doi:10.11659/jjssx.06E022097

·临床研究·

高频电磁暴露环境对相关作业人员氧化应激水平的影响

耿 淼[1],王观筠[1],王子乾[1],吴阳勋[1],邱 雅[1],陈红艳[1],罗 芸[1],贾建军[1],姚树林[2],尹 彤[1] (1.解放军总医院第二医学中心老年医学研究所/国家老年疾病临床医学研究中心,北京 100850;2.解放军总医院第一医学中心,北京 100850)

[摘 要] **目的** 分析高频电磁暴露环境对工作人员氧化应激水平的影响。**方法** 招募连续从事至少1年以上与高频电磁辐射有关的工作人员228例纳入暴露组,同时招募该单位与高频电磁辐射工作无关的工作人员228例纳入对照组。多点监测工作环境的电磁强度;分别对2组人员丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽(GSH)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、谷胱甘肽S转移酶(GST)、乳酸脱氢酶(LDH)等氧化应激指标进行检测。**结果** 本研究暴露组工作人员的电磁环境频段为5.5 MHz~1.84 GHz,介于高频至特高频之间;氧化应激指标检测结果显示,暴露组工作人员的GSH水平高于对照组($P=0.049$),MDA水平低于对照组($P=0.043$),2组GSH-Px、GST、SOD、LDH水平比较,差异无统计学意义($P<0.05$)。**结论** 本研究中的高频电磁暴露环境并未诱导相关工作人员机体的氧化应激。

[关键词] 电磁环境;电磁暴露;高频;氧化应激

[中图分类号] R594.8 [文献标识码] A [收稿日期] 2022-06-29

Effect of high frequency electromagnetic exposure environment on oxidative stress level of related workers

GENG Miao[1], WANG Guan-yun[1], WANG Zi-qian[1], WU Yang-xun[1], QIU Ya[1], CHEN Hong-yan[1], LUO Yun[1], JIA Jian-jun[1], YAO Shu-lin[2], YIN Tong[1] (1. Institute of Geriatrics, Second Medical Center/National Clinical Medical Research Center for Geriatric Diseases, General Hospital of PLA, Beijing 100850, China; 2. First Medical Center, General Hospital of PLA, Beijing 100850, China)

Abstract: Objective To analyze the effect of high frequency electromagnetic exposure environment on oxidative stress level of related workers. **Methods** A total of 228 workers who had been continuously engaged in work related to high frequency electromagnetic radiation for at least one year were included in the exposure group, and 228 workers who had not been engaged in work related to high frequency electromagnetic radiation in this department were included in the control group. Multi-point monitoring of the electromagnetic intensity of working environment were done. The malondialdehyde (MDA), superoxide dismutase (SOD), glutathione (GSH), glutathione peroxidase (GSH-Px), glutathione S-transferase (GST), lactate dehydrogenase (LDH) and other oxidative stress indicators of the two groups were respectively detected. **Results** The frequency band of the electromagnetic environment of workers in the exposure group in this study was 5.5 MHz to 1.84 GHz, ranging from high frequency to ultra-high frequency. The oxidative stress indicators results showed that the GSH level of workers in the exposure group was higher than that in the control group ($P=0.049$), while the MDA level in the exposure group was lower than that in the control group ($P=0.043$), there was no statistically significant difference in the levels of GSH-Px, GST, SOD and LDH between the two groups ($P<0.05$). **Conclusion** The high frequency electromagnetic exposure environment in this study did not induce the oxidative stress in the body of related workers.

Keywords: electromagnetic environment; electromagnetic exposure; high frequency; oxidative stress

随着科技的发展,电子战和网络信息成为了新的军事领域,针对越来越多的雷达扫描、卫星制导以及无人操控,电子对抗部队成为现代战争的主力军,但电子对抗中电磁辐射对作业人员带来的负性效应也越来越突出,深入开展各类电磁环境对作业人员的健康影响的相关研究,制定更有针对性的防护政策,保障作业人员的身心健康是军事医学关注的重点。氧化应激是由于机体受内、外源性刺激产生大量自由基,如活性氧(reactive oxygen species,ROS)、一氧化氮(nitric oxide,NO)等,超出了机体抗氧化酶及体内抗氧化剂的清除能力而导致的一种机体应激反应,氧化应激被认为是导致衰老和疾病的一个重要因素[1]。电磁辐射中电离辐射能够直接诱导生物体发生电离反应生成自由基,非电离辐射虽不能直接导致生物体产生自由基,但

[基金项目] 国家自然科学基金(82170352;81870262);军队后勤科研计划重点项目(BLB21J004;BWS17J026;22BJZ31)

[通信作者] 尹 彤,E-mail:yintong301@163.com

可通过影响自由基的分布和维持自由基代谢的酶类,干扰机体自由基代谢的动态平衡[2]。有研究报道,电磁辐射产生过量的自由基是引起细胞毒性损伤靶器官的关键[3-4]。因此,对电磁暴露环境作业人员体内氧化应激水平进行系统研究,是进一步制定抗氧化干预措施的关键。本研究通过对电子对抗部队电磁暴露环境中作业人员的氧化应激指标进行检测,明确长期在电磁暴露环境中作业人员机体的氧化应激水平,为进一步制定更有针对性的防护及干预措施提供依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究选取某电子对抗部队工作人员为研究对象,按照其工作环境分为高频电磁暴露组(连续从事至少1年以上与高频电磁辐射有关的工作人员)与对照组(不接触高频电磁辐射环境且工作时间至少1年以上的工作人员),排除有慢性疾病史、严重肝肾疾病、自身免疫系统疾病或遗传性疾病、有毒物质接触史以及近1周内患有感染性疾病者,所有入组人员均签署知情同意书,各项目调查人员经统一培训。本研究最终纳入工作人员456例,其中暴露组228例,对照组228例,2组工作人员年龄、性别、BMI及工作时间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表1。

表1 2组一般资料比较($n=228$)

组别	年龄(岁)	性别/例		工作时间	BMI
		男	女	(年)	(kg/m^2)
对照组	32.08±9.44	214	14	10.89±8.52	23.66±2.43
暴露组	31.59±9.45	214	14	10.76±8.55	23.60±2.49
t/χ^2	0.649	0		0.159	0.286
P	0.583	1		0.874	0.775

1.2 电磁环境监测

本研究选取高频电磁辐射工作区域内的8个检测点(包括2个电磁屏蔽点,6个非屏蔽点)进行电磁场强的检测,每个检测点连续测量2~3次。测量采用清华大学自主研制的D-Dot传感器(频率带宽为1 MHz~2 GHz,电场强度动态范围为10~50 kV/m)。参考IEEE Std C93.5对等效平面波功率密度进行计算,依照标准《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)对电磁辐射强度进行评价。每次测量前,均在清华大学的电磁脉冲环境和效应实验室对传感器进行校准,不确定度校准值为0.3 dB。

1.3 外周血氧化应激指标检测

收集所有研究对象5 mL空腹外周静脉血,置于EDTA管(VACUETTE®真空采血管)中,即刻离心后冷藏保存,采用南京建成科技有限公司提供的试剂盒检测脂质过氧化物丙二醛(malondialdehyde,MDA)含量、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,SOD)、还原型谷胱甘肽(glutathione,GSH)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase,GSH-Px)、谷胱甘肽S转移酶(glutathione S-transferase,GST)、乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase,LDH)活性,所有操作均严格按照标准进行。

1.4 统计学分析

采用SPSS 25.0统计软件进行分析。对所用数据采用*kolmogorov-Smirmov*进行正态分布检验,结果显示所有数据均符合正态分布。计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用t检验,计数资料以频数表示,组间比较采用χ^2检验,$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 暴露环境的电磁频率和强度

本研究暴露组工作人员所处的电磁环境频段主要在5.5 MHz~1.84 GHz,介于高频至特高频之间,包含超短波及微波,属于射频电磁场,但仍以微波辐射为主。屏蔽点内的功率密度最低小于1.15×10^{-4} W/m^2,最高可达14 W/m^2;在设备附近开放区域的功率密度最低为1.82 W/m^2,最高可达535.17 W/m^2。开放及部分屏蔽区域的功率密度均高于《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)的标准值0.40 W/m^2。

2.2 暴露环境中氧化应激指标的改变

氧化应激指标检测结果显示,暴露组工作人员的GSH水平高于对照组,MDA水平低于对照组,差异均具有统计学意义($P<0.05$);2组GSH-Px、GST、SOD、LDH水平比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表2。

表2 2组氧化应激指标比较($\bar{x}\pm s$,$n=228$)

组别	GSH(mmol/L)	GSH-Px(U/L)	MDA(mmol/L)	GST(U/mL)	SOD(U/mL)	LDH(U/L)
对照组	6.09±1.00	56.82±7.66	10.39±1.71	57.03±9.29	222.55±31.92	202.66±30.38
暴露组	6.28±1.00	57.59±8.22	10.06±1.71	55.92±10.03	227.98±31.69	204.02±37.13
t	1.972	1.452	1.952	1.206	1.823	0.376
P	0.049	0.298	0.043	0.221	0.069	0.669

3 讨论

电子对抗部队主要通过电磁频谱这一特殊领域与敌进行较量,因此相关的作业岗位多暴露于高频电磁环境下,明确电磁环境给工作人员带来的影响并制定有效的防护措施,是保障电子对抗部队工作人员战斗力的关键。近年围绕电磁辐射对机体氧化应激的影响研究越来越多,电磁暴露环境中雌鼠卵巢组织与雄鼠睾丸组织氧化应激水平显著增高,导致卵巢结构损伤及精子质量下降,诱发生育力降低[5-6];Esmekaya 等[7]发现 900 MHz 电磁辐射导致大鼠心脏、睾丸、肺、肝组织的氧化应激损伤,表现为 MDA、NO 生成增加,GSH-Px 活性降低。射频电磁辐射主要通过氧化应激反应对神经系统造成损害[8];而极低频电磁场可能具有抗氧化和神经保护作用,手机射频电磁场减少了过氧化氢诱导原代星形胶质细胞的 ROS 的生成,其可能机制是通过抑制过氧化氢诱导丝裂原活化 p38 蛋白激酶的磷酸化[9]。以往的研究虽已证实,电磁辐射产生生物学效应主要是通过激活活性氧系统来完成[10-11],磁场强度、电磁波的类型及暴露时间都能影响氧化应激水平[12],但相关研究多限于细胞及动物水平,对于人群研究较少,因此系统地研究电磁暴露环境中作业人员的氧化应激水平,是制定有效防护及干预措施的关键。

本研究中电子对抗部队暴露组工作人员所处的电磁环境频段主要在 5.5 MHz ~ 1.84 GHz,位于高频至特高频之间,属于射频电磁场,以微波辐射为主。本研究采用 GSH、GSH-Px、MDA、GST、SOD、LDH 等氧化应激指标检测工作人员体内氧化应激水平,结果显示,与对照组比较,暴露组工作人员 GSH 水平较高,MDA 水平较低,而其他指标均无差异。GSH 主要在肝内合成,是机体内一种强抗氧化剂,具有很好的消除自由基的作用,是细胞抗氧化防御系统的主要成分,具有维持细胞正常代谢、调节机体免疫应答等重要生理功能[13]。MDA 是自由基引起脂质过氧化后形成的分解产物,可作为组织氧化损伤的标志物之一,反映体内脂质过氧化的程度,在许多慢性疾病中都观察到 MDA 水平升高[14]。本研究中暴露组工作人员 GSH 水平较高,MDA 水平较低,提示本研究中的电磁暴露环境并未引起暴露人员体内氧化应激水平的变化。年龄增加可能是电磁诱导氧化应激的一个危险因素,50 Hz ELF-MF 暴露 10 d 对抗氧化活性的影响研究显示,与 3 月龄大鼠相比,19 月龄大鼠的抗氧化能力较弱,暴露于电磁环境中的年轻鼠具有更强的抗氧化酶防御能力,以抵抗由 ELF-MF 介导的氧自由基的增加[15]。机体的适应性和自我修复能力,是机体抵抗电磁辐射诱导氧化应激的关键,2 100 MHz 射频辐射对大鼠大脑的影响实验显示,与对照组相比,暴露组暴露 10 d 后大脑的氧化性 DNA 损伤增加,而暴露 40 d 后氧化性 DNA 损伤减少,同时 MDA 浓度降低[16]。上述研究证明除了暴露的持续时间和剂量外,年龄及机体的调节能力是对抗应激的防御机制的关键因素,防御和调节能力随着年龄的增长而下降。本研究队列人群相对较为年轻,机体的适应能力及调节能力较强,因此电磁暴露环境中的工作人员并未显示出明显的氧化应激反应。

本研究观察到电子对抗部队中电磁暴露环境并未诱导相关工作人员机体的氧化应激反应,推测年龄可能是机体对抗电磁辐射的保护因素,但本研究中缺少不同年龄组的电磁辐射相关分析,相关结论尚需进一步研究证实。

[参考文献]

[1] Hajam YA, Rani R, Ganie SY, et al. Oxidative stress in human pathology and aging: molecular mechanisms and perspectives[J]. Cells, 2022, 11(3):552 - 579. doi: 10.3390/cells11030552.

[2] 张清俊,吴 可. 电磁辐射诱导的生物氧化应激效应[J]. 航天医学与医学工程,2004,17(2):153 - 156. doi:10.16289/j.cnki.1002 - 0837.2004.02.018.

[3] 方连英,王 彦,徐 畅,等. 电离辐射诱导造血于细胞损伤的分子机制研究进展[J]. 基础医学与临床,2017,37(2):256 - 260. doi:10.16352/j.issn.1001 - 6325.2017.02.022.

[4] Santini SJ, Cordone V, Falone S, et al. Role of mitochondria in the oxidative stress induced by electromagnetic fields: focus on reproductive systems[J] Oxid Med Cell Longev, 2018, 2018: 5076271. doi: 10.1155/2018/5076271.

[5] 王晶晶,陈书强,董 杰,等. 微波辐射对雌性小鼠卵巢功能的近期影响[J]. 解放军医学院学报, 2021,42(11):1167 - 1171. doi:10.3969/j.issn.2095 - 5227.2021.11.009.

[6] 程 庆,禹 刚,王 刚,等. 4G 手机射频电磁辐射阴囊暴露对成年大鼠生精能力和血 - 睾屏障的影响[J]. 中华男科学杂志,2021,27(8):680 - 684. doi:10.13263/j.cnki.nja.2021.08.002.

[7] Esmekaya M, Ozer C, Seyhan N. 900 MHz pulse-modulated radiofrequency radiation induces oxidative stress on heart, lung, testis and liver tissue [J]. Gen Physiol Biophys, 2011, 30(1):84 - 89. doi:10.4149/gpb_2011_01_84.

[8] 黄 越,陈乃耀,赵雪聪,等. 氧化应激参与放射性脑损伤的研究进展[J]. 神经解剖学杂志,2019,35(2): 221 - 224. doi:10.16557/j.cnki.1000 - 7547.2019.02.019.

[9] Tsoy A, Saliev T, Abzhanova E, et al. The effects of mobile phoneradiofrequency electromagnetic fields on β-amyloid-induced oxidative stress in human and rat primary astrocytes[J]. Neuroscience, 2019, 408:46 - 57. doi:10.1016/j.neuroscience.2019.03.058.

[10] Losada-Barreiro S, Bravo-Díaz C. Free radicals and polyphenols: the redox chemistry of eurodegenerative diseases[J]. Eur J Med Chem, 2017, 133: 379 - 402. doi:10.1016/j.ejmech.2017.03.061.

doi:10.11659/jjssx.05E022025

·临床研究·

经皮经肝穿刺一期硬质胆道镜取石术治疗肝内胆管结石的疗效分析

姚红兵[1],罗 旭[1],吴嘉兴[1],蒋建晖[1],赵东康[1],陆才进[1],王泽文[1],孔 娟[1],徐军红[2] (1.桂林医学院第二附属医院肝胆胰外科,广西 桂林 541199;2.桂林医学院第二附属医院放射介入科,广西 桂林 541199)

[摘 要] **目的** 探讨经皮经肝穿刺一期硬质胆道镜取石术治疗肝内胆管结石的疗效及对患者术后疼痛、炎症因子、术后并发症及复发的影响。**方法** 选取我院接受开腹手术治疗的60例肝内胆管结石患者(对照组)与接受经皮经肝穿刺一期硬质胆道镜取石术的60例肝内胆管结石患者(观察组)作为研究对象。比较2组患者的总有效率、一次性结石清除率、手术情况、术后视觉模拟量表(VAS)评分、术后炎症因子指标、术后并发症发生率、术后恢复时间、住院时间、术后复发率。**结果** 2组患者的总有效率、一次性结石清除率、术后6个月复发率比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。2组患者的手术时间比较差异无统计学意义($P>0.05$)。观察组的术中出血量少于对照组($P<0.05$),术后首次排气时间、术后下床活动时间、住院时间均短于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。观察组术后1~3 d的VAS评分、C反应蛋白和白细胞介素-6均低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。观察组的术后并发症发生率低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 经皮经肝穿刺一期硬质胆道镜取石术不仅可提高肝内胆管结石患者的结石清除效果,降低术后远期复发风险,还可减轻手术创伤,减少术后并发症的发生,加快术后康复。

[关键词] 肝内胆管结石;经皮经肝穿刺一期硬质胆道镜取石术;微创手术;开腹手术;术后并发症

[中图分类号] R575.6 [文献标识码] A [收稿日期] 2022-05-07

Curative effect of percutaneous transhepatic primary rigid choledochoscopy in the treatment of intrahepatic bile duct stones

YAO Hong-bing[1], LUO Xu[1], WU Jia-xing[1], JIANG Jian-hui[1], ZHAO Dong-kang[1], LU Cai-jin[1], WANG Ze-wen[1], KONG Juan[1], XU Jun-hong[2] (1. Department of Hepatobiliary and Pancreatic Surgery, Second Affiliated Hospital of Guilin Medical University, Guilin Guangxi 541199, China; 2. Department of Radiological Intervention, Second Affiliated Hospital of Guilin Medical University, Guilin Guangxi 541199, China)

Abstract: Objective To investigate the efficacy of percutaneous transhepatic primary rigid choledochoscopy in the treatment of intrahepatic bile duct stones and its effects on postoperative pain, inflammatory factors, postoperative complications and recurrence. **Methods** A total of 60 patients with intrahepatic bile duct stones treated by laparotomy (the control group) and 60 patients with intrahepatic bile duct stones treated by percutaneous transhepatic primary rigid choledochoscopy (the observation group) were selected as research objects. The total effective rate, one-time stone removal rate, operation condition, postoperative visual analogue scale (VAS) score, postoperative inflammatory factor indexes, postoperative complication rate, postoperative recovery time, hospitalization time and postoperative recurrence rate

[基金项目] 桂林市科技计划项目(2020011205-2);广西医疗卫生重点培育学科建设项目

[通信作者] 姚红兵,E-mail:156808015@qq.com

[11] Friedman J, Kraus S, Hauptman Y, et al. Mechanism of shor-tterm ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies [J]. Biochem J, 2007, 405(3): 559-568. doi:10.1042/BJ20061653.

[12] Schuermann D, Mevissen M. Manmade electromagnetic fields and oxidative stress biological effects and consequences for health [J]. Int J Mol Sci, 2021, 22(7): 3772-3805. doi:10.3390/ijms22073772.

[13] 张 艺,叶 升. 还原型谷胱甘肽生理功能及其临床应用[J]. 生命的化学, 2020, 40(12): 2226-2235. doi:10.13488/j.smhx.20200257.

[14] Amin MM, Rafiei N, Poursafa P, et al. Association of benzene expo-sure with insulin resistance, SOD and MDA as markers of oxidative stress in children and adolescents [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2018, 25(34): 34046-34052. doi:10.1007/s11356-018-3354-7.

[15] Falone S, Mirabilio A, Carbone MC, et al. Chronic exposure to 50Hz magnetic fields causes a significant weakening of antioxidant defence systems in aged rat brain [J]. Int J Biochem Cell Biol, 2008, 40(12): 2762-2770. doi:10.1016/j.biocel.2008.05.022.

[16] Sahin D, Ozgur E, Guler G, et al. The 2100MHz radiofrequency radiation of a 3G-mobile phone and the DNA oxidative damage in brain [J]. J Chem Neuroanat, 2016, 75(PtB): 94-98. doi:10.1016/j.jchemneu.2016.01.002.

(编辑:刘 艺)