

导弹脉冲噪声对听觉器官的损伤

梁振福 唐志文 王云景 范静平

(上海, 海军医学研究所)

新型导弹的装备虽大大加强了舰艇部队的作战能力,但导弹发射时所产生的强脉冲噪声将严重威胁有关舱室和战位人员的安全。在某型导弹实艇发射试验中,我们进行了脉冲噪声的测试和动物试验,较详细地观察了脉冲噪声对听觉器官的损伤,并根据人与豚鼠耐受性的差异,对有关舱室和战位人员的安全性作出评价。

试验方法

1 脉冲噪声的测量

测量的声压参数为超压峰值声压级,用dB表示。考虑到不同布点压力峰值差异较大,分别选用JS-Ⅱ型压电冲击波压力传感器和B&K4135型电容传声器。测量仪器含4台B&K2209型脉冲精密声级计,用峰值保持档直读压力峰值,同时用NAGRA-ⅣSJ双通道磁记录仪对信号进行录制,在实验室进行重放,通过B&K3348型窄带实时分析仪进行频谱分析,用B&K2307型电平记录仪描绘频谱。同时将信号输入到SS1型数字存储示波器观察脉冲的时域波形。

2 试验动物及指标

2.1 动物分组及布点

选用雄性豚鼠71只,体重370—450g,耳廓反射阈正常才能选用,随机分成10组,对照组10只,9个试验组数量不等,分别布放在露天驾驶台和8个密闭舱室,高度相当于操作者耳朵水平。

2.2 动物指标测定

2.2.1 耳廓反射阈

将豚鼠安放在一个特制的有机玻璃盒中,用SC-声刺激器产生0.125ms的方波,输入到一个2英寸的扬声器发出短声。扬声

器正对豚鼠被测耳,距离为5cm,待动物安静后,观察它在给声时耳廓的抖动,然后逐渐减轻声音强度至刚能引起耳廓轻微的抖动为止,这时的刺激声强度即为该耳的耳廓反射阈。

2.2.2 听阈

测定大脑皮层听区短声诱发电位作为听阈指标。动物经戊巴比妥钠腹腔麻醉后(40mg/kg),在颞部听区中央部位钉钉作为引导电极,无关电极夹在皮肤切口上。将记录电极引入SR-46高灵敏示波器,由SC-声刺激器发出短声,与示波器同步,以刚能引出电反应的刺激强度为声阈,实验组与对照组的阈差即为听阈偏移。

2.2.3 形态学的观察

电镜上驾驶台组,分别在噪声暴露后第1、3天各取2只耳蜗。对照组及其他8个密闭舱组在噪声暴露后第3天各取2只耳蜗,用戊二醛从蜗尖灌注固定,置于冰箱保存,然后用钨酸进行后固定,经干燥处理、度膜后用日立S520扫描电镜观察。

光镜 噪声暴露后2~3天分别取各组动物耳蜗用福尔马林固定,在立体显微镜下去除蜗壳,将基底膜取下,用苏木精染色,然后在高倍显微镜下观察内外毛细胞的变化。

噪声暴露后41小时开始测定耳廓反射阈

和听阈，然后快速断头，取出听泡，观察中耳的伤情。部分动物内耳标本带回实验室进行电镜和光镜观察。动物伤情的评定参照梁之安提出的标准^[1]。

结 果

1 脉冲噪声的测试结果

表 1 各舱室的压力峰值(dB)

	上驾驶台	驾驶台	A舱	B舱	C舱	D舱
第1次发射	179.5	*	*	—	—	146.4
第2次发射	176.0	156.4	—	157.5	134.0	—

*发射时电源被切断 —未测试

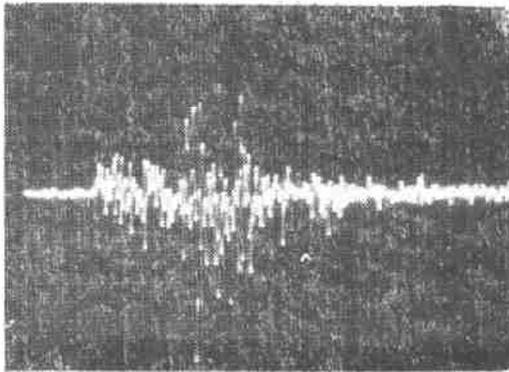


图 1 驾驶台的脉冲-时域波形图

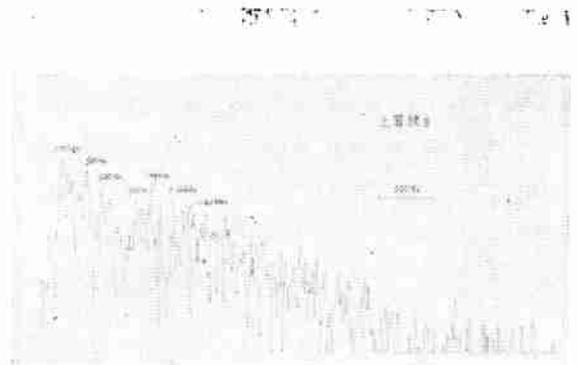


图 2 驾驶台脉冲噪声频谱图

2 听觉器官的损伤

2.1 中耳

中耳的损伤主要表现为鼓膜破裂，鼓膜、鼓室充血和出血。鼓膜破裂多呈单侧性、条缝状，边缘多朝内翻，有少数难以辨认。鼓膜的脐部上下前方和周围为损伤的多见部位，详见表 2。

2.2 听阈偏移

从表 2 可见，上驾驶台组平均听阈偏移 41dB，内耳组伤情评定为重伤，其中中等伤情有 8 耳，占 40%，重度伤情 12 耳，占 60%，

试验中发射两枚导弹，测试 8 个有代表性舱室的脉冲噪声，各测点的压力峰值见表 1。

图 1~2 为驾驶台布点脉冲噪声的典型频谱和时域波形图，其他测点的波形与之十分相似。脉冲的持续时间按国家军标 GJB12—84 的规定计量，在 900—980ms 之间，频谱均以低、中频为主。

H 舱组平均听阈偏移 28.3dB，内耳组伤情评定为中伤，其中中等伤情 8 耳，占 80%，轻度伤情 2 耳，占 20%。驾驶室组，各个动物的听阈偏移均在 15dB 以内，该组伤情评定为微伤。其他各组各个动物的听阈偏移均在 8dB 以内，该组伤情评定均为无伤。

2.3 形态学的改变

(1) 内耳光镜观察，以上驾驶台的伤情最重，主要表现在耳蜗的第 2、第 3 圈有大量外毛细胞丧失，个别动物这两圈的外毛细胞几乎完全消失，基底圈也有部分外毛细胞

表 2 脉冲噪声暴露后各布点动物伤情

布点	动物数	耳廓反射 阈 偏移 (dB)	听 阈 偏 移 (dB)	中 耳 损 伤				伤 情 评 定		总 伤 情 定	
				大 穿 孔	中 穿 孔	小 穿 孔	出 血	充 血	中 耳		内 耳
上驾驶台	10	7.3	41.0	—	4	2	7	2	中	重	重
驾驶室	10	0.7	8.9	—	—	—	—	3	无	微	微
A舱	8	-0.4	3.1	—	—	—	—	2	无	无	无
E舱	6	1.2	5.3	—	—	—	1	2	无	无	无
F舱	6	3.5	5.5	—	—	—	2	2	无	无	无
G舱	5	2.3	1.9	—	—	—	—	—	无	无	无
H舱	5	5.8	28.3	—	—	—	1	1	无	中	中
I舱	6	0.8	3.3	—	—	—	—	—	无	无	无

缺失，顶圈无明显改变。驾驶室和H舱动物耳蜗的第2、3圈部分外毛细胞缺失，底圈和顶圈正常，各圈内毛细胞均无异常。A舱组个别耳蜗第3圈有少许外毛细胞缺失。其余布点动物基底膜均正常。

(2)内耳扫描电镜观察：电镜观察仍以上驾驶台动物的内耳损伤最重，暴露后第1天标本，第2、3圈基底膜有剥离现象(见图3)，底圈外毛细胞纤毛有融合，内毛细胞纤毛排列不齐，顶圈正常。暴露后第3天标本，有的动物底圈中部基底膜翻转，起始部分有广泛的外毛细胞纤毛缺失，第2圈部分外毛细胞缺失，内毛细胞纤毛有折断和融合，

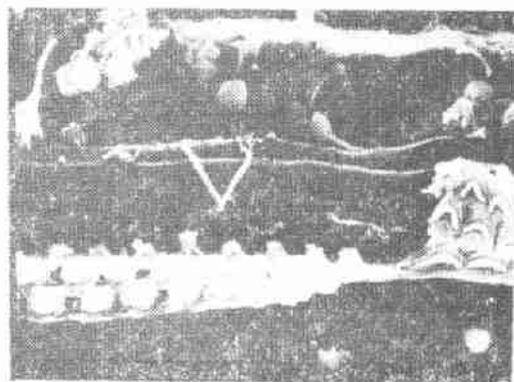


图3 上驾驶台布点动物电镜所见
(第二圈基底膜剥离)

顶圈正常。驾驶室组暴露后第3天标本，底圈外毛细胞纤毛倒伏，并有融合现象，第2、3圈及顶部未见明显病变。A舱组动物，暴露后第3天标本仅底圈末端有少许毛细胞纤毛倒伏，第2、3和顶圈均无明显改变，其他各组正常。

讨 论

经分析表明，该型导弹的脉冲噪声频谱主要分布在听频范围。因此，对人体的致伤作用首先表现在对噪声最敏感的听觉器官，所以，本试验主要以听器的伤情作为安全性的评定依据。以往的研究表明，脉冲噪声对听觉器官的致伤部位不在中枢，主要在外周。不论是中耳损伤还是内耳损伤或两者兼有的混合伤，最终都表现为听阈上升⁽¹⁾。伤情最重的驾驶台组，多数动物出现混合伤，但也有少数动物表现为单纯的内耳损伤。其他出现伤情的各组动物，主要是内耳损伤。据报道，由爆炸声造成鼓膜穿孔时，因传导系统功能减弱引起的听力损失居次要地位，听力图曲线显示的主要是内耳障碍⁽²⁾。驾驶台的压力峰值高达179.5dB，这瞬间变化的压力，可引起部分动物鼓膜穿孔。由于动物个体的差异较大，在同样的条件下，有的动物中耳却

(下转第36页)

床反映“该材料制作之换能器在灵敏度和探测深度等方面都达到其诊断仪原配探头的指标。”

用SF型PZT制作的声学测量用换能器和消声水槽测试中的收发兼用换能器，使用效果也很好。

用F₁型PZT制作了体穴位治疗机所用的换能器经陕西省人民医院等单位长期使用，效果良好。

5 结语

压电材料从研制到测试，工艺繁杂环节很多。因此，要研制出具体使用的性能特别优异的医用压电超声换能器材料，用以改善和提高医用压电超声换能器的性能的话，仍需从材料的种类、配方组成及工艺等方面进行探讨。就我们研制的这两种医用压电超声换能器材本身来看，其性能稳定、实用性强、

便于生产，因而有进一步开发研究、扩大应用的必要。

参加过部分研制工作的有：杨宏娥、韦瑞辉、阎杰、陈玲、杨怡平和李道平等同志。

参考文献

- 1 [美]B.贾菲等著，林声和译，压电陶瓷，科学出版社，1979；252~267
- 2 [日]田中哲郎等编，陈俊彦等译，压电陶瓷材料，国家海洋局第五海洋研究所出版，1977；44~58
- 3 许煜寰等编，铁电与压电材料，科学出版社，1978；170~185
- 4 山东大学压电铁电物理教研室编，压电陶瓷及其应用，山东人民出版社，1974；93~154
- 5 李全禄等编，无机新材料(讲义)，陕西师范大学声学所、化学系，1988；

(上接第20页)

完全无伤。但不管中耳是否损伤，最终导致的听阈偏移均在37—44dB的范围之内，组伤情评定内耳重于中耳。H舱的脉冲噪声压力峰值虽未能直接造成鼓膜穿孔，但声音的能量可通过中耳传导系统有效地冲击内耳，致使内耳出现较重的伤情，电镜和光镜下可见，内耳的损伤部位主要在耳蜗的第2、3圈，伤情较重时可累及底圈。由于外毛细胞对声作用要比内毛细胞敏感，因此，外毛细胞的损伤最重。Hamernik等指出155dB、161dB和166dB的脉冲噪声引起的外毛细胞损伤是内毛细胞损伤的30倍^[3]。有的实验表明，外毛细胞在一定的频率范围内完全损伤，会导致约50dB的听力损失，而缺少一部分内毛细胞，听力损失就会超过50dB^[2]。驾驶台组有的动物第2、3圈外毛细胞出现大量丧失，而有的动物只有少量内毛细胞出现折断和融合现象，但听阈偏移很接近，均在40~

50dB之间，这与上述报告的结果十分一致。

我们以往的研究表明，脉冲噪声对人体和豚鼠听觉器官的损伤规律是相似的，但人的耐受性较豚鼠高，人的安全界线相当于豚鼠的轻伤界线。据此，我们认为，发射一枚导弹，上驾驶台是不安全的，H舱欠安全。其他舱室都安全。

参考文献

1. Liang Zhian, Laws governing the damage of the auditory system by impulse of weapon origin, Proceedings 1987 International Conference on Noise Control Engineering (Beijing, China) 1061~1064.
2. F.普凡德尔著，张思纯、洪启智译 爆炸声损伤1984·98~102，解放军出版社。
3. Hamernik R.P, et al. Impulse noise trauma, A study of histological susceptibility, Otolaryngology, 1974; 99(2); 139~144.