

DOI:10.16781/j.0258-879x.2016.06.0718

## 持续低频噪声对大鼠情绪及行为学指标的影响

宗莉<sup>1</sup>, 张正华<sup>1\*</sup>, 谢丹<sup>1</sup>, 康婧<sup>1</sup>, 许苗苗<sup>1</sup>, 李自强<sup>2</sup>

1. 淄博市职业病防治院职业病三科, 淄博 255022

2. 第二军医大学心理与精神卫生学系医学心理教研室, 上海 200433

**[摘要]** **目的** 探讨持续低频噪声对大鼠情绪及行为的影响。**方法** 将40只大鼠采用随机数字法分为正常对照组及噪声暴露组, 每组20只。将噪声暴露组大鼠每天早、中、晚3次置于100 Hz、70 dB的噪声场中1 h, 持续8周; 正常对照组大鼠饲养于背景噪声低于40 dB的环境中。分别于实验开始当天及第2、4、6、8周末, 采用体质量测定、糖水偏好实验、触动实验及旷场实验评价大鼠的情绪及行为。**结果** (1) 随饲养时间的延长两组大鼠体质量变化的趋势不同( $P < 0.05$ ), 噪声暴露组大鼠的体质量增加较正常对照组减少; (2) 不考虑时间因素, 两组大鼠间糖水偏好的主效应差异有统计学意义( $P < 0.01$ ); 噪声暴露组大鼠与正常对照组大鼠随饲养时间的延长糖水偏好的变化趋势不同( $P < 0.01$ ), 其中噪声暴露组大鼠的糖水偏好百分比呈明显下降趋势; (3) 噪声暴露组大鼠紧张性触动评分及疼痛刺激评分均高于正常对照组, 差异有统计学意义( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ ); (4) 噪声暴露组大鼠的水平活动能力和垂直活动能力随暴露时间的延长呈下降趋势, 且低于正常对照组, 时间效应、组别效应及交互效应均有统计学意义( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ )。**结论** 持续低频噪声可导致大鼠体质量和活动能力下降, 并出现焦虑、抑郁等情绪反应, 且具体的表现及程度与暴露时间有关。

**[关键词]** 噪声; 低频; 持续; 情绪; 行为

**[中图分类号]** R 749.4

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 0258-879X(2016)06-0718-06

### Effects of continuous low frequency noise on the emotion and behavior of rats

ZONG Li<sup>1</sup>, ZHANG Zheng-hua<sup>1\*</sup>, XIE Dan<sup>1</sup>, KANG Jing<sup>1</sup>, XU Miao-miao<sup>1</sup>, LI Zi-qiang<sup>2</sup>

1. The Third Department of Occupational Disease, Zibo Prevention and Treatment Hospital for Occupational Diseases, Zibo 255022, Shandong, China

2. Department of Medical Psychology, Faculty of Mental Health and Psychology, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

**[Abstract]** **Objective** To explore the effects of continuous low frequency noise on the emotion and behavior of rats. **Methods** Forty rats were randomly divided into normal control (NC) group and noise exposure (NE) group, with 20 rats in each group. Rats in NE group were exposed to 100 Hz, 70 dB noise for 1 hour at early, middle and late time of the day in a daily manner for 8 weeks. Rats in NC group were raised in normal background noise in an environment with a noise less than 40 dB. The body mass measurement, sucrose preference test, handling test and open field test were done to evaluate the emotion and behavior of rats at the beginning and 2, 4, 6, 8 weeks of experiment. **Results** (1) The body mass change trends were significant between the two groups at different time points ( $P < 0.05$ ). The body mass gain of rats in NE group was greatly less than that of the NC rats. (2) Regardless of the impact of time, the main effects in sucrose preference test were significantly different between the two groups ( $P < 0.01$ ). The change trends of sucrose preference were significantly different between the two groups at different time points ( $P < 0.05$ ), with the percentage of sucrose preference of NE rats greatly decreased with time. (3) The tension stimulation score and pain score of handling test in NE rats were significantly higher than those in NC rats ( $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ). (4) The horizontal and vertical movement abilities in NE rats were significantly decreased with the noise exposure period compared with the control group; the effects of time, groups and interaction were all significantly different ( $P < 0.05$  or  $P < 0.01$ ). **Conclusion** Continuous low frequency noise can lead to decrease of body weight and movement ability of rats, accompanied by emotional reactions such as anxiety and depression, and the severities of the changes

**[收稿日期]** 2015-10-28 **[接受日期]** 2016-01-26

**[基金项目]** 山东省淄博市科技局科技发展项目(2014KJ010003). Supported by Technology Development Projects of Science and Technology Bureau of Zibo City, Shandong Province (2014KJ010003).

**[作者简介]** 宗莉, 硕士生. E-mail: 1229445173@qq.com

\* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 0533-2793161, E-mail: 13361595933@189.cn

are closely related to exposure time.

[Key words] noise; low frequency; continuity; emotions; behavior

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2016, 37(6): 718-723]

来自于工作环境及日常生活的噪声污染已经成为当前社会的一大公害<sup>[1]</sup>,而且随着城市化进程的加速以及工业、交通业的快速发展,人类暴露于噪声的机会和强度都大大增加。由于高频噪声对人体生理功能有直接影响<sup>[2-4]</sup>,且国内声环境质量标准及其监测方式主要是针对高频噪声的检测,因此,人们对于高频噪声的危害及控制已经形成了比较明确的认识。然而,世界卫生组织(WHO)指出,低频噪声正越来越严重地影响着都市人的生活<sup>[5]</sup>。研究表明,低频噪声对人体心血管和神经系统、视觉系统、听觉系统及内分泌系统等的生理功能均有一定影响,并可能对人们的工作、学习等行为产生不利影响<sup>[6-10]</sup>。但这些研究多为回顾性的调查研究或短时间内接受噪声刺激的实验研究,尚不能客观验证长时间低频噪声与个体行为变化之间的因果关系。本研究以大鼠为研究对象,旨在探讨持续低频噪声对大鼠情绪及行为的影响。

## 1 材料和方法

1.1 实验动物分组与处理 健康 Wistar 大鼠(清洁级)40只,购自山东大学实验动物中心[许可证号:SCXK(鲁)2003-0004]。体质量250~300g,平均(274±18)g;雌雄不限,反应灵敏,耳镜检查鼓膜正常。将40只大鼠按体质量进行编号,然后取随机数字进行分组,正常对照组及噪声暴露组各20只,均饲养于不锈钢笼(50cm×30cm×20cm)中,每笼放5只,自由摄食饮水,自然光照;每天更换笼底托盘1次,饲料及饮水均经过严格消毒。动物房安装相应设备以保持适宜的温度(24℃)及湿度(60%)。动物在进行实验前先适应10d(自购入之日算起),在此期间实验者每天抚摸大鼠5min,以使动物适应实验者的操作。大鼠自由饮水,饲养10d。

1.2 方法 低频噪声发生系统主要由低频信号发生器、功率放大器和扬声器(Sound Stimulator DPS-725, Diya Medical System Co., Ltd, Japan)组成,使用噪声分析仪(Type 6224 with an FFT analyzer, ACO Co., Ltd, Japan)监测声强级。将噪声暴露组大鼠置于消声室自由声场(Yamaha Co., Ltd, Japan)中,扬声器放置于大鼠头前方10~20cm处。噪声参数为频率100Hz、声强级70dB,暴露时间为每天早、中、晚3个固定时段,每个时段连续影响1h,持续8周。暴露过程中控制声强级变化范围不超过2dB,且尽量避免受到外界声源影响。正常对

照组大鼠在整个实验周期正常饲养于背景噪声低于40dB的环境中。在实验中,抓取动物动作要轻柔,避免不必要的刺激干扰实验结果。

1.3 评价指标 所有行为实验均在上午(8:30~12:30)进行,进行大鼠行为判断的研究人员均不知道实验动物的分组情况。

1.3.1 体质量 分别于实验开始当天及第2、4、6、8周末用电子动物称在同一时间对两组大鼠的体质量进行称量。

1.3.2 糖水偏好 于实验开始当天及第2、4、6、8周末进行糖水偏好实验。实验前先进行糖水适应训练,即每笼投放1%蔗糖水2瓶,放置24h。之后禁食、禁饮24h,再同时放置纯净水及1%蔗糖水各1瓶。为避免因位置偏好引起的测量误差,30min后将纯净水和1%蔗糖水调换位置,继续放置30min后,分别测量纯净水和蔗糖水的消耗量<sup>[11]</sup>。计算公式:糖水偏好百分比(%)=糖水消耗量÷(糖水消耗量+纯水消耗量)×100%。

1.3.3 情绪反应 于第8周末采用触动实验评价大鼠的情绪反应。将大鼠置于80cm×80cm×40cm的箱内,前5min为适应期。之后每隔10min按以下顺序对大鼠施加刺激:戴手套缓慢抚摸鼠背(非紧张性触动)-戴手套快速摩擦鼠背(紧张性触动)-用塑料夹夹鼠尾尖(疼痛刺激),刺激次数均为1次<sup>[12]</sup>。评分标准:开始挣扎但在15s内能安静下来为1分;挣扎时间>15s为2分;挣扎时间>15s并有1种或者更多种防御行为(如竖立、耳朵变平、想咬或回避实验者)为3分;挣扎时间>15s并有攻击行为(如大声叫或狂跑)为4分<sup>[12]</sup>。

1.3.4 活动能力 采用旷场实验评价大鼠的活动能力。将大鼠置于80cm×80cm×40cm的箱内,四壁和箱底均为黑色,且底面由25块16cm×16cm的正方形组成。将大鼠放入正中央格后开始测定,每次测定3min,以穿越的正方形块数为水平活动得分,直立次数(前肢离地1cm以上)为垂直活动得分<sup>[11]</sup>。每只大鼠分别于实验前及实验后第2、4、6、8周末进行1次行为测定,测试过程采用摄像机记录,全部拍摄完毕后进行录像回放,记录动物活动得分。

1.4 统计学处理 应用SPSS 20.0统计软件进行数据分析。计量资料用 $\bar{x}\pm s$ 表示,对符合正态分布及方差齐性的组间数据,采用 $t$ 检验或重复测量方差分析,否则采用秩和检验。检验水准( $\alpha$ )为0.05。

## 2 结果

2.1 两组大鼠体质量比较 经重复测量方差分析检验,两组大鼠间的体质量差异有统计学意义( $F_{\text{组别}}=8.52, P=0.035$ ),且均随着饲养时间的延长而发生变化( $F_{\text{时间}}=7.11, P=0.042$ ),但变化趋势不同( $F_{\text{组别} \times \text{时间}}=5.97, P=0.047$ ):正常对照组大鼠的体质量呈现逐渐增高趋势,而噪声暴露组大鼠的体质量则在小幅增高后呈现下降趋势。见图1。

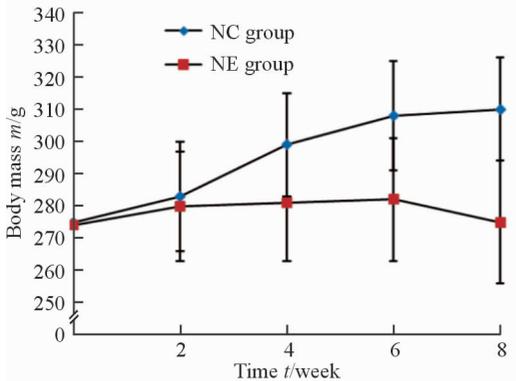


图1 两组大鼠在实验期间的体质量变化

Fig 1 Change in body mass in rats of the two groups

NC: Normal control; NE: Noise exposure. ANOVA for repeated measurement.  $F_{\text{group}}=8.52, P<0.05$ ;  $F_{\text{time}}=7.11, P<0.05$ ;  $F_{\text{group} \times \text{time}}=5.97, P<0.05$ .  $n=20, \bar{x} \pm s$

2.2 两组大鼠糖水偏好比较 经重复测量方差分析检验,实验前后两组大鼠糖水偏好的主效应差异无统计学意义( $F_{\text{时间}}=2.27, P>0.05$ );不考虑时间因素,两组大鼠间糖水偏好的主效应差异有统计学意义( $F_{\text{组别}}=10.83, P<0.01$ );噪声暴露组大鼠与正常对照组大鼠随饲养时间推移糖水偏好的变化趋势不同( $F_{\text{组别} \times \text{时间}}=9.97, P<0.01$ ),其中噪声暴露组大鼠的糖水偏好百分比呈下降趋势。见图2。

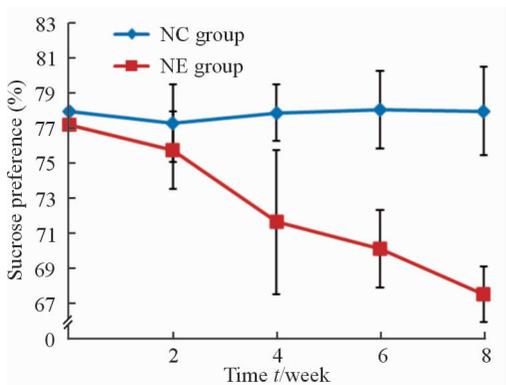


图2 两组大鼠在实验期间的糖水偏好变化

Fig 2 Change of sucrose preference in rats of the two groups

NC: Normal control; NE: Noise exposure. ANOVA for repeated measurement.  $F_{\text{time}}=2.27, P>0.05$ ;  $F_{\text{group}}=10.83, P<0.01$ ;  $F_{\text{group} \times \text{time}}=9.97, P<0.01$ .  $n=20, \bar{x} \pm s$

2.3 两组大鼠触动实验结果比较 从表1可见,噪声暴露组大鼠紧张性触动评分及疼痛触动评分均高于正常对照组,差异有统计学意义( $P<0.05$ 或 $P<0.01$ );非紧张性触动组间差异无统计学意义。

表1 两组大鼠触动实验结果比较

Tab 1 Comparison of results in handle-touch test in rats of the two groups

Group	$n=20, \bar{x} \pm s$		
	Non-tension touches	Tension touches	Pain
NC	1.0±0.0	1.23±0.31	1.98±0.76
NE	1.0±0.0	2.14±0.82	3.78±1.03
<i>t</i>	-	8.74	14.28
<i>P</i>	-	<0.05	<0.01

NC: Normal control; NE: Noise exposure

2.4 两组大鼠活动能力比较 噪声暴露组大鼠的水平活动得分和垂直活动得分随暴露时间的延长呈下降趋势,且低于正常对照组,时间效应( $F_{\text{水平活动}}=8.86, P=0.033$ ;  $F_{\text{垂直活动}}=9.49, P=0.021$ )、组别效应( $F_{\text{水平活动}}=8.95, P=0.029$ ;  $F_{\text{垂直活动}}=9.85, P<0.01$ )及交互效应( $F_{\text{水平活动}}=9.56, P=0.018$ ;  $F_{\text{垂直活动}}=10.67, P<0.01$ )均有统计学意义。见图3。

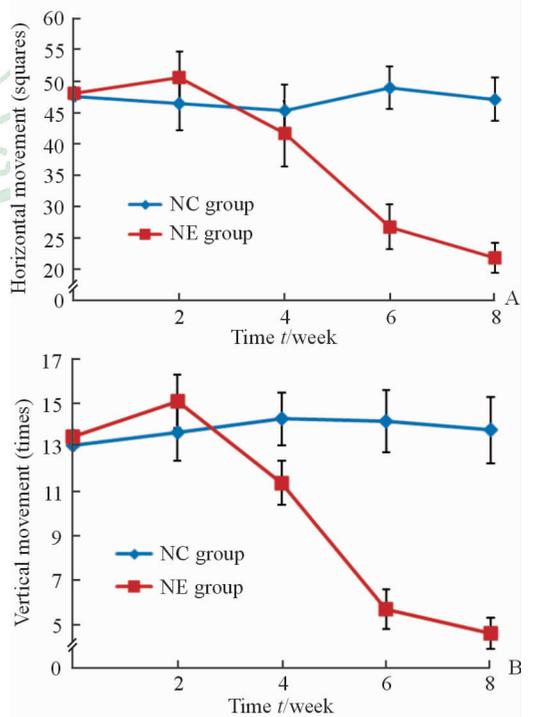


图3 两组大鼠在实验期间的活动能力变化

Fig 3 Change of activity ability in rats of the two groups

NC: Normal control; NE: Noise exposure. ANOVA for repeated measurement. A: Horizontal movement ( $F_{\text{time}}=8.86, P=0.033$ ;  $F_{\text{group}}=8.95, P=0.029$ ;  $F_{\text{group} \times \text{time}}=9.56, P=0.018$ ); B: Vertical movement ( $F_{\text{time}}=9.49, P=0.021$ ;  $F_{\text{group}}=9.85, P<0.01$ ;  $F_{\text{group} \times \text{time}}=10.67, P<0.01$ ).  $n=20, \bar{x} \pm s$

### 3 讨论

对于低频噪声的界定,目前仍倾向于一个较为宽泛的频率跨度。有学者认为,500 Hz 以下的声音即为低频声源<sup>[13]</sup>;也有学者认为,低频噪音的声音频率范围定为 10~200 Hz 或 20~250 Hz<sup>[14-15]</sup>。由于低频噪声具有不易衰减、传播距离远、通透力强的特点,所以难以阻隔其传播;另一方面,人体内器官的固有频率基本上在低频和超低频范围内,很容易与低频声音产生共振。在一些存在低频噪声的场合,即使等效 A 声级达标,也会使受干扰者感觉烦恼,因此低频环境噪声的影响成为我国城市噪声污染的一个新特点。尽管目前对于低频噪声的危害已经越来越受到重视,并开展了一些实验研究,但研究内容多局限于舒适度或思维判断能力<sup>[9,16-17]</sup>;且由于研究对象为人,所选用的低频噪声暴露时间均较短,难以说明持续低频噪声对个体生理及心理的影响。

**3.1 低频噪声对大鼠体质量的影响** 本研究结果表明,低频噪声作为一种持续的应激源,会对大鼠体质量产生影响,噪声暴露组大鼠体质量与正常对照组相比下降趋势明显,且随着实验时间的延长,噪声暴露组大鼠的体质量始终较低。应激对大鼠体质量增长的抑制作用有多种原因,如摄食减少、神经内分泌系统紊乱等。郑妍妍等<sup>[18]</sup>报道,高噪声组大鼠的生长激素水平明显低于正常对照组,故提出噪声影响大鼠体格生长的机制可能是降低生长激素的分泌水平与降低动物消化功能的协同作用。Nilsson 等<sup>[19]</sup>则认为,噪声应激导致的机体皮质酮含量升高是导致大鼠体质量增长减缓的主要原因。皮质酮可以促进蛋白质分解并抑制其合成,而且对机体糖代谢以及脂代谢都有影响,导致三大物质的代谢紊乱,最终抑制体质量增长。Saki 等<sup>[20]</sup>研究了噪声应激对雄性大鼠体质量及生殖系统的影响,提出噪声刺激可通过抑制睾酮激素的合成而导致实验组大鼠的体质量及生殖器官质量显著减轻。此外,刘喜娟等<sup>[21]</sup>研究表明,声音心理应激对不同时期的小鼠体质量均有不同程度的负面影响。

**3.2 低频噪声对大鼠情绪的影响** 本研究结果表明,持续低频噪声刺激可导致大鼠糖水偏好度降低,对紧张性触动及疼痛刺激的反应增强,且存在明显的时间-反应关系。糖水偏好实验是利用大鼠生性

偏好糖水这一特性来检测大鼠是否存在抑郁的核心症状——快感缺失,即对奖赏自身和奖赏水平变化的敏感性有无降低。而触动实验则是通过观察大鼠对触痛觉刺激的行为变化来判断其情绪反应的经典方法。作为一种持续存在的环境应激,低频噪声能对个体造成慢性精神心理损伤,导致其应对能力储备不足,从而引发一系列精神神经症状<sup>[22]</sup>。罗玲玲和郭新亮<sup>[23]</sup>的研究证明,随着低频噪声分贝的升高,小鼠的应激反应越明显。Rolland 等<sup>[24]</sup>的观察结果也表明,暴露于低频船舶噪声可能会导致鲸鱼出现慢性应激反应。有学者报道,慢性应激可导致动物海马 5-羟色胺(5-HT)水平下降<sup>[25]</sup>;也有学者报道,机体出现应激反应时,最主要的变化是下丘脑-垂体-肾上腺(HPA)轴的强烈兴奋;HPA 轴功能持续亢进,使机体出现抑郁症状<sup>[26]</sup>。本实验中,噪声暴露组大鼠紧张性触动评分及疼痛刺激评分均高于对照组,即由于低频噪声的影响,噪声暴露组大鼠出现了明显的抑制性行为及消极应对表现。Kazi 和 Oommen<sup>[27]</sup>的动物实验研究表明,慢性噪声刺激可兴奋大鼠脑部谷氨酸 N-甲基天冬氨酸受体亚单位的活动,而抑制性递质  $\gamma$ -氨基丁酸( $\gamma$ -aminobutyric acid, GABA)受体基因的表达则稍有升高。其中谷氨酸作为兴奋性神经递质,可促进或易化痛觉的产生,并通过其受体调控疼痛引起伤害和焦虑行为反应;而 GABA 是中枢抑制性神经递质,可强化大鼠的痛厌恶情绪行为反应,出现大鼠激惹、攻击样行为。

**3.3 低频噪声对大鼠活动能力的影响** 旷场实验是基于大鼠在一个新奇环境中会自然地接近该领域边缘地带的特性,来评价动物在新异环境的探究、活动、紧张、恐惧情绪和行为表现的经典实验。有学者通过对大鼠心理应激的研究发现,在慢性应激源的作用下,动物运动行为减少,出现类抑郁样表现<sup>[28]</sup>。本研究结果表明,经过 8 周的持续低频噪声暴露,噪声暴露组大鼠的水平活动能力及直立次数均明显下降,反映了大鼠的活动度降低,对周围环境的探究能力减弱,有兴趣减退、倦怠等行为,产生类焦虑、抑郁等负性情绪效应,行为受到明显抑制。值得注意的是,噪声暴露组大鼠在实验第 2 周末的水平活动距离及垂直活动次数均高于对照组,第 4 周末则出现了大幅度的降低,从第 6 周末起明显低于对照组。

这与 Pan 等<sup>[29]</sup>的研究结果相似。分析原因可能是:在实验早期,噪声作为刺激因素在一定程度上促进了大鼠的觉醒水平及行为能力;但随着刺激时间的延长,大鼠出现过度觉醒而导致行为能力下降。此外,Di 等<sup>[30]</sup>报道,实验组大鼠经过 8 d 的噪声暴露后,其水平活动和探究能力明显下降,这可能与噪声类型、噪声强度及每天的暴露时间等有关。Tamura 等<sup>[31]</sup>分别对暴露于低频(0.1 kHz)和高频(16 kHz)噪声的大鼠进行行为学及免疫组织化学的比较,发现前者存在明显的平衡能力受损、前庭毛细胞数量减少和氧化应激水平增强的现象。

3.4 研究局限性 (1)实验程序中仅设计了噪声暴露组和正常对照组,无法了解暴露于不同刺激频率或声强及不同持续时间对大鼠情绪及行为的影响。今后研究可模拟实际工作暴露情况,增设不同暴露时间和暴露方式的实验组,如每次暴露时间不同或每天暴露次数不等,以及暴露于不同噪声频率和声强级的环境中,进一步明确低频噪声与大鼠情绪、行为变化之间的剂量-反应关系。(2)体质量、情绪和活动能力等指标仅能说明持续低频噪声对大鼠生理及心理的影响,但作用机制尚不清楚。今后可增加一些客观检测指标,如血浆中皮质醇、肾上腺素、内皮素等激素含量的变化,脑组织中 5-HT 及色氨酸羟化酶-2(TPH-2)的表达等,以进一步明确可能的发生机制。

#### [参考文献]

[1] KARAWANI H, ATTIAS J, SHEMESH R, NAGERIS B. Evaluation of noise-induced hearing loss by auditory steady-state and auditory brainstem-evoked responses[J]. *Clin Otolaryngol*, 2015, 40: 672-681.

[2] SAEKI T, FUJII T, YAMAGUCHI S, HARIMA S. Effects of acoustical noise on annoyance, performance and fatigue during mental memory task[J]. *Applied Acoustics*, 2004, 65: 913-921.

[3] SHEPHERD D, HEINONEN-GUZEJEV M, HAUTUS M J, HEIKKIL K. Elucidating the relationship between noise sensitivity and personality[J]. *Noise Health*, 2015, 17: 165-171.

[4] 赖丽丽,郑倩玲,蔡品,温绿琴,龙秀荣,黄丽屏. 职业性噪声聋患者心理健康与应对方式关联研究[J]. *中国职业医学*, 2014, 41: 310-314.

[5] BERGLUND B, LINDVALL T, SCHWELA D. New WHO guidelines for community noise [J]. *Noise Vibration Worldwide*, 2000, 31: 24-29.

[6] PAWŁACZYK-LUSZCZYŃSKA M, DUDAREWICZ A, WASZKOWSKA M, SZYMCZAK W, SLIWIŃSKA-KOWALSKA M. The impact of low-frequency noise on human mental performance[J]. *Int J Occup Med Environ Health*, 2005, 18: 185-198.

[7] WAYE K P. Adverse effects of moderate levels of low frequency noise in the occupational environment [J]. *Ashrae Trans*, 2005, 111: 672-683.

[8] 邵阿红. 低频环境噪声对人影响程度的实验研究[J]. *科学技术与工程*, 2009, 9: 5256-5259.

[9] 朱艺婷,翟国庆,高婷婷,洪友朋,黄逸凡,卢向明,等. 低频环境噪声对思维判断能力的干扰影响[J]. *环境科学*, 2008, 29: 1143-1147.

[10] WAYE K P, CLOW A, EDWARDS S, HUCKLEBRIDGE F, RYLANDER R. Effects of nighttime low frequency noise on the cortisol response to awakening and subjective sleep quality[J]. *Life Sci*, 2003, 72: 863-875.

[11] 姜山峰,高云芳. 模拟失重大鼠情绪影响的初步研究[J]. *中国应用生理学杂志*, 2012, 28: 205-208.

[12] HOLMES G L, THOMPSON J L, MARCHI T, FELDMAN D S. Behavioral effects of kainic acid administration on the immature brain[J]. *Epilepsia*, 1988, 29: 721-730.

[13] SCHUST M. Effects of low frequency noise up to 100 Hz [J]. *Noise Health*, 2004, 6: 73-85.

[14] LEVENTHALL H G. Low frequency noise and annoyance [J]. *Noise Health*, 2004, 6: 59-72.

[15] PAWŁACZYK-LUSZCZYŃSKA M, DUDAREWICZ A, WASZKOWSKA M, SLIWIŃSKA-KOWALSKA M. Assessment of annoyance from low frequency and broadband noises[J]. *Int J Occup Med Environ Health*, 2003, 16: 337-343.

[16] ALIMOHAMMADI I, SANDROCK S, GOHARI M R. The effects of low frequency noise on mental performance and annoyance[J]. *Environ Monit Assess*, 2013, 185: 7043-7051.

[17] PAWŁACZYK-LUSZCZYŃSKA M, DUDAREWICZ A, SZYMCZAK W, SLIWIŃSKA-KOWALSKA M. Evaluation of annoyance from low frequency noise under laboratory conditions[J]. *Noise Health*, 2010, 12: 166-

- 181.
- [18] 郑妍妍, 蒙 萌, 赵聪敏. 环境噪音对新生大鼠身长体质量及学习记忆的影响[J]. 第三军医大学学报, 2012, 34: 953-955.
- [19] NILSSON C, JENNISCHE E, HO H P, ERIKSSON E, BJÖRNTORP P, HOLMÄNG A. Increased insulin sensitivity and decreased body weight in female rats after postnatal corticosterone exposure[J]. *Eur J Endocrinol*, 2002, 146: 847-854.
- [20] SAKI G, SARKAKI A, KARAMI K, NASRI S, JALALI M. Effect of noise stress on count, progressive and non-progressive sperm motility, body and genital organ weights of adult male rats[J]. *J Hum Reprod Sci*, 2012, 5: 48-51.
- [21] 刘喜娟, 宋土生, 杨章民, 刘利英, 倪 磊, 黄 辰. 恐惧声音心理应激对青年小鼠空间学习记忆能力的影响[J]. *中国行为医学*, 2008, 17: 310-312.
- [22] HATFIELD J, JOB R F, CARTER N L, PEPLOE P, TAYLOR R, MORRELL S. The influence of psychological factors on self-reported physiological effects of noise[J]. *Noise Health*, 2001, 3: 1-13.
- [23] 罗玲玲, 郭新亮. 低频噪声对小鼠骨髓细胞微核率的影响[J]. *赤峰学院学报(自然科学版)*, 2014, 39: 26-27.
- [24] ROLLAND R M, PARKS S E, HUNT K E, CASTELLOTE M, CORKERON P J, NOWACEK D P, et al. Evidence that ship noise increases stress in right whales[J]. *Proc Biol Sci*, 2012, 279: 2363-2368.
- [25] KRANZ G S, KASPER S, LANZENBERGER R. Reward and the serotonergic system[J]. *Neuroscience*, 2010, 166: 1023-1035.
- [26] EHLERT U, GAAB J, HEINRICHS M. Psychoneuroendocrinological contributions to the etiology of depression, posttraumatic stress disorder, and stress-related bodily disorders: the role of the hypothalamus-pituitary-adrenal axis[J]. *Biol Psychol*, 2001, 57 (1/2/3): 141-152.
- [27] KAZI A I, OOMMEN A. Chronic noise stress-induced alterations of glutamate and gamma-aminobutyric acid and their metabolism in the rat brain[J]. *Noise Health*, 2014, 16: 343-349.
- [28] 严 进, 王春安, 叶荷莉. 应激对大鼠行为和部分脑区谷氨酸含量的影响[J]. *心理学报*, 1997, 27: 422-427.
- [29] PAN F, LU C Y, SONG J, JING H, LI Q, YU H L, et al. Different duration of crowding and noise exposure effects on exploratory behavior, cellular immunity and HSP70 expression in rats[J]. *Stress Health*, 2006, 22: 257-262.
- [30] DI G Q, ZHOU B, LI Z G, LIN Q L. Aircraft noise exposure affects rat behavior, plasma norepinephrine levels, and cell morphology of the temporal lobe[J]. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2011, 12: 969-975.
- [31] TAMURA H, OHGAMI N, YAJIMA I, IIDA M, OHGAMI K, FUJII N, et al. Chronic exposure to low frequency noise at moderate levels causes impaired balance in mice[J]. *PLoS One*, 2012, 7: e39807.

[本文编辑] 商素芳