• 综 述 •

电磁辐射对雄性生殖系统损伤的研究进展

马玲娟^{1,2}, 赵晓梅³, 府伟灵²综述, 张彦文^{1△}审校

(1. 第三军医大学军事预防医学院劳动卫生学教研室, 重庆 400038; 2. 第三军医大学西南医院检验科, 重庆 400038; 3. 第四军医大学西京医院心脏内科, 西安 700032)

关键词: 电磁辐射; 雄性生殖系统; 损伤**DOI:** 10.3969/j.issn.1673-4130.2012.08.025**文献标识码:** A**文章编号:** 1673-4130(2012)08-0943-02

随着现代科技文明的进步,越来越多的电磁产品进入千家万户,其带来的电磁辐射等负面效应正在被人们广泛关注。文献报道,动物生殖系统是电磁辐射最为敏感的组织器官之一,且可造成明显的损伤效应,主要表现在睾丸结构的变化和功能的损伤,致使生精能力下降,影响生殖健康。现就近年来国内外有关电磁辐射对雄性生殖系统的辐射损伤方面的研究与进展综述如下。

1 电磁辐射的物理特性

电磁辐射(electromagnetic radiation, ER)是能量以电磁波形式在空间传播的物理现象,它属于非电离辐射(non-ionizing radiations),包括极低频、中频、射频、红外线等。其中极低频(extremely low frequency, ELF)是辐射频率在 0~300 Hz 之间的电磁辐射,主要是由各种电压等级的输电线及各种电子设备所产生;中频(medium frequency, MF)是辐射频率为 300~3 000 KHz 的电磁辐射,多数为 AM 电台;射频(radiofrequency, RF)辐射频率在 100~300 GHz 之间,主要以电视、手机和各种高频设备所产生的微波最为常见。如人和动物长期暴露于电磁辐射环境中则对其健康效应有着直接的影响,暴露设置条件不同(频率、强度、时间)损伤效应也不同。

2 电磁辐射对雄性生殖系统形态学的影响

电磁辐射可导致睾丸结构和功能的损伤,精液参数的改变以及附睾精子密度的降低,从而影响雄性生殖能力^[1]。张巍等^[2]用功率密度为 300 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 的辐照强度,持续对 SD 大鼠进行 1 周的暴露后发现暴露组睾丸指数、精子活性以及精子密度显著降低,差异有统计学意义($P < 0.05$),睾丸管腔和生精上皮浅层中的精子明显稀疏,精子数量减少,而对照组无改变。杨进清等^[3]用峰值功率为 90 W/cm^2 的电磁波对 Wistar 雄性大鼠连续暴露 3~72 h 后,发现暴露组大鼠间质细胞线粒体明显肿胀,内质网扩张。孙晓芳等^[4]将 Wistar 大鼠暴露于 0.1 mT 的电磁场 12 周后发现,该组大鼠生精细胞排列出现紊乱,精原细胞内细胞器变性,支持细胞线粒体空泡化,内质网肿胀,对照组无明显改变,表明低强度电磁场可致大鼠睾丸生精上皮超微结构的损伤。王水明等^[5]用不同的高功率微波(HPM)暴露 Wistar 雄性大鼠后发现,3~100 mW/cm^2 HPM 暴露均可引起大鼠睾丸生精细胞的损伤。林孟端等^[6]采用功率密度分别为 250、150、50 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 的连续波,对小鼠进行(24 h/d) 34.5 d 暴露后发现,150 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 暴露能引起曲细精管上皮、生精上皮结构疏松,生精小管内精子数量减少,生精小管间质细胞减少。然而 Ribeiro 等^[7]研究发现用 1.835~1.850 MHz 辐射源对大鼠暴露后,大鼠双侧睾丸功能、睾丸质量、脂质过氧化物水平和血清睾酮水平并未发生明显变化。Dasdag 等^[8]用手

机对 SD 大鼠暴露 30 d(20 min/d, 辐射功率为 250 mW/cm^2),大鼠睾丸精子数量、睾丸组织病理形态学的改变与对照组之间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

3 电磁辐射对雄性生殖系统生理生化的影响

电磁辐射对睾丸间质细胞的功能造成一定的影响,从而降低了睾酮的合成与分泌,引起血清睾酮含量的变化,同时对雄性生殖系统一些特异酶[如睾丸乳酸脱氢酶(LDH)和同工酶(LDH-X)]的活性及其他成分造成改变^[9]。周文等^[10]用峰值功率密度为 90 W/cm^2 的电磁波对各时相点(3~72 h)的 Wistar 雄性大鼠进行连续暴露后发现,电磁辐射能在转录水平影响 P450 scc mRNA 的表达,从而导致血清睾酮合成减少。Cao 等^[11]用辐射频率为 935 MHz 的移动电话的模拟辐射源对 3 组小鼠进行连续 35 d 的全身暴露(平均功率密度分别为 0、570、1 400 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$)后,发现暴露组(1 400 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$)LDH-X 活性显著下降,差异有统计学意义($P < 0.05$)。

Mailankot 等^[12]用 0.9/1.8 GHz GSM 微波照射可显著降低精子活动度,同时睾丸和附睾组织中脂质过氧化物含量大大增加,而谷胱甘肽(glutathione, GSH)含量却明显降低,导致组织过氧化物损伤。Ozguner 等^[13]对雄性 SD 大鼠进行每天 900 MHz 手机辐射 30 min,连续 4 周后,发现血浆睾酮水平、促黄体生成素和促卵泡激素水平也显著下降,而对照组无改变。Amara 等将雄性大鼠暴露在 128 mT 稳态磁场下,连续 30 d 后发现,大鼠血清睾酮水平明显下降,提示较高强度稳态磁场会损害和降低血清睾酮合成与分泌,并对雄性生殖细胞可能造成一定的生物学效应^[14]。但也有研究发现,电磁辐射对雄性生殖系统并未造成明显影响。Kato 等^[15]研究发现,1、5、50 μT 50 Hz 磁场暴露 6 周,雄性 SD 大鼠血清睾酮无明显变化。Bruyn 等^[16]研究认为,0.5、77 μT 50 Hz 磁场暴露对动物血清睾酮和睾丸质量无明显影响。

4 电磁辐射对雄性遗传物质和生育力的影响

大量动物实验显示,电磁辐射可致雄性动物生殖系统基因损伤,引起精液质量和性行为能力的改变,并影响动物及其后代的生殖健康。Kim 等^[17]研究认为,100、500 μT 磁场(60 Hz)暴露 8 周,14、200 μT 磁场(60 Hz)暴露 16 周均不引起动物体质量、睾丸质量以及血清睾酮的变化,但睾丸组织精原细胞凋亡明显。Iulius 等^[18]将纯化后的男性精子暴露在变频 1.8 GHz, SAR 0.4~27.5 W/kg 的射频电磁场中。逐步增加吸收率(specific absorption rate, SAR),辐射之后发现精子的存活率和活动度显著降低,而且线粒体增殖中活性氧簇和 DNA 断裂明显增加,差异有统计学意义($P < 0.05$)。Aitken 等^[19]模拟 900 MHz 射频辐射源,将小鼠暴露 7 d 后,PCR 定

△ 通讯作者, E-mail: zhangyw20022002@yahoo.com.cn.

量分析发现, B 球蛋白基因组和精子线粒体基因组发生明显损伤。阎素文等^[20]对已婚的 289 例雷达作业人员 and 148 例已婚无电磁辐射的官兵进行问卷式调查, 发现雷达组婚后 1 年内和 1 年后自然受孕率, 与对照组之间差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 表明男性长期接触低强度微波辐射性功能障碍发生率明显增高, 1 年内自然受孕能力显著下降。Buiatti 等早在 1984 年的报道中提到广播电线工厂工作的男性其后代不育率增加 5.9 倍。James^[21]研究也指出, 长期暴露于微波环境中子代性别比存在偏倚现象, 说明人类的生殖健康受到危害。

5 电磁辐射对雄性生殖系统的损伤机制

近年来电磁辐射在实验动物生殖系统损伤方面的研究已有大量报道。研究证实电磁辐射致热效应对雄性生殖系统产生明显损伤, 睾丸是受电磁辐射最为敏感的靶器官之一^[22-23]。其主要通过热效应与非热效应来产生损伤的。目前对热效应的研究比较明确, 所谓热效应是指通过影响机体的热调节系统造成组织器官的加热作用而产生的生理影响和伤害作用。当电磁功率密度较大时, 微波场可使这些组成人体细胞和体液的极性分子因趋向作用而发生频率极高的震荡运动而产热, 当热度超过某一程度的限制时, 机体温度平衡功能失调, 则造成生殖系统功能的紊乱与损伤^[24]; 而非热效应则是指吸收电磁辐射能后, 组织或系统产生的作用与热量没有直接关系的变化^[25]。该热量未能引起机体感觉反应, 但并不代表没有热量产生, 它是目前研究的热点, 国内外学者对此进行了大量的实验研究后, 证实了低强度电磁辐射非热效应的存在^[26]。但其对机体健康的损伤效应规律、发生机制尚未完全、彻底的阐明, 目前仍存在很大争议, 需要进一步深入探讨。

6 结 语

电磁辐射的污染已经成为人们生活中一个不可忽视的问题, 它每时每刻都在威胁着人类的健康。大量的科学研究显示, 生殖、内分泌、中枢神经系统均以成为电磁辐射损伤的主要靶系统, 其中雄性生殖系统是电磁辐射最敏感的组织器官之一, 由于磁场热效应所致的睾丸间质炎性损伤, 造成人或动物睾丸生殖细胞的超微结构的破坏, 生殖细胞形态学异常, 最终影响和阻碍了人或动物及其后代的生殖健康。然而也有一些不同的研究结果, 甚至相互矛盾。可能由于各研究所用辐射源、辐射频率、辐射剂量、辐射时间、实验动物等影响因素不同, 其损伤效应也不同。有必要针对这一问题展开更加深入的研究。

参考文献

- [1] 康宁, 商学军, 黄宇烽. 手机辐射对雄性生殖的影响[J]. 中华男科学杂志, 2010, 16(11): 1027-1030.
- [2] 张巍, 康德鹏, 陈清瑞, 等. 巴戟天对微波损伤的雄鼠睾丸生精功能的影响[J]. 解剖学杂志, 2010, 32(5): 338-340.
- [3] 杨进清, 王虚步, 刘勇. 电磁辐射致大鼠睾丸间质细胞超微结构的变化[J]. 检验医学与临床, 2010, 7(10): 935-936.
- [4] 孙晓芳, 段斐, 寇素茹, 等. 低强度电磁场对大鼠生精上皮超微结构的影响[J]. 医学研究与教育, 2009, 26(5): 9-13.
- [5] 王水明, 彭瑞云, 高亚兵, 等. 高功率微波辐射所致大鼠睾丸损伤的病理学研究[J]. 中华男科学杂志, 2006, 12(6): 486-490.
- [6] 林孟端, 陈显, 陈华, 等. 不同强度的低功率微波辐射对雄性小鼠生殖系统的影响[J]. 癌变畸变突变, 2007, 19(6): 494-496.
- [7] Ribeiro EP, Rhoden EL, Horn MM, et al. Effects of subchronic exposure to radio frequency from a conventional cellular telepho-

- neon testicular function in adult rats[J]. J Urol, 2007, 177(1): 395-399.
- [8] Dasdag S, Zulkuf-Akdag M, Aksin F, et al. Whole body exposure of rats to microwaves emitted from a cell phone does not affect the testes[J]. Bioelectromagnetics, 2003, 24(3): 182-188.
- [9] 舒如明, 谷翔群. 电磁辐射对雄性生殖的影响[J]. 国际生殖健康/计划生育杂志, 2009, 28(6): 358-361.
- [10] 周文, 杨进清, 王虚步, 等. 电磁辐射后大鼠睾丸类固醇激素合成急性调节蛋白和细胞色素 P450 胆固醇侧链裂解酶 mRNA 的变化[J]. 中国临床康复, 2005, 18(3): 229-231.
- [11] Cao DM, Zhou C, Zhang YZ, et al. Study on electromagnetic radiation of cellular telephone on sperm damage in mice[J]. Industrial Health and Occupational Diseases, 2005, 31(6): 364-365.
- [12] Mailankot M, Kunnath AP, Jayalekshmi H, et al. Radio frequency electromagnetic radiation (RFEMR) from GSM (019/118 GHz) mobile phones induces oxidative stress and reduces sperm motility in rats[J]. Clinics (Sao Paulo), 2009, 64(6): 561-565.
- [13] Ozguner M, Koyu A, Cesur G, et al. Biological or pathological effects on the reproductive organ of rats after exposure to electromagnetic[J]. Saudi Med, 2005, 26(3): 405-410.
- [14] Amara S, Abdelmelek H, Garrel C, et al. Effects of subchronic exposure to static magnetic field on testicular function in rats[J]. Arch Med Res, 2006, 37(8): 947-952.
- [15] Kato M, Honma K, Shigemitsu T, et al. Circularly polarized, sinusoidal, 50 Hz magnetic field exposure does not influence plasma-testosterone levels of rats[J]. Bioelectromagnetics, 1994, 15(6): 513-518.
- [16] Bruyn L, Jager L. Effect of long-term exposure to a randomly varied 50 Hz power frequency magnetic field on the fertility of the mouse[J]. Electromagnetic Biology and Medicine, 2010, 29(2): 52-61.
- [17] Kim YW, Kim HS, Lee JS, et al. Effects of 60 Hz 14 microT magnetic field on the apoptosis of testicular germ cell in mice[J]. Asian J Androl, 2004, 6(1): 29-34.
- [18] Jullis GN, Newey RJ, King BV, et al. Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa invitro[J]. PLoS One, 2009, 4(7): 6446-6447.
- [19] Aitken RJ, Bennetts LE, Sawyer D, et al. Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline[J]. Int J Androl, 2005, 28(3): 171-179.
- [20] 阎素文, 张宁, 汤洁. 低剂量微波辐射对男性生殖力的影响[J]. 中华男科学杂志, 2007, 6(4): 306-308.
- [21] James WH. The sex ratios of offspring of people exposed to ionizing radiation[J]. Occup Environ Med, 1997, 54(8): 522-523.
- [22] 陈浩宇, 王水明. 电磁辐射对男性生殖系统的影响[J]. 军事医学科学院院刊, 2005, 29(2): 191-194.
- [23] 蒋远春, 江少波, 孙洁. 微波辐射对雄性生殖系统损伤的研究进展[J]. 右江医学, 2009, 37(6): 728-731.
- [24] 李江波, 赵丽, 谢凌, 等. 手机电磁辐射的危害及防护[J]. 中国辐射卫生, 2010, 19(2): 250-251.
- [25] 卑伟慧, 曹毅. 电磁辐射的生物学效应[J]. 辐射防护通讯, 2007, 27(3): 27-31.
- [26] 林孟端, 陈华. 微波辐射对雄性生殖系统影响研究进展[J]. 中国公共卫生, 2007, 23(1): 118-119.