

手臂振动对神经功能影响的研究进展

林立

(济宁医学院公共卫生学院, 山东 济宁 272067)

摘 要 本文结合国内外相关文献,对振动性神经损伤的影响因素、病理改变、振动所致腕管综合征及听神经损伤的研究进展进行了简要综述和分析,旨在为振动病的防治及国家标准 L《GB2002—Z7 职业性手臂振动病的诊断标准》的修订提供一定依据。

关键词 手臂振动综合征;神经损伤;进展

中图分类号:R135.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-9760(2013)10-309-04

振动性神经病变(vibration-induced neuropathy, VIN)的概念见于上世纪 80 年代中后期^[1],此后手臂振动对神经功能影响即成为手臂振动综合征(hand-arm vibration syndrome, HAVS)研究的热点之一。目前许多各国已把 VIN 列为 HAVS 的主要诊断依据之一。近年来随着研究的深入, VIN 的研究在若干方面均取得了一定进展。本文结合国内外的研究资料,对这一领域中的近年来的研究成果进行简要综述,为 HAVS 的研究及相关国家标准的修订提供依据。

1 手臂振动对周围神经感觉功能影响相关因素

手臂振动对周围神经感觉功能的影响既是其早期又是其最多发的表现。目前国际上通用的诊断标准仍是 1987 年制定和颁布的“斯德哥尔摩标准”,但该诊断标准尚未涉及到相关因素的影响。

1.1 温度的影响

温度是 HAVS 的重要诱因已成定论。以往的研究认为温度可能对振动性血管功能损伤影响较大,但近年来的研究表明,温度对振动性神经损伤也有影响。

Tamrin 等^[2]对一组热带地区造船厂接振作业工人进行了小指指端的振动觉阈值的测定。该组工人接触振动的强度是 $(4.19 \pm 1.94) \text{ m/s}^2$ 、频率分别为 31.5 Hz 和 125 Hz。结果发现,无论示指还是小指,其振动觉阈值均高出常人 9.20 ~ 10.61 dB,其中 31.5 Hz 较 125 Hz 升高更明显。作者指出,热带地区的 HAVS 发病率虽然明显寒冷地区明显降低,但振动仍可造成振动觉阈值的明显升高。Cherniack 等^[3]对不同升温方式对指端感觉神经的传导功能进行了研究。他发现全身受暖比单

纯手部受暖更能加快手指(中指和小指)感觉神经功能的传导速度,认为在进行手臂振动性神经损伤的诊断时应考虑到温度的因素。Govindaraju 等^[4]则以 SD 大鼠为实验对象,分别在低温($<15^\circ\text{C}$)和室温下进行振动对周围神经功能和血管功能影响的研究。结果表明,低温振动实验所致的神经功能损伤,包括氧自由基产生和轴突与髓鞘破坏等均较室温下为重,指出温度在 HAVS 的发生发展中起重要作用。我们的研究也发现,低温可以加重振动对周围神经传导功能的损伤,且低温敏感性与振动性周围神经功能损伤间存在显著的相关关系^[5]。

1.2 不同测定部位的影响

Hirata 等^[6]对不同组别的 HAVS 患者进行了正中神经、尺神经和桡神经的感觉神经传导速度、动作电位波幅的测定。结果发现这组病人中 52.9% 的同时出现了这 3 种神经传导功能的异常。在腕部的尺侧、腕部正中以及手指的神经传导功能传导的比较中,以手指部的传导速度最慢。有人对不同性别的健康青年人进行了左右手及不同手指冷热觉的敏感性研究,发现示指比小指的热敏感性更高,接受振动者比不接受振动者热敏感性降低,女性热敏感性高于男性,右手的冷敏感性较左手略高(OR 值分别为 1.06 和 1.02),作者认为在进行感觉功能测定时应注意左右手及不同部位的选择^[7]。Hirata 等^[8]则对患有 HAVS 的室外掘进工人进行了足底外侧神经传导速度的测定。发现其中较为严重的 HAVS 患者〔具有振动性白指(vibration-induced white finger, VWF)症状者〕,足底外侧神经传导速度较对照组明显减慢,指出其原因是温度低及周围血液循环障碍所致。

1.3 其他相关因素的影响

Burstrom^[9]的研究表明,短时间接触手臂振动后,作业工人的振动觉阈值的改变主要受振动频率的影响。频率计权加速度加大所导致的振动觉阈值升高,与振幅无关而与频率有关,而停止接振后振动觉恢复正常所需时间也与频率有关。因此,在判断振动对振动觉阈值的影响时,用现有仪器进行振动急性作用的评价时,应充分注意这一点。同一作者还研究了在振动过程中(频率为 125 Hz,频率计权加速度为 5m/s^2)间以一段时间的休息,观察手指触觉和温度觉的变化。结果发现,在整个接振过程中是如有休息时间(非接振时间),可对手指的触觉有较大的保护作用,但对热觉的影响不大^[10]。Ahn 等^[11]的研究则表明,30~40 岁间的人群,其 125Hz 的振动觉阈值,较其他年龄组更敏感,而女性对热感觉的敏感度要高于男性^[7]。有人还发现,手部的振动觉阈值与握力,与振动作业工人手部的灵巧性有关系,振动觉阈值升高、握力减小的作业工人手部的灵巧性也下降,表现为一些精细活动的障碍(如捡拾豌豆)^[12]。

但也有不同的结果。Sanden 等^[13]曾对一组接振工人进行正中神经、尺神经传导功能的测试。结果发现,该组工人的两种神经的感觉和运动传导功能与对照组(办公室人员)比较,均无显著性差异,且二者的腕管综合征患病情况的比较也无显著性差异。

2 手臂振动对周围神经病理学的影响

目前有关振动对周围神经病理改变的影响多来自实验研究。Yan 等^[14]以大鼠为实验对象,对其左后肢体和尾部进行接振试验,振动频率为 60Hz,加速度为 49m/s^2 ,每天接振 5h。发现在接振 2d 后(总接振时间为 10h),即出现坐骨神经的运动神经纤维轴浆逆向运输减少甚至中断,同时过氧化物酶染色呈阳性的物质沉积大鼠后肢的多条神经内。接振 10d 后,坐骨神经的运动神经纤维轴浆逆向运输中断的情况在停止振动之后 24~48h 内无法恢复。作者认为,轴浆逆向运输的减少乃至中断是早期振动性神经损伤的重要机制,在振动病的防治中应充分注意这一点。而 Loffredo 等^[15]在另一个大鼠尾部接振实验中发现,大鼠在接振后的 7d 和 14d,均见尾神经传导速度下降,病理发现神经的有髓突触受到破坏,且破坏的程度与神经传导速度的下降有相关关系。停止接振后 2 个月,接振

7d 的大鼠神经传导速度逐渐恢复正常,但接振 14d 的大鼠则未能完全恢复,提示这组大鼠仍然存在有髓鞘突触的损伤。Matloub^[16]等的大鼠接振实验则显示,在有髓轴突及无髓轴突中都观察到髓鞘的破裂以及轴索损伤(例如,髓鞘球以及戒环),提示振动能够对神经造成直接损伤,其损伤机制可能为振动导致髓鞘变薄,继而部分破裂,最后形成髓鞘球或髓鞘戒环,并引起轴浆的破坏。Raju 等^[17]进行大鼠尾部高强度的接振试验,接振时间仅 12min,即发现振动后小鼠尾部痛觉过敏、轴突髓鞘破坏,神经末梢断裂、肥大细胞脱颗粒等表现,接振 4d 后,大鼠尾部痛觉敏感性下降、皮肤中的神经末梢数量减少乃至消失,认为用目前的“频率计权振动加速度”评价振动对机体影响,可能低估了加速度对神经的损伤作用。

人群病理研究主要来源于尸解。其主要改变为脱髓鞘、轴突退化、神经束膜和神经内膜的纤维化以及雪旺细胞的增生等^[18]。而人群研究与实验研究均表明,脱髓鞘改变在早期的振动性损伤中是较为明显和重要的病理变化。Liang 等^[19]对振动病患者的前臂皮肤进行活检,观察其表皮的神神经末梢密度。结果发现,振动病患者的表皮神经密度明显低于对照组(4.1 ± 2.8 vs 9.0 ± 4.3 个纤维/ mm^2),且这种降低与神经功能电生理的测定结果具有不一致性。指出振动对小直径神经纤维也造成了损伤,且早于大型神经纤维损伤之前发生。Necking 等^[20]则观察到支配手部骨骼肌的运动神经元的损伤。有些学者^[21]则发现手臂振动病患者手指皮肤中 CGRP-免疫反应神经纤维显著减少。

3 手臂振动与腕管综合征

手臂振动所致的腕管综合征(carpal tunnel syndrome, CTS)的主要职业性因素之一。Mason 等^[22]复习了以往的文献后指出,手臂振动所致 CTS 的发病率在 HAVS 的病人中的发病率可达 20%~60%;Riitta S 等^[23]以问卷和临床检查结合的方式对一组金属行业的手臂振动从业者进行了调查,发现在 285 年被调查者中,CTS 和 VWF 的罹患率分别为 4.2%和 8.4%,并有 7 名工人同时存在 CTS 和 VWF;van Rijn 等^[24]的研究则表明,使用链锯作业的工人中发生 CTS 危险度的 OR 值为 11.4,并指出高强度的振动、手腕部长时间的扭曲或伸展、较大的握持力等是导致 CTS 发生的主要危险因素。Burke^[25]在一组 HAVS 工人赔付调

查中发现,约有 15% 的 HAVS 患者同时罹患 CTS,而且如何在 HAVS 中将 CTS 患者区分开来具有一定难度。国内的研究报告中,林立等^[26]对一组平均工龄在 8.99 年的砂轮磨光工进行了调查,通过临床症状、测定正中神经在腕部的传导速度等诊断方法,发现有 19 例 CTS 患者,占全部调查人数的 38%,其中在 VWF 患者中占到 60%,且工人的工龄越长,CTS 的罹患率就越大,指出振动作业的职业史、发作呈双侧性、男性居多、发病年龄偏低等是职业性 CTS 的特点及与临床特发性 CTS 的主要鉴别点。

Poole^[27]曾对一组 HAVS 患者进行生活质量的问卷调查时发现,那些同时患有 CTS 者具有更高的致残率,指出损伤较重、对手部功能影响较大,也是手臂振动所致的 CTS 与临床上的特发性 CTS 的不同点。有人对进行正中神经减压术的一组手臂振动所致 CTS 患者随访时也发现,其治愈率只有 59%,但原发性 CTS 患者的治愈率则有 79%^[28]。但另有研究表明^[29],由于手臂振动性 CTS 有较为明确的病因,可以有针对性地进行防治,预后可能较为乐观,如有些学者发现患者接振并做出积极的治疗,多数 CTS 患者可以恢复,甚至可以继续从事以前的工作。

4 手臂振动与听神经损伤

许多研究表明,工业生产中,高强度的振动作业往往伴有高强度的噪声。许多研究也比秒,振动可以加重噪声对听神经的损伤而导致听力的下降。House 等^[30]对一组建筑行业的接振工人进行了听力的测定,发现 18.3% 的受试者听力均受到严重损害,达到了伤残赔付的标准,而且 VWF 与听力损伤间具有显著的相关关系。Pettersson 等^[31]对 189 名从事振动作业的工人进行调查时发现,振动可加重噪声引起的听力下降,其引起听力下降的危险度较单纯接触噪声明显增高,指出在噪声、手臂振动、噪声性耳聋间具有相关关系。Pyykkö 等^[32]经过随访研究了一组链锯伐木工人的听力后发现,工人听力的损伤与 HAVS 的严重程度有一定关系,如 VWF 患者(出现 VWF 提示 HAVS 的病情已重)的听力要比无 VWF 的 HAVS 患者下降 10dB,指出振动所致的交感神经功能亢进导致的内耳缺血可能是其发生机制之一。国内高中静等^[33]在进行振动负荷前后振动作业工人脑干听觉诱发电位时发现,所有工人的听阈都有增高(即听

力损伤),VWF 组工人出现 I 波、Ⅲ波、V 波,以及无 VWF 组工人的 I 波、Ⅲ波潜伏时均有延长的趋势,表明振动对听力的影响既涉及周围神经(听神经)的损伤,也涉及听觉中枢的损伤。

另有一些研究则呈现出不同的结果。如 Pettersson 等^[34]对一组人员分别进行振动、噪声、振动联合噪声对暂时性听阈位移(temporary threshold shift, TTS)影响的研究。研究所使用的振动强度为 6.7m/s^2 ,噪声强度为 99dB,暴露时间为 20min。结果发现,单独接触噪声,与同时接触噪声和振动对 TTS 的影响无显著性差异,而且单独接触振动未发现其对 TTS 产生影响,指出短时间的振动不会加重噪声对听力的影响。

5 结语

目前,振动对神经功能影响的研究虽然取得了许多成果,但这些成果多数还是初步的,更多的相关问题尚待解决,如在振动性神经损伤的诊断中,如何规范和统一诊断标准,振动性神经损伤的发生机制,振动性神经损伤的发生中一些生化因子(如神经生长因子、神经递质等)的作用,等等。这些研究不仅具有重要的学术意义,而且也是振动性神经损伤防治和干预的重要依据,应当引起该领域学者的注意。

参考文献:

- [1] Brammer AJ, Pyykkö I. Vibration-induced neuropathy. Detection by nerve conduction measurements[J]. Scand J Work Environ Health, 1987, 13(4): 317-322.
- [2] Tamrin SB, Jamalohdin MN, Ng YG, et al. The characteristics of vibrotactile perception threshold among shipyard workers in a tropical environment[J]. Ind Health, 2012, 50(2): 156-163.
- [3] Cherniack M, Brammer AJ, Lundstrom R, et al. The effect of different warming methods on sensory nerve conduction velocity in shipyard workers occupationally exposed to hand-arm vibration[J]. Int Arch Occup Environ Health, 2008, 81(8): 1045-1058.
- [4] Govindaraju SR, Curry BD, Bain JL, et al. Effects of temperature on vibration-induced damage in nerves and arteries[J]. Muscle Nerve, 2006, 33(3): 415-423.
- [5] 陈磊,林立,张春之,等.低温与振动联合作用对周围循环功能与神经功能影响的实验研究[J].中华劳动卫生职业病杂志, 2009, 27(6): 321-324.
- [6] Hirata M, Sakakibara H. Sensory nerve conduction velocities of median, ulnar and radial nerves in patients with vibration syndrome[J]. Int Arch Occup Environ Health, 2007, 80(4):

- 273-280.
- [7] Nilsson T, Burstrom L, Hagberg M, et al. Thermal perception thresholds among young adults exposed to hand-transmitted vibration[J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2008, 81(5): 519-533.
 - [8] Hirata M, Sakakibara H, Toibana N. Medial plantar nerve conduction velocities among patients with vibration syndrome due to rock-drill work[J]. *Ind Health*, 2004, 42(1): 24-28.
 - [9] Burstrom L, Lundstrom R, Hagberg M, et al. Vibrotactile perception and effects of short-term exposure to hand-arm vibration[J]. *Ann Occup Hyg*, 2009, 53(5): 539-547.
 - [10] Burstrom L, Hagberg M, Lundstrom R, et al. Influence of vibration exposure on tactile and thermal perception thresholds[J]. *Occup Med (Lond)*, 2009, 59(3): 174-179.
 - [11] Ahn R, Yoo CI, Lee H, et al. Normative data for neuromuscular assessment of the hand-arm vibration syndrome and its retrospective applications in Korean male workers[J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2013, 86(7): 837-844.
 - [12] Sakakibara H, Hirata M, Toibana N. Impaired manual dexterity and neuromuscular dysfunction in patients with hand-arm vibration syndrome[J]. *Ind Health*, 2005, 43(3): 542-547.
 - [13] Sanden H, Jonsson A, Wallin BG, et al. Nerve conduction in relation to vibration exposure-a non-positive cohort study[J]. *J Occup Med Toxicol*, 2010, 19(5): 21.
 - [14] Yan JG, Matloub HS, Sanger JR, et al. Vibration-induced disruption of retrograde axoplasmic transport in peripheral nerve[J]. *Muscle Nerve*, 2005, 32(4): 521-526.
 - [15] Loffredo MA, Yan JG, Kao D, et al. Persistent reduction of conduction velocity and myelinated axon damage in vibrated rat tail nerves[J]. *Muscle Nerve*, 2009, 39(6): 770-775.
 - [16] Matloub HS, Yan JG, Kolachalam RB. Neuropathological changes in vibration injury: an experimental study[J]. *Microsurgery*, 2005, 25(1): 71-75.
 - [17] Raju SG, Rogness O, Persson M, et al. Vibration from a riveting hammer causes severe nerve damage in the rat tail model[J]. *Muscle Nerve*, 2011, 44(5): 795-804.
 - [18] 林立, 孔令斌, 高波. 振动性对神经功能影响的研究进展[J]. *职业卫生与应急救援*, 2006, 24(3): 131-133.
 - [19] Liang HW, Hsieh ST, Cheng TJ, et al. Reduced epidermal nerve density among hand-transmitted vibration-exposed workers[J]. *J Occup Environ Med*, 2006, 48(6): 549-55.
 - [20] Necking LE, Lundborg G, Lundstrom R, et al. Hand muscle pathology after long-term vibration exposure[J]. *J Hand Surg Br*, 2004, 29(5): 431-437.
 - [21] Goldsmith PC, Molina FA, Bunker CB, et al. Cutaneous nerve fibre depletion in vibration white finger[J]. *J R Soc Med*, 1994, 87: 377-381.
 - [22] Mason H, Poole K. Evidence review on the clinical testing and management of individuals exposed to hand transmitted vibration [M]. London: Faculty of Occupational Medicine, 2004: 252-260.
 - [23] Riitta S, Rauno P, Pauliina V, et al. Vibration-induced white finger syndrome and carpal tunnel syndrome among Finnish metal workers[J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2009, 82: 445-453.
 - [24] van Rijn RM, Huisstede BM, Koes BW, et al. Associations between work-related factors and the carpal tunnel syndrome-a systematic review[J]. *Scand J Work Environ Health*, 2009, 35(1): 19-36.
 - [25] Burke FD, Lawson IJ, McGeoch KL, et al. Carpal tunnel syndrome in association with hand-arm vibration syndrome: a review of claimants seeking compensation in the Mining Industry[J]. *J Hand Surg Br*, 2005, 30(2): 199-203.
 - [26] 林立, 张春芝, 聂继池, 等. 手臂振动作业之作业工人腕管综合征的调查[J]. *化工劳动保护*, 2000, 21: 250-252.
 - [27] Poole K, Mason H. Disability in the upper extremity and quality of life in hand-arm vibration syndrome[J]. *Disabil Rehabil*, 2005, 27(22): 1373-1380.
 - [28] Boström L, Göthe CH, Hansson S, et al. Surgical treatment of carpal tunnel syndrome in patients exposed to vibration from handheld tools[J]. *Scan J Plast Reconstr Surg Hand Surg*, 1994, 28: 147-149.
 - [29] Falkiner S. Diagnosis and treatment of hand-arm vibration syndrome and its relationship to carpal tunnel syndrome[J]. *Aust Fam Physician*, 2003, 32(7): 530-534.
 - [30] House RA, Sauve JT, Jiang D. Noise-induced hearing loss in construction workers being assessed for hand-arm vibration syndrome[J]. *Can J Public Health*, 2010, 101(3): 226-229.
 - [31] Pettersson H, Burström L, Hagberg M, et al. Noise and hand-arm vibration exposure in relation to the risk of hearing loss[J]. *Noise Health*, 2012, 14(59): 159-65.
 - [32] Pyykkö I, Färkkilä M, Inaba R, et al. Effect of hand-arm vibration on inner ear and cardiac functions in man[J]. *Nagoya J Med Sci*, 1994, 57 (Suppl): 113-119.
 - [33] 高中静, 高秀芬, 聂继池, 等. 手臂振动作业对脑干听觉诱发电位和视觉诱发电位及体感诱发电位的影响[J]. *中国全科医学*, 2007, 10(21): 1776-1779.
 - [34] Pettersson H, Burstrom L, Nilsson T. The effect on the temporary threshold shift in hearing acuity from combined exposure to authentic noise and hand-arm vibration[J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2011, 84(8): 951-957.

(收稿日期 2013-08-25)