

两种不同频率接振工人末梢循环和末梢神经损伤特征

黄惠民¹, 白研¹, 陈子宇¹, 梁芷珊¹, 李律蓉¹, 林瀚生², 李嘉杰¹, 韦苑¹, 杨虹雨¹, 陈青松¹

1. 广东药科大学, 广东省公共卫生检测与评价工程技术研究中心/公共卫生学院, 广东 广州 510310

2. 广东省职业病防治院广东省职业病防治重点实验室, 广东 广州 510300



DOI 10.11836/JEOM22204

摘要：

[背景] 手臂振动病危害严重, 现缺乏有效的治疗和诊断, 且现行接触限值低估了高频振动造成的健康损害。

[目的] 比较分析接触不同频率振动作业工人末梢循环和末梢神经损伤的情况。

[方法] 应用横断面调查的方法, 以山东省某矿业公司凿岩工(187人)和广东省某运动器材厂高尔夫球杆头打磨工(228人)为研究对象, 对其手部症状进行调查。使用SV106型振动测量仪测量接振工人的作业频谱, 并计算8h等能量频率计权加速度、累积振动暴露水平(CVEL), 采用ISO计权模型预测10%白指患病率时的接振工龄。

[结果] 本次调查对象均为男性。接振组中打磨工手部症状报告率均高于凿岩工(P 均 < 0.001), 如末梢循环损伤(52.6% vs 19.3%)、末梢神经损伤(71.5% vs 23.0%)、手僵(64.0% vs 7.0%)及手指变形(69.7% vs 4.3%)。打磨作业接振主频率(500~800 Hz)高于凿岩作业(125~160 Hz)。CVEL、接振工龄与接振工人末梢循环损伤、末梢神经损伤累积患病率呈线性上升趋势, 拟合直线的效果均较好($R^2=0.812\sim0.988$), 且打磨工直线斜率均大于凿岩工。实际上, 10%白指患病率时打磨工的接振工龄比凿岩工更短(6.81年 vs 10.27年), 而ISO计权模型预测10%白指患病率时凿岩工接振工龄更短(3.12年 vs 8.23年)。

[结论] 两种不同频率振动作业暴露水平及手部症状检出率均较高, 高频作业对作业工人手部损害倾向于更大。

关键词： 手传振动; 手臂振动病; 患病率; 累积振动暴露水平

Peripheral circulation and peripheral nerve injury in workers exposed to vibration at two different frequencies HUANG Huimin¹, BAI Yan¹, CHEN Ziyu¹, LIANG Zhishan¹, LI Lyurong¹, LIN Hansheng², LI Jiajie¹, WEI Yuan¹, YANG Hongyu¹, CHEN Qingsong¹ (1. Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Public Health Detection and Assessment/School of Public Health, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou, Guangdong 510310, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Occupational Disease Prevention and Treatment, Guangdong Province Hospital for Occupational Disease Prevention and Treatment, Guangzhou, Guangdong 510300, China)

Abstract:

[Background] Hand-arm vibration disease is harmful to human body, but there are no effective diagnosis and treatment so far, and current occupational exposure limits underestimate the health damage caused by high-frequency vibration exposure.

[Objective] To evaluate and compare the damage to workers' peripheral circulation and peripheral nerve caused by different frequencies of vibration operation.

[Methods] Drilling workers ($n=187$) from a mining company in Shandong Province and golf club head grinding workers ($n=228$) from a sports equipment factory in Guangdong Province were selected as study subjects. Hand symptoms were investigated. SV106 vibration meter was used to measure the target operation-associated vibration frequency spectrum. The 8 h energy-equivalent frequency weighted acceleration, cumulative vibration exposure level (CVEL), and the working age related to causing white finger in 10% of an exposed group were calculated.

[Result] The study subjects were all male. More grinding workers reported hand symptoms than

组稿专家

张忠彬(国家卫生健康委职业安全卫生研究中心), E-mail: zzb_sd@163.com

基金项目

广州市科技计划项目(201904010222); 广东省自然科学基金面上项目(2022A1515011357)

作者简介

黄惠民(1998—), 男, 硕士生;
E-mail: huanghuimin_gdpu@qq.com

通信作者

陈青松, E-mail: qingsongchen@aliyun.com

伦理审批 已获取
利益冲突 无申报
收稿日期 2022-05-17
录用日期 2022-08-30

文章编号 2095-9982(2022)11-1198-06
中图分类号 R135
文献标志码 A

►引用

黄惠民, 白研, 陈子宇, 等. 两种不同频率接振工人末梢循环和末梢神经损伤特征[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(11): 1198-1203.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM22204

Funding

This study was funded.

Correspondence to

CHEN Qingsong, E-mail: qingsongchen@aliyun.com

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2022-05-17

Accepted 2022-08-30

► To cite

HUANG Huimin, BAI Yan, CHEN Ziyu, et al. Peripheral circulation and peripheral nerve injury in workers exposed to vibration at two different frequencies[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(11): 1198-1203.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM22204

the drilling workers, e.g. peripheral circulation injury (52.6% vs 19.3%), peripheral nerve injury (71.5% vs 23.0%), hand stiffness (64.0% vs 7.0%), and deformed fingers (69.7% vs 4.3%) (all $P < 0.001$). The main vibration frequencies of grinding operation (500-800 Hz) were much higher than those of drilling operation (125~160 Hz). CVEL and working age of vibration exposure showed a linear rising relationship with the cumulative prevalence rate of peripheral circulation and peripheral nerve injury, the fitting lines all showed good fitting effects ($R^2=0.812-0.988$), and the slope of the fitting line of the grinding workers was larger than that of the drilling workers. The working age of vibration exposure associated with 10% cumulative prevalence of white finger was shorter in the grinding workers than in the drilling workers (6.81 years vs 10.27 years). According to the ISO prediction formula, the working age of vibration exposure was associated with 10% white finger prevalence shorter in the drilling workers than in the grinding workers (3.12 years vs 8.23 years).

[Conclusion] Both the vibration exposure level and the prevalence of hand symptoms are high in two groups of workers with different vibration frequencies, and vibration exposure at a higher frequency tends to have severer damage to workers' hands.

Keywords: hand-transmitted vibration; hand-arm vibration disease; prevalence rate; cumulative vibration exposure level

手臂振动病(hand-arm vibration disease, HAVD)是长期职业性接触手传振动引起的以末梢循环和末梢神经损伤为主的疾病,症状多为白指、手麻和手刺痛等^[1-2]。HAVD的发病机制尚不明确,目前缺乏有效的治疗和诊断方法,正确地评估工作场所手传振动风险并及时管控是预防 HAVD 的关键。有调查发现,高尔夫球杆头加工和矿山凿岩作业高频振动暴露大,手部症状检出率高^[2-4]。而国外研究发现,现行的职业接触限值对于高频振动作业对健康损害的预警效果不足^[5],ISO 5349-1-2001《手传机械振动的测量与评估第1部分:一般要求》中的白指患病率预测模型也常高估高强度低频作业及低估高频作业工人的白指发病风险^[6]。本研究通过分析两种振动作业的频谱及累积振动暴露水平(cumulative vibration exposure level, CVEL),比较接触不同频率振动作业工人的健康损害情况,分析 ISO 预测模型对两种不同频率振动作业工人罹患白指的预警效果,为客观评估 ISO 加权模型的科学性提供参考。

1 对象与方法

1.1 对象

采用整群抽样法,选取 2018 年 8 月在职的山东省某矿业公司凿岩工和广东省某运动器材厂高尔夫球杆头打磨作业工人为研究对象,以从事手传振动作业的 187 名凿岩工与 228 名打磨工作为接振组,以同一工作车间从事非手传振动作业的 592 名员工为对照组。纳入标准:①调查时从事高尔夫球杆头加工或矿山作业;②无明显神经系统损伤症状;③无神经系统病史及神经系统家族病史;④无原发性雷诺氏症及其家族史。本研究经广东省职业病防治院医学伦理委员会批准,批件号:医伦审【2021】第(116)号,研究对象均知情同意。

高尔夫球杆头的主要制造工艺包括铸造、细磨及

抛光。在研磨过程中,每个球头由工人双手进行固定,于驱动轮上打磨,见图 1A^[7]。而凿岩工主要作业为使用气腿式凿岩机进行石矿开采,见图 1B^[8]。



图 1 高尔夫球杆头打磨(A)及凿岩(B)作业情况
Figure 1 Golf club head grinding (A) and drilling (B) operations

1.2 方法

1.2.1 职业流行病学调查 采用课题组自行设计的调查问卷对研究对象进行调查^[9]。调查内容主要包括:基本信息(性别、年龄等)、家族史、职业及职业危害因素接触史(工龄、工种、职业危害因素接触情况等)、手部症状(白指、手麻、手僵、手刺痛、手指变形等)。

1.2.2 振动作业频谱及接触剂量测量 根据 ISO 5349-1-2001 标准,使用 SV106 型振动测量仪(SVANTEK 公司,波兰),测量作业工人主操手的 X、Y、Z 轴的手传振

动加速度($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$), 计算加速度的均方根(root mean square, RMS), 按 1/3 倍频程对 5~1600 Hz 手传振动的 26 个中心频率进行分析。为方便比较, 日振动暴露量以 8 h 等能量频率计权振动加速度 $A(8)$ 表示, 我国标准采用 4 h 等能量频率计权振动加速度 $A(4)$ 表示, 可通过公式(1)进行转换^[10]。

$$A(8) = a_{\text{hv}} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (1)$$

式中: $A(8)$ —8 h 等能量频率计权振动加速度($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$); a_{hv} —三轴频率计权加速度分量 RMS 平方和的方根值, 单轴频率计权加速度 RMS 采用公式(2)计算; T —相对于 a_{hv} 的日暴露总时间; T_0 —8 h 的参考时间。

$$a_{\text{hw}} = \sqrt{\sum_i (w_{\text{hi}} a_{\text{hi}})^2} \quad (2)$$

式中: w_{hi} —第 i 个 1/3 倍频程的计权系数; a_{hi} —第 i 个倍频程的加速度均方根值($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)。

采用公式(3)计算累计暴露指数(cumulative exposure index, CEI)^[10], 并采用 $\ln(\text{CEI})$ 值作为累积振动暴露水平(cumulative vibration exposure level, CVEL)进行统计学分析。

$$I_{\text{CEI}} = \sum_{i=1}^n A(8)_i^2 \cdot y_{\text{di}} \cdot y_{\text{yi}} \quad (3)$$

式中: I_{CEI} —累计暴露指数($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-4}$); $A(8)_i$ —每个岗位 8 h 等能量频率计权振动加速度($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$); y_{di} —每个岗位每年工作的天数($\text{d}\cdot\text{年}^{-1}$); y_{yi} —每个岗位的工作年限(年)。

1.2.3 末梢循环及末梢神经损伤的判定 末梢循环损伤: 采用斯德哥尔摩研讨会通用的白指判断标准—Taylor-Pelmeur 量表, 由专业医护人员对接振工人进行调查, 将一个或多个手指远端出现白指表现者, 判定为末梢循环损伤; 末梢神经损伤: 将接振工人一个或多个手指远端出现手麻或手刺痛症状者, 判定为末梢神经损伤^[11]。

1.2.4 10%白指患病率的接振工龄估计 根据 ISO 5349-1-2001 标准, 采用公式(4)计算两类振动作业人群白指患病率为 10%时的接振工龄 D_v 。

$$D_v = 31.8[A(8)]^{-1.06} \quad (4)$$

式中: D_v —接振工龄(年); $A(8)$ —8 h 等能量频率计权振动加速度($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)。

1.2.5 质量控制 调查人员均经过统一培训, 所有调查均采取一对一的方式进行, 调查后及时回收问卷进行补缺和纠错, 采用 EpiData 3.0 软件建立数据库, 双录入后进行一致性检验。仪器经过广州计量检验技术

研究院检定合格, 使用前均经过统一校正。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 22.0 进行统计分析。符合或近似正态分布的计量资料以均数±标准差描述; 非正态分布的计量资料以中位数与范围 $[M(P_{10}, P_{90})]$ 描述; 计数资料以频数与百分数描述; 采用 t 检验和 Mann-Whitney 检验分别分析正态与非正态计量资料的差异; 采用 Spearman 秩相关分析振动频率与加速度的线性相关; 采用一元线性回归分析拟合线性回归方程。

2 结果

2.1 基本情况

研究对象均为男性。接振组共有 187 名使用手持式凿岩机作业的凿岩工人和 228 名高尔夫球杆头的打磨工人; 对照组共有 592 名从事非接振作业的工人。作业工人平均(35.55 ± 7.47)岁, 接振组平均(37.24 ± 6.87)岁, 对照组平均(34.66 ± 7.64)岁, 两组间家族史不存在差异($P > 0.05$), 见表 1。

2.2 手部症状及振动暴露情况

接振组末梢循环损伤(37.4%)、末梢神经损伤(49.6%)、手麻(47.7%)、手刺痛(14.9%)、手僵(38.3%)及手指变形(40.2%)检出率均高于对照组(P 均 < 0.001)。凿岩工人 $A(8)$ 为 $8.94(4.99, 12.88) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, 接振工龄为(6.06 ± 4.81)年, 月接振天数为 26(18, 30) d, 日接振时数为 2(1, 5) h; 打磨工人 $A(8)$ 为 $3.58(2.92, 6.27) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, 接振工龄为(11.04 ± 4.81)年, 月接振天数为 26(20, 28) d, 日接振时数为 8(6, 10) h。打磨工手部症状的报告率均高于凿岩工(P 均 < 0.001), 见表 1。

对特征频谱分析发现, 凿岩作业时加速度的第一个峰值出现在 25~40 Hz 频率范围内, 最高值在 125~160 Hz 内。打磨作业加速度随频率升高而升高($P < 0.05$), 最高值位于 500~800 Hz 之间。由此可见, 两种频率振动作业人群手部症状报告率与接振频率均较高。

2.3 CVEL、接振工龄与手部症状累积患病率关系

分别将凿岩工和打磨工的手部症状累积患病率与接振工龄、CVEL 拟合直线, 结果发现, 直线拟合效果均较好($R^2 = 0.812 \sim 0.988$)。两类接振人群对比发现, 打磨工拟合直线的斜率均大于凿岩工, 说明打磨工手部症状发病风险更大, 见表 2。以上结果表明, 手部症状累积患病率随累积振动暴露水平及接振工龄增长呈线性上升趋势。

表 1 工人基线信息及手部症状情况
Table 1 Baseline information and hand symptoms of workers

指标 (Index)	作业工人(Workers)			接振组(Vibration-exposed group)		
	对照组(<i>n</i> =592) (Control group)	接振组(<i>n</i> =415) (Vibration-exposed group)	<i>P</i>	凿岩工(<i>n</i> =187) (Drilling workers)	打磨工(<i>n</i> =228) (Golf club head grinding workers)	<i>P</i>
年龄/岁(Age/years), $\bar{x} \pm s$	34.66±7.64	37.24±6.87	<0.001	38.45±7.92	36.26±5.71	<0.001
家族史(Family history), <i>n</i> (%)						
否(No)	496(83.8)	352(84.8)	0.657	170(90.9)	182(79.8)	0.002
是(Yes)	96(16.2)	63(15.2)		17(9.1)	46(20.2)	
末梢循环损伤(白指)[Peripheral circulation injury(white finger)], <i>n</i> (%)						
否(No)	592(100.0)	259(62.6)	<0.001	151(80.7)	108(47.4)	<0.001
是(Yes)	0	156(37.4)		36(19.3)	120(52.6)	
末梢神经损伤(Peripheral nerve injury), <i>n</i> (%)						
否(No)	540(91.2)	209(50.4)	<0.001	144(77.0)	65(28.5)	<0.001
是(Yes)	52(8.8)	206(49.6)		43(23.0)	163(71.5)	
手麻(Hand numbness), <i>n</i> (%)						
否(No)	541(91.4)	217(52.3)	<0.001	148(79.1)	69(30.3)	<0.001
是(Yes)	51(8.6)	198(47.7)		39(20.9)	159(69.7)	
手刺痛(Hand tingling), <i>n</i> (%)						
否(No)	591(99.8)	353(85.1)	<0.001	176(94.1)	177(77.6)	<0.001
是(Yes)	1(0.2)	62(14.9)		11(5.9)	51(22.4)	
手僵(Hand stiffness), <i>n</i> (%)						
否(No)	589(99.5)	256(61.7)	<0.001	174(93.0)	82(36.0)	<0.001
是(Yes)	3(0.5)	159(38.3)		13(7.0)	146(64.0)	
手指变形(Deformity of fingers), <i>n</i> (%)						
否(No)	590(99.7)	248(59.8)	<0.001	179(95.7)	69(30.3)	<0.001
是(Yes)	2(0.3)	167(40.2)	–	8(4.3)	159(69.7)	
接振工龄/年(Vibration exposure working age/years), $\bar{x} \pm s$	–	8.79±5.42	–	6.06±4.81	11.04±4.81	<0.001
月接振天数 (Monthly vibration exposure duration)/d, <i>M</i> (<i>P</i> ₀ , <i>P</i> ₁₀₀)	–	26(18, 30)	–	26(18, 30)	26(20, 28)	0.368
日接振时数 (Daily vibration exposure duration)/h, <i>M</i> (<i>P</i> ₀ , <i>P</i> ₁₀₀)	–	8(1, 10)	–	2(1, 5)	8(6, 10)	<0.001
<i>A</i> (8)/(m·s ⁻²), <i>M</i> (<i>P</i> ₀ , <i>P</i> ₁₀₀)	–	5.98(2.92, 14.11)	–	8.94(4.99, 12.88)	3.58(2.92, 6.27)	<0.001
CVEL($\bar{x} \pm s$)	–	11.57±0.91	–	10.89±2.81	10.74±1.81	0.505

[注] 末梢循环损伤通过白指判定, 末梢神经损伤通过手麻与手刺痛判定。

[Note] Peripheral circulation injury is determined by finger blanching, and peripheral nerve injury is determined by hand numbness and tingling.

表 2 手部症状累积患病率与 CVEL、接振工龄的线性回归分析

Table 2 Linear regression analysis of cumulative prevalence of hand symptoms with CVEL and vibration exposure working age

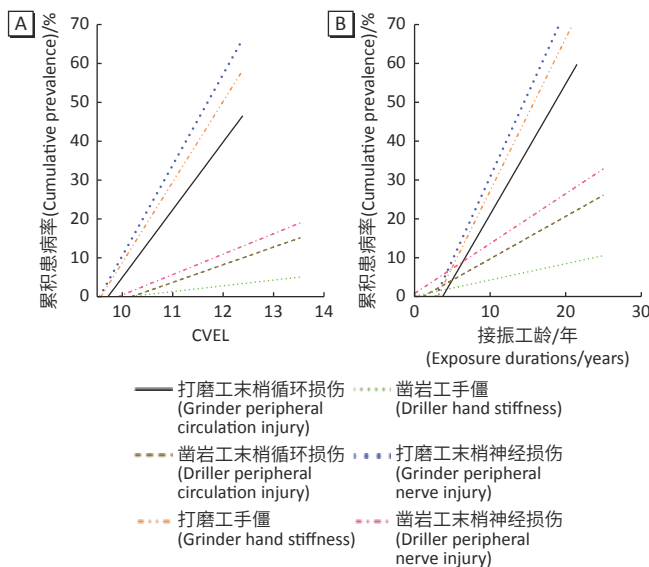
应变量 (Dependent variable)	自变量 (Independent variable)	凿岩工(Drilling workers)					打磨工(Golf club head grinding workers)				
		<i>b</i>	标准误(Standard error)	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>R</i> ²	<i>b</i>	标准误(Standard error)	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>R</i> ²
末梢循环损伤 (Peripheral circulation injury)	CVEL	4.534	0.165	27.452	<0.001	0.812	17.411	0.451	38.571	<0.001	0.871
末梢循环损伤 (Peripheral circulation injury)	工龄(Working age)	0.091	0.002	57.306	<0.001	0.947	0.280	0.003	94.308	<0.001	0.975
末梢神经损伤 (Peripheral nerve injury)	CVEL	5.251	0.189	27.821	<0.001	0.816	23.352	0.521	44.855	<0.001	0.901
末梢神经损伤 (Peripheral nerve injury)	工龄(Working age)	0.107	0.002	46.027	<0.001	0.920	0.357	0.003	137.492	<0.001	0.988
手僵(Hand stiffness)	CVEL	1.479	0.053	27.961	<0.001	0.817	20.722	0.459	45.190	<0.001	0.903
手僵(Hand stiffness)	工龄(Working age)	0.035	0.001	32.539	<0.001	0.852	0.327	0.003	115.505	<0.001	0.984

[注] 末梢循环损伤通过白指判定, 末梢神经损伤通过手麻与手刺痛判定。

[Note] Peripheral circulation injury is determined by finger blanching, and peripheral nerve injury is determined by hand numbness and tingling.

2.4 ISO 预测公式预测 10%患病率时工人的接振工龄

根据 ISO 5349-1-2001 预测公式, 计算出凿岩工与打磨工白指患病率为 10% 时, 接振工人接振工龄分别为 3.12 年、8.23 年, 其中打磨工接振工龄更长。而实际白指患病率为 10% 时接振工龄分别为 10.27 年、6.81 年, 凿岩工接振工龄更长, 见图 2。



[注] 末梢循环损伤通过白指判定, 末梢神经损伤通过手麻与手刺痛判定。

[Note] Peripheral circulation injury is determined by finger blanching, and peripheral nerve injury is determined by hand numbness and tingling.

图 2 CVEL (A) 及接振工龄 (B) 与手部症状累积患病率的线性关系

Figure 2 Linear CVEL (A) working age (B) cumulative prevalence of hand symptoms

3 讨论

现国内外 HAVD 有效的治疗与诊断尚缺乏, 正确地评估接振剂量并对超过接触限值的工人进行及时干预是预防 HAVD 的关键。本研究发现, 接振组白指、手麻、手刺痛、手僵及手指变形的检出率均高于对照组 ($P < 0.001$), 与既往研究一致^[2-3]。接振组中有 198 人 (47.7%) 手麻、159 人 (38.3%) 手僵及 62 人 (14.9%) 手刺痛, 说明打磨和凿岩作业人群末梢神经损伤的负担较大。两个作业人群的白指患病率也较高, 严茂胜等^[2]调查发现湖北省矿山作业接振人员白指检出率为 12.9%。Wei 等^[3]调查发现高尔夫球杆头加工作业人群白指检出率为 15.4%。而本研究发现, 打磨工与凿岩工白指报告率分别为 52.6%、19.3%, 说明本研究两不同频率振动作业人群中末梢循环损伤的负担更重, 可能与不同岗位凿岩机型号、打磨材料的不同有关^[12-13]。

美国政府工业卫生学家会议 (American Confer-

ence of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) 将白指发生的阈值设定为 $A_h(8)=5.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ 。本研究发现, 打磨工 $A(8)$ 中位数为 $3.58 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, 最大值为 $6.27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, 超标率为 50.6%; 凿岩工 $A(8)$ 中位数为 $8.94 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, 最大值为 $12.88 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, $A(8)$ 几乎均超过了现行阈值。但本研究中打磨工白指检出率更高 ($P < 0.001$)。这主要与现行的 ISO 5349-1-2001 中加速度计权方式 (W_h) 有关, 该计权假定振动引起的不良影响与 16~1250 Hz 间的振动频率成反比^[14]。而人指共振频率在 150~300 Hz 范围内, 并且振动频率在 315~1250 Hz 范围内时白指的发病风险可能会随频率升高而增加^[5]。因此 W_h 计权高估了低频振动且低估了高频振动对白指患病风险的影响^[6]。根据本研究作业频谱, 两种作业主要振动频率均大于 16 Hz, 凿岩作业振动加速度最大值位于 125~160 Hz 间, 打磨作业振动加速度最高值位于 500~800 Hz 之间, 打磨振动作业相对频率更高。沿用 W_h 计权评估其振动暴露水平可能不能反映工人实际的健康损伤, 导致现行的暴露阈值预警效果不足。另外作业姿势、握力及振动传递率也是影响两种不同频率振动作业人群白指患病风险不同的因素^[15], 凿岩作业主要使用手持式凿岩机, 与打磨作业相比振幅更大、振动的传递率更高, 振动作用于手-手臂系统; 而高尔夫球杆头打磨主要是手持工件作业, 作业振幅小, 振动主要作用于手指及手掌上, 对手指健康的影响更大。但打磨工的接振工龄和日接振时长远高于凿岩工, 这也是导致其患病率更高的原因之一。林瀚生^[11]发现与低暴露组 ($\text{CVEL} < 10.79$) 相比, 中暴露组 (CVEL 为 10.79~11.50) 和高暴露组 ($\text{CVEL} > 11.50$) 末梢神经与末梢循环损伤的风险更高。本研究进一步将两种不同频率振动作业人群的手部症状报告率与接振工龄、CVEL 拟合直线, 同样反映了 CVEL 与健康损害间存在剂量-反应关系。

本研究发现, 患病率相同时出现白指的 CVEL 比出现末梢神经损伤症状的更大, 说明手麻、手刺痛等末梢神经损伤症状的出现可能要早于末梢循环损伤^[16]。本研究运用 ISO 预测公式计算得出 10% 白指患病率下凿岩工的接振工龄更短 (3.12 年 vs 8.23 年), 但接振工龄与白指累积患病率所拟合的两条直线相交于 (61.9, 4.3) 处, 且打磨工所拟合的直线斜率更大, 则在白指检出率大于 4.3% 时, 如两接振人群白指患病率相同, 打磨工的接振工龄应更短, 说明 ISO 预测公式可能低估了高频作业对职业健康的危害。而在白指检出率小于 4.3% 时, 如两接振人群白指患病率相同, 打磨工的接振工龄应更长, 可能因为本研究的打磨工人均位于亚

热带,白指症状较难被诱发,并且研究发现常用的冷水复温率在亚热带诊断白指效果较差^[17-18],导致新发白指得不到及时的诊断。另外在白指累积患病率为10%时,凿岩工实际接振工龄高于预测值(10.27年 vs 3.12年),打磨工实际接振工龄低于预测值(6.81年 vs 8.23年),说明ISO计权预测模型低估了高频作业及高估了低频作业罹患白指的风险,计权模型应减少低频权重且给予高频更大的权重^[6]。另外ISO预测公式构建基于的振动频率为30~50 Hz、振幅为 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ^[11],可能不适用于高频振动作业的白指患病风险预测。

本研究通过大样本量调查,以两种典型不同频率振动作业工人为研究对象,通过拟合累积患病率与接振工龄及累积暴露水平的线性模型、分析实际患病情况,同样发现ISO的预测模型可能低估了高频振动作业人群罹患白指的风险^[19-20]。但本研究为横断面研究,预估发病时间及判断危害因素与疾病因果的能力较弱,为了得到更精确的暴露阈值,需进一步开展队列研究。

参考文献

- [1] 陈青松. 关注噪声和手传振动防控,保障劳动者健康[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(4): 334-336.
CHEN QS. Focus on prevention and control of noise and hand-arm vibration, and protect workers' health[J]. J Environ Occup Med, 2020, 37(4): 334-336.
- [2] 严茂胜, 朱安纪, 张丹英, 等. 手传振动对矿山凿岩工自觉症状影响[J]. 中国职业医学, 2020, 47(2): 168-171.
YAN MS, ZHU AJ, ZHANG DY, et al. Effects of hand-transmitted vibration on subjective symptoms in mine drilling workers[J]. China Occup Med, 2020, 47(2): 168-171.
- [3] WEI N, LIN H, CHEN T, et al. The hand-arm vibration syndrome associated with the grinding of handheld workpieces in a subtropical environment[J]. Int Arch Occup Environ Health, 2021, 94(4): 773-781.
- [4] 严茂胜, 晏华, 张丹英, 等. 手传振动对凿岩工指端温度觉阈值的影响[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(4): 363-367.
YAN MS, YAN H, ZHANG DY, et al. Effect of hand-transmitted vibration on fingertip thermotactile perception threshold among mine drilling workers[J]. J Environ Occup Med, 2020, 37(4): 363-367.
- [5] BRAMMER AJ, PITTS PM. Frequency weighting for vibration-induced white finger compatible with exposure-response models[J]. Ind Health, 2012, 50(5): 397-411.
- [6] BOVENZI M. Epidemiological evidence for new frequency weightings of hand-transmitted vibration[J]. Ind Health, 2012, 50(5): 377-387.
- [7] CHEN Q, LIN H, XIAO B, et al. Vibration characteristics of golf club heads in their handheld grinding process and potential approaches for reducing the vibration exposure[J]. Int J Ind Ergon, 2017, 62: 27-41.
- [8] CLEMM T, NORDBY KC, LUNDE LK, et al. Hand-arm vibration exposure in rock drill workers: a comparison between measurements with hand-attached and tool-attached accelerometers[J]. Ann Work Expo Health, 2021, 65(9): 1123-1132.
- [9] CHEN Q, LANG L, XIAO B, et al. HTR1B gene variants associate with the susceptibility of Raynauds' phenomenon in workers exposed hand-arm vibration[J]. Clin Hemorheol Microcirc, 2016, 63(4): 335-347.
- [10] International Organization for Standardization. Mechanical vibration measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration-Part 1: General requirements: ISO 5349-1-2001[S]. Geneva: ISO, 2001.
- [11] 林瀚生. 广东省某企业手持工件打磨工人振动暴露水平与损伤效应的关系[D]. 云南: 昆明医科大学, 2019.
LIN H S. Relationship between vibration exposure level and damage effect of hand-held workpieces grinding workers in a Guangdong enterprise[D]. Yunnan: Kunming Medical University, 2019.
- [12] REMPEL D, ANTONUCCI A, BARR A, et al. Pneumatic rock drill vs. electric rotary hammer drill: Productivity, vibration, dust, and noise when drilling into concrete[J]. Appl Ergon, 2019, 74: 31-36.
- [13] DONG RG, WELCOME DE, XU X, et al. A model for simulating vibration responses of grinding machine-workpiece-hand-arm systems[J]. J Sound Vib, 2018, 431: 276-294.
- [14] MIWA T. Evaluation methods for vibration effect. Part 3: measurements of threshold and equal sensation contours on hand for vertical and horizontal sinusoidal vibrations[J]. Ind Health, 1967, 5: 213-220.
- [15] XU XS, WELCOME DE, MCDOWELL TW, et al. An investigation of the effectiveness of vibration-reducing gloves for controlling vibration exposures during grinding handheld workpieces[J]. Appl Ergon, 2021, 95: 103454.
- [16] 刁林方, 杨爱初, 李元, 等. 手传振动作业工人职业健康检查结果分析[J]. 中国职业医学, 2018, 45(6): 782-785.
DIAO LF, YANG AC, LI Y, et al. Analysis of occupational health examination results of hand-transmitted vibration workers[J]. China Occup Med, 2018, 45(6): 782-785.
- [17] YE Y, GRIFFIN MJ. Assessment of two alternative standardised tests for the vascular component of the hand-arm vibration syndrome (HAVS)[J]. Occup Environ Med, 2016, 73(10): 701-708.
- [18] XIAO B, ZHANG D, YAN M, et al. Cold water immersion test (10°C, 10 min) for diagnosing vibration-induced white finger among a group of polishers in a subtropical environment[J]. Int Arch Occup Environ Health, 2019, 92(6): 865-872.
- [19] BOVENZI M, PINTO I, PICCIOLO F, et al. Frequency weightings of hand-transmitted vibration for predicting vibration-induced white finger[J]. Scand J Work Environ Health, 2011, 37(3): 244-252.
- [20] BOVENZI M, PINTO I, PICCIOLO F. Risk assessment of vascular disorders by a supplementary hand-arm vascular weighting of hand-transmitted vibration[J]. Int Arch Occup Environ Health, 2019, 92(1): 129-139.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 顾心怡, 陈姣)