

- 356-359.
- [16] 贾艳霞, 严茂胜, 郑滢君, 等. 手传振动对作业工人上肢影响的 meta 分析 [J]. 环境与职业医学, 2022, 39 (4): 426-433.
- [17] Vihlborg P, Makdoui K, Gavlovská H, *et al.* Arterial abnormalities in the hands of workers with vibration white fingers—A magnetic resonance angiography case series [J]. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology (London, England)*, 2021, 16 (1): 27.
- [18] 徐树礼. 振动对神经系统危害性的研究综述 [J]. 体育研究与教育, 2012, 27 (3): 97-101.
- [19] 李佳宜. 手传振动所致工作相关骨骼肌损伤及对职业心理行为影响的研究 [D]. 潍坊: 潍坊医学院, 2022.
- [20] 王林. 振动与振动病防治 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 22-23.
- [21] Brammer AJ, Pyykkö I. Vibration-induced neuropathy. Detection by nerve conduction measurements [J]. *Scand J Work Environ Health*, 1987, 13 (4): 317-322.
- [22] 马海燕, 张春之, 王林. 振动性神经病及其医学检查方法的研究进展 [J]. 环境与职业医学, 2007, 24 (2): 231-234.
- [23] Brammer AJ, Taylor W, Lundborg G. Sensorineural stages of the hand-arm vibration syndrome [J]. *Scand J Work Environ Health*, 1987, 13 (4): 279-283.
- [24] Gemne G, Pyyko L, Taylor W, *et al.* The stockholm workshop scare for the classification of cold-induced raynaud's phenomenon in the hand-arm vibration syndrome (revision of the Taylor-Pemera) [J]. *Scand J Work Environ Health*, 1987, 13 (4): 275-278.
- [25] 邓小峰, 李聪, 赖丽丽, 等. 应用络病学说论治职业性手臂振动病 [J]. 大家健康 (学术版), 2014, 8 (9): 8-9.
- [26] 刘庆凤, 杨爱初, 李雪仪, 等. 针灸止痛在职业性手臂振动病中的应用及其作用机制探讨 [J]. 职业卫生与应急救援, 2021, 39 (6): 690-692, 706.
- [27] 刘庆凤, 郭集军, 黄丽蓉, 等. 温针治疗对职业性手臂振动病患者神经传导的影响 [J]. 中国职业医学, 2021, 48 (4): 417-421.
- [28] 张彪, 张志虎, 冯统新, 等. 职业性手臂振动病的研究进展 [J]. 中国工业医学杂志, 2018, 31 (6): 434-438.
- (收稿日期: 2023-02-21)

温度觉阈值在手臂振动病诊断中的应用

严茂胜¹, 潘思玉², 黄杏³, 郑滢君³, 贾艳霞⁴

(1. 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; 2. 广东药科大学公共卫生学院; 3. 广州医科大学公共卫生学院; 4. 山西医科大学公共卫生学院)

摘要: 近年来, 温度觉阈值 (thermotactile perception threshold, TPT) 被推荐用于评估手传递振动 (hand-transmitted vibration, HTV) 所致的小感觉神经功能的变化, 我国早已将指端 TPT 测试列为 HTV 作业人员职业健康监护的选检项目之一。研究发现, 随着时间推移, 温度觉损伤与振动接触水平之间存在显著的剂量-反应关系。本文主要针对 TPT 在手臂振动病 (hand-arm vibration disease, HAVD) 所致神经损伤方面的检测特点和应用进行综述。

关键词: 手臂振动病 (HAVD); 温度觉阈值 (TPT); 测量; 应用

中图分类号: R135.4 文献标识码: A 文章编号: 1002-221X(2023)02-0124-04 DOI: 10.13631/j.cnki.zgggyx.2023.02.006

Application of thermotactile perception threshold in diagnosis of hand-arm vibration disease

YAN Maosheng*, PAN Siyu, HUANG Xing, ZHENG Hanjun, JIA Yanxia

(* Guangdong Provincial Hospital for Occupational Disease Prevention and Treatment/Guangdong Provincial Key Laboratory of Occupational Disease Prevention and Treatment, Guangzhou, Guangdong 510300, China)

Abstract: In recent years, thermotactile perception threshold (TPT) has been recommended by not a few studies for evaluating the changes in minor sensory function caused by hand-transmitted vibration (HTV), while fingertip TPT test has long been listed as one of the optional items for occupational health monitoring of HTV operators in China, and it has been found that there is a significant dose-response relationship between temperature sensory impairment and vibration exposure levels. This paper, will make a brief review on the measurement characteristics and the application of TPT in nerve injury caused by hand-arm vibration disease (HAVD).

Keywords: hand-arm vibration disease (HAVD); thermotactile perception threshold (TPT); measure; application

手臂振动病 (hand-arm vibration disease, HAVD) 是以手部末梢循环障碍、手臂神经功能障碍为主, 可

伴有手臂骨关节-肌肉损伤的全身性疾病, 常表现为手部敏感性降低、疼痛等。HAVD 一旦发生难以治愈且不可逆转, 即使调离振动作业岗位病情仍会持续进展, 对患者的工作和生活造成不良影响^[1]。研究表明, 振动所致的神经损伤在 HAVD 的诊断中具有重要意义, 且是部分热带地区患者的主要临床表现^[2]。

基金项目: 广东省自然科学基金 (2018A030313955); 广州市科技计划项目 (201804010099); 广东省医学科研基金 (A2021485、A2022127); 广东省职业病防治重点实验室 (2017B030314152)

作者简介: 严茂胜 (1979—), 男, 博士, 主任医师, 主要从事职业卫生研究工作。

我国 HAVD 主要是以体格检查、白指诱发试验和神经-肌电图客观检查结果作为诊断和疾病分级的标准^[3]。虽然神经-肌电图具有便捷、重复性高等优点而被广泛使用,但其只能测试粗大有髓神经纤维的(A_α及 A_β)功能,而不能用于检测传导快冷觉及快痛觉的A_δ纤维以及传导慢温觉及慢痛觉的C纤维^[4]。已有研究发现,定量温度觉检查(quantitative thermal threshold, QTT)可以通过检测受试者的温度觉阈值(thermotactile perception threshold, TPT)评价机体小感觉神经纤维的功能^[5],并已广泛应用于部分神经性疾病中神经纤维损伤的评估诊断,例如糖尿病周围神经损伤的早期诊断^[6-8]。研究表明,TPT与振动接触水平之间存在显著的剂量-反应关系^[9]。本文主要从TPT测量及其在HAVD诊断中的应用进行归纳总结。

1 TPT 简述

QTT是一种以神经电生理为基础的临床技术。通过检测TPT的变化水平反映小感觉神经纤维功能的情况,从而量化及评价患者神经纤维的受损程度^[4],QTT在神经性疾病的诊断中具有良好的应用前景^[5]。

目前,TPT的测定主要有极限法(limits)和水平法(levels),两种方法检测结果无明显差异^[10]。水平法对快速高热反应更加灵敏,适用于反映粗大快速感觉神经纤维的情况;极限法是从低热开始捕捉温度变化,适用于反映小感觉神经纤维情况,该法测试耗时少,广泛应用于临床^[11]。此外,也有研究采用Marstock方法进行检测,该方法是使用冷热交替刺激来获得温度阈值^[12]。

近年来在测量仪器方面,国外多采用HVLab温度觉测试仪,利用TPT检测振动性感觉神经损伤有较高的特异度和灵敏度^[13]。国内多采用温度觉分析仪(thermal sensory analyzer, TSA)定量测定感觉功能,通过激发可重复的热和振动刺激,记录机体反应,可测试寒冷、温暖以及热、冷诱导疼痛的感觉阈值^[9]。此外,也有研究采用定量感觉检查(quantitative sensory testing, QST)设备评估热痛觉阈值,结果显示正常个体和患者的热感知阈值具有良好或合理的可重复性^[14]。

2 TPT 对 HAVD 的诊断价值

2.1 有助于振动损伤的早期筛查 以往研究采用QTT对HAVD患者检测,发现HAVD患者的中性区(个体热觉阈值和冷觉阈值之间的差异)比对照组更宽,神经-肌电图结果正常的7例患者的TPT值异常,由此认为QTT更适用于早期振动接触人群的筛

查^[15]。此外,Zamysłowska^[16]采用振动、电流和热感知试验对接振工人进行检测,发现三项结合测试有助于对接振工人早期疾病损伤情况进行筛查。Ye等^[13]研究发现出现麻木或刺痛的手指,TPT情况不佳,但冷阈值对仅在远端指骨有麻木或刺痛感的手指具有更高的敏感性和特异性,表明冷阈值为早期感觉神经障碍的较好指征。

2.2 评估接振者小感觉神经纤维损伤状况 2000年Toibana等^[17]对50名HAVD患者和29名年龄相仿的健康对照者进行TPT研究,发现与对照组相比HAVD患者的TPT及振动、疼痛阈值出现明显变化,表明QTT可用于检查振动所引起的神经病变中小感觉神经纤维的损伤状态。Sakakibara等^[18]研究显示,热觉和冷觉阈值HAVD组均比对照组变化明显。TPT测试可用于评估受振者小感觉神经纤维功能障碍,中性区可能是反映接振人群轻度神经损伤的一敏感指标。Bovenzi等^[9]测试了27名男性对照者和29名海军发动机工人双手暴露在31.5 Hz和125 Hz手传振动(hand-transmitted vibration, HTV)下食指(正中神经)、小指(尺神经)指尖冷热感知阈值和振动触觉阈值,结果显示随着时间的推移,温度感觉损伤与振动水平存在显著的剂量-反应关系。

2.3 对振动所致神经性损伤的诊断作用 2008年,Nilsson团队在评估暴露于振动和手工密集型体力工作人群发生热感知障碍风险的研究中提出,传统的电诊断技术不足以反映小感觉神经纤维的状态,可将QTT作为首选诊断工具^[19]。2014年,指端TPT测定成为我国HTV作业人员职业健康监护的选检项目^[10]。在国外,TPT测试也开始被推荐作为HTV所致神经感觉功能障碍的检查方法^[20]。

3 TPT 在其他领域的应用

近年来有研究指出^[6],使用临界温度阈值测试(critical temperature thresholds, CTT)可反映接触性荨麻疹患者的疾病情况。李南等^[21]定量分析了带状疱疹患者感染皮肤和健康皮肤的TPT,以了解小感觉神经纤维的功能状态。国内外QTT较多地应用于糖尿病的早期诊断以及疾病的发展预测^[22-23]。张慧丽等^[24]也曾将QTT技术应用于神经根型颈椎病的测定。此外,TPT测定在对自闭症患者的神经纤维损伤方面也有应用^[25]。

4 TPT 影响因素及其局限性

4.1 性别 有研究显示,女性和男性的TPT相似,

差异无统计学意义^[26-27]。也有研究发现,在中指远端的指骨部位年轻女性比男性具有更低的热阈值和更高的冷阈值,但该情况在老年受试者中并未发现^[28]。Burström 等^[29]研究指出,右手和左手食指、小指 TPT 测试受性别的影响,女性的温度觉受体密度和空间总数比男性高,导致 TPT 的测试结果出现性别差异。

4.2 年龄 有研究认为年龄因素会对 TPT 结果的变化产生影响^[30],年龄会降低机体对温度的感知^[28]。Nilsson 等^[19]指出,>40 岁者比<40 岁者通常具有较低的热知觉。

4.3 接触面积和部位 Seah 等^[28]研究认为,接触面积对热触觉阈值有影响,在测量时应加以控制。黄富表等^[31]发现不同部位测得的 TPT 也有差异。提示指尖近端位置的冷觉感受比热觉感受的灵敏度更高,在评估指尖的热触觉阈值时,应考虑接触面积和接触部位的影响,建议接触器的面积应足够大。

4.4 其他因素 Maeda 等^[32]认为,测量姿势、推力和温度变化率会影响 TPT,因此测试时需注意对这些影响因素进行调整。皮肤厚度与振动触觉或热触觉之间无关联^[33],有研究建议测量 TPT 时受试者个体温度控制在 25~35℃ 范围内,室温控制在 22℃ 左右^[34]。Valencia 等^[35]使用定量感官测试比较西班牙裔和非西班牙裔之间疼痛敏感性的差异,结果显示不同种族之间的 TPT 有较小差异。

4.5 应用局限性 我国虽已将 QTT 列为 HTV 作业人员职业健康监护的选检项目,但缺少标准的检查方法。国际上也无 TPT 测试和评估的标准化方法,结果易受方法、测试持续时间和间隔、受试者主观因素的影响^[36-37]。Dunker 等^[38]认为 QTT 在个体间差异很大,影响小纤维神经病变诊断的敏感性;对如何合理控制混杂因素、准确测量也存在一定的困难。

5 展望

随着大型机械的广泛使用,HTV 作业越来越普遍。近年来,高尔夫球杆生产企业不断增加,广州、东莞等地 HAVD 患病情况有所加剧^[39-40]。采用 QTT 早期筛检出接振人群神经感觉功能障碍者,对延缓疾病进展和预后有重要作用^[41]。QTT 通过检测分析指端 TPT 能很好地反映小感觉神经纤维的功能,其在神经损伤早期诊断方面的临床意义已逐渐被验证^[42]。因此,应尽快建立适用 HTV 接振人群 TPT 测量的标准方法并探究不同人群 TPT 的正常值范围,深入研究 TPT 与 HTV 接触之间的剂量-反应关系。

参考文献

- [1] GBZ 7—2014, 职业性手臂振动病的诊断 [S].
- [2] Su AT, Fukumoto J, Darus A, *et al.* A comparison of hand-arm vibration syndrome between Malaysian and Japanese workers [J]. *J Occup Health*, 2013, 55 (6): 468-478.
- [3] 诸贤含, 赵国云, 余美娟, 等. 浙江省某企业手臂振动病例的诊断分析 [J]. *工业卫生与职业病*, 2021, 47 (4): 327-329.
- [4] 刘杰, 杨晓秋. 定量温度觉检查用于神经病理性疼痛诊断的临床研究 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2019, 25 (10): 770-777.
- [5] 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.
- [6] 陈玉迪, 刘擘, 宋晓婷, 等. 临界温度阈值检测在冷接触性荨麻疹中的临床应用 [J]. *中华皮肤科杂志*, 2020, 53 (5): 352-355.
- [7] 尹厚民, 冯蔚, 丁美萍. 定量温度觉阈值对 2 型糖尿病患者的小纤维性感觉神经病变诊断的研究 [J]. *中国应用生理学杂志*, 2015, 31 (2): 150-153.
- [8] Sheen YJ, Li TC, Lin JL, *et al.* Association between thermal threshold abnormalities and peripheral artery disease in patients with type 2 diabetes [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97 (51): e13803.
- [9] Bovenzi M, Ronchese F, Mauro M. A longitudinal study of peripheral sensory function in vibration-exposed workers [J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2011, 84 (3): 325-334.
- [10] GBZ 188—2014, 职业健康监护技术规范 [S].
- [11] Park S, Roh SH, Lee JY. Body regional heat pain thresholds using the method of limit and level: A comparative study [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2019, 119 (3): 771-780.
- [12] Fruhstorfer H, Lindblom U, Schmidt WC. Method for quantitative estimation of thermal thresholds in patients [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1976, 39 (11): 1071-1075.
- [13] Ye Y, Griffin MJ. Assessment of thermotactile and vibrotactile thresholds for detecting sensorineural components of the hand-arm vibration syndrome (HAVS) [J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2018, 91 (1): 35-45.
- [14] Schestatsky P, Stefani LC, Sanches PR, *et al.* Validation of a Brazilian quantitative sensory testing (QST) device for the diagnosis of small fiber neuropathies [J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2011, 69 (6): 943-948.
- [15] Ekenvall L, Nilsson BY, Gustavsson P. Temperature and vibration thresholds in vibration syndrome [J]. *Br J Ind Med*, 1986, 43 (12): 825-829.
- [16] Zamysłowska-Szmytke E. Efficacy of vibration, electric current and thermal perception tests in diagnosis of hand-arm vibration syndrome [J]. *Int J Occup Med Environ Health*, 1998, 11 (3): 247-254.
- [17] Toibana N, Sakakibara H, Hirata M, *et al.* Thermal perception threshold testing for the evaluation of small sensory nerve fiber injury in patients with hand-arm vibration syndrome [J]. *Ind Health*, 2000, 38 (4): 366-371.
- [18] Sakakibara H, Maeda S, Yonekawa Y. Thermotactile threshold testing for the evaluation of sensory nerve function in vibration-exposed patients and workers [J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2002, 75 (1-2): 90-96.
- [19] Nilsson T, Burström 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.
- [20] Poole CJM, Bovenzi M, Nilsson T, *et al.* International consensus criteria for diagnosing and staging hand-arm vibration syndrome [J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2019, 92 (1): 117-127.
- [21] 李南, 杨晓秋. 带状疱疹患者皮肤温度觉阈值变化及意义的临床研究 [J]. *中国医药导报*, 2020, 17 (4): 110-112, 116.
- [22] Guo SM, Wang WM, Huang H, *et al.* Quantitative sensory testing can effectively predict cardiovascular autonomic neuropathy in patients with type 2 diabetes mellitus [J]. *Acta Diabetol*, 2021, 58 (11): 1541-1549.
- [23] Kirthi V, Perumbalath A, Brown E, *et al.* Prevalence of peripheral neuropathy in pre-diabetes: A systematic review [J]. *BMJ Open Diabetes Res Care*, 2021, 9 (1): e002040.
- [24] 张慧丽, 高明明, 郭华珍, 等. 正常成人躯干皮肤温度觉阈值测定 [J]. *中国康复理论与实践*, 2015, 21 (7): 804-806.
- [25] Chien YL, Chao CC, Wu SW, *et al.* Small fiber pathology in autism and clinical implications [J]. *Neurology*, 2020, 95 (19): e2697-e2706.
- [26] Seah SA, Griffin MJ. Thermotactile thresholds at the fingertip: Effect of contact area and contact location [J]. *Somatosens Mot Res*, 2010, 27 (3): 82-92.
- [27] Lin YH, Hsieh SC, Chao CC, *et al.* Influence of aging on thermal and vibratory thresholds of quantitative sensory testing [J]. *J Peripher Nerv Syst*, 2005, 10 (3): 269-281.
- [28] Seah SA, Griffin MJ. Normal values for thermotactile and vibrotactile thresholds in males and females [J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2008, 81 (5): 535-543.
- [29] Burström L, Björ B, Nilsson T, *et al.* Thermal perception thresholds among workers in a cold climate [J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2017, 90 (7): 645-652.
- [30] Lundström R, Noor Baloch A, Hagberg M, *et al.* Long-term effect of hand-arm vibration on thermotactile perception thresholds [J]. *J Occup Med Toxicol*, 2018 (13): 19.
- [31] 黄富表, 奈良进弘, 陈彤红. 正常人上肢不同部位的温度觉阈值 20 例观察 [J]. *中国康复理论与实践*, 2007 (11): 1087-1088.
- [32] Maeda S, Sakakibara H. Thermotactile perception thresholds measurement conditions [J]. *Ind Health*, 2002, 40 (4): 353-361.
- [33] Lundström R, Dahlqvist H, Hagberg M, *et al.* Vibrotactile and thermal perception and its relation to finger skin thickness [J]. *Clin Neurophysiol Pract*, 2018 (3): 33-39.
- [34] Bakkens M, Faber CG, Peters MJH, *et al.* Temperature threshold testing: A systematic review [J]. *J Peripher Nerv Syst*, 2013, 18 (1): 7-18.
- [35] Valencia C, Smiley A, Giron M, *et al.* Differences in psychosocial factors and experimental pain sensitivity between Hispanics and non-Hispanic whites from the U. S. —Mexico border [J]. *Pain Med*, 2021, 22 (11): 2627-2637.
- [36] Gerhardsson L, Gillström L, Hagberg M. Test-retest reliability of neurophysiological tests of hand-arm vibration syndrome in vibration exposed workers and unexposed referents [J]. *J Occup Med Toxicol*, 2014, 9 (1): 38.
- [37] 承欧梅, 董为伟, 晏勇, 等. 健康老年人定量温度觉和振动觉阈值测定 [J]. *中华老年医学杂志*, 2005, 24 (7): 521-522.
- [38] Dunker Ø, Lie MU, Nilssen KB. Can within-subject comparisons of thermal thresholds be used for diagnostic purposes? [J]. *Clin Neurophysiol Pract*, 2021 (6): 63-71.
- [39] 叶伟国, 朱志良, 贺中汉, 等. 深圳市某高尔夫球杆生产企业 53 例职业性手臂振动病调查分析 [J]. *实用预防医学*, 2020, 27 (12): 1519-1521.
- [40] 郑创亮, 许丹, 曹献磅, 等. 某高尔夫球杆生产企业 93 例职业性手臂振动病调查报告 [J]. *职业卫生与应急救援*, 2015, 33 (4): 252-256.
- [41] Aarhus L, Veiersted KB, Nordby KC, *et al.* Neurosensory component of hand-arm vibration syndrome: A 22-year follow-up study [J]. *Occup Med (Lond)*, 2019, 69 (3): 215-218.
- [42] 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.

(收稿日期: 2022-06-24; 修回日期: 2022-12-05)

振动觉阈值在手臂振动病诊断中的应用

严茂胜¹, 贾艳霞², 吴桂冰³, 郑泠君³, 潘思玉⁴

(1. 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; 2. 山西医科大学公共卫生学院; 3. 广州医科大学公共卫生学院; 4. 广东药科大学公共卫生学院)

摘要: 手臂振动病 (hand-arm vibrotactile disease, HAVD) 是长期频繁接触手传振动而导致的上肢神经和血管损伤性疾病, 伴温度觉和振动觉减退, 随着振动暴露时间的延长常呈不可逆发展。指端振动觉阈值 (vibrotactile perception threshold, VPT) 可定量地判断作业人员的触觉灵敏度, 常作为 HAVD 的辅助诊断指标。本文就国内外指端 VPT 的研究进展、影响因素、局限性进行综述, 为今后指端 VPT 在 HAVD 中的应用提供参考依据。

关键词: 手臂振动病 (HAVD); 振动觉阈值 (VPT); 手传振动

中图分类号: R135.4 文献标识码: A 文章编号: 1002-221X(2023)02-0127-04 DOI: 10.13631/j.cnki.zggyyx.2023.02.007

基金项目: 广东省自然科学基金 (2018A030313955); 广州市科技计划项目 (201804010099); 广东省医学科研基金 (A2021485、A2022127); 广东省职业病防治重点实验室 (2017B030314152);

作者简介: 严茂胜 (1979—), 男, 博士, 主任医师, 主要从事职业卫生研究工作。