz. Microwave radiation enhances teratogenic effect of cytosine arabinoside in mice. Biol Neonate, Foetal Neonate Res 1986; 50(2): 75~82.