

# 0.1ms脉冲噪声等能量暴露 对豚鼠听力损伤的实验观察

高文元 郑向阳 阮芳铭 刘彦君

(上海第二军医大学海医系)

本文研究了0.1ms 脉冲噪声等能量暴露对豚鼠听力损伤问题。37只白色雄性豚鼠, 皮层听区埋植慢性电极, 分为五个暴露组。各组分别暴露163dB10发 1/10s, 163dB10发 1/90s, 163dB10发1/0.5s, 166dB 5发1/90s和 172dB 1发的脉冲噪声。暴露24小时、48小时和 8天后, 分别测试各组动物皮层反应阈移。结果显示: (1)等能量暴露的五组平均阈移不同, 有显著性差异。(2)按3dB法则, 不同峰值和发数组别的脉冲噪声并不完全形成等同程度的听力损伤。(3)在等能量暴露中, 重复率是影响听力损伤的重要参数, 快和慢重复率暴露比中等重复率听力损伤相对较轻。

## An investigation of effects of equal energy exposure to 0.1 ms impulse noise on hearing damage of cavy

Gao Wenyuanguang, Zheng Xiangyang, Ruan Fangming and  
Liu Yianjium

### ABSTRACT

The validity of the equal energy hypothesis for impulse noise exposure was investigated. 37 albino guinea pigs, implanted with chronic electrodes, were divided into five groups. Each group was exposed to one of following impulse noise conditions, 163 dB SPL 10 impulses at 1/10s, 163 dB SPL 10 impulses at 1/90s, 163 dB SPL 10 impulses at 1/0.5s, 166 dB SPL 5 impulses at 1/90s and 172 dB SPL 1 impulse. The impulse noise had a duration of 0.1 ms. After exposure, threshold shifts were systematically measured at 24, 48h and 8 days respectively. The results were as follows: (1) There were significant differences in threshold shifts among these groups. (2) The 3dB doubling rule was not valid for all combinations of different peak levels and numbers of impulses. (3) The repetition rate was a critical variable which may affect the degree of hearing damage during equal energy exposure to impulse noise.

噪声能量是影响听觉器官损伤程度的重要参数。已经清楚, 听力损伤伤情与连续噪声暴露的关系遵循等能量原则(equal energy hypothesis, EEH)<sup>[1]</sup>。即相等能量的噪声暴露产生相等程度的听力损伤, 噪声强

度与暴露时间的换算关系为3dB法则, 强度增加3dB, 暴露时间减半, 则对听力损伤程度不变<sup>[2]</sup>。连续噪声的等能量理论已广泛应用于损伤危险标准和安全标准的研究<sup>[3]</sup>。但是, 脉冲噪声暴露所致的听力损伤是否遵循

等能量原则?在等能量条件下,其它参数能否影响听力损害的程度?仍是目前尚未清楚的问题。本实验以听电生理系统测试阈移为指标,定量研究等能量脉冲噪声暴露对听力损伤及其恢复过程的影响,观察重复率对伤情程度的作用,为探讨脉冲噪声损伤听力规律提供依据。

## 1 方法

**实验对象:** 40只(80耳)健康,白色雄性

豚鼠,耳廓反射正常,体重250~400g。戊巴比妥钠腹腔麻醉下,双侧皮层听区硬膜外手术埋植慢性记录电极,牙托水泥固定。休息5天后,分为对照组3只(6耳)和各脉冲噪声暴露组37只(74耳),动物分组及脉冲噪声条件见表1。

**脉冲噪声:** 各组动物分批在自由声场进行脉冲噪声暴露。脉冲噪声由D—86脉冲噪声发生器高压放电,声波沿水平放置的激波管单向管内传播,自管口向外辐射形成。动物

表 1 动物分组和脉冲噪声暴露条件

| 组别 | 动物(耳数) |    | 暴露条件           |            |             |        |
|----|--------|----|----------------|------------|-------------|--------|
|    |        |    | 峰值<br>(dB SPL) | 脉宽<br>(ms) | 暴露发数<br>(发) | 重复率    |
| A  | 10     | 20 | 163            | 0.1        | 10          | 1/10s  |
| B  | 8      | 16 | 163            | 0.1        | 10          | 1/90s  |
| C  | 7      | 14 | 166            | 0.1        | 5           | 1/90s  |
| D  | 7      | 14 | 172            | 0.1        | 1           |        |
| E  | 5      | 10 | 163            | 0.1        | 10          | 1/0.5s |

每批4只分别置入有分隔的多层鼠笼内,离地面1.2m正对激波管口,动物头部固定,朝向前方,各耳道口与激波管口中心距离相等。各暴露点声场均匀,误差 $\pm 0.5$ dB以内。调节激发电压和暴露距离,可产生表1中不同峰值的脉冲噪声。暴露时B&K4138传声器成掠入射置于动物外耳道口,连接B&K2610测量放大器监测声压级,B&K7004记录仪录存波形,记忆示波器波形显示。各峰值的脉冲噪声波形相似,A持续时间均为0.1ms。脉冲重复率由自动和手动控制。

对照组只在安静环境内( $< 45$ dB A)饲养。

**皮层声诱发电位反应阈测试:** 暴露组动物在脉冲噪声暴露前、后,24小时、48小时、8天分别进行皮层快反应声诱发电位测试。测试在双层屏蔽隔声室内,动物清醒状态下进行。测试信号为短声,由0.1ms方波输入

扬声器内产生。短声重复率1/s。诱发生物电经FZG-81前级放大器放大后输入Super电脑内信号处理,扫描时间100ms,带通滤波30~300Hz,叠加30次后平均,屏幕显示器波形显示。短声强度从强到弱每5dB逐级衰减,以出现可辨认的皮层快反应的短声阈强度为反应阈。对照组在相应时间测试。

## 2 结果

对照组和各暴露组暴露前平均皮层反应阈见表2。变异数分析(方差)表明,各组反应阈均数无显著性差异( $P > 0.05$ )。

脉冲噪声暴露后24小时,D组(172dB 1发)动物形成阈移不明显(以暴露前后反应阈差值为阈移,下同),全组除有2耳阈移为10dB外,其余耳阈移均在0~5dB,组平均阈移2.5dB,自身对照与暴露前有显著差异。163

**表 2 对照组和暴露组暴露前平均反应阈(dB SPL)**

| 组别        | A    | B    | C    | D    | E    | 对照   | F值   |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| (n=)      | (20) | (16) | (14) | (14) | (10) | (6)  |      |
| $\bar{X}$ | 23.8 | 21.3 | 22.1 | 23.8 | 23.5 | 23.3 | 1.32 |
| SD        | 4.6  | 2.2  | 3.2  | 3.1  | 3.4  | 2.6  |      |

dB10发三种重复率的暴露组都形成较明显的阈移,以A组(1/10s)阈移最大,组平均值41.3dB,该组最大阈移70dB,最小阈移也有20dB;B组(1/90s)阈移次之,平均值达29.7dB,组内个体差异也较明显;E组(1/0.5s)平均阈移相对较小,为19.5dB。三组平均阈

移依次相差10dB左右,组间有显著性差异。C组(166dB,5发1/90s)动物也形成较明显阈移,平均阈移与B、E两组差别不显著,但与其它组差异很显著。各组平均阈移见表3,变异数方差分析,差异非常显著( $P < 0.001$ )。

**表 3 暴露脉冲噪声24小时后各组平均阈移(dB)**

| 组别        | A    | B    | C    | D    | E    | F值   |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| (n=)      | (20) | (16) | (14) | (14) | (10) |      |
| $\bar{X}$ | 41.3 | 29.7 | 24.3 | 2.5  | 19.5 | 23.6 |
| SD        | 14.4 | 14.5 | 12.2 | 3.8  | 5.5  |      |

暴露后48小时,D组(172dB 1发)动物均已恢复至暴露前水平,其余4组与24小时阈移比较,都恢复8~10dB左右,各组平均听阈与暴露前相比,差异非常显著。163dB 10发暴露的三个组平均阈移仍以A组最大,B

组次之,E组最小。A组平均阈移与B、E两组比较,有显著性差异,后两组相互比较,差异已不显著。C组动物平均仍有14dB左右阈移,与A、D两组差异仍非常显著。各组平均阈移见表4,方差分析差异十分显著。

**表 4 暴露脉冲噪声48小时后各组平均阈移(dB)**

| 组别        | A    | B    | C    | D    | E    | F值   |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| (n=)      | (20) | (16) | (14) | (14) | (10) |      |
| $\bar{X}$ | 30.3 | 20.6 | 14.6 | 0.7  | 11.5 | 7.29 |
| SD        | 13.1 | 14.1 | 11.7 | 1.8  | 3.4  |      |

暴露后8天,163dB 1/0.5s组动物多数耳已恢复至5dB以内,仅存2耳还有10dB阈移,组平均阈移5dB,已接近暴露前水平;

1/90s组平均阈移10dB,与1/0.5s组(E组)无显著性差异,该组多数耳亦恢复至5dB以内,但少数耳残留阈移较大,达25~50dB;

1/10s组(A组)动物的阈移普遍较大,20耳仅有3耳阈移降至5dB,近半数耳的阈移仍在25dB以上,组平均阈移与E和B组差异非常显著。C组(166dB 5发)动物阈移恢复亦较

快,组平均阈移5dB,与A组有显著性差异,但与B、E两组差别已不显著。各组平均阈移见表5。对照组实验期间相应时间测试,听反应阈无明显波动。

表5 暴露脉冲噪声8天后各组平均阈移(dB)

| 组别        | A    | B    | C    | D    | E    | F值   |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| (n=)      | (20) | (16) | (14) | (14) | (10) |      |
| $\bar{X}$ | 21.5 | 10   | 5    | 未测*  | 5    | 7.23 |
| SD        | 14.1 | 15.1 | 6.8  |      | 3.3  |      |

\*D组已恢复正常故未测

### 3 讨论

声波在媒质中传播伴随着声能量的传播。听觉器官接受的脉冲噪声能量取决于峰值强度,上升下降时间,脉宽和暴露发数等多种参数的组合。本实验A、B、E三组暴露的脉冲噪声上述参数完全相同,只是脉冲间隔时间不一致,因此,它们暴露的总声能量应该相等。许多学者认为,对于同一种脉冲声源,脉冲波形基本一致的情况下,按3dB法则(峰值增加3dB,发数减少一半)组合的脉冲噪声属于等声能量级<sup>[4,6]</sup>。本实验C和D按此法则组合。因此可以认为,五组动物接受的脉冲噪声为等能量暴露。

阈移是听力损伤的重要指标。本实验五组动物脉冲噪声暴露后均形成一定程度的阈移,但从阈移范围及其恢复趋势来看,各组并不相同,有的相差十分显著。暴露后24小时,最大组平均阈移(A组)为41dB,最小组平均阈移(D组)仅有2.5dB,两组相差38dB;暴露后48小时,D组动物已恢复暴露前水平,另外4组分别有11~30dB阈移;暴露后8天,又有两组阈移恢复至5dB,但A组的平均

阈移仍在20dB以上。方差分析,各组间平均阈移均有显著性差异。这种结果说明,等能量的脉冲噪声并不完全产生相同程度的听力损失,阈移的恢复趋势及速度不尽相同。

按3dB法则不同峰值和发数组合的等能量脉冲噪声暴露,是否形成相等程度的听力损伤,是值得研究的问题。有人在低强度峰值(<147dB SPL)的多组脉冲噪声实验中发现,等能量不同峰值和发数组合的脉冲噪声暴露,产生的TTS和PTS相同<sup>[6]</sup>。Grenner等在碰撞噪声的动物实验中也证实,按3dB法则组合的多组暴露产生的听阈提高值相近<sup>[7]</sup>。但有人在高强度脉冲噪声暴露实验中,发现这种换算法则并不适用,高峰值少发数的暴露比低峰值多发数损伤严重,认为峰值是影响阈移的更重要因素<sup>[8]</sup>。本实验B、C、D三组脉冲重复率相同,按3dB法则组合。阈移测试表明,B(163dB 10发)和C(166dB 5发)组在暴露后各时间均无显著性差异,但D组(172dB 1发)的平均阈移与前两组差异却十分显著,该组阈移恢复到正常水平只需48小时,而前两组至暴露后8天仍有10dB和5dB阈移。这说明,峰值和发数不同组合对听力损伤的等能量原则并不是普遍的规律,它受到某些参数范围的限制。在

本实验条件下, 高强度单发暴露并不形成等同听力损伤或更严重听力损伤, 相反损伤较轻微。形成这种差异的原因可能是脉宽较窄, 峰值还不够高至足以损伤内耳的强度所致。

重复率是脉冲噪声暴露的重要参数, 但许多安全标准并未考虑其对听力损伤的影响<sup>[9, 10]</sup>。有的学者认为, 在等能量暴露中, 重复率对阈移将不产生或产生很小作用<sup>[11]</sup>。本实验A、B、E三组动物暴露脉冲噪声峰值(163dB)和发数(10发)相同, 重复率快慢不同。暴露后24小时, A组(1/10s)阈移最大, B组次之(1/90s), E组(1/0.5s)最小, 组间平均阈移相差10dB, 并有显著性差异; 暴露后48小时, 虽然B和E组阈移差异已不显著, 但A组与它们的差异仍十分显著; 暴露8天, E组阈移已恢复至5dB, 但A组动物阈移仍有21dB。以上结果说明, 脉冲噪声的重复率对等能量暴露产生的近期阈移和较远期阈移都有一定程度的影响, 重复率不同, 对听力损伤的程度也可能不同。

本实验重复率对听力损伤呈现较为复杂的形式, 即快重复率(1/0.5s)和慢重复率(1/90s)对听力损伤的程度相对都比较轻, 恢复也较快, 中等重复率(1/10s)暴露损伤最重, 并有统计性差异。出现这种状况的原因还不十分清楚, 可能和中耳肌肉收缩活动和听毛细胞的恢复过程有关<sup>[12]</sup>。快重复率的脉冲噪声由于间隔时间短, 致中耳肌肉持续收缩, 对后来脉冲有衰减作用, 从而减轻内耳接受的声能量<sup>[7]</sup>。有人证实, 听毛细胞在首次噪声刺激后, 有一个恢复过程, 在此过程未结束前, 再次的噪声刺激(即使是低强度)会加重毛细胞损伤<sup>[13]</sup>。本实验B组慢重复率暴露损伤较轻, 可能是间隔时间已超出恢复过程的原因。

结论: 本实验结果提示, 等能量原则并不完全适用脉冲噪声暴露, 按3dB法则脉冲噪声不同组合对听力的等同损伤不是普遍规

律, 脉冲噪声重复率是影响听力损伤的重要因素。在研究脉冲噪声损伤听力安全标准时, 必须全面考虑各种因素的综合影响。

### 参考文献

1. Burns W, et al. Hearing and noise in industry. HMSO London 1970
2. Grenner J, et al. J. Acoust Soc Am 1989; 86: 2223
3. ISO/R 1999. International Organization for Standardization, Acoustics-Assessment of noise exposure during work for hearing conservation purposes (Geneva 1971)
4. Pfander P. In hearing and hearing prophylaxis. Proc. of Oslo International symposium on the effects of noise on hearing. ed by Borchgrevinik 1982
5. Hamernik RP, et al. J Acouss Soc Am 1987; 91: 1118
6. Martin AM. Effect of noise on hearing. N.Y. 1976; 421
7. Grenner J, et al. Audiology 1988; 27: 356
8. Henderson D, et al. A parametric evaluation of the equal energy hypothesis. In RJ Salvi, et al. Basic and applied aspects of noise-induced hearing loss. Plenum N.Y. 1986; 369
9. GJB—82, 常规兵器发射或爆炸时压力波对人体作用的安全标准, 国防科学技术工业委员会, 1982
10. NAS-NRC CHABA 1986. Report of working group 57. proposed Damage-risk criterion for impulse noise (gunfire)
11. 梁之安等, 压力波的安全标准, 声学学报, 1982; 7: 372
12. Henderson D, et al. J. Acoust Soc Am 1986; 80: 569
13. Price RG. J. Acoust Soc Am 1976; 59: 709