

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2014.32.001

· 生物磁学 ·

电磁脉冲对清醒大鼠尾动脉血压的影响*

李宝丰¹ 陈蓓² 李梅¹ 章莹¹ 赵涛³ 李静³ 任东青³ 郭国祯^{3△}

(1 广州军区广州总医院骨科医院 广东 广州 510010; 2 广州军区广州总医院肿瘤科 广东 广州 510010;

3 第四军医大学放射医学教研室 陕西 西安 710032)

摘要 目的:观察电磁脉冲 (electromagnetic pulses, EMP) 对清醒大鼠动脉血压和心率的影响。**方法:**适应性血压测量 1 周后的 14 只健康成年雄性 SD 大鼠按体重随机分为假辐照组和辐照组, 每组 7 只, 在锥形平板 GTEM 小室内接受 EMP 辐照, EMP 辐照参数为: 场强 200 kV/m, 脉冲前沿 3.5 ns, 脉宽 14 ns, 重复频率 1 Hz, 辐照后用无创性尾套式血压测量仪测量 2 hr 至 1 wk 内大鼠动脉血压和心率变化规律。**结果:**照后 3 d 大鼠动脉血压 (收缩压、舒张压和平均动脉压) 与假辐照组相比下降显著 ($P < 0.05$), 12 h 有下降趋势, 其他时间未见显著性差异 ($P > 0.05$); 辐照对大鼠心率也无明显影响 ($P > 0.05$)。**结论:**EMP 辐照可以引起大鼠血压一过性降低; 对大鼠心率无明显影响。

关键词: 电磁脉冲; 动脉血压; 心率; 大鼠

中图分类号: Q95-3; Q64 文献标识码: A 文章编号: 1673-6273(2014)32-6201-04

Effects of Electromagnetic Pulses on Caudal Arterial Blood Pressure of Conscious Rats*

LI Bao-feng¹, CHEN Bei², LI Mei¹, ZHANG Ying¹, ZHAO Tao³, LI Jing³, REN Dong-qing³, GUO Guo-zhen^{3△}

(1 Department of Orthopaedics, Guangzhou General Hospital of Guangzhou Military Command, Guangzhou, Guangdong, 510010, China;

2 Department of Oncology, Guangzhou General Hospital of Guangzhou Military Command, Guangzhou, Guangdong, 510010, China;

3 Department of Radiation Medicine, Fourth Military Medical University, Xi'an, Shaanxi, 710032, China)

ABSTRACT Objective: To investigate the effects of electromagnetic pulses (EMP) on arterial blood pressure and heart rate of conscious rats. **Methods:** 14 male Sprague-Dawley rats, the blood pressure of which have been measured for a week, were randomly divided into two groups with 7 rats for each group. They were subjected to sham exposure or 200 kV/m [200 kV/m, 3.5 ns duration, 14 ns width, 1 Hz and 200 pulses] EMP fields in a tapered parallel plate GTEM cell. The arterial blood pressures and heart rates were evaluated from 2 hours to 1 week after exposures by a noninvasive tail-cuff photoelectric sensor sphygmomanometer. **Results:** 3d after the EMP irradiation, arterial blood pressures [systolic, mean and diastolic pressures] decreased significantly ($P < 0.05$). There was a tendency to decrease at the 12th hour after exposures. There was no significant differences at other times ($P > 0.05$). There was no change in heart rates by the exposures ($P > 0.05$). **Conclusion:** EMP irradiation can decrease the arterial blood pressures of conscious rats in a short period of time. No influence of EMP was detected on the heart rate.

Key words: Electromagnetic pulse (EMP); Arterial blood pressure; Heart rate; Rats

Chinese Library Classification: Q95-3; Q64 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2014)32-6201-04

前言

随着科学技术的进步, 各类高新电子产品层出不穷, 为工作和生活带来便利, 同时电磁辐射污染也日益加重, 对电磁辐射的生物学效应及其防治的研究已经成为全社会广泛关注的焦点。电磁脉冲 (electromagnetic pulse, EMP) 是一种宽频、高能的电磁辐射, 随着 EMP 在工业、农业、国防等各领域日益广泛

的使用, 它对人员健康的影响等问题引起广泛的关注^[1-4]。有关电磁辐射对生物体心血管系统影响的研究文章不多, 且存在相互矛盾的结果^[5]。Lu-ST 等用类似于 EMP 的超宽谱电磁脉冲 (Ultra-wide band, UWB) 辐射 Wistar-Kyoto 大鼠, 发现照后 45 min 至 4 wk 大鼠持续性的低血压, 而心率未见明显改变^[6]。也有报道认为 SD 大鼠急性全身 UWB 辐照对其血压和心率无明显影响, 因此心血管系统不是 UWB 辐照的敏感系统^[7,8]。由此

* 基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (81000819)

作者简介: 李宝丰 (1979-), 男, 博士, 主要研究方向: 骨科, 电磁辐射生物学效应, E-mail: niren79817@163.com

△ 通讯作者: 郭国祯, E-mail: guozhen@fmmu.edu.cn

(收稿日期: 2014-02-17 接受日期: 2014-03-15)

可见,电磁脉冲对心血管系统影响的报道不一致。为进一步明确 EMP 照射对大鼠心血管系统的作用,本研究以雄性 SD 大鼠为研究对象,对 EMP 辐射后 2 hr 至 1 wk 清醒大鼠尾动脉压情况进行了研究。

1 材料和方法

1.1 主要仪器及试剂

EMP 发生器:西北核技术研究所研制;RM-6280 型多道生理仪(成都仪器厂,西安第四军医大学研制),HX-II 型小动物血压测量仪(包括充气球、压脉套、三通管、血压表和高敏脉搏转换器)。

1.2 动物和分组

雄性 SD 大鼠 14 只,体质重(225.10 ± 4.66)g,由第四军医大学实验动物中心提供,适应性喂养一周并每天用无创性的清醒小动物血压测量仪进行血压测量,以使大鼠适应清醒状态下的血压测量,血压基本稳定。大鼠随机分配到假辐照组和 200 kV/m 场强辐照组,每组 7 只。

1.3 电磁脉冲辐照

电磁脉冲由电磁脉冲模拟器产生,通过同轴电缆输入锥形 GTEM 室内。GTEM 室中心为中隔板,外层为接地导体,截面为方形。模拟器所产生的瞬变电场即加载于中隔板和外层之间,并由光纤测量系统测量 GTEM 室内电场变化。辐照时动物装载于有机玻璃容器内,布放于合适场强位置。动物在有机玻璃盒内为自由体位,侧壁留有通气孔,提供良好的通气状态,并保

证动物不接触地板和中隔板。假辐照组和 200 kV/m 场强组所接受的 EMP 场强分别为 0 kV/m 和 200 kV/m,脉冲前沿 3.5 ns,脉宽 14 ns,重复频率 1 Hz,共 200 个脉冲。

1.4 动脉血压的连续测量

根据大鼠尾动脉压测量方法并稍加改进,将大鼠放入自制锥形布袋中,暖水袋 40-42℃ 对大鼠尾部加热约 10 min 后,用 HX-II 型小动物血压测量仪对大鼠进行清醒状态下血压测量^[9]。大鼠尾动脉脉搏波动和压脉套中的压力通过换能器传入八道生理记录仪,再输入 RM-6280 型多道生理仪中,通过计算机读出收缩压、舒张压和脉率,并据此计算出平均动脉压和脉压。每只大鼠每次测量 5-10 个血压值,取平均值作为本次测量最后血压。分别测量照后 2 hr、12 hr、24 hr、3 d 和 7 d 等时间点大鼠的血压和脉率。

1.5 统计分析

以 EMP 为处理因素,结果以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS10.0 软件对数据进行重复测量的单因素方差分析,所有检验均以 0.05 为显著性水准。

2 结果

场强 200 kV/m、200 个脉冲 EMP 辐照组大鼠尾动脉收缩压波动在 120-145 mmHg 之间,假辐照组大鼠尾动脉收缩压波动在 120-147 mmHg 之间,辐照后 3d 辐照组大鼠尾动脉收缩压与假辐照组相比具有显著性差异($P < 0.05$),其他时间点与假辐照组相比未见显著性差异(表 1)。

表 1 200 kV/m、200 次 EMP 对清醒大鼠动脉收缩压的影响($\bar{x} \pm s$, mmHg, n=7)

Table 1 Effects of EMP exposure on systolic blood pressure of un-anesthetized rats($\bar{x} \pm s$, mmHg, n=7)

Groups	Pre-exposure	Time after exposure				
		2 hr	12 hr	24 hr	3 d	7 d
0 kV/m (control)	122.86 $\pm$ 11.63	119.86 $\pm$ 14.10	133.99 $\pm$ 18.32	133.87 $\pm$ 16.76	147.18 $\pm$ 13.71	134.18 $\pm$ 15.78
200 kV/m	120.86 $\pm$ 12.76	125.14 $\pm$ 17.21	121.01 $\pm$ 12.32	136.11 $\pm$ 19.26	134.69 $\pm$ 4.58 ^a	145.31 $\pm$ 13.78

^a: $P < 0.05$ vs. control.

场强 200 kV/m、200 个脉冲 EMP 辐照组大鼠尾动脉舒张压波动在 88-115 mmHg 之间,假辐照组大鼠尾动脉收缩压波动在 91-116 mmHg 之间,辐照后 3 d 辐照组大鼠尾动脉舒张压

与假辐照组相比具有显著性差异($P < 0.05$),其他时间点与假辐照组相比未见显著性差异(表 2)。

表 2 200 kV/m、200 次 EMP 对清醒大鼠动脉舒张压的影响($\bar{x} \pm s$, mmHg, n=7)

Table 2 Effects of EMP exposure on diastolic blood pressure of un-anesthetized rats($\bar{x} \pm s$, mmHg, n=7)

Groups	Pre-exposure	Time after exposure				
		2 hr	12 hr	24 hr	3 d	7 d
0 kV/m (control)	95.43 $\pm$ 9.13	91.20 $\pm$ 12.15	107.24 $\pm$ 12.48	110.27 $\pm$ 13.60	116.48 $\pm$ 10.00	107.39 $\pm$ 12.74
200 kV/m	88.43 $\pm$ 6.13	95.96 $\pm$ 12.16	95.16 $\pm$ 13.31	109.20 $\pm$ 16.20	106.57 $\pm$ 5.76 ^a	115.48 $\pm$ 13.55

^a: $P < 0.05$ vs. control.

平均动脉压由公式 $MAP=1/3SBP+2/3DBP$ 计算得出。场强 200kV/m、200 个脉冲 EMP 辐照组大鼠尾动脉平均动脉压波动在 99-125mmHg 之间,假辐照组大鼠尾动脉平均动脉压波动在 100-126mmHg 之间,辐照后 3d 辐照组大鼠尾动脉平均动脉压与假辐照组相比具有显著性差异 ($P<0.05$),其他时间点与假辐照组相比未见显著性差异(表 3)。

表 3 200 kV/m、200 次 EMP 对清醒大鼠平均动脉压的影响($\bar{x} \pm s$, mmHg, n=7)Table 3 Effects of EMP exposure on mean arterial pressure of un-anesthetized rats($\bar{x} \pm s$, mmHg, n=7)

Groups	Pre-exposure	Time after exposure				
		2 hr	12 hr	24 hr	3 d	7 d
0 kV/m(control)	104.86 $\pm$ 9.82	100.76 $\pm$ 11.98	116.16 $\pm$ 14.22	118.14 $\pm$ 14.60	126.71 $\pm$ 10.95	116.32 $\pm$ 13.44
200 kV/m	99.57 $\pm$ 7.55	105.69 $\pm$ 13.52	103.78 $\pm$ 12.92	118.17 $\pm$ 17.19	115.94 $\pm$ 4.83 ^a	125.43 $\pm$ 13.35

^a: $P<0.05$ vs. control.

脉压由公式 $PP=SBP-DBP$ 计算得出。场强 200 kV/m、200 个脉冲 EMP 辐照组大鼠尾动脉脉压波动在 25-32 mmHg 之间,假辐照组大鼠尾动脉脉压波动在 23-30 mmHg 之间,各时间点辐照组大鼠脉压与假辐照组相比未见显著性差异 ($P>0.05$),表明此条件下的 EMP 对大鼠脉压影响不明显(表 4)。

表 4 200 kV/m、200 次 EMP 对清醒大鼠脉压的影响($\bar{x} \pm s$, mmHg, n=7)Table 4 Effects of EMP exposure on pulse pressure of un-anesthetized rats($\bar{x} \pm s$, mmHg, n=7)

Groups	Pre-exposure	Time after exposure				
		2 hr	12 hr	24 hr	3 d	7 d
0 kV/m(control)	27.43 $\pm$ 5.62	28.66 $\pm$ 9.72	26.74 $\pm$ 7.17	23.61 $\pm$ 4.12	30.69 $\pm$ 6.47	26.79 $\pm$ 6.91
200 kV/m	32.14 $\pm$ 9.69	29.19 $\pm$ 8.10	25.86 $\pm$ 2.88	26.90 $\pm$ 3.87	28.11 $\pm$ 5.10	29.83 $\pm$ 5.84

场强 200 kV/m、200 个脉冲 EMP 辐照组大鼠心率波动在 305-368 次之间,假辐照组大鼠心率波动在 318-386 次之间,各时间点辐照组大鼠心率与假辐照组相比未见显著性差异 ($P>0.05$),表明此条件下的 EMP 对大鼠脉率影响不明显(表 5)。

表 5 200 kV/m、200 次 EMP 对清醒大鼠心率的影响($\bar{x} \pm s$, mmHg, n=7)Table 5 Effects of EMP exposure on heart rate of un-anesthetized rats($\bar{x} \pm s$, mmHg, n=7)

Groups	Pre-exposure	Time after exposure				
		2 hr	12 hr	24 hr	3 d	7 d
0 kV/m(control)	366 $\pm$ 31	386 $\pm$ 40	340 $\pm$ 38	320 $\pm$ 34	318 $\pm$ 22	343 $\pm$ 29
200 kV/m	368 $\pm$ 36	360 $\pm$ 28	372 $\pm$ 25	305 $\pm$ 49	346 $\pm$ 57	322 $\pm$ 24

3 讨论

电磁辐射包括电离辐射(γ 射线、X射线)和非电离辐射(无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线等),而非电离辐射则常被人们俗称为电磁辐射。各种电磁辐射如微波^[10-12]、 γ 射线^[13]、高频电磁场^[14]等均可作用于心脏和血管,引起一系列生物学改变。电磁脉冲是一种较为特殊的电磁辐射,具有场强高、能量大等特点,有关 EMP 的生物效应研究较少,报道不多^[15,16]。

心血管系统由心脏、血管及流淌在其中的血液组成,通过心脏的收缩和舒张活动,血液在血管中周而复始地循环流动,从而给机体组织带去营养物质,带走各种废料,可见心血管系

统在维持生命活动过程中起着重要的作用。血压和心率是反应心血管系统功能的最重要指标,是生物体的基本生命体征。对大鼠血压的测量主要方法是麻醉状态下的颈动脉插管测量法和清醒状态下的尾动脉无创性测量法,尾动脉测量可以在大鼠清醒状态下,反复、多次进行测量,不受麻醉药物的影响,重复性好^[17,18]。因此本研究选择用测量大鼠尾动脉血压的方法来检测 EMP 辐照后大鼠动脉血压(收缩压、舒张压、脉压和平均动脉压等)和脉率的变化。

Jauchem 等研究了电磁辐照后麻醉状态下大鼠心血管系统的变化,结果发现辐照后大鼠出现一过性高血压,同时这些大鼠在辐照时出现体温升高^[19,20]。分析认为辐照引起大鼠体温

一过性升高,血压的搏动可能与体温波动有关系。我们的研究采用的是清醒状态下的大鼠,没有使用麻醉药物,且辐照参数与 Jauchem 采用的不同,因此结果不具有可比性。

Lu-ST 等采用无创性尾套式光敏感血压测量仪研究了超宽谱电磁脉冲辐射对雄性 Wistar-Kyoto 大鼠血压和心率的影响,其所用的辐照场强为 93 kV/m 和 85 kV/m^[5]。研究结果表明 UWB 辐照引起大鼠长时间的持续低血压(从照后 45 min 至 4 wk)。Jauchem-JR 等^[6]将 14 只 SD 大鼠暴露于 UWB 脉冲发生器中(场强 19-21 kV/m,暴露 2 s 间歇 2 s 共持续 2min),照后用氯安酮麻醉大鼠然后进行血压和心率测量,未发现此条件下的电磁脉冲对大鼠心血管系统有明显影响。他们还将 10 只麻醉后的 SD 大鼠暴露于 UWB 脉冲发生器(场强 87-104 kV/m、持续 2 min),在暴露时和暴露后 2 min 时间内每 30 s 检测大鼠平均动脉压和心率一次,未发现大鼠血压和心率有明显改变^[7]。作者认为此条件下的电磁脉冲对大鼠血压和心率没有明显影响。

本文采用无创性尾套式血压测量仪对大鼠受 200 kV/m、200 次脉冲 EMP 辐照后 2 hr 至 7 d 时间范围内血压和心率进行连续测量,发现照射后 3 d 大鼠血压(收缩压、舒张压、平均动脉压)与假辐照组相比出现一过性降低,其他时间血压未见明显改变。辐照对大鼠心率没有明显改变。鉴于各研究结果结论不一致,可以推测:这跟此类电磁波的复杂特性有关,而且各实验采取的辐照参数不同、辐照条件不同、实验者的实验操作、检测方法不同有关。有关 EMP 对心血管系统的作用及其机制需要更进一步系统的研究。

参考文献(References)

- [1] 郭鹤,陈景藻,曾桂英,等. 电磁辐射生物效应及其医学应用[M]. 第四军医大学出版社, 2002: 12-20
Guo Yao, Chen Jing-zao, Zeng Gui-ying, et al. Biological effects of electromagnetic radiation and its application in medicine [M]. The Fourth Military Medical University press, 2002:12-20
- [2] 张华伟,刘军叶,周咏春,等. 电磁脉冲对 C57BL/6J 胸腺的作用[J]. 现代生物医学进展, 2012, 12(5): 810-814
Zhang Hua-wei, Liu Jun-ye, Zhou Yong-chun, et al. Effects of Electromagnetic Pulse on the T Lymphocyte in the Thymus of Mice [J]. Progress in Modern Biomedicine, 2012, 12(5): 810-814
- [3] Ding GR, Li KC, Wang XW, et al. Effect of electromagnetic pulse exposure on brain micro vascular permeability in rats [J]. Biomed Environ Sci, 2009, 22(3): 265-268
- [4] Lu LJ, Xu H, Wang XW, et al. Increased nitric oxide synthase activity is essential for electromagnetic-pulse-induced blood-retinal barrier breakdown in vivo[J]. Brain Research, 2009, 126(4): 104-110
- [5] Jauchem JR. The role of autacoids and the autonomic nervous system in cardiovascular responses to radio-frequency energy heating [J]. Auton Autacoid Pharmacol, 2006, 26(2): 121-140
- [6] Lu ST, Mathur SP, Akyel Y, et al. Ultra wide-band electromagnetic pulses induced hypotension in rats [J]. Physiol Behav, 1999, 65(4-5): 753-761
- [7] Jauchem JR, Frei MR, Ryan KL, et al. Lack of effects on heart rate and blood pressure in ketamine anesthetized rats briefly exposed to ultra-wideband electromagnetic pulses [J]. IEEE-Trans-Biomed-Eng, 1999, 46(1): 117-120
- [8] Jauchem JR, Seaman RL, Lehnert HM, et al. Ultra-wideband electromagnetic pulses: Lack of effects on heart rate and blood pressure during two-minute exposures of rats[J]. Bioelectromagnetic, 1998, 19(5):330-333
- [9] 朱妙章,袁文俊,吴博威,等. 心血管生理学与临床[M]. 高等教育出版社, 2004: 575-576
Zhu Miao-zhang, Yuan Wen-jun, Wu Bo-wei, et al. Cardiovascular physiology and clinical[M]. Higher Education Press, 2004: 575-576
- [10] Jauchem JR, Ryan KL, Frei MR. Cardiovascular and thermal effects of microwave irradiation at 1 and/or 10 GHz in anesthetized rats[J]. Bioelectromagnetic, 2000, 21(3): 159-166
- [11] 郭九吉,朱玉华,曹钟兴,等. 微波作业人员健康的动态观察[J]. 职业卫生与应急救援, 2000, 18(2): 62-64
Guo Jiu-ji, Zhu Yu-hua, Cao Zhong-xing, et al. Dynamic observation of health of workers exposed to microwave radiation [J]. Occupation health and emergency rescue, 2000, 18(2): 62-64
- [12] 王洪勋,郭随英. 微波作业 96 人健康的动态观察 [J]. 职业与健康, 2004, 20(2): 34
Wang Hong-xun, Guo Sui-ying. Dynamic observation of microwave operation 96 health[J]. Occupation and Health, 2004, 20(2): 34
- [13] Qi ST, Hattori Y, Hattori Y, et al. Functional and morphological damage of endothelium in rabbit ear artery following irradiation with cobalt60[J]. Br J Pharmacol, 1998, 123(4): 653-660
- [14] 杨超敏. 高频辐射对作业人员心电图的影响 [J]. 职业医学, 1998, 25(3): 24-25
Yang Chao-min. Effects on ECG of workers exposed to high frequency radiation[J]. occupation medicine, 1998, 25(3): 24-25
- [15] Merritt JH, Kiel JL, Hurt WD. Considerations for human exposure standards for fast-rise-time high-peak-power electromagnetic pulses [J]. Aviat Space Environ Med, 1995, 66(6): 586-589
- [16] Silny J. Demodulation in tissue, the relevant parameters and the implications for limiting exposure [J]. Health Phys, 2007, 92 (6): 604-608
- [17] Mauck GW, Smith CR, Geddes LA, et al. The meaning of the point of maximum oscillations in cuff pressure in the indirect measurement of blood pressure [J]. Journal of Biomechanical Engineering, 1980, 102(1): 28-33
- [18] Yamakoshi K, Kamiya A. Noninvasive measurement of arterial blood pressure and elastic properties using photoelectric plethysmography technique [J]. Medical Progress Through Technology, 1987, 12(1): 123-143
- [19] Jauchem JR, Ryan KL, Frei MR. Cardiovascular and thermal responses in rats during 94 GHz irradiation [J]. Bioelectromagnetics, 1999, 20(1): 264-267
- [20] Jauchem JR, Chang KS, Frei MR. Tolazoline decreases survival time during microwave-induced lethal heat stress in anesthetized rats[J]. Proc Soc Exp Biol Med, 1996, 211(3): 236-243