

微波辐射对雷达操作人员精液质量影响的现况调查

丁晓萍 闫素文 张宁 汤洁 鲁海鸥 王喜良 唐轶

【摘要】 目的 探讨微波辐射是否对人精液质量产生影响。方法 通过对雷达作业人员的问卷调查、体格检查及留取精液标本,以单细胞凝胶电泳和精子全自动分析等实验室检测方法进行流行病学调查。结果 雷达操作人员的精液质量和精子亚临床损伤随着雷达电磁波频率、距离、强度、时间和防护屏蔽措施的不同而发生改变,并显示一定的剂量反应关系,其中以精子畸形率增高为主。与非雷达操作人员比较两组差异有显著性($P < 0.01$)。结论 雷达操作人员长期受到非电离辐射、雷达屏蔽保护较差的影响,可发生精子亚临床损伤和精液质量下降,但并不影响男性生殖能力。加强非电离辐射的防护、提高雷达作业人员的男性生殖健康保健意识仍十分必要。

【关键词】 雷达;微波辐射;精液质量

A cross-sectional study on nonionizing radiation to male fertility DING Xiao-ping, YAN Su-wen, ZHANG Ning, TANG Jie, LU Hai-ou, WANG Xi-liang, TANG Yi. Departement of Reproductive Center, People's Liberation Army 202 Hospital, Shenyang 110003, China

【Abstract】 Objective To investigate the relationship between microwave radiation and male reproductivity. **Methods** After filling out questionnaire and body check, we carried out molecular epidemiological studies, using single cell gel electrophoresis (SCGE) and sperm automatic analysis among people working on radar. **Results** Quality of semen and semi-clinical injury of sperm among the people working on radar had changed when radar electromagnetic wave frequency distance, intensity, lasting time and protection shield were changing. Dose-response relationship was noticed and the increase of sperm dysmorphia played a principal role. The results between exposed group and control group showed significant difference ($P < 0.01$). **Conclusion** People working on radar who suffered from non-ionization for long time and had bad radar shield protection would show semi-clinical injury on sperm and bad semen quality. However, it did not affect the male reproductive function. It was necessary to reinforce the protection of non-ionization and to improve male reproductive health care of people working on radar.

【Key words】 Radar; Microwave radiation; Semen quality

高频电磁场和微波统称为射频辐射,属于物理因素中的非电离辐射。关于非电离辐射对生殖功能的影响十几年来已有较多的报道^[1-3],但大多数限于体外实验。尤其微波辐射对男性生育力的影响在这个领域中还缺乏流行病学依据。为此,我们通过分子流行病学调查的方法,进一步探讨微波辐射对雷达作业人员精液质量的影响,为制订不同职业的男性生殖保健措施提供理论依据。

对象与方法

1. 研究对象:

(1)入选标准:男性,年龄 20~40 岁,2 年以上工龄。

(2)排除标准:20 岁以下、40 岁以上;既往曾患生殖系统疾病(包括精索静脉曲张、无精症、隐睾、先天性睾丸发育不良、输精管缺如等);近期患高热、外伤等疾病休息超过 7 天者。

(3)分组情况:由于各雷达站所属雷达型号、频率和性能不同,雷达每天开机时间不同。平均每天开机时间 3~6 h,个别雷达每天开机 12 h。大部分雷达站作业场所和休息处均在同一建筑楼内,包括每天活动场所距离天线均在 100 m 内。由于雷达操作间的防护屏蔽作用,相反非雷达操作人员每天受到的雷达天线辐射影响多于雷达操作员,甚至接触时间更长。因此对工作岗位不再继续分组,仅按每

天平均磁场暴露-微波漏能的程度分组。高暴露组选择空军某雷达 A 团 103 名,低暴露组为空军某雷达 B 团 198 名,对照组选择远离雷达的空军机关和警卫人员 197 名,共计 498 名作现况调查。其中已婚者 107 名,占 21.4%;已有子女者 44 名,占 8.8% (表 1)。

表1 暴露组与对照组基本情况比较 ($\bar{x} \pm s$, %)

组别	年龄 (岁)	工作 年限	禁欲时间 (d)	吸烟人数 (%)	饮酒人数 (%)
I (高暴露组)	22.8±3.8	2.7±2.2	7.9±8.4	$\frac{93}{60.38}$	$\frac{81}{52.90}$
II (低暴露组)	23.0±3.4	3.8±3.0	7.9±7.7	$\frac{75}{69.44}$	$\frac{72}{66.66}$
III (对照组)	21.2±2.7	2.7±1.8	8.3±8.9	$\frac{56}{62.22}$	$\frac{51}{56.66}$

2. 调查方法:首先对全体人员进行男性生殖健康教育的专题讲座和咨询答疑,使受检者解除顾虑自愿接受检查。

(1)填写问卷调查表 组织培训人员协助受检者填写男性生殖健康调查表,表中内容除按生殖职业流行病学调查中常用的分析指标外,还包括职业接触量、频率和时间等,同时注明既往有无农药的使用、房屋装修及各种不良嗜好等内容。

(2)体格检查:包括测量身高(cm)、体重(kg)、血压;由男科医生检查外生殖器和测量睾丸体积;B超检查膀胱、前列腺和精囊腺等。

(3)收集精液标本 受试者在禁欲 3 天后以自慰法留取全部精液标本,直接流入带有刻度的无菌玻璃器皿中。所有受检者 3 天前被告知禁止大运动量训练、洗热水浴和大量饮酒。

(4)实验室检测方法:①精液分析采用 WLJY-9000 伟力彩色精子质量全自动分析系统(CASA)检测精液标本,给出定量分析结果。主要了解精子密度、精子运动速度及精子畸形率等参数。②单细胞凝胶电泳(SCGE)又称彗星试验是 Singh^[4]1988 年研究设计的检测精子 DNA 单双链断裂的方法。SCGE 的主要计算指标包括形状指标、距离指标、强度指标和矩类指标。本项研究按形状指标即计算彗星样细胞的发生率。根据彗星尾部 DNA 含量将精子细胞核 DNA 损伤程度分为 5 级 0 级为无损伤,精子核完整;1 级为轻度损伤,2 级为中度损伤,可见明显彗尾;3 级为重度损伤,4 级为完全损伤,精子核消失。

3. 现场环境测试:以国家环境保护第 18 号令、电磁辐射环境保护管理办法和作业场所微波辐射卫

生标准为依据,聘请沈阳环境科学研究所的专家采用 WG 公司 EMR-300 型宽带全向辐射监测仪对各雷达站不同区域进行微波漏能测试(包括雷达站工作仓内、各工作间、休息室、活动室、操场及天线周围 100 m 以内)。

(1)测量方法:采用同一地点多个时点测量,室外探头距地面 2 m 左右,室内按坐位、站位不同位置探头距地面 1 m 左右,每个读数测量时间 > 15 s,连续测量 6 min 记录最大功率密度值。

(2)测量时间:分别在雷达开机升压和未升压时间内进行测量,每个测量点连续测量 5 次,每次测量时间 > 15 s,并读取稳定状态的最大值。

(3)测量地点:根据各雷达站作业人员每天工作、活动、休息的具体地点选择监测点。每站约 25 个监测点。

4. 统计学方法:全部数据输入计算机,Excel 软件分析,采用 χ^2 检验(其中率的比较采用趋势卡方检验)。

结 果

1. 环境监测评定:对不同地区两组雷达作业人员共 8 所雷达站及其周围环境进行了电磁辐射强度测定。结果两组最大值均不在雷达工作仓内,而在距天线底部 30 m 以内工作仓外的空场区。I 组工作仓内大部分都有微波漏能,但均 < 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$;而雷达站外微波功率密度范围为 18~955 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$,最大值超过职业照射限值 3.77 倍,超过公众照射限值 22.8 倍,本研究将其列为高暴露组。II 组工作仓内漏能较少,雷达站外微波功率密度范围 0~156 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$,平均值符合国家卫生标准,最大值超过职业照射限值 2.9 倍,超过公众照射限值 5.24 倍,研究中列为低暴露组。对照组工作、活动、居住环境按相同方法测试,无一处超过公共照射限值(表 2)。

2. 主要精液参数变化:所有精液参数均根据 WHO 人类精液及精子-宫颈黏液相互作用实验室检验手册(第四版)的标准进行评估。凡精子密度 $\leq 20 \times 10^6/\text{ml}$ 、a + b 级精子活力 < 50%、畸形精子率 > 30% 者判定为异常。调查中三组人员精液参数除精子活力的平均值小于正常值以外,各项检测结果均在正常值范围。各组之间除精子密度外精子活力和精子畸形率的异常发生率差异有极显著性,并随暴露程度加重而升高的趋势,趋势 χ^2 均 > 17.54, $P < 0.001$ (表 3)。

表2 三组作业环境电磁辐射功率密度监测结果

分组	测量结果最大值 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	平均功率密度 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	允许暴露时间 (h)	超过职业照射限值 ($200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 倍数)	超过公众照射限值 ($40 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 倍数)
I(高暴露组)	955	832	0.5	0.18~0.75	0.37~7.75
II(低暴露组)	156	91	4.0	0	0.07~1.02
III(对照组)	10	4	24.0	0	0

注:暴露时间如按每天开机时间3~6 h计算,低暴露组每天剂量为0.2~0.6 mW/cm^2 ,高暴露组的每天剂量为2.5~5.0 mW/cm^2

表3 各组精液参数异常例数及百分率(%)

分组	人数	精子密度 < $20 \times 10^6/\text{ml}$	a+b 级精子活力 <50%	精子畸形率(%)		
				>15	>30	>40
III(对照组)	90	15(16.66)	5(62.22)	5(5.56)	0	0
II(低暴露组)	108	14(12.96)	5(48.14)	8(7.41)	1(0.93)	1(0.93)
I(高暴露组)	154	17(11.03)	12(81.16)	11(73.37)	18(11.68)	3(1.94)
χ^2 值		1.57	13.60	10.90	10.89	1.78
P 值		>0.05	<0.01	<0.001	<0.01	>0.05

3. 精子 DNA 损伤的检测:单细胞凝胶电泳了解彗星细胞发生率,正常情况下 I 级彗星率<0.5%, II 级彗星率<1%,本次调查 I 级彗星率三组之间有差异,但以低暴露组为高; II 级彗星率中高暴露组较高,呈剂量效应关系(表4)。

表4 精子亚临床损伤指标分布情况

分组	人数	单细胞凝胶电泳彗星细胞发生率(%)	
		I 级(>0)	II 级(>0)
III(对照组)	86	7(88.37)	1(19.76)
II(低暴露组)	107	10(93.45)	2(25.23)
I(高暴露组)	142	10(72.53)	6(47.88)
χ^2 值		21.32	23.77
P 值		<0.001	<0.001

讨 论

1. 精子畸形率改变是微波生物效应的敏感指标:哺乳动物的生殖系统是微波作用的靶器官之一,由于敏感性高用作剂量效应研究,其结果显示可更为明确。调查结果表明,<1.0 mW/cm^2 微波剂量较长时间辐照,低暴露组精子畸形率和阴性对照差异无明显统计学意义,提示上述剂量不足以引起热效应,当辐照剂量超过2.5 mW/cm^2 时精子畸变率增高者明显增多($P<0.01$)。本次调查微波辐射对精子数量影响不大,而精子活力和精子畸形率有明显变化,其中精子畸形率改变较大。随着暴露水平的加大,精子畸形率逐渐增高。畸形精子率超过20%~40%时影响精液质量。高暴露组中精子畸形率>15%者占73.37%,>40%者仅占1.94%。说明电磁辐射使精子畸形率增高,但造成畸精症则很少。事实上精子的受精能力和精子正常形态结构密切相

关,正常形态结构的精子数量越多,生育力就越强。相反畸形精子越多,受精率越低。不管精子的形态和染色体之间存在什么关系,也不管造成精子畸变的机理如何,达到畸精症将影响生育能力,对子代健康造成威胁是无疑的^[5]。因此畸形精子的检测在男性不育症的诊断上十分重要。尽管当前在男性生殖实验室检测中精子形态学研究已不作为重点参考参数,但非电离辐射对男性剂量效应的研究精子形态学则是一个具有一定特异性的敏感指标。

2. 精子亚临床损伤的检测方法:彗星试验是近年来用于检测精子 DNA 单双链损伤的最新方法。调查结果发现暴露组(包括低暴露组和高暴露组)与对照组比较 I 级彗星率和 II 级彗星率差异均有统计学意义,但 I 级彗星率各组之间无剂量效应关系,而 II 级彗星率反映出暴露水平与彗星率增高有关,即随着微波暴露水平的增高彗星率不断增加。两组 III 级和 IV 级彗星率极低,说明辐射影响使精子 DNA 损伤较广泛,但程度轻甚至可发生逆转。临床上无论精液质量是否发生改变应用彗星试验对于判断精子亚临床损伤具有一定意义。

3. 有针对性的制定干预措施,保障雷达人员的生殖健康:根据环境监测结果发现雷达站虽位于天线底部距天线最近,但雷达站内微波场强甚低。而雷达站工作仓以外距天线座较近处的任何位置(10 m 以内),微波漏能可增高至18~955 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 左右。分析原因可能是由于天线发射的强大微波束系定向的朝站外的空间扫描,而雷达站本身为薄壳金属结构,能屏蔽微波束的反射与散射。其次,雷达站内虽有高频大功率发射系统和传递高频电磁能的同轴或波导馈线,但发射机柜和馈线的屏蔽效果良

好。故不论雷达每天开机时间长短,站内微波功率密度无明显差别,无论在发射机柜周围或操作员的任何位置,皆低于 $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。说明雷达站的操作员工作环境较安全,而站外天线波瓣辐照区在一定距离内的人员可造成危害,精子畸形率和精子亚临床损伤随着雷达电磁波频率、距离、强度、时间和防护屏蔽措施的不同将发生不同变化,并显示一定的剂量反应关系。提示有关部门除加强对非电离辐射的防护措施外(如发放防护服等),应考虑对雷达站近距离区的隔离防护,设法加大雷达站距天线座之间的距离,以降低微波辐射对雷达作业人员男性生殖功能的影响,预防男性不育的发生。

参 考 文 献

- 1 Hjollund NH, Bonde JP, Skotte J. Related Articles. Semen analysis of personnel operating military radar equipment. *Reprod Toxicol*, 1997, 11:897.
- 2 James WH. Sperm counts and offspring sex ratio as monitors of reproductive hazard to people exposed to microwave radiation. *Reprod Toxicol*, 1998, 12:495-496.
- 3 Kolstad HA, Bonde JP, Spano M, et al. Sperm chromatin structure and semen quality following occupational styrene exposure. *Scand J Work Environ Health*, 1999, 25:70-73.
- 4 Singh NP. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res*, 1988, 175:184-191.
- 5 Butledge JC, Cain KT, Kole J, et al. Increased incidence of developmental anomalies among descendants of carriers of methylenebisacrylamine-induced balanced reciprocal translocations. *Mutat Res*, 1990, 229:161.

(收稿日期:2003-02-10)

(本文编辑:尹廉)

· 疾病控制 ·

江苏省 2001 年肠出血性大肠埃希菌 O157:H7 监测

张艺颺 朱凤才 顾玲 郭喜玲 庄菱

为了解江苏省肠出血性大肠埃希菌 O157:H7 在宿主动物与人群的分布及其毒力基因携带状况,对铜山、东台、太仓、丰县、沭阳、东海 6 个监测点的监测资料进行分析。上述 6 个监测点总人口为 6 788 122,居民自来水饮用率以苏南的太仓市最高达 100%,其次为苏中的东台市为 96.15%,苏北 4 个点为 41%~81%。6 个监测点动物密度(指每百人所拥有的动物)除苏南的太仓明显较低为 7.5 外,其余 5 个监测点均较高。腹泻病发病仍以 6~8 月份为高,占全年发病的 57.02%。苍蝇密度 3 个重点监测点平均分别为 0.39、1.01、12.71,苏北的铜山县明显为高。

O157:H7 菌株流行前期 5~6 月份 6 个监测点采集腹泻患者粪便标本共计 707 份,检出阳性标本数 105 份。腹泻患者中 O157 菌株检出率为 0.42%,其他致泻性大肠埃希菌检出率为 11.74%。7 种肠道致病菌检测总阳性率为 14.85%(105/707)。10~11 月份 3 个重点监测点采集腹泻患者粪便标本 302 份,未检出阳性。健康人粪便标本 299 份,未检出肠道致病菌。6 个监测点全年共采集腹泻患者粪便标本 1009 份,仅丰县检出 O157:H7 菌株 1 株,总阳性率为 0.10%。O157:H7 流行前后期宿主动物监测结果表明,丰县、沭阳、东海 3 个监测点在流行前期 5~6 月份共采集宿主动物粪便标本 397 份,初步分离 2 株 O157,未检出 O157:H7 菌株。3 个重点监测点在流行前期 5~6 月份与流行后期 10~11 月份采集宿主动物粪便标本共 910 份,均未检出 O157:H7 菌株。3 个重点监测点 2001 年在宿主动物中检出 O157:H7 共 11 株,其中太仓在流行后期检出最多为 8 株,检出率为 6.67%。O157:H7 菌株以牛检出率最高为 1.77%,猪检出率最低为 0.33%,犬、鸭中未检出。

2001 年共检出 12 株 O157:H7,其中腹泻患者检出 1 株,宿主动物检出 11 株,均携带不同毒力基因。其中携带 $\text{SLT}_2 + \text{eaeA} + \text{hly}$ 10 株,携带 $\text{eaeA} + \text{hly}$ 2 株,与我省以往检出携带 eaeA 基因大于 95% 情况基本相符。

3 个重点监测点分别采集枯水与丰水期水标本 69 份,未检出 O157:H7 菌株。

讨论 6 个监测点 2001 年腹泻患者中 O157:H7 菌株检出率为 0.10%,比 1999 年(0.89%)和 2000 年(0.80%)低。宿主动物粪便标本检出率为 0.84%,比 1999 年(9.67%)和 2000 年(5.74%)均低($\chi^2 = 60.60, P < 0.001$),与全省几年发病趋势相符。2001 年检出 12 株 O157:H7 菌株经毒力基因测定均为阳性,这与我省近几年 O157:H7 菌株检出阳性率高于 95% 相符。2001 年流行前期宿主动物 O157:H7 菌株检出率为 0.39%,比 1999 年(9.67%)与 2000 年(5.09%)同期均低($\chi^2 = 75.53, P < 0.001$)。3 个监测点在流行后期的宿主动物检出率为 2.26%,比流行前期显著为高,主要是太仓市宿主动物检出阳性标本较多(6.67%),而以往几年多次在太仓市均未检出 O157:H7 菌株,这是我们在本次监测中发现的新问题。但在这段时间并无 O157:H7 感染病例或疑似病例报告。

另据国外报道猪是 O157:H7 潜在宿主。在 2001 年猪、牛、羊、鸡均检出 O157:H7 菌株,近几年我省及我国其他地区的监测显示猪、牛、羊、鸡带菌率一直较高,我们认为猪在我国也是其主要宿主动物。在本次监测工作发现腹泻患者中其他肠致泻性大肠埃希菌也有较高的带菌率,提示在加强对宿主动物和腹泻患者进行 O157:H7 菌株的流行病学调查和监测同时,不可忽视其他肠致泻性大肠埃希菌潜在的危害。

(收稿日期:2003-08-14)

(本文编辑:张林东)