

· 调查报告 ·

噪声累积暴露对不同频率纯音气导听阈的影响

Effect of cumulative noise exposure on pure tone air conduction hearing threshold at different frequencies

梁灿坤, 李燕茹, 段丹萍, 白卢哲, 刘移民

(广州市职业病防治院, 广东 广州 510620)

摘要: 本研究以 $L_{EX,W} = 80.3$ (78.9, 82.1) dB(A) 为暴露水平, 探讨不同频率纯音气导听阈的改变特征和噪声性听力损失 (NIHL) 的时间累积效应。结果显示, 噪声累积暴露与高频听力损伤存在剂量-反应关系, 对语频听阈的影响有待进一步探索; NIHL 呈双侧性和对称性特征, 以 6 000 Hz 听阈受损为主。

关键词: 累积噪声暴露量; 噪声性听力损失; 剂量-反应关系

中图分类号: TB53 **文献标识码:** B

文章编号: 1002-221X(2021)05-0420-04

DOI: 10.13631/j.cnki.zggyyx.2021.05.011

噪声性听力损失 (noise-induced hearing loss, NIHL) 是最常见的感音神经性疾病。广东省职业性噪声聋具有聚集性和群发性特点, 近年发病率呈上升趋势, 报告病例数居全省职业病谱首位 (42.34%)^[1,2]。广州市新诊断职业性噪声聋虽以轻度 (83.90%) 为主, 但需引起重视^[3]。NIHL 具有时间累积效应, 长期噪声累积暴露会导致不可逆性听力损伤。NIHL 致病机制是噪声损伤内耳毛细胞和引起听神经突触与听神经髓鞘病变^[4], 早期表现为高频听阈下降, 随后语频听阈损伤, 最终导致噪声聋。目前, 国内噪声职业风险评估和健康效应研究往往以职业接触限值为切入点, 85 dB(A) 以下噪声致听力损伤的时间累积效应较易被忽视。本研究以略低于职业接触限值的等效声级为暴露水平, 探索噪声累积暴露对职业人群不同频率纯音气导听阈的影响, 旨在为职业健康风险评估和噪声预防控制策略提供有价值的参考依据。

1 对象与方法

1.1 对象 采用判断抽样方法, 选择某通用设备制造企业总装、泵体、电机和冲压车间 1 474 名噪声暴露工

人为研究对象, 从中筛选 708 名连续噪声暴露 ≥ 3 年者为动态观察人群。纳入标准: (1) 年龄 18~60 岁, 接噪工龄 ≥ 0.5 年; (2) 动态观察人群来自研究对象, 接噪工龄 ≥ 3.0 年; (3) 资料完整有效; (4) 知情同意。排除标准: (1) 纯音测听结果为传导性耳聋和混合性耳聋患者; (2) 中耳炎、听神经病、梅尼埃病、外伤性耳聋、突发性耳聋、先天性耳聋、传染病性耳聋、家族性耳聋和药物中毒性耳聋患者。

1.2 方法

1.2.1 资料收集 于 2019 年 10—11 月收集该企业职业健康检查基本资料, 研究对象的年龄、性别、工龄和职业接触史等以职业健康检查协议书的形式提供, 既往病史由五官科和听力学医师现场问诊并书面记录。基本资料录入职业健康监护信息系统长期保存。研究人员查阅 2017 年、2018 年用人单位职业健康监护档案, 对 2019 年研究对象的基本资料进行核查和补充, 并从总体研究对象中筛选出符合纳入标准的动态观察人群, 回顾性调查动态观察人群的基本资料、噪声接触史和纯音测试结果。

1.2.2 噪声检测 开展现场劳动卫生学调查和收集 2019 年工作场所职业病危害因素检测资料。根据《工作场所物理因素测量 第 8 部分: 噪声》(GBZ/T 189.8—2007) 和国家相关技术标准开展工作场所噪声定点检测和个体检测。企业实行 8 h/d, 6 d/周的两班倒工作制; 噪声检测结果以等效声级 ($L_{EX,W}$) 表示。为阐述噪声暴露的时间累积效应, 本研究根据等能量原理, 结合等效声级和工龄计算累积噪声暴露量 (cumulative noise exposure, CNE), 以量化研究对象的个体噪声暴露剂量^[5]。

$$CNE[dB(A) \cdot \text{年}] = L_{Aeq, 8h} + 10 \lg T$$

式中, T ——噪声连续暴露年数; $L_{Aeq, 8h} = L_{EX,W}$ 。

1.2.3 纯音听阈测试 根据《声学 测听方法 纯音气导和骨导听阈基本测听法》(GB/T 16403—1996), 听力学医师采用听力计在噪声本底值 ≤ 4 dB(A) 车载

基金项目: 广东省医学科学技术研究基金项目 (A2020340); 广州市卫生健康科技项目 (20191A010038); 广州市卫生健康科技项目 (20201A010034); 广州市高水平临床重点专科建设项目 (穗卫函 [2019] 1555 号); 广州市医学重点学科建设项目 (穗卫科教 [2016] 27 号)

作者简介: 梁灿坤 (1981—), 男, 硕士, 副主任医师, 从事职业健康监护工作。

通信作者: 刘移民, 硕士生导师, 主任医师, E-mail: ymliu61@163.com

隔声室对语频（500、1 000、2 000 Hz）和高频（3 000、4 000、6 000 Hz）进行纯音气导和骨导听阈测试，同时记录受检者的中耳疾病史、耳外伤史和其他造成永久性听力损伤的情况。研究对象脱离噪声环境 12 h 后进行纯音测听，仍未明确诊断者脱离噪声环境 48 h 后进一步复查。根据《职业性噪声聋的诊断》（GBZ 49—2014）对测试结果进行年龄和性别校正，计算右、左耳的语频听阈加权值（MTMV）。

$$MTMV = [(HL_{500\text{ Hz}} + HL_{1\,000\text{ Hz}} + HL_{2\,000\text{ Hz}}) / 3] \times 0.9 + HL_{4\,000\text{ Hz}} \times 0.1$$

听力损失的判断标准：任一耳任一频率（500、1 000、2 000、3 000、4 000 和 6 000 Hz）纯音气导听阈>25 dB 或任一耳 MTMV>25 dB，且符合纳入和排除标准。

1.3 质量控制 用人单位近年来工作场所职业病危害因素检测委托同一家职业卫生技术服务机构承担，职业健康检查由同一家职业健康监护机构完成。本研究以职业健康检查工作为契机，开展现场劳动卫生学调查，采用统一标准和规范方法收集和处理资料，以上措施均能有效提高研究资料的真实性和可靠性。鉴于冲压车间的特殊性，研究人员对其开展现场调查。冲压车间划分为不同区域，厂房空间较宽敞，10 余台高速冲压机床分布于自动化隔声房内，高速冲压机床操作工位噪声个体检测 82~83 dB(A)。

1.4 统计分析 采用 SPSS 20.0 软件，计量资料正态性检验取 $\alpha=0.05$ ，符合正态分布者采用 $\bar{x}\pm s$ 描述，不符合正态分布者采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 描述。偏态分布或总体分布未知的多个独立样本中位数比较采用秩和检验（K-W 检验），计数资料差异性比较采用 Pearson χ^2 检验或线性趋势 χ^2 检验，线性趋势 χ^2 检验前均需进行 Pearson χ^2 检验，双侧检验 $P<0.01$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 研究对象基本情况 1 474 研究对象中，男性占

85.9%（1 266/1 474）、女性占 14.1%（208/1 474），年龄 30.7（26.4，35.3）岁，工龄 3.4（1.8，7.4）年。不同车间工人的性别、年龄和工龄差异均有统计学意义（ $P<0.01$ ）。见表 1。

表 1 研究对象人口学特征

车间	人数	性别（人）		年龄（岁）	工龄（年）
		男	女		
总装	725	611	114	31.0(26.6,36.0)	3.4(2.4,7.3)
泵体	340	283	57	29.8(26.2,33.0)	3.1(1.6,7.4)
电机	120	119	1	28.4(23.7,32.7)	2.7(1.3,4.5)
冲压	289	253	36	32.8(28.4,37.0)	4.5(1.9,8.5)
合计	1 474	1 266	208	30.7(26.4,35.3)	3.4(1.8,7.4)
χ^2/H 值		21.640		50.768	35.347
P 值		<0.001		<0.001	<0.001

注：性别比较采用 Pearson χ^2 检验，年龄和工龄比较均采用秩和检验。

2.2 噪声检测 158 个噪声检测点的等效声级（ $L_{EX,W}$ ）为 80.3（78.9，82.1）dB(A)。≥80 dB(A) 属于噪声作业岗位的检测点数占 55.7%（88/158）。其中，≥85 dB(A) 仅占 5.1%（8/158）。不同车间的 $L_{EX,W}$ 差异无统计学意义（ $P>0.01$ ）。详见表 2。

表 2 工作场所噪声检测结果 点数

车间	检测点数	噪声声级 [dB(A)]			
		<80	80~<85	≥85	$L_{EX,W}$
总装	64	21	38	5	80.9(79.2,83.1)
泵体	19	10	9	0	80.0±1.0
电机	39	14	24	1	81.2(78.7,82.2)
冲压	36	25	9	2	79.0(78.5,82.2)
合计	158	70	80	8	80.3(78.9,82.1)

注：不同车间 $L_{EX,W}$ 秩和检验 $H=6.428$ ， $P=0.093$ 。

2.3 纯音气导听阈改变特征 两耳相同频率听力损失检出率差异均无统计学意义（ $P>0.01$ ）。同一耳 6 个不同频率听力损失检出率均随频率升高而增加，呈线性上升趋势，差异有统计学意义（ $P<0.01$ ）。其中，两耳 6 000 Hz 听阈下降最为明显。见表 3。

表 3 研究对象不同耳别的听力损失情况比较 只（%）

耳别	暴露耳数 (只)	频率（Hz）					
		500	1 000	2 000	3 000	4 000	6 000
右耳	1 474	1 (0.1)	1 (0.1)	9 (0.6)	88 (6.0)	200 (13.6)	290 (19.7)
左耳	1 474	4 (0.3)	5 (0.3)	14 (0.9)	89 (6.0)	177 (12.0)	259 (17.6)
合计	2 948	5 (0.2)	6 (0.2)	23 (0.8)	177 (6.0)	377 (12.8)	549 (18.6)
χ^2 值			4.252 [#]		0.006	1.609	2.151
P 值			0.039 [#]		0.938	0.205	0.142

注：#，语频受损耳数合并计算后的 Pearson χ^2 检验结果，右耳、左耳不同频率听力损失检出率线性趋势 χ^2 检验结果分别为 $\chi^2=701.297$ 、 $P<0.001$ ， $\chi^2=580.533$ 、 $P<0.001$ 。

2.4 不同 CNE 所致听力损伤情况 由公式计算 CNE 为 86.4 (83.4, 89.5) dB(A)·年, 暴露耳总体听力损失检出率为 22.1%; 总体听力损失检出率以及 3 000、4 000、6 000 Hz 听力损失检出率均随 CNE

递增而增加, 差异有统计学意义 ($P<0.01$)。由 MTMV 判断的听力损失检出率随 CNE 递增而增加的线性上升趋势差异无统计学意义 ($P>0.01$)。见表 4。

表 4 研究对象不同 CNE 的听力损失情况比较 只 (%)

CNE [dB(A)·年]	暴露人数 (耳数)	总体听力损失	MTMV _右	MTMV _左	3 000 Hz	4 000 Hz	6 000 Hz
77~<83	327 (654)	103 (15.7)	5 (1.5)	4 (1.2)	28 (4.3)	53 (8.1)	88 (13.5)
83~<89	713 (1 426)	299 (21.0)	21 (2.9)	22 (3.1)	77 (5.4)	166 (11.6)	260 (18.2)
89~<95	434 (868)	249 (28.7)	16 (3.7)	17 (3.9)	72 (8.3)	158 (18.2)	201 (23.2)
合计	1 474 (2 948)	651 (22.1)	42 (2.8)	43 (2.9)	177 (6.0)	377 (12.8)	549 (18.6)
线性趋势 χ^2 值		37.603	3.030	4.571	11.410	35.859	23.428
P 值		<0.001	0.082	0.033	0.001	<0.001	<0.001

2.5 听力损失的连续 3 年动态观察 708 名连续接触噪声 ≥ 3 年的动态观察人群中, 未发现疑似职业性噪声聋患者。3 000、6 000 Hz 听力损失检出率均随暴露年份递增而增加, 差异有统计学意义 ($P<$

0.01)。由 MTMV 判断的听力损失检出率和 4 000 Hz 听力损失检出率随暴露年份递增而增加的线性上升趋势差异无统计学意义 ($P>0.01$)。见表 5。

表 5 听力损失的连续 3 年动态观察结果 只 (%)

观察年份	观察人数 (耳数)	总体听力损失	MTMV _右	MTMV _左	3 000 Hz	4 000 Hz	6 000 Hz
2017	708 (1 416)	321 (22.7)	15 (2.1)	29 (4.1)	67 (4.7)	203 (14.3)	257 (18.1)
2018	708 (1 416)	333 (23.5)	27 (3.8)	34 (4.8)	103 (7.3)	211 (14.9)	282 (19.9)
2019	708 (1 416)	371 (26.2)	21 (3.0)	24 (3.4)	101 (7.1)	224 (15.8)	315 (22.2)
趋势 χ^2 值		4.821	0.883	0.449	6.833	1.220	7.394
P 值		0.028	0.347	0.503	0.009	0.269	0.007

3 讨 论

3.1 以特定噪声暴露水平为研究前提 国家职业卫生标准规定噪声职业接触限值 $L_{EX, 8h}$ 为 85 dB(A), $L_{EX, 8h} \geq 80$ dB(A) 定义为噪声作业, 85 dB(A) $\leq L_{EX, 8h} < 90$ dB(A) 为产生轻度危害的 I 级噪声作业环境。目前, 国内噪声危害研究往往立足于职业接触限值, 即 $L_{EX, 8h} \geq 85$ dB(A) 才引起足够重视, < 85 dB(A) 噪声暴露水平所引起的职业健康效应尤其是听力损伤易被忽视。哺乳动物实验研究发现, “安全剂量”噪声多次暴露可以导致动物内毛细胞带状突触数量减少并引起听觉阈值升高^[6]。本研究中 ≥ 80 dB(A) 属于噪声作业的检测点占 55.7%, 其中 ≥ 85 dB(A) 的超标点仅占 5.1%。158 个噪声检测点的 $L_{EX, W}$ 为 80.3 (78.9, 82.1) dB(A)。本研究的噪声超标为小概率事件, 超标点分布于不同车间, 超标车间应更加注重职业防护。从统计学角度看, 个别检测点超标对大样本含量研究的影响轻微。因此, 本研究所指的噪声暴露环境大致可认为 < 85 dB(A), 研究对象的暴露耳总体听力损失检出率为 22.1%, 低于电子行业

作业工人的听力损失检出率 (29.79%)^[7]。

3.2 引入 CNE 为评价指标 NIHL 可归因于多因素联合作用, 性别、年龄、工龄、噪声声级是相对独立的影响因素^[8,9]。研究对象常态化佩戴耳塞降噪, 听力学结果经过性别和年龄校正, 基于防护水平基本一致和有效减少人口学特征影响的前提下, 噪声声级和接噪工龄为 NIHL 最主要影响因素。从群体角度看, 不同车间的 $L_{EX, W}$ 差异无统计学意义 ($P>0.01$)。考虑到 NIHL 的时间累积效应及其个体差异, 本研究将 $L_{EX, 8h}$ 和接噪工龄相结合计算 CNE, 以揭示 CNE 与 NIHL 的剂量-反应关系。已有研究表明, CNE 能够有效地评估稳态和非稳态噪声所致的听力损失风险^[10]。本研究 CNE 为 86.4 (83.4, 89.5) dB(A)·年, 将 CNE 划分为 3 个等级进一步阐明 CNE 对 NIHL 的影响, 结果发现, 500、1 000 和 2 000 Hz 受损耳分别为 5、6 和 23 只。为解决语频受损耳样本含量相对不足问题, 参考 GBZ 49—2014 将 4 000 Hz 阈值的 10% 纳入语频, 计算 MTMV, 重构语频听力损失评价指标, 为研究 CNE 对语频听阈影响作出铺垫。

3.3 NIHL 的时间累积效应特点 本研究发现, 研

究对象两耳 3 000、4 000、6 000 Hz 听力损失检出率均随 *CNE* 递增而增加, 动态观察人群两耳 3 000、6 000 Hz 听力损失检出率均随暴露年份递增而增加, 表明 *CNE* 和听力损伤之间存在剂量-反应关系, 但未发现 *CNE* 对语频听阈损伤的影响, 动态观察人群亦未发现疑似职业性噪声聋。本研究基于人群统计学的视角, 以较低噪声暴露水平和较短接噪工龄为数据基础, 研究结论不宜无条件地外推到个体。根据 $MTMV > 25$ dB 的发生概率, 研究对象的语频听阈已受到一定程度损伤, 语频听阈损伤是否可以简单地归因于噪声暴露有待进一步论证。从统计学结果看, 语频听阈损伤的时间累积效应未得到充分体现, 一方面可能是该暴露水平未损伤语频, 另一方面可能是接噪工龄较短。基于“听力损失风险随接噪工龄增加而增加”的学术观点^[11,12], < 85 dB(A) 声级的职业性噪声暴露对语频听阈的损伤作用亦不容忽视。

3.4 不同频率的听阈改变特征 本研究发现两耳相同频率的听力损失检出率差异无统计学意义 ($P > 0.01$), 印证了 NIHL 的双侧性和对称性特征, 与个别文献报道左耳听力损失高于右耳不一致^[13,14]。两耳听力损失是否对称主要与操作体位、声源空间距离或噪声易感性有关。同一耳不同频率的听力损失检出率随着频率升高而增加并呈线性上升趋势, 符合 NIHL 由高频发展到语频的渐进性特点, 体现 NIHL 的病理进展规律。本研究表明高频听力损伤优先于语频且较语频严重, 其中 6 000 Hz 听阈下降较为明显, 与周彩玲等^[15]报道 4 kHz 听阈最容易受损不一致。王慧等^[16]报道 NIHL 早期表现为高频段 (3.0~6.0 kHz) 出现 V 型标志性下陷切迹, 但随着接触工龄增加, NIHL 会呈线性发展并渐趋平缓。本研究未发现 4 000 Hz 处下陷切迹, 可能是随着暴露剂量逐渐累积, 听力曲线已转变为下斜型曲线并掩盖了 V 型切迹。

综上, 以 $L_{EX,W}$ 80.3(78.9, 82.1) dB(A) 为噪声暴露水平的 NIHL 具有时间累积效应特点, 长期处于该水平噪声环境主要损伤高频听阈, 对语频听阈影响有待进一步探索。NIHL 呈现双侧性和对称性特征, 以 6 000 Hz 听阈受损为主。基于此, 建议政府有关部门在《工作场所职业病危害作业分级: 噪声》(GBZ/T 229.4—2012) 的基础上增加“0⁺级”, 可将 80~85 dB(A) 定义为可疑产生职业健康损害的噪声级别, 学术层面不应忽视对 $L_{EX,W}$ 75~84 dB(A) 暴露

水平的健康效应研究。企业应坚持三级预防原则, 加强职业卫生管理, 改进生产工艺, 持续开展职业健康监护, 常态化配备耳塞, 恰当处置目标疾病患者, 以确保职业人群健康。本研究不足之处语频受损人群样本含量不够充分、噪声暴露工龄较短和既往暴露史考虑欠周全, 但仍可为理性认识、科学治理噪声危害提供参考依据, 具有一定的实用性和前瞻性。

参考文献

- [1] 周珊宇, 温贤忠, 李旭东, 等. 广东省 2011—2015 年新发职业性噪声聋流行病学特征 [J]. 中国职业医学, 2017, 44 (6): 737-739, 744.
- [2] 周珊宇, 温贤忠, 陈嘉斌, 等. 广东省重点职业病监测情况与职业健康风险评估 [J]. 中国公共卫生, 2019, 35 (5): 549-553.
- [3] 刘慧婷, 郑柏宇, 郭静宜, 等. 2011 至 2018 年广州市职业性噪声聋新诊断病例的流行病学特征 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2020, 38 (7): 523-526.
- [4] 陈雅丽, 胡伟江. 噪声致听力损失机制的研究进展 [J]. 中国工业医学杂志, 2018, 31 (6): 438-440.
- [5] 谢红卫, 唐仕川, 周莉芳, 等. 非稳态噪声累积暴露量与听力损失的关系 [J]. 环境与职业医学, 2015, 32 (1): 56-60.
- [6] 宋峰, 甘彬, 许安廷, 等. 长时程低强度噪声暴露对豚鼠内毛细胞带状突触的影响分析 [J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2017, 31 (5): 41-44.
- [7] 梁灿坤, 肖勇梅, 林锡谦, 等. 电子行业职业性噪声所致疾病负担的归因研究 [J]. 实用医学杂志, 2018, 34 (13): 2245-2250.
- [8] 白璐, 王红, 杨红艳, 等. 噪声性听力损失影响因素 Logistic 分析 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2018, 36 (12): 918-921.
- [9] 张敏红, 李天正, 田东超, 等. 广东省某船舶维修企业噪声所致作业人员听力损失的风险评估 [J]. 环境与职业医学, 2020, 37 (4): 341-347.
- [10] 谢红卫, 张美辨, 全长健. 累计噪声暴露量与人听力损失的剂量反应关系研究 [J]. 浙江预防医学, 2014, 26 (4): 340-344, 348.
- [11] 陈雅丽. 汽车制造企业噪声致听力损失的流行病学调查及风险评估 [D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2019.
- [12] 罗磊, 姜晋, 黄邵玲, 等. 某汽车部件制造厂噪声作业工人听力损失特征分析 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2018, 36 (6): 445-448.
- [13] 肖吕武, 周浩, 丘丛玺, 等. 噪声作业工人不同频率听力改变特征分析 [J]. 中国职业医学, 2017, 44 (5): 588-591.
- [14] 肖伟利, 杨爱初, 李晓亮, 等. 职业性噪声聋患者双耳听力损失不对称性分析 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2020, 38 (5): 345-349.
- [15] 周彩玲, 贾月芝, 李静. 噪声对作业工人听觉影响的动态观察 [J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2016, 23 (10): 582-584.
- [16] 王慧, 时海波. 噪声致听觉系统损害的研究进展 [J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2019, 33 (8): 700-703.

(收稿日期: 2020-09-25; 修回日期: 2021-01-20)