

DOI:10.3969/j.issn.1000-7083.2011.04.026

甘肃鼯鼠和根田鼠听域研究

王茁^{1,2}, 李金钢^{1*}

(1. 陕西师范大学生命科学学院, 西安 710062; 2. 陕西教育学院生物科学与技术系, 西安 710100)

摘要:用电生理学方法对甘肃鼯鼠和根田鼠的听性脑干反应(ABR)的反应阈值做了测定,以确定甘肃鼯鼠和根田鼠听域。结果表明甘肃鼯鼠听力敏感频率为 12 kHz,根田鼠的听力敏感频率为 16~32 kHz。甘肃鼯鼠和根田鼠听性脑干电位测定结果表明地下鼠和地面鼠低频高频听力阈值存在差异,地下鼠对中低频声波敏感。

关键词:听性脑干电位; 甘肃鼯鼠; 根田鼠; 听域

中图分类号: Q959.837; Q437 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7083(2011)04-0612-04

Hearing Range of *Myospalax cansu* and *Microtus oeconomus*

WANG Zhuo^{1,2}, LI Jin-gang^{1*}

(1. College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; 2. Biological Science and Technology Department, Shaanxi Institute of Education, Xi'an 710100, China)

Abstract: The hearing range of *Myospalax cansu* and *Microtus oeconomus* were determined by using electrophysiology method of auditory brainstem response. The results showed that the best sensitivity hearing range of *Myospalax cansu* is 12 kHz, and the best sensitivity hearing of *Microtus oeconomus* ranged from 16 kHz to 32 kHz. The difference of the hearing level is that the subterranean rodents have tuned their hearing towards lower frequencies.

Key words: auditory brainstem response; *Myospalax cansu*; *Microtus oeconomus*; hearing range

国内外已对 70 余种哺乳动物的听力做过研究,虽然所有哺乳动物均具有中耳和内耳,但因生活环境不同,其听域相差很大。如水中生活的鲸类和空中生活的翼手类可听到超声波,其听域频率为 8~128 kHz;生活在地下的啮齿类动物,如裸鼯鼠 *Heterocephalus glaber*、鼯形鼠 *Spalax ehrenbergi* 等对低频声波敏感,对高频声波的听觉很差,其听域频率为 80 Hz~10 kHz,一般低于 8 kHz;而大象等少数兽类可听到次声波,种群间约 75% 的通讯采用次声波 (Heffner & Heffner, 1990, 1998)。

听觉能力的改变是动物对环境的适应。鼯形鼠、隐鼠 *Cryptomys hottentotus* 两种鼠能听见的声音最高频率为 10 kHz (Bruns *et al.*, 1988; Gilles *et al.*, 1989; Müller & Burda, 1989);鼯形鼠在天然洞穴中接受气传导声波的最佳频率为 440 Hz,裸鼯鼠在 4 kHz 听力最好。尽管总体的听力敏感度较低,地下鼠在小于 0.8 kHz 的低频范围内听觉较为敏感,类似于裸鼯鼠 (Heffner & Heffner, 1993) 和沙鼠 (Hef-

ner & Masterton, 1980) 这两种地面鼠对低频声波的敏感度。听觉电生理研究和听觉行为学研究表明,鼯形鼠适应低频听觉,并对 1.0 kHz 左右的声波最为敏感,高频区听觉能力非常微弱,在 10~12 kHz 时急剧下降 (Bruns *et al.*, 1988; Gilles *et al.*, 1989)。

声刺激传入内耳,通过耳蜗毛细胞进行换能作用,形成神经电位,沿各级听神经通路向听觉中枢传递最后产生声感觉。听性脑干反应 (Auditory brainstem response, ABR) 是从动物体表远场记录到的短声诱发的一串电位 (潘映福, 戚以胜, 1998)。ABR 可以通过声刺激或电刺激从动物颅顶进行无创伤记录,从而简单客观地反映动物各级听觉中枢的生理指标和功能指标。ABR 已广泛应用于临床及动物实验中 (Hecox & Galambos, 1974; 郭连生等, 1991; 张立明等, 1996)。甘肃鼯鼠主要分布在我国黄土高原,生活在与鼯形鼠相似的地下环境中,已对其发声声谱、震动通讯等做过研究 (李金钢等, 2000, 2001),但对甘肃鼯鼠的听阈研究未见报道。根田鼠国内分

收稿日期: 2010-11-29 接受日期: 2011-02-05 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 30670360)

作者简介: 王茁, 女, 硕士, 研究方向: 动物生理生态学, E-mail: takeshanke@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: jingang@snnu.edu.cn

致谢: 感谢此次研究中李丕鹏教授的悉心指导和对论文的耐心修改。

布于新疆、青海和陕西地区,其听觉系统对环境的适应的研究未见报道。本研究运用电生理方法与技术,对甘肃鼯鼠和根田鼠听性脑干电位进行测试,以确定其听域,丰富地下鼠听觉研究内容。

1 材料和方法

1.1 实验动物

实验用甘肃鼯鼠捕自陕西省延安市,挑选耳廓反射灵敏的健康成体 12 只,雌雄各 6 只,体重 155 ~ 225 g;根田鼠由中国科学院西北高原生物研究所提供,挑选耳廓反射灵敏的健康成体 6 只,体重 19 ~ 24 g。实验动物室内单笼饲养,自然光照,笼内垫锯末、以刨花及脱籽棉作巢材。饲以胡萝卜、卷心菜等。

1.2 实验仪器

实验采用美国 Tucker-Davis Technologies system 3 (TDT system 3) 设备。于西安交通大学医学院环境与疾病相关基因教育部重点实验室进行实验。

1.3 实验方法

1.3.1 动物麻醉 用戊巴比妥钠腹腔注射麻醉动物。

1.3.2 测试方法 听性脑干反应记录:记录电极位于颅顶,参考电极位于声场侧耳廓,接地电极位于对侧耳廓。采用耳机声场刺激,实验在甘肃鼯鼠及根田鼠麻醉状态下进行,首先进行 click 短声刺激检测其听觉是否正常及总体听觉能力,获得正常的 ABR 波形。听觉正常则进行单音频率刺激实验,其中单音梯度设定依次为 0.5 kHz、1 kHz、2 kHz、4 kHz、8 kHz、12 kHz、16 kHz、24 kHz、32 kHz。每个单音频率起始声压水平为 80 dB,实验过程中每 5 dB 依次递减,直到在该频率声波刺激下不能得到相关波形。所记录的脑干听觉诱发电位为平均叠加结果。为了能较好地获得反应信号、降低噪声干扰等,整个实验过程在隔音室内进行并作了电屏蔽。

1.3 数据统计处理

数据采用 SPSS 10.0 软件,方差分析进行 12 只甘肃鼯鼠及 5 只根田鼠听域差异比较,将每只实验鼠进行多次测定,将所有数据进行平均,结果以 Mean \pm SD 表示,显著性水平为 0.05。

2 结果

2.1 ABR 波形特征

12 只甘肃鼯鼠和 6 只根田鼠在实验进行中,除 1 只根田鼠麻醉过量死亡,其他实验鼠均成功测定。

甘肃鼯鼠在 III 波以后的波形均得不到很好的相关性,波峰较少(图 1a、图 2a、图 3a),在高频刺激下最低听阈很高,说明对 14 kHz 以上高频声波不敏感。

根田鼠在高频率下波比较多,一般多于 6 个,而且相关性很好(图 1b、图 2b、图 3b)。表明根田鼠在高频刺激下听力较好。而波形多则表明其处理高频中枢比较复杂。从波形潜伏期来看,在高频刺激下潜伏期较短。

甘肃鼯鼠和根田鼠听性脑干诱发电位图显示,随着刺激强度的增加,甘肃鼯鼠 III 波以后均得不到很好的相关性波形,呈不明显“M”型(图 2a),说明甘肃鼯鼠上橄榄复合体以上已经没有明显的电位活动。根田鼠上橄榄复合体及其以上中枢均能诱发出明显的电位活动(IV 波和 V 波)(图 2b、图 3b),说明其听觉能力较甘肃鼯鼠好,可认为根田鼠外侧丘系和下丘核发育完善,对声信号的处理能力较甘肃鼯鼠强。

虽然甘肃鼯鼠在高频下听力不敏感,在低分贝时没有很好的波峰出现,但它对声波的刺激有明显反应,有很多乱而杂的波出现(图 1a、图 2a、图 3a),分析可能是对背景的杂音比较敏感而出现动作电位。根田鼠在出现明显的波峰后出现平缓的近乎直线的图形(图 1b、图 2b、图 3b),可能是根田鼠对背景杂音不敏感所致。

2.2 ABR 阈值

甘肃鼯鼠 click 短声检测结果表明其听觉能力有限,最低听阈只能达到 34 dB \pm 0.67 dB(图 1a)。根田鼠在 click 短声检测中听阈达到 21 dB \pm 0.67 dB(图 1b)。甘肃鼯鼠相较于根田鼠,其最低听阈明显增大,说明其气传导听觉能力比地面鼠类差。

各单音频率刺激数据结果显示,甘肃鼯鼠最佳听力在 12 kHz 左右。甘肃鼯鼠测试结果显示其低频区听阈较高,这和甘肃鼯鼠在低频区听力较好不相吻合,可能是因为试验仪器耳机在低频发射方面不是很符合要求所致。短声刺激诱发出的相关波形主要是 I 至 III 波,IV 波已很不明显,即甘肃鼯鼠对声波的分辨能力可能只限于耳蜗神经、耳蜗核团、上橄榄核等神经活动,其听觉中枢神经活动已不明显。相同条件下,根田鼠听性脑干反应诱发得到的波形显示,其 IV 波和 V 波明显,甚至在较强的声级刺激下出现相关性较好的 VI 波,即其能反映出根田鼠膝状体电位活动。

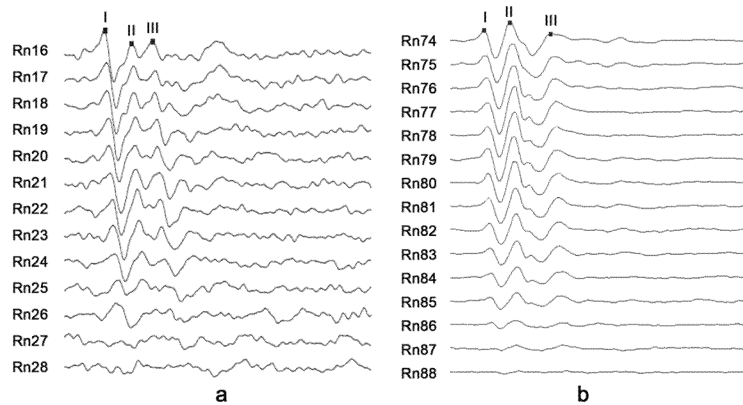


图 1 甘肃鼯鼠,根田鼠 click 刺激电位记录
(click 电位用来检测试验动物的听觉是否正常,Rn0,Rn14,Rn74 为 80 dB,以下依次递减 5 dB; a. 甘肃鼯鼠; b. 根田鼠)
Fig. 1 The click stimulation electric potential record of *Myospalax cansu* and *Microtus oeconomus*
(Rn0, Rn14, Rn74 were 80 dB, decreases progressively in turn 5 dB; a. *Myospalax cansu*; b. *Microtus oeconomus*)

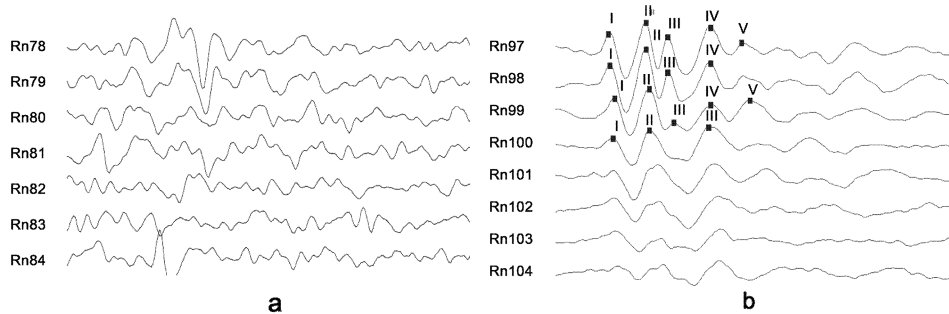


图 2 甘肃鼯鼠单音频率,根田鼠单音频率 16 kHz 刺激电位记录
(Rn42, Rn 250 和 Rn110 为 80 dB,以下依次递减 5 dB; a. 甘肃鼯鼠; b. 根田鼠)
Fig. 2 16 kHz stimulation electric potential record of *Myospalax cansu* and *Microtus oeconomus*
(Rn42, Rn250, Rn110 were 80 dB, decreases progressively in turn 5 dB; a. *Myospalax cansu*; b. *Microtus oeconomus*)

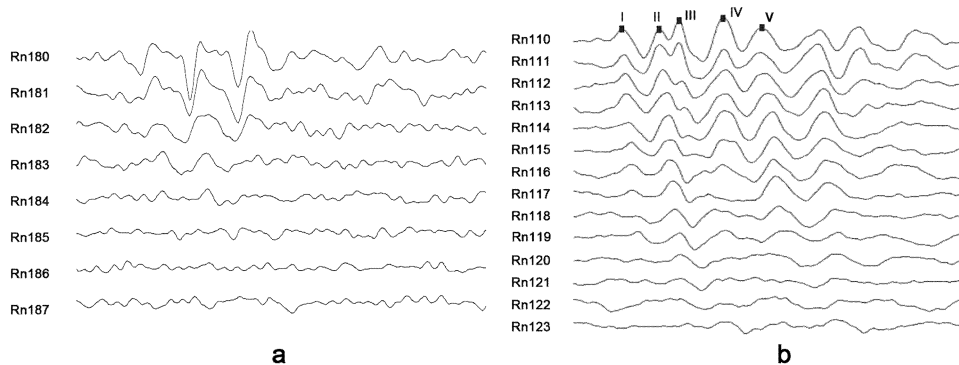


图 3 甘肃鼯鼠单音频率,根田鼠单音频率 24 kHz 刺激电位记录
(Rn42, Rn250 和 Rn110 为 80 dB,以下依次递减 5 dB; a. 甘肃鼯鼠; b. 根田鼠)
Fig. 3 24kHz stimulation electric potential record of *Myospalax cansu* and *Microtus oeconomus*
(Rn42, Rn250, Rn110 were 80 dB, decreases progressively in turn 5 dB; a. *Myospalax cansu*; b. *Microtus oeconomus*)

根田鼠最佳听力在 24 kHz 左右,最低听阈为 19 dB ± 0.17 dB,即明显较甘肃鼯鼠的敏感频率高,与

甘肃鼯鼠有显著性差异($P < 0.05$) (表)。其差异性在脑干听觉声诱发电位曲线图中反映明显(图 4)。

表 12 只甘肃鼯鼠,5 只根田鼠听阈
Table Hearing range of *Myospalax cansu* and *Microtus oeconomus*

声频/kHz	0.5	1	2	4	8	12	16	24	32
甘肃鼯鼠听阈/dB	67 ± 0.33	71 ± 0.83	53 ± 0.84	48 ± 0.83	43 ± 0.83	39 ± 0.83	54 ± 0.84	59 ± 0.05	65 ± 0.02
根田鼠听阈/dB	59 ± 0.17	73 ± 0.33	53 ± 0.33	37 ± 0.50	32 ± 0.50	28 ± 0.33	28 ± 0.33	19 ± 0.17	27 ± 0.50

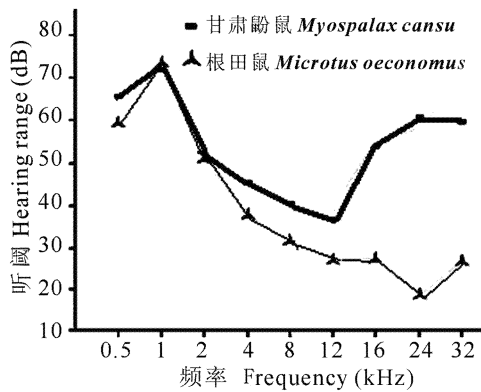


图 4 甘肃鼯鼠、根田鼠听域(横坐标为频率,纵坐标为在对应频率下的听阈)

Fig. 4 Hearing range of *Myospalax cansu* and *Microtus oeconomus* (The abscissa denotes means frequency, y-coordinate means threshold of hearing)

3 讨论

本研究通过对甘肃鼯鼠和根田鼠听性脑干电位的测定发现,营地下生活的甘肃鼯鼠在短声刺激诱发下,其听阈在 $35 \text{ dB} \pm 5 \text{ dB}$ (SPL) 水平,其对中频声波的听觉能力在 $40 \text{ dB} \pm 5 \text{ dB}$ (SPL) 水平,超过 32 kHz 的声刺激基本上不能诱发出相关脑干电位,对高频声波的反应不明显,而对中低频声波较敏感。说明甘肃鼯鼠对高频声波的听觉能力差,对中低频声波听觉能力高。营地面鼠生活的根田鼠在短声刺激诱发下,听阈为 $21 \text{ dB} \pm 0.67 \text{ dB}$ (SPL),其对声刺激敏感性明显高于甘肃鼯鼠,即总体高频听觉能力比甘肃鼯鼠好。

甘肃鼯鼠的最敏感声频在 12 kHz 左右,最低听阈达到 $39 \text{ dB} \pm 0.83 \text{ dB}$ (SPL)。由此推断,甘肃鼯鼠的最佳听觉能力在中频区。低频区结果显示,甘肃鼯鼠听觉能力有限。这一结果在中频区可信度较高,低频区峰值没有明显体现,原因可能是声频发射耳机在低频声波发射性能方面受到限制,无法进行低于 0.5 kHz 声学诱发电位的测定。相同测试条件下,根田鼠的最佳听觉频率在 24 kHz 左右,最低听阈达到 $19 \text{ dB} \pm 0.17 \text{ dB}$ (SPL)。结合根田鼠的测试结果来看,上述 0.5 ~ 32 kHz 频段的测试结果是可信的。故甘肃鼯鼠在低于 0.5 kHz 频段的听觉能力有待于进一步研究。

甘肃鼯鼠、根田鼠在给予 1.8 kHz 的刺激时,听力衰减最为明显,提高刺激信号频率,听觉逐渐恢复(图 4),可见无论是地面鼠还是地下鼠,听觉在某一范围内有相似的局限性。

由于受地下生活环境的胁迫,营地下生活啮齿动物的听觉器官发生适应性改变,其听觉能力也趋向于中低频声波,逐步丧失对高频声波的听觉能力。其对高频声波的听觉能力远远不及地面鼠类。其原因可能是与地下土壤环境不利于高频声波的传递有关。地下啮齿类物种对低频敏感的听觉是对独特的声环境的适应性进化。这一点由本研究结果证实,甘肃鼯鼠的最佳声频感知能力在 12 kHz 左右,且橄榄复合体以上听觉神经中枢在其听性脑干诱发电位检测中,并不能诱发出相关电位波形,客观地反映出其听觉中枢在声信号处理能力上已与地面鼠有较大的不同。

4 参考文献

- 郭连生, 杨宜林, 戚以胜, 等. 1991. 稳态白噪声对豚鼠听觉脑干诱发反应(ABR)功率谱影响[J]. 生物物理学报, 7(1): 5.
- 李金钢, 何建平, 王廷正, 等. 2000. 甘肃鼯鼠鸣声声谱分析[J]. 动物学研究, 21(6): 458 ~ 462.
- 李金钢, 王廷正, 何建平, 等. 2001. 甘肃鼯鼠的震动通讯[J]. 兽类学报, 21(2): 152 ~ 154.
- 潘映福, 戚以胜. 1998. 临床诱发电位(第一版)[M]. 北京: 人民出版社: 211.
- 张立明, 徐静华, 包正, 等. 1996. 豚鼠脑干听觉诱发反应的分析及建模初探[J]. 生物物理学报, 2(4): 338.
- Bruns V, Müller M, Hofer W, et al. 1988. Inner ear structure electrophysiological audiograms of the subterranean mole rat, *Spalax ehrenbergi*[J]. Hear Res, 33(1): 1 ~ 9.
- Gilles B, Peter H, Henning S, et al. 1989. Auditory pathway and auditory activation of primary visual targets in the blind mole rat (*Spalax ehrenbergi*): 1,2-deoxyglucose study of subcortical centers[J]. The Journal of Comparative Neurology, 284(2): 253 ~ 274.
- Hecox K, Galambos R. 1974. Brain stem auditory evoked responses in human infants and adults[J]. Arch Otolaryngol, 99(1): 30 ~ 33.
- Heffner H, Masterton B. 1980. Hearing in glires: domestic rabbit, cotton rat, feral house mouse, and kangaroo rat[J]. J Acoust Soc Am, 68(6): 1584 ~ 1599.
- Heffner HE, Heffner RS. 1998. Hearing[A]. In G Greenberg, MM Haraway (Eds.) [M]. New York: Comparative Psychology, A Handbook. Garland: 290 ~ 303.
- Heffner Rickye S, Heffner Henry E. 1990. Vestibular hearing in a fossorial mammal, the pocket gopher (*Geomys bursarius*) [J]. Hearing Research, 46: 239 ~ 252.
- Heffner HE, Heffner RS. 1993. Degenerate hearing and sound localization in naked mole rats (*Heterocephalus glaber*), with an overview of central auditory structures[J]. J Comp Neurol, 331(3): 418 ~ 433.
- Müller M, Burda H. 1989. Restricted hearing range in a subterranean rodent *Cryptomys hottentotus* [J]. Natur wissenschaft, 76(3): 134 ~ 135.