

# 全身振动训练改善糖尿病周围神经病变患者身体失衡的研究进展

褚嘉帅<sup>1,2</sup>, 张敏<sup>3\*</sup>, 修畅<sup>1,2</sup>, 白静<sup>3</sup>, 范蕾<sup>1</sup>

<sup>1</sup>黑龙江中医药大学研究生院, 黑龙江 哈尔滨

<sup>2</sup>黑龙江中医药大学附属第一医院, 内分泌二科, 黑龙江 哈尔滨

<sup>3</sup>黑龙江中医药大学附属第三医院, 纪委办公室, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2025年2月28日; 录用日期: 2025年3月21日; 发布日期: 2025年3月31日

## 摘要

糖尿病周围神经病变(DPN)作为一种常见的糖尿病并发症, 给患者带来诸多困扰。其中, 身体失衡问题尤为突出。本文深入探讨了DPN导致身体失衡的原因, 旨在揭示其背后的病理机制。同时, 对全身振动训练改善糖尿病周围神经病变患者身体平衡的有效性进行了系统阐述, 为临床实践提供帮助。

## 关键词

WBV, DPN, 身体平衡, 综述

# Research Progress on Whole Body Vibration in Improving Body Imbalance in Patients with Diabetic Peripheral Neuropathy

Jiashuai Chu<sup>1,2</sup>, Min Zhang<sup>3\*</sup>, Chang Xiu<sup>1,2</sup>, Jing Bai<sup>3</sup>, Lei Fan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

<sup>2</sup>Endocrinology Department II, The First Affiliated Hospital of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

<sup>3</sup>Discipline Inspection Commission Office, The Third Affiliated Hospital of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

\*通讯作者。

文章引用: 褚嘉帅, 张敏, 修畅, 白静, 范蕾. 全身振动训练改善糖尿病周围神经病变患者身体失衡的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(4): 148-154. DOI: 10.12677/acm.2025.154912

## Abstract

Diabetic peripheral neuropathy (DPN) is a common complication of diabetes, bringing many troubles to patients. Among them, the problem of body imbalance is particularly prominent. This paper deeply discusses the reasons for body imbalance caused by DPN, aiming to reveal the pathological mechanism behind it. At the same time, the effectiveness of whole body vibration training in improving the body balance of patients with diabetic peripheral neuropathy is systematically expounded to provide help for clinical practice.

## Keywords

WBV, DPN, Body Balance, Review

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

国际糖尿病联盟(IDF) 2021 年数据统计显示, 全球糖尿病患病率 10.5% (5.3 亿人), 预计到 2024 年上升到 12.2% (7.8 亿人), 我国是世界上糖尿病发病人数最多的国家, 约占 26.3% [1] [2], 日益增长的糖尿病患者依然成为全球公认的重大公共问题, 严重威胁人类的生命健康。糖尿病周围神经病变(Diabetic peripheral neuropathy, DPN)作为糖尿病常见的慢性并发症之一, 其主要对感觉和运动神经造成永久性损伤, 临床表现为对称性肢体末端感觉和运动异常影响了身体感知、协调和稳定的能力[3]。据流行病学研究, DPN 患病率占糖尿病患者总人数的 34.86% [4], DPN 发病机制较为复杂, 危险因素多, 病程长且延期不愈等。近年来, 全身振动训练(Whole body vibration training, WBVT)作为新型物理疗法被运用到治理糖尿病周围神经病变中[5] [6], 全身振动疗法在改善糖尿病周围神经病变患者步行能力和改善平衡以及增强下肢肌肉力量等方面效果显著[7] [8]。随着全身振动训练技术的不断发展, 有研究者将其运用到治疗糖尿病领域, 但仍处于初级阶段。而且国内少有关于全身振动训练治疗 DPN 患者的相关研究。现对全身振动训练改善 DPN 患者身体失衡的研究进展进行综述, 本文旨在阐述全身振动训练对糖尿病周围神经病变患者的有效性, 为临床工作提供借鉴。

## 2. 全身振动训练概念

WBVT 最早应用于航空医学领域缓解长期处于失重状态的宇航员身体的不良反应, 随着研究的不断深入, 全身振动疗法逐渐被应用到康复医学等领域[9]。全身振动训练(Whole Body Vibration Training, WBVT)是利用机械振动台产生特定频率和振幅的振动来刺激人体骨骼、神经、肌肉, 改善神经肌肉功能的一种训练方式, 振动治疗作用本体感受器的刺激向上传导使大脑部分区域兴奋改善神经肌肉的控制能力[10] [11]。此外, WBVT 还可以增强神经-肌肉反射效率, 激活更多肌肉, 改善肌肉的弹性势能[12] [13]。

## 3. DPN 引起身体失衡的发病病因

糖尿病周围神经病变(DPN)是由血管和非血管异常共同引起的[14], 多种因素参与糖尿病周围神经病

变(DPN)导致身体失衡,包括炎症反应、氧化应激,微血管病变,肌力下降和肌肉萎缩等,表明都是代谢方面(即慢性高血糖)的结果,但其身体失衡尚不完全明确。主要以感觉和运动神经损伤为主,末端肢体产生烧灼样疼痛/针刺样疼痛、袜套样分布的走蚁感等[15]。

### 3.1. 神经损伤引起感觉功能障碍

长期高血糖状态下,血糖浓度持续升高,过量的葡萄糖与蛋白质、脂质或核酸的游离氨基酸之间发生非酶促糖基化形成晚期糖基化终末产物(AGEs) [16], AGEs 和其受体晚期糖基化终末产物受体(RAGE)结合后激活 NF- $\kappa$ B、MAPK 等炎症信号通路,促使促炎细胞因子和趋化因子的表达如 TNF- $\alpha$ 、白介素 6 (IL-6)和 MCP-6 等,进而诱导炎症反应、导致神经细胞损伤和功能障碍[17]。最终累及无髓感觉神经、自主神经小纤维、薄髓感觉神经等,患者异常疼痛和感觉亢进,感觉在远端到近端逐渐丧失。神经传导速度减慢,神经冲动传导受到干扰,进而出现平衡紊乱。

Moreli 等人[18]研究, AGEs-RAGE 结合后激活 NADPH 氧化酶等酶类,产生大量活性氧(ROS)自由基直接攻击细胞内的蛋白质和核酸,导致蛋白质氧化、交联、断裂,以及 DNA 损伤。此外, Chen 等人[19]表明氧化应激可以激活细胞内凋亡信号通路,如线粒体途径、死亡受体途径等。Gonçalves 等人[20]研究氧化应激导致雪旺细胞功能障碍和凋亡。雪旺细胞功能障碍和凋亡会引起脱髓鞘[21],髓鞘是一种包裹在神经纤维轴外侧的一层物质,有保护神经轴突、绝缘的作用以及促进神经冲动传导,髓鞘受到损伤时神经冲动传导速度减慢信号传导受阻或信号传导过程中出现紊乱,影响大脑和小脑对身体平衡和步态协调的控制能力,患者出现步态不稳定,运动不协调等共济失调症状[22] [23]。

### 3.2. 下肢运动功能受损

胰岛素抵抗,导致糖、脂肪等代谢紊乱,葡萄糖不能有效地转化为能量供身体使用。身体因能量不足而感到乏力和肌力下降。研究显示,为了弥补身体能量的不足,身体会分解脂肪来产生能量。然而,这一过程会导致肌肉组织的减少,脂肪分解产生的能量并不如葡萄糖直接和高效,同时还会引起身体的代谢负担加重,进一步影响肌力。此外,研究表明[24] [25],高糖状态下血管内皮细胞损伤,导致下肢静脉血栓引起循环障碍,下肢肌肉组织缺血、缺氧进而导致肌力下降。芦等[26]人表明,高糖状态下发生氧化应激和线粒体功能障碍表现为蛋白质降解和脂质氧化改变,导致进行性肌肉总量减少。

### 3.3. 微血管病变导致视网膜损伤

长期高血糖通过激活多元醇通路导致视网膜周细胞内山梨醇蓄积,引发渗透性凋亡,同时晚期糖基化终末产物(AGEs)在血管基底膜异常沉积。氧化应激-炎症级联进一步加剧损伤[27]。Hu 等[28]人表明,微循环功能障碍与糖尿病周围神经病变之间存在密切联系,而且与健康人相比,DPN 患者的视网膜血管发生显著的变化。Piras 等[29]人表明,视觉在平衡中起着至关重要的作用,视网膜功能的受损会对身体平衡和姿势控制产生负面影响。

## 4. 全身振动训练的实施步骤

目前,关于全身振动训练的实施步骤并没有统一的规定,但是通过查阅文献,将实施步骤进行规范化总结。将全身振动训练过程分为开始前、中、后 3 个不同阶段,每个阶段都有自己的实施内容[30]-[34]。全身振动训练开始前的评估与准备包括 3 个方面的内容。1) 患者的身体状况评估:训练开始前需要了解患者年龄、糖尿病类型(I型或II型)、患病时长、血糖控制水平(HbA1c 水平、日常血糖波动)以及是否有其他并发症(心血管、肾脏等疾病)。评估患者 DPN 严重程度如下肢肌肉力量、动-静态平衡、感觉障碍以及身体机能。2) 患者教育:向患者解释 WBVT 改善 DPN 症状的可能机制如促进血液循环、增强肌

肉力量、改善平衡能力等。3) 设备选择与调试: 依据患者身体状况和训练需求选择合适平台, 考虑稳定性、安全性。每次使用前全面检查设备, 确保无障碍且振动参数正确。训练过程中的操作要点包括 4 个方面。1) 训练环境准备: 确保场地空间充足由医护人员监督下进行, 场地有良好的通风条件, 温度适宜, 防止患者出现不良反应。2) 正确的姿势和动作: 双脚应均匀分布在振动平台上, 与肩同宽, 这样保证身体的重心平稳, 双脚的脚尖朝前, 膝盖弯曲在  $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$  之间, 避免伸直, 收腹挺胸, 保持脊柱的自然生理曲度, 呼吸采用自然、平稳的呼吸方式配合振动的节奏, 注意不要憋气。3) 最佳干预频率与时长: 综合考虑, 初期训练频率推荐  $15\sim 20\text{ Hz}$  之间, 适应阶段可以提高到  $20\sim 25\text{ Hz}$ , 巩固阶段在  $25\sim 30\text{ Hz}$  以及  $1\sim 3\text{ mm}$  的振幅的全身振动训练, 时长: 每次振动  $30\text{ s}$  后, 休息  $30\text{ s}$ , 锻炼时间每次不超过  $30\text{ min}$ , 每周 3 次。4) 注意事项: 时刻注意患者的表现, 如出现不适(头晕、疼痛加剧等)应立即停止训练并告知医护人员。全身振动训练后阶段包括 3 个方面。1) 干预后进行冷却练习, 包括深呼吸、腹式呼吸以及斜躺姿势下静态背部伸肌练习。2) 总结记录患者在干预后的反应; 以及在运动训练过程中意外事件, 分析原因, 以及避免再次发生。3) 评价、讨论干预活动的应用效果。评价效果主要涉及血糖水平、下肢肌肉力量以及足底健康等。

研究表明, 低频振动通过激活本体感觉传入通路, 显著改善振动感知阈值(VPT)和静态平衡, 适用于重度神经损伤患者; 而中高频振动可增强下肢肌力并促进葡萄糖代谢, 但需警惕高频振动对关节的潜在负荷风险。振幅调控呈现剂量依赖性: 低振幅侧重神经修复, 高振幅则强化肌肉激活。未来需通过个体化参数匹配及长周期研究, 进一步验证振动疗法的精准化应用价值。

## 5. WBVT 应用于 DPN 病人的效果

### 5.1. 改善体内血糖水平

血糖降低, AGEs 减少, 减少氧化应激和炎症反应的发生[35], HbA1c 被视为长期血糖控制水平的主要指标[36], Lee 等[37]人研究, 将 55 名 DPN 患者随机分配两组, 每周进行两次为期  $60\text{ min}$  的平衡运动项目, WBV 组每周三次进行全身振动训练, 持续 6 周, 结果显示, 与干预前相比, 全身振动训练 HbA1c 水平显著改善, 但对照组干预前后 HbA1c 水平没有显著变化。Robinson 等[38]人 meta 分析表明, 全身振动训练干预 12 周后患者体内 HbA1c 和  $12\text{ h}$  空腹血糖水平, 相较于单纯的运动训练相比明显降低。而且心血管危险因素得到改善。可见全身振动通过机械振动刺激肌肉, 使肌肉在短时间内快速收缩和放松。这种肌肉活动可以促进葡萄糖的代谢和利用, 从而降低血糖水平。

### 5.2. 强化下肢肌肉力量

全身振动训练能够促进不同肌肉群之间的同步激活, 使得肌肉在动作中能够更协调地工作, 使训练平衡能力和姿态稳定性的重要手段[39]。伊朗的一项随机对照实验以 40 例 II 型糖尿病伴周围神经病变患者为研究对象, 干预组每周 2 次全身振动训练, 持续 6 周后, 股四头肌和胫骨前肌肌肉力量明显增强, 身体动静态平衡明显提高[40]。Kordi 等[41]人研究结果表明, 在全身振动干预后股四头肌和胫骨前肌肌肉力量明显增强, 但总体肌肉力量没有显著改变, 原因是研究可能存在局限性, 样本量小和缺乏随访的原因。未来还需要增加样本量和随访时间来证明其效果。Lee 等[42]人将 59 名糖尿病周围神经病变的患者随机分成两组, 实验组进行 6 周, 每周 3 次每次  $11\text{ min}$  的全身振动训练, 结果发现观察组患者相较于对照组患者振动感知阈值(VPT)明显改善。其原因可能是下肢肌肉激活, 神经速度传导改善, 下肢本体感受器能更好的接受神经刺激。但由于患者干预时长和全身振动训练联合常规治疗不同, 最终结果的有效性也有所不同, 研究者可以根据实际情况来做调整。

### 5.3. 改善足底健康状态

全身振动可以促进局部血液循环, 增加肌肉和神经组织的血液供应, 从而有助于改善神经的营养状况和修复过程。Reyes 等[43]人研究表明, 对II型糖尿周围神经病变患者进行全身振动训练, 干预前后采用经皮氧监测仪来对足部部分经皮氧分(TcPo<sub>2</sub>)压进行皮肤微循环、组织灌注和氧气输送情况的评估, 并且能检测到存在微血管和大血管疾病时的血流改变, 结果显示, 与干预之前相比, 干预后患者足部部分经皮氧压水平明显提升。另一项 Muñoz [44]等人研究表明, 糖尿病周围神经病变患者在经过全身振动训练干预后, 足底健康状况有所改善, 而且经过椅子站立测试和定时起立行走测后患者干预后身体平衡显著改善, 其原因可能是下肢肌肉增强, 血液循环得以改善。Hong 等[32]人采用个案研究对一例II型糖尿病周围小纤维神经病变患者进行针对性全身振动训练, 为期4周并且每周5次每次持续3 min 频率为20 Hz 的振动训练, 干预前后采用神经病理性疼痛量表(NPS)、视觉疼痛量表(VAS)和8米 GAITRITE 垫对受试者的疼痛和步态进行评估, 结果显示, 与干预之前相比, 干预4周之后病人双脚疼痛缓解, 步态明显改善。综上所述, 全身振动训练改变足底健康状态, 缓解下肢神经性疼痛, 研究样本量相对较少, 有些研究缺乏严谨的设计需进一步合理设计拓展样本量验证其效果, 并且充分了解患者耐受情况以及生活情况, 并为其定制化个性化方案, 提高恢复效率。

## 6. 对未来研究的展望

WBV 在改善肌肉力量和神经冲动传导、降低糖化血红蛋白水平等方面效果明显, 但其机制尚未完全明确。未来需要进一步实验研究 WBV 具体作用机制。检索国内外数据库关于全身振动训练改善糖尿病神经病变患者身体失衡的相关研究较少, 可能会对后续结果有效性产生影响, 需要进一步的跟踪研究来确认其有效性, 可以进一步探讨 WBV 与其他干预方法的联合应用效果, 以优化治疗方案。

WBV 虽然被认为是一种相对安全的干预方法, 但针对老年 DPN 患者的安全性仍需进一步评估。特别是考虑到这些患者可能存在的其他并发症, 如视觉缺陷、肾功能不全等, 需要确保 WBV 的应用不会加重这些症状或引发新的安全问题。

## 参考文献

- [1] Sun, H., Saeedi, P., Karuranga, S., Pinkepank, M., Ogurtsova, K., Duncan, B.B., *et al.* (2022) IDF Diabetes Atlas: Global, Regional and Country-Level Diabetes Prevalence Estimates for 2021 and Projections for 2045. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **183**, Article 109119. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.109119>
- [2] 王潞, 高源, 陈泽欣, 等. Dellon 三联神经减压术在糖尿病周围神经病变治疗中的应用进展[J]. 东南大学学报(医学版), 2024, 43(4): 635-638.
- [3] Santos, D., Gonzalez-Perez, F., Navarro, X. and del Valle, J. (2016) Dose-Dependent Differential Effect of Neurotrophic Factors on *in Vitro* and *in Vivo* Regeneration of Motor and Sensory Neurons. *Neural Plasticity*, **2016**, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2016/4969523>
- [4] Li, Y., Teng, D., Shi, X., Qin, G., Qin, Y., Quan, H., *et al.* (2020) Prevalence of Diabetes Recorded in Mainland China Using 2018 Diagnostic Criteria from the American Diabetes Association: National Cross-Sectional Study. *British Medical Journal*, **369**, m997. <https://doi.org/10.1136/bmj.m997>
- [5] Kessler, N.J., Lockard, M.M. and Fischer, J. (2020) Whole Body Vibration Improves Symptoms of Diabetic Peripheral Neuropathy. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, **24**, 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.01.004>
- [6] Yin, H., Berdel, H.O., Moore, D., Davis, F., Liu, J., Mozaffari, M., *et al.* (2015) Whole Body Vibration Therapy: A Novel Potential Treatment for Type 2 Diabetes Mellitus. *Springer Plus*, **4**, Article No. 578. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1373-0>
- [7] Rodrigues, F.T.M., Ferreira, A.P.D.L., Alves, K.F.P., Marques, T.V., de Lima, D.F., de Lucena, L.C., *et al.* (2022) Whole-Body Vibration Associated with Strength Training on the Lower-Limb Blood Flow and Mobility in Older Adults with Type 2 Diabetes: A Study Protocol for a Randomized Controlled Trial. *Diagnostics*, **12**, Article 1550. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12071550>

- [8] Zhang, L., Weng, C., Liu, M., Wang, Q., Liu, L. and He, Y. (2013) Effect of Whole-Body Vibration Exercise on Mobility, Balance Ability and General Health Status in Frail Elderly Patients: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Clinical Rehabilitation*, **28**, 59-68. <https://doi.org/10.1177/0269215513492162>
- [9] 李玉章. 不同振动模式中小腿肌肉的诱发激活特征比较研究[J]. 天津体育学院学报, 2010, 25(4): 336-339.
- [10] Wadsworth, D. and Lark, S. (2020) Effects of Whole-Body Vibration Training on the Physical Function of the Frail Elderly: An Open, Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **101**, 1111-1119. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.02.009>
- [11] Cardinale, M. and Bosco, C. (2003) The Use of Vibration as an Exercise Intervention. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, **31**, 3-7. <https://doi.org/10.1097/00003677-200301000-00002>
- [12] Cakar, H.I., Cidem, M., Sebik, O., Yilmaz, G., Karamahmetoglu, S.S., Kara, S., et al. (2015) Whole-Body Vibration-Induced Muscular Reflex: Is It a Stretch-Induced Reflex? *Journal of Physical Therapy Science*, **27**, 2279-2284. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2279>
- [13] Hazell, T.J., Jakobi, J.M. and Kenno, K.A. (2007) The Effects of Whole-Body Vibration on Upper and Lower-Body EMG during Static and Dynamic Contractions. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, **32**, 1156-1163. <https://doi.org/10.1139/h07-116>
- [14] Cade, W.T. (2008) Diabetes-Related Microvascular and Macrovascular Diseases in the Physical Therapy Setting. *Physical Therapy*, **88**, 1322-1335. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080008>
- [15] Morales-Vidal, S., Morgan, C., McCoyd, M. and Hornik, A. (2012) Diabetic Peripheral Neuropathy and the Management of Diabetic Peripheral Neuropathic Pain. *Postgraduate Medicine*, **124**, 145-153. <https://doi.org/10.3810/pgm.2012.07.2576>
- [16] Zhang, Z., Ji, C., Wang, Y., Liu, S., Wang, M., Xu, X., et al. (2022) Maresin1 Suppresses High-Glucose-Induced Ferroptosis in Osteoblasts via NRF2 Activation in Type 2 Diabetic Osteoporosis. *Cells*, **11**, Article 2560. <https://doi.org/10.3390/cells11162560>
- [17] Fernandes, A.C.F., Vieira, N.C., Santana, Á.L.D., Gandra, R.L.D.P., Rubia, C., Castro-Gamboa, I., et al. (2020) Peanut Skin Polyphenols Inhibit Toxicity Induced by Advanced Glycation End-Products in RAW264.7 Macrophages. *Food and Chemical Toxicology*, **145**, Article 111619. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111619>
- [18] Moreli, J.B., Santos, J.H., Rocha, C.R., Damasceno, D.C., Morceli, G., Rudge, M.V., et al. (2014) DNA Damage and Its Cellular Response in Mother and Fetus Exposed to Hyperglycemic Environment. *BioMed Research International*, **2014**, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2014/676758>
- [19] Chen, Y., Chen, Z., Li, H., Yan, X. and Feng, B. (2018) Age/Rage-Induced EMP Release via the Nox-Derived ROS Pathway. *Journal of Diabetes Research*, **2018**, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2018/6823058>
- [20] Gonçalves, N.P., Vægter, C.B., Andersen, H., Østergaard, L., Calcutt, N.A. and Jensen, T.S. (2017) Schwann Cell Interactions with Axons and Microvessels in Diabetic Neuropathy. *Nature Reviews Neurology*, **13**, 135-147. <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2016.201>
- [21] Bartus, K., Galino, J., James, N.D., Hernandez-Miranda, L.R., Dawes, J.M., Fricker, F.R., et al. (2016) Neuregulin-1 Controls an Endogenous Repair Mechanism after Spinal Cord Injury. *Brain*, **139**, 1394-1416. <https://doi.org/10.1093/brain/aww039>
- [22] 尹俊雄, 林洁, 孙翀, 等. 以感觉性共济失调为主要表现的慢性炎性脱髓鞘性多发性神经根神经病(附 1 例报告及文献复习)[J]. 中国临床神经科学, 2023, 31(5): 565-571.
- [23] 冯婧, 魏娟芳, 崔艳如, 等. 以髓鞘为靶点的脊髓损伤治疗研究进展[J]. 中国药理学通报, 2023, 39(4): 617-621.
- [24] Cao, J., Jiang, X. and Peng, X. (2018) Forkhead Box M1 Inhibits Endothelial Cell Apoptosis and Cell-Cycle Arrest through ROS Generation. *International Journal of Clinical and Experimental Pathology*, **11**, 4899-4907.
- [25] 朱瑜琪, 张帅, 张韩瑜嘉, 等. 老年骨折病人并发下肢深静脉血栓的血管内皮生长因子和血栓弹力图变化[J]. 安徽医药, 2021, 25(4): 801-804.
- [26] 芦嘉琪, 李晓玉, 洪侃. 老年 2 型糖尿病与肌少症共病的研究进展[J]. 微循环学杂志, 2024, 34(3): 92-97.
- [27] Hu, G., Wu, H., Kuang, L., Zee, B.C., Huang, Y., Huang, Z., et al. (2021) Clinical Study of Diabetic Peripheral Neuropathy Screening by Retinal Vascular Geometric Parameters. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 6784. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85831-0>
- [28] Piras, A., Perazzolo, M., Scalinci, S.Z. and Raffi, M. (2022) The Effect of Diabetic Retinopathy on Standing Posture during Optic Flow Stimulation. *Gait & Posture*, **95**, 242-248. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.10.020>
- [29] Streckmann, F., Lehmann, H.C., Balke, M., Schenk, A., Oberste, M., Heller, A., et al. (2018) Sensorimotor Training and Whole-Body Vibration Training Have the Potential to Reduce Motor and Sensory Symptoms of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy—A Randomized Controlled Pilot Trial. *Supportive Care in Cancer*, **27**, 2471-2478.

- <https://doi.org/10.1007/s00520-018-4531-4>
- [30] Sohrabzadeh, E., Kalantari, K.K., Naimi, S.S., Daryabor, A. and Akbari, N.J. (2021) The Immediate Effect of a Single Whole-Body Vibration Session on Balance, Skin Sensation, and Pain in Patients with Type 2 Diabetic Neuropathy. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, **21**, 43-49. <https://doi.org/10.1007/s40200-021-00933-w>
- [31] Hong, J., Barnes, M. and Kessler, N. (2013) Case Study: Use of Vibration Therapy in the Treatment of Diabetic Peripheral Small Fiber Neuropathy. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, **17**, 235-238. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2012.08.007>
- [32] Baum, K., Votteler, T. and Schiab, J. (2007) Efficiency of Vibration Exercise for Glycemic Control in Type 2 Diabetes Patients. *International Journal of Medical Sciences*, **4**, 159-163. <https://doi.org/10.7150/ijms.4.159>
- [33] Sañudo, B., Alfonso-Rosa, R., del Pozo-Cruz, B., del Pozo-Cruz, J., Galiano, D. and Figueroa, A. (2013) Whole Body Vibration Training Improves Leg Blood Flow and Adiposity in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *European Journal of Applied Physiology*, **113**, 2245-2252. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2654-3>
- [34] 胡晓凤, 赵钺沁, 杨丽芬, 等. 1,25-二羟基维生素 D<sub>3</sub> 对糖尿病小鼠周围神经功能影响的研究[J]. 中国糖尿病杂志, 2022, 30(8): 615-620.
- [35] 申敏, 李真, 刘庆华. 血清游离脂肪酸和糖化血红蛋白在 2 型糖尿病患者糖脂代谢中的意义[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(20): 4369-4372.
- [36] Lee, K., Lee, S. and Song, C. (2013) Whole-Body Vibration Training Improves Balance, Muscle Strength and Glycosylated Hemoglobin in Elderly Patients with Diabetic Neuropathy. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, **231**, 305-314. <https://doi.org/10.1620/tjem.231.305>
- [37] Robinson, C.C., Barreto, R.P.G., Sbruzzi, G. and Plentz, R.D.M. (2016) The Effects of Whole Body Vibration in Patients with Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, **20**, 4-14. <https://doi.org/10.1590/bjpt-rbf.2014.0133>
- [38] Bosco, C., Iacovelli, M., Tsarpela, O., Cardinale, M., Bonifazi, M., Tihanyi, J., et al. (2000) Hormonal Responses to Whole-Body Vibration in Men. *European Journal of Applied Physiology*, **81**, 449-454. <https://doi.org/10.1007/s004210050067>
- [39] Kordi Yoosefinejad, A., Shadmehr, A., Olyaei, G., Talebian, S., Bagheri, H. and Mohajeri-Tehrani, M.R. (2015) Short-Term Effects of the Whole-Body Vibration on the Balance and Muscle Strength of Type 2 Diabetic Patients with Peripheral Neuropathy: A Quasi-Randomized-Controlled Trial Study. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, **14**, Article No. 45. <https://doi.org/10.1186/s40200-015-0173-y>
- [40] Kordi Yoosefinejad, A., Shadmehr, A., Olyaei, G., Talebian, S. and Bagheri, H. (2014) The Effectiveness of a Single Session of Whole-Body Vibration in Improving the Balance and the Strength in Type 2 Diabetic Patients with Mild to Moderate Degree of Peripheral Neuropathy: A Pilot Study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, **18**, 82-86. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2013.10.007>
- [41] Lee, K. (2017) Effects of Whole-Body Vibration Therapy on Perception Thresholds of Type 2 Diabetic Patients with Peripheral Neuropathy: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Physical Therapy Science*, **29**, 1684-1688. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.1684>
- [42] Rodríguez-Reyes, G., García-Ulloa, A.C., Hernández-Jiménez, S., Alessi-Montero, A., Núñez Carrera, L., Rojas-Torres, F., et al. (2022) Effect of Whole-Body Vibration Training on Transcutaneous Oxygen Levels of the Foot in Patients with Type 2 Diabetes: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Biomechanics*, **139**, Article 110871. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110871>
- [43] Domínguez-Muñoz, F.J., Villafaina, S., García-Gordillo, M.A., Hernández-Mocholi, M.Á., Collado-Mateo, D., Adsuar, J.C., et al. (2020) Effects of 8-Week Whole-Body Vibration Training on the HbA1c, Quality of Life, Physical Fitness, Body Composition and Foot Health Status in People with T2DM: A Double-Blinded Randomized Controlled Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **17**, Article 1317. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041317>
- [44] Domínguez-Muñoz, F.J., Villafaina, S., García-Gordillo, M.A., et al. (2020) Effects of 8-Week Whole-Body Vibration Training on the HbA1c, Quality of Life, Physical Fitness, Body Composition and Foot Health Status in People with T2DM: A Double-Blinded Randomized Controlled Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **17**, No. 4.