

· 专题交流 ·

小功率脉冲微波接触者外周血淋巴细胞染色体畸变及微核率观察

张天许, 尹金玲, 杨妹雅

(航天中心医院, 北京 100049)

摘要: 对某研究所接触脉冲微波作业的高功率组 42 人、低功率组(元件组) 60 人和无微波接触的对照组 51 人的外周血淋巴细胞染色体畸变及微核进行观察。结果显示, 两接触组外周血淋巴细胞微核率异常率、高功率组微核率均显著高于对照组 ($P < 0.01$); 高功率组染色体畸变率异常者检出率、畸变细胞率、染色体型畸变率均显著高于对照组及元件组 ($P < 0.01$); 而染色单体型畸变率两接触组与对照组差别均无统计学意义 ($P > 0.05$)。在偏相关分析控制年龄因素后, 两接触组微核率、染色体型畸变率与工龄无相关性 ($P = 0.451$, $P = 0.270$)。说明小功率脉冲微波辐射对人体外周血淋巴细胞染色体及微核形成具有一定不良影响。

关键词: 脉冲微波; 染色体畸变; 微核形成

中图分类号: R122.4 文献标识码: A 文章编号: 1002-221X(2006)06-0359-03

Analysis on chromosome aberrations and micronucleus rate in peripheral lymphocytes in workers exposed to low power impulse microwave radiation

ZHANG Tian-xu, YIN Jin-ling, YANG Shu-ya

(Spaceflight Central Hospital, Beijing 100049, China)

Abstract To study the effect of low power impulse microwave radiation on chromosome aberrations and micronucleus rate of peripheral lymphocytes then provide a reference data for the health monitoring on occupational exposed workers. 42 workers exposed to high power impulse microwave radiation were selected as 'high power group', 60 workers from element post were exposed to low power impulse microwave radiation were selected as 'low power group', 51 workers without microwave radiation exposure were selected as controls. Their chromosome aberrations and micronucleus rate in peripheral blood lymphocytes were observed. **Result** The detection rate of abnormal micronucleus individuals in both exposed groups and the micronucleus rate of high power group were significantly higher than that of the control group ($P < 0.01$). The detection rate of chromosome aberration positive individuals, the incidence of aberration cells and the aberration rate of chromosomal pattern in high power group were significantly higher than that of both low power group and control group ($P < 0.01$), while the chromatid aberration rates were no significant difference among three groups ($P > 0.05$). After excluding the age factor using partial correlation analysis, the micronucleus rates and chromosome aberration rates in both exposed groups showed no dependability with service length ($P = 0.451$, $P = 0.270$, respectively). The low power impulse microwave radiation may have some negative effect on chromosome aberration and micronucleus formation in peripheral lymphocytes of exposed workers.

Key words: Microwave radiation; Chromosome aberration; Micronucleus formation

随着微波技术的广泛应用, 微波辐射对人体的影响越来越引起人们的重视, 相关的研究也不断深入。但关于小功率脉冲微波辐射对人体致突变效应的报道较少, 本调查对某研究所接触脉冲微波作业人员外周血淋巴细胞染色体畸变及微核率进行了分析研究。

1 对象与方法

1.1 对象

接触组: 整群抽取某研究所接触脉冲微波作业高功率组 42 人, 其中男 33 人、女 9 人, 年龄 23~66 岁, 平均 30.0 岁, 接触微波工龄 0.3~46 年, 平均工龄 4 年; 元件组 60 人, 其中男 43 人、女 17 人, 年龄 23~67 岁, 平均 32.5 岁, 接触微波工龄 1~48 年, 平均 9 年。对照组: 无职业微波接触史的机

关管理人员 51 人, 男 39 人、女 12 人, 年龄 22~70 岁, 平均 32.0 岁。两组人员手机使用情况一致, 近期均无 X 线照射、病毒感染和用药史。

1.2 方法

1.2.1 工作现场微波辐射强度检测 采用已校正德国 Narda 公司 EMR 射频电磁辐射分析仪, 根据国家作业场所微波辐射卫生标准 (GB 10436-89) 测定和评价作业人员操作位头部、胸部、腹部的微波辐射强度。

1.2.2 外周血淋巴细胞微核检查 采用 CB 法, 取 0.4 ml 静脉血加入到 5 ml 含新生小牛血清、植物血凝素的 RPMI1640 培养液中, (37 ± 0.5) °C 温箱培养至 44 h 加入细胞松弛素 B (终浓度 $6 \mu\text{g/ml}$), 继续培养至 72 h 收获, 制片, Giemsa 染色。选择细胞膜完整, 两主核不相连或两核重叠, 但接口清晰的细胞; 微核面积小于主核面积的 1/3, 形状为圆形或近似圆形, 与主核不相连。如果重叠, 重叠接口应清晰, 染色与主

收稿日期: 2006-03-13; 修回日期: 2006-06-18

作者简介: 张天许 (1954-), 女, 副主任医师, 主要从事职业卫生、细胞遗传实验室工作。

核相同或略浅，无折光性。采用盲法读片，每例计数1 000个双核淋巴细胞中的微核数并计算微核率（微核数/观察细胞数×1000‰）。微核率异常的判定标准为>20%^[1]。

1.2.3 外周血淋巴细胞染色体畸变分析 采用微量全血培养法。取0.4 ml 静脉血加入到5 ml 含新生小牛血清、植物血凝素的RPMI1640培养液中，同时加入秋水仙素（终浓度0.03 μg/ml），（37±0.5）℃温箱培养至52 h 制片，Giemsa 染色。选择染色体分散好、长度适宜、重叠少、着丝粒数46±1的中期分裂细胞，按WHO 推荐标准进行分析。采用盲法读片，每例计数100个中期分裂细胞的染色体畸变及畸变细胞数并计算染色体畸变率（染色体畸变数/观察细胞数×100%）和畸变细胞率（产生染色体畸变的细胞数/观察细胞数×100%）。染色体畸变率异常的判定标准为>2.5%，其中双着丝粒染色体或稳定性畸变≥1%^[1]。

1.2.4 统计处理

应用SPSS11.5软件进行卡方检验、单因素方差分析和偏相关分析。

2 结果

2.1 工作现场的微波辐射强度

测定地点为作业人员仪器调试及元件测试操作位，共读取243个数据，微波强度范围0.4~554.0 μW/cm²，强度中位数68.9 μW/cm²。高功率组微波强度10.0~554.0 μW/cm²，中位数80.0 μW/cm²；微波元件组强度0.4~241.04 μW/cm²，中位数34.2 μW/cm²。作业人员日接触2~8 h，平均工作时间4 h。接触强度随科研内容变化。工作现场备有微波防护服、防护帽、防护眼镜，但使用情况不一。

2.2 外周血淋巴细胞微核检测结果

两微波接触组外周血淋巴细胞微核率异常者检出率及高功率组外周血淋巴细胞微核率均显著高于对照组（P<0.01）；

并且高功率组的上述两指标均显著高于元件组，见表1。

表1 受检人员淋巴细胞微核检测结果

组别	参检人数	异常人数	异常者检出率(%)	观察细胞数	微核数	微核率($\bar{x}\pm s, \%$)
高功率组	42	24	57.1 $\triangle\triangle^{**}$	42 000	360	13.3±10.5 $\triangle\triangle^{**}$
元件组	60	15	25.0 $\triangle\triangle$	60 000	479	8.0±8.8
对照组	51	2	3.9	51 000	35	7.8±5.3

与对照组比较， $\triangle\triangle P<0.01$ ；与元件组比较， $^{**} P<0.01$

2.3 外周血淋巴细胞染色体畸变分析

高功率组染色体畸变率异常者检出率、畸变细胞率均显著高于对照组及元件组（P<0.01）；元件组染色体畸变率异常者检出率与对照间差别有统计学意义（P<0.05），但两组间畸变细胞率差别无统计学意义（P>0.05），见表2。检出染色体畸变类型：（1）染色体型畸变包括无着丝粒断片（ace）、双着丝粒染色体（dic）、着丝粒环（r）、相互易位（t）；（2）单体型畸变包括染色单体断裂（ctb）、单体互换（cte）。高功率组染色体型畸变率均高于对照组及元件组（P<0.01），元件组与对照组间差别无统计学意义（P>0.05）；染色单体型畸变率各组间差别无统计学意义（P>0.05），见表3。

表2 受检人员染色体畸变分析

组别	参检人数	异常人数	异常者检出率(%)	观察细胞数	畸变细胞数	畸变细胞率(%)
高功率组	42	16	38.1 $\triangle\triangle^{**}$	4 200	66	1.6±1.5 $\triangle\triangle^{**}$
元件组	60	10	16.7 $\triangle$	6 000	29	0.5±0.8
对照组	51	5	9.8	5 100	17	0.3±0.6

与对照比较， $\triangle P<0.05$ ， $\triangle\triangle P<0.01$ ；与元件组比较， $^{**} P<0.01$ ；下表同。

表3 受检人员染色体畸变分析

组别	参检人数	观察细胞数	单体型畸变			染色体型畸变			
			ctb	cte	合计(率%)	ace	dic+r	t	合计(%)
高功率组	42	4 200	31	4	35 (0.8±0.4)	61	11	1	73 (1.7±1.5) $\triangle\triangle^{**}$
元件组	60	6 000	28	1	29 (0.5±0.5)	24	8	2	34 (0.6±0.9)
对照组	51	5 100	28	0	28 (0.6±0.6)	12	4	1	17 (0.3±0.6)

2.4 淋巴细胞染色体型畸变及微核率与微波接触工龄的关系

两接触组在排除年龄因素影响后，外周血淋巴细胞微核率及染色体型畸变率与微波接触工龄不具有相关性（P>0.05），见表4。

表4 染色体型畸变率、微核率与微波接触工龄的相关及偏相关分析

指标	微波作业工龄	年龄	微核率	无着丝粒断片检出率	染色体型畸变率
简单相关系数	1.000 0	0.971 6	0.352 8	-0.033 6	0.067 4
P 值		0.000	0.000	0.371	0.255
控制变量		年龄			
偏相关系数	1.000 0		0.012 7	0.033 5	0.062 9
P 值			0.451	0.372	0.270

3 讨论

微波辐射是指300 MHz~300 GHz（波长1 m~1 mm）的电磁辐射，分为连续波和脉冲波。连续波引起的生物效应与其频率、平均功率密度和作用时间相关；而脉冲波的生物效应只与瞬态电磁脉冲的幅度（场强）和脉冲宽度有关，脉冲电磁波对生物体的作用，特别是对细胞的作用为非线性的过程，而且是一个瞬态的不稳定过程，因此，对生物体的影响更为明显^[2]。关于脉冲微波的接触限值研究，有报道小鼠脉冲微波实验的有害阈强度为0.5 mW/cm²，在这一强度下姐妹染色单体互换（SCE）有明显变化，只有当强度达0.25 mW/cm²时，各指标才均无显著变化，故认为0.25 mW/cm²是脉冲微波的安全阈强度^[3]。我国目前制定的作业场所微波辐射卫生标准，脉冲波：一日8 h 平均功率密度为25 μm/cm²，日接触

剂量不超过 $200 \mu\text{W} \cdot \text{h} / \text{cm}^2$ 。据国内有关微波作业现场流行病学调查研究表明,微波作业工人接触微波功率比较小,绝大部分作业的微波漏能为几十至几百 $\mu\text{W} / \text{cm}^2$ [4]。本调查所涉及的脉冲微波辐射强度 $0.4 \sim 554.0 \mu\text{W} / \text{cm}^2$, 中位数 $68.9 \mu\text{W} / \text{cm}^2$, 亦属于小功率脉冲微波辐射接触范围,但所有检测数据中大于 $25 \mu\text{W} / \text{cm}^2$ 者占 61.7%, 大于上述安全阈强度的数据占 8.6%, 大于上述有害阈强度的占 2.5%, 其中大于安全阈及有害阈强度的数据分布于高功率组。提示该研究所某些微波作业环境辐射强度已略超过国家职业卫生标准。

微波辐射的损伤机制,尤其是致突变效应是目前非电离辐射研究十分关注的问题。国内外学者自 20 世纪 70 年代至今进行了大量体外细胞实验(原核细胞和真核细胞)和整体动物实验,结果发现,在人外周血淋巴细胞微波暴露实验中 GMSK (Gaussian minimum shift keying) 调制波可明显增加微核率 [5], 且其增加状况与微波辐射的功率密度和照射时间有关 [6]。但由于实验条件和研究指标不统一,研究结果尚不够一致。职业接触人群的调查亦发现外周血淋巴细胞染色体畸变率及 SCE 平均值增高 [7,8], 但也有微波暴露对人体不产生遗传损伤的报道。本调查研究两接触组外周血淋巴细胞微核率异常者检出率及高功率组的微核率、染色体畸变率异常者检出率、畸变细胞率、染色体型畸变率均显著高于对照组 ($P < 0.01$), 提示接触一定强度的小功率脉冲微波辐射可以引起人体遗传物质的损伤,这可能与小功率脉冲微波辐射的非致热效应有关。高功率组的染色体型畸变率及畸变细胞率均高于元件组 ($P < 0.01$), 说明微波辐射引起的遗传物质损伤与接触辐射的强度有关。目前有学者认为,当 DNA、蛋白质和类脂分子吸收了微波能量后,引起转动能量的增加,这可能导致它们的畸变能增加,从而使其构象或结构发生变化 [9], 造成遗传物质及修复机制损伤,导致受辐射细胞的微核率及染色体畸变率增高。

本调查显示微波所致的染色体畸变类型包括染色体型畸变和单体型畸变,但以染色体型畸变为主。染色体的畸变类型与细胞周期有关,处于 G_1 或 G_0 期的细胞受到诱变剂的作用,因这时染色体尚未复制,培养后可产生染色体型畸变。电离辐射主要诱发此畸变。而处于 S 期或 G_2 期的染色体已经复制成为两条染色单体,此时受到损伤后可导致染色单体型畸变。大部分化学诱变剂及病毒感染可诱发此畸变。本文高功率组染色体型畸变率高于对照组 ($P < 0.01$), 而染色单体型畸变率与对照组差别无统计学意义 ($P > 0.05$), 主要由于外周血淋巴细胞基本

处于 G_1 或 G_0 期,微波辐射的损伤作用于染色体复制之前,此结果与电离辐射引起的染色体损伤相类似。

本文对接触组的微核率、染色体型畸变率、年龄和工龄进行了相关性分析,发现微核率与工龄、年龄有相关性。在偏相关分析中,在控制年龄因素后,接触组微核率、染色体型畸变率与工龄无相关性 ($P = 0.451$, $P = 0.270$)。说明长期慢性接触小功率脉冲微波辐射所致损伤未表现出累积效应。这可能与脉冲微波对细胞作用的特性有关。另外职业接触微波辐射是长期过程,机体在不断地损伤与修复,因而可能不表现明确的累积效应关系。

本调查研究提示,长期接触小功率脉冲微波对人体可能存在远期影响。为了切实保障微波接触人群的身心健康,应注意工作中加强个体防护,并建议把外周血淋巴细胞微核检查作为微波作业人员定期职业健康检查的参考项目。

参考文献:

- [1] 白玉书. 细胞遗传学指标在慢性放射损伤诊断中的意义 [J]. 放射防护讲义. 北京:北京市放射卫生防护所, 1999: 12.
- [2] 曹晓哲, 王德文, 赵梅兰, 等. 98.55W/cm² 脉冲微波辐照对大鼠血清生化指标影响的研究 [J]. 生命科学研究, 2002, 6 (1): 79-83.
- [3] 徐培基, 赵亚丽, 马洪波. 微波、超短波、短波对人体影响的研究及国军标的制定 [C]. 2003 年全国电磁辐射生物学学术会议论文集. 杭州:浙江医科大学出版社, 2003: 103.
- [4] 夏玉静. 小功率微波对人体健康影响的国内研究进展 [J]. 中国职业医学, 2001, 28 (2): 49-51.
- [5] d'Ambrosio G, Massa R, Scarfi M R. Cytogenetic damage in human lymphocytes following GMSK phase modulated microwave exposure [J]. Bioelectromagnetics, 2002, 23 (1): 7-13.
- [6] Zotti-Martelli L, Peccatori M, Maggini V, et al. Individual responsiveness to induction of micronuclei in human lymphocytes after exposure in vitro to 1800 MHz microwave radiation [J]. Mutat Res, 2005, 582 (1-2): 42-52.
- [7] 郑巧玲, 陈润涛, 唐国汉, 等. 7 例微波超标接触者的外周血淋巴细胞染色体畸变分析 [J]. 职业医学, 1994, 21 (2): 49-51.
- [8] 王泰清, 陶松贞, 王利兵, 等. 微波辐射对雷达作业者淋巴细胞姊妹染色单体互换的影响 [J]. 第四军医大学学报, 1990, (2): 109-111.
- [9] 庞小峰. 毫米波的非热生物效应的机理及特性 [C]. 2003 年全国电磁辐射生物学学术会议论文集. 杭州:浙江医科大学出版社, 2003: 97-98.

(上接第 323 页)

- [8] Poliandri A H, Machiavelli L I, Quinteros A F, et al. Nitric oxide protects the mitochondria of anterior pituitary cells and prevents cadmium-induced cell death by reducing oxidative stress [J]. Free Radic Biol Med, 2006, 40 (4): 679-688.
- [9] Jim M, Yarrng J, Kannan R, et al. Hepatocyte growth factor protects RPE cells from apoptosis induced by glutathione depletion [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2005, 46 (11): 4311-4319.
- [10] Kim SD, Moon CK, Eun SY, et al. Identification of ASK1, MKK4, JNK, c-Jun, and caspase-3 as a signaling cascade involved in cadmium-induced neuronal cell apoptosis [J]. Biochem Biophys Res Commun, 2005, 328 (1): 326-334.
- [11] Poliandri A H, Velardez M O, Cabilla J P, et al. Nitric oxide protects anterior pituitary cells from cadmium-induced apoptosis [J]. Free Radic Biol Med, 2004, 37 (9): 1463-1471.
- [12] Shih Y L, Lin C J, Hsu S W, et al. Cadmium toxicity toward caspase-independent apoptosis through the mitochondria-calcium pathway in mtDNA-depleted cells [J]. Ann N Y Acad Sci, 2005, 1042: 497-505.