

全身振动训练在儿童康复的应用

张赢丹¹, 马丙祥², 孔亚敏², 蔡婷婷¹, 谷双龙¹, 张晓蒙¹

【关键词】 全身振动训练; 儿童康复

【中图分类号】 R49; R742 【DOI】 10.3870/zgkf.2022.06.011

全身振动训练(Whole-body vibration training, WBV)是一种神经肌肉训练方法,主要包含振动频率、振动强度和振动方式三个参数调控。训练过程中训练者站立、坐或半蹲在振动平台上,平台通过对人体施加振动波(通常使用5~60 Hz频率),刺激肌肉纺锤体和 α 运动神经元等感受器,使神经系统、肌肉-骨骼系统以及心血管系统产生适应性反应进而提高部分身体功能^[1]。早在1965年,Hagbarth等^[2]就发现机械振动刺激会引起肌腹和肌腱的收缩性反应,并推广应用成为运动员训练的常用方法。随着研究的深入,学者们发现WBV还与骨密度、肌肉力量、平衡能力、步行速度、代谢和激素水平等生理参数有关^[3],当躯体进行WBV时,可激活骨骼肌肉、调动神经反射通路,增加机体合成激素分泌^[4-5],近年来WBV已单独或与其他干预措施联合应用于儿童,特别是运动障碍儿童康复,然而支持这种方法的证据有限。本文针对国内外研究现状,主要介绍了WBV在儿童康复中的作用及作用机制,以期为WBV相关研究与临床应用提供参考。

1 WBV在儿童康复中的作用及作用机制

1.1 WBV对骨骼的影响 Gusso等^[6]对40名脑瘫患者(GMFCSS II-III)进行了为期20周的WBV,发现受试者全身骨矿含量与骨密度显著增加,一项对唐氏综合征儿童进行的随机对照试验也得到了相似结论^[7]。Tubic^[8]发现肥胖儿童接受WBV后骨硬化蛋白水平降低,这表明WBV与骨反射有关,对骨细胞有

直接影响。肖庆群等^[9]研究证明WBV可改善骨质疏松大鼠股骨生物力学性能,提高其Wnt3a蛋白表达,也为研究结果提供了实验室参考数据。Langensiepe等^[10]认为WBV可抑制特发性脊柱侧弯女孩脊柱侧弯的进展,且在月经初潮开始前效果更显著。Petryk等^[11]观察到WBV对皮质和骨小梁参数的不确定影响。不同的,Högler等^[12]对24名I、IV型活动受限的成骨不全症儿童进行了5个月的研究,发现训练后WBV组和对照组骨密度没有差异。康复儿童主动活动受到不同程度限制,通常存在骨骼健康状况不佳的情况,如中重度脑瘫儿童低骨密度发病率为77%,9岁以上高达86%,低骨密度增加骨折风险,据统计在非卧床状态下脑瘫儿童的脆性骨折患病率接近50%^[13]。WBV能够增加骨量的潜在机制可能与两方面有关:①机械力恒定理论,即骨骼的强壮源于适应肌肉施加的机械力^[14],骨骼获得压缩载荷后受到应力性冲击,从而刺激骨密度增加^[15];②WBV的机械刺激对骨细胞产生了影响,如提高Wnt信号通路蛋白表达^[8]。骨组织机械力减弱甚至骨废用会导致骨密度、骨形态、骨量等的改变,而WBV对骨骼的作用主要体现就在于增加骨密度,减少骨量流失,且WBV便于调整骨骼受力大小,在增加骨骼承受载荷、提供成骨刺激的同时,将运动训练带来的骨折风险最小化^[16],众多研究证明使用WBV提供低幅度、高频率的负荷可有效治疗骨质疏松症^[17-19]。基于这些,WBV成为改善康复儿童骨骼状况的选择。

1.2 WBV对骨骼肌的影响 Gusso等^[6]观察到经过20周的WBV后,脑瘫儿童在躯干和下肢均显示出瘦体重增加,同时大腿部肌肉面积增加了20%。Emara等^[20]发现唐氏综合征儿童在干预12周后,物理治疗结合WBV组较物理治疗组的下肢肌力改善更显著,但体重指数无改变的结果提示WBV对身体成分未产生明显影响。Petryk等^[21]报道6个月的干预阶段中,肌营养不良患儿下肢肌力保持不变或有所改善,停

基金项目:国家自然科学基金项目(81973904);河南省中医药科学研究专项(2019JDZX2006);河南省特色骨干学科中医学科建设(STG-ZYXKY-2020023)

收稿日期:2022-01-30

作者单位:1. 河南中医药大学, 郑州 450046; 2. 河南中医药大学第一附属医院, 郑州 450000

作者简介:张赢丹(1994-),女,硕士研究生,主要从事中医药防治小儿神经系统疾病相关基础与临床研究。

通讯作者:马丙祥,mbx1963@126.com

用 WBLIV 后出现恶化,支持了全身低强度振动(WBLIV)有可能改善肌营养不良患儿肌肉收缩性的概念。有学者^[22]观察到 WBV 联合常规理疗干预后痉挛型双瘫儿童髂伸肌和右踝跖屈肌改良 Ashworth 量表结果均下降,肌肉激活增加;另一项研究中 WBV 对抗癌治疗中的患儿膝盖伸肌力量和主动踝背屈运动范围也表现出积极影响^[23],这两项研究都显示 WBV 带来的影响集中于下肢,可能由于 WBV 对振动平台附近的骨骼肌组织和骨骼的影响更明显。虽然临床应用中存在肌肉病变或肌肉受损的儿童使用 WBV 是否会进一步损害病变肌肉存在顾虑,但 WBV 增强肌肉力量已成共识^[24]。康复儿童由于种种缺陷或障碍而活动减少^[25],这导致肌力、肌张力改变、增加肥胖患病率。从众多实验和临床研究看,WBV 对受试者肌肉力量、肌肉体积和柔韧性有稳定或积极作用。其作用机制考虑与 WBV 产生的机械振动波刺激肌肉的躯体感受器,引起肌梭初级传入神经纤维末梢的兴奋性增强,同时振动中高阈值的运动单位与低阈值的运动单位几乎同时激活^[26],从而募集更多的运动单位参与活动,增大肌肉力量的同时提高对 II 型肌纤维的训练效果,导致肌肉爆发力和肌肉体积增加^[27]。另一方面 WBV 可以增加肌肉收缩时间进而增加下肢血液灌注量,血液中含有骨骼肌生长的多种营养,有可能对骨骼肌的发育带来积极影响。

1.3 WBV 对平衡的影响 Jung 等^[28]发现 14 名痉挛型脑瘫儿童进行 4 周 WBV 干预后,小儿平衡量表分数表现出显著改善。负国俊等^[29]发现 2~4 岁痉挛型偏瘫儿童接受常规康复结合 WBV 治疗后足底压力和足底支持面积增加指数明显大于常规康复治疗组,平衡能力改善更明显。Ali 等^[30]比较核心肌肉训练及 WBV 对身体稳定性的影响,发现 WBV 较核心肌肉训练在改善痉挛型脑瘫儿童姿势控制方面作用更显著。Han 等^[31]比较了不同 WBV 频率的即时效应,认为 18Hz 较 12Hz、26Hz 对促进脑瘫儿童行走和平衡能力更有效。一项对成骨不全症儿童的研究中,WBV 组和常规物理训练组干预结果在平衡变量上未表现出明显差异^[11]。儿童平衡能力主要体现在三个方面:静态平衡、动态平衡和功能平衡。中枢神经系统通过整合处理由本体感觉、视觉和前庭觉发出的信息,对骨骼肌肉系统进行控制完成平衡调控^[32]。平衡能力不足不但会引起跌倒、影响日常生活,长期发展还导致关节痉挛畸形、关节功能丧失,严重影响儿童的身心健康^[33]。人体平衡的维持依赖于感觉输入,患儿在 WBV 干预后多表现出身体稳定性增加,平衡能力改善,其作用机制可能与 WBV 激活肌梭的感受器,增强腓骨长肌的

神经肌肉反应能力^[34],增加本体感觉功能有关(如关节位置觉提高),另外 WBV 改善肌肉力量、神经肌肉协调性,提高关节稳定性的作用也应考虑在内。

1.4 WBV 对活动能力的影响 Stark 等^[35]将家庭 WBV 与密集住院治疗相结合,12 个月后 38 例患有 II 型或 III 型脊髓性肌萎缩儿童的总运动功能测量及 Hammersmith 功能移动量表总分显著提高,活动能力改善,但随访时的这些变化都不显著,其长期临床效果需要进一步的研究。而 Martakis 等^[36]对进行性共济失调儿童的研究随访中发现干预后运动功能的改善效果得以保持,同时非进行性共济失调儿童显示出进一步的改善,这与疾病的自然发展有关。Ritzmann 等^[37]通过 Meta 分析发现极速短时振动训练可降低脑瘫患儿反射兴奋性、痉挛和协调能力缺陷。Telford 等^[38]发现 20 周的 WBV 干预治疗对脑瘫儿童的行走耐力产生的有益影响与年龄和总运动功能分类系统水平的相关性不大。对痉挛型脑瘫患儿,较常规康复治疗,治疗上结合 WBV 后,在站立、走跑跳、姿势控制、移动能力及步行速度改善方面效果更佳^[39],更有利于改善痉挛程度,提高运动能力^[40]。Liang 等^[41]证实高振幅 WBV 较低振幅对踝关节运动范围有更明显改善。Estes 等^[42]研究了四种不同频率/持续时间的单次 WBV 对慢性脊髓损伤者步行速度的影响,结果无显著改变。Petryk 等^[10]也发现干预后肌营养不良症儿童 6min 步行试验没有显著变化。多数研究表明,WBV 可以减少儿童痉挛状态,改善运动功能,提高患者的姿势控制及日常生活活动能力。康复儿童的活动能力与身体健康、生活质量呈正相关^[43],更少依赖他人及辅助设备从长远来看也将减少经济压力。WBV 减轻痉挛的潜在机制可能与直接肌肉振动类似:① WBV 带来的快速肌肉收缩舒张可激活核心肌群,从而增强肌力、提高核心稳定性、缓解肢体痉挛^[44];② 与中枢抑制有关。振动训练通过激活肌梭和 Ia 传入纤维来抑制单突触反射,改善运动神经与肌肉之间的协调性(如降低拮抗肌活动,加强主动肌活动)^[45],并通过振动肌肉介导提高中枢神经系统的灵敏性。而步行功能的改善,可能与促进下肢关节的本体感觉(关节位置觉和运动觉)有关,这在步态控制中尤为重要^[22]。

2 小结与展望

WBV 的最大特点是无需患者进行主动的高负荷练习也可达到有效康复效果,对不便参加常规力量训练的康复儿童来说是一种理想的训练形式^[3]。WBV 依从性相对较高,且工具的便携性和易用性使其无需

治疗师,适合日常使用,大大减轻康复过程中的经济与时间成本,是一种潜力巨大的的儿童康复工具。WBV产生作用的骨骼、肌肉系统并不是独立的,他们之间存在复杂联系。脂肪组织产生的静态负荷和肌肉组织产生的动态负荷都会在骨骼中产生张力,从而帮助骨的形成^[13]。身体成分会影响施加在骨骼上的机械力,肌肉力量的改善、瘦体重增加会增强肌肉控制能力、提高核心稳定性。这些骨骼及骨骼肌的变化会对平衡和步态产生影响,从而提高活动能力。诸多功能的改善将骨折、脱位和运动过度对儿童的损害降到最低。

安全性方面,WBV是一种无创治疗方法。本综述中纳入的大多数研究显示WBV对康复儿童诸多功能改善有积极影响,且没有观察到严重的不良事件。本综述涵盖的大多数研究未报告WBV中出现使用困难、肌肉疼痛、筋肉痉挛、跌倒、骨折或其他严重不良事件,这种治疗方式耐受性良好,被认为对无原发性骨形成缺陷的儿童是有效和安全的。除此之外,Gusso等^[6]对脑瘫儿童的研究中报告了干预后患儿总体生活质量改善。Wunram等^[46]发现WBV具有抗抑郁效果,且依从性较好。H?gle等^[11]发现WBV组中两名肌肉最虚弱的儿童发生意外骨折,不鼓励成骨不全症儿童使用WBV,但同时也表明,他们的设计不足以得出成骨不全症儿童使用WBV不是有效和安全的结论。Leite等^[47]认为现有证据往往质量很低,不能支持临床实践。

目前针对儿童的WBV研究的随机对照研究数量仍不丰富,且普遍样本量少、持续时间短(<6个月)。较多研究将WBV添加到传统训练中,因此不易量化出WBV的单独效果,虽然证明作为常规理疗的辅助治疗,WBV所获得的益处是显著的,但干预引起的变量源头模糊,更无法确认哪种训练方法会产生更大的影响,显然不足以制定和实施临床实践指南。另一方面,诸多研究报告关注即刻效果,但在随访中对受试儿童产生的影响多未涉及,是否会带来长期的临床益处也是值得探讨的。在总结中还发现现有研究报告不具有统一性,如WBV的基本振动参数不一致(振动频率、振幅、振动加速度及持续时间等),或术语不一致(振幅、峰间振幅、对峰间位移等),这些在研究报告中报告不准确甚至完全省略,无疑会影响研究的可比性与可复制性,最终造成关键见解难以形成。确保报告一致性的常见方式是坚持标准化报告,已有学者做出研究,如Wuestefeld等^[48]设计了德尔菲共识,依据专家小组的评分建立了一份共识率达94.6%的清单,包含了40个在WBV研究中被判断为较重要的报告内容,以期作为更新WBV研究报告指南的基础,保证WBV

报告质量,促进WBV研究设计。未来仍需要数量更多、样本量更大、持续时间更长的前瞻性研究来明确WBV的潜在益处。从临床角度来看,为了更有效的使用WBV,研究在坚持标准化报告的基础上应侧重于探索最适参数设置。在关注即刻效果的同时,也应该追踪持续效果,尽可能详细报道训练中的不良事件和副作用同样应得到重视。

【参考文献】

- [1] Burke D, Schiller HH. Discharge pattern of single motor units in the tonic vibration reflex of human triceps surae. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1976;39(8):729-741.
- [2] Hagbarth KE, Eklund G. Tonic vibration reflexes (TVR) in spasticity. *Brain Res*. 1966;2(2):201-203.
- [3] Swolin-Eide D, Magnusson P. Does Whole-Body Vibration Treatment Make Children's Bones Stronger. *Curr Osteoporos Rep*. 2020;18(5):471-479.
- [4] Roelants M, Verschueren SM, Delecluse C, et al. Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises [J]. *J Strength Cond Res*. 2006;20(1):124-129.
- [5] 谭景旺,吴雪萍. 全身振动训练对老年人下肢功能和慢性疾病影响的研究与进展[J]. *中国组织工程研究*,2017,21(8):1288-1293.
- [6] Gusso S, Munns CF, Colle P, et al. Effects of whole-body vibration training on physical function, bone and muscle mass in adolescents and young adults with cerebral palsy. *Sci Rep*. 2016;3(3):22518.
- [7] Matute-Llorente A, Gonzalez-Aguero A, Gomez-Cabello A, et al. Effect of whole-body vibration training on bone mass in adolescents with and without Down syndrome: a randomized controlled trial. *Osteoporos Int*. 2016;27(1):181-191.
- [8] Tubic B, Zeijlon R, Wennergren G, et al. Randomised study of children with obesity showed that whole body vibration reduced sclerostin. *Acta Paediatr*. 2019;108(3):502-513.
- [9] 肖庆群,郑印渝,王亮. 全身振动训练对骨质疏松大鼠股骨生物力学与Wnt3a蛋白表达的影响[J]. *医用生物力学*,2021,36(3):453-458.
- [10] Langensiepen S, Stark C, Sobottke R, et al. Home-based vibration assisted exercise as a new treatment option for scoliosis - A randomised controlled trial. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2017;17(4):259-267.
- [11] Petryk A, Polgreen LE, Grames M, et al. Feasibility and tolerability of whole-body, low-intensity vibration and its effects on muscle function and bone in patients with dystrophinopathies: a pilot study. *Muscle Nerve*. 2017;55(6):875-883.
- [12] Höglér W, Scott J, Bishop N, et al. The Effect of Whole Body Vibration Training on Bone and Muscle Function in Children With Osteogenesis Imperfecta. *J Clin Endocrinol Metab*. 2017;102(8):2734-2743.
- [13] 李高峰,丛燕,周大伟等. 全身振动刺激在脑性瘫痪患者临床康复中的应用[J]. *中华物理医学与康复杂志*,2016,38(5):4-6.
- [14] Lee DY, Wetzsteon RJ, Zemel BS, et al. Muscle torque relative to cross-sectional area and the functional muscle-bone unit in children and adolescents with chronic disease. *J Bone Miner Res*. 2015;30(3):575-583.
- [15] 郑大军,王清,马力. 生长期振动干预有助增加大鼠峰值骨量[J]. *基因*

- 组学与应用生物学, 2020, 39(9): 4249-4254. 9.
- [16] Spain L, Yang L, Wilkinson JM, et al. Transmission of whole body vibration Comparison of three vibration platforms in healthy subjects. *Bone*. 2021, 144(3): 115802.
- [17] Alcaraz PE, Ramos-Campo DJ, et al. Whole-body vibration training and bone health in postmenopausal women: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2018, 97(34): e11918.
- [18] 李邗峻, 徐道明, 吴文忠, 等. 全身振动训练结合雷火灸治疗原发性骨质疏松症腰背痛的临床观察[J]. 中国骨质疏松杂志, 2019(10): 1445-1449.
- [19] 林创鑫, 林惠玲. 高钙脱脂牛奶结合全身振动训练对绝经后妇女骨量丢失的影响[J]. 当代医学, 2020, 26(21): 106-108.
- [20] Emara H. Effects of whole body vibration on body composition and muscle strength of children with Down syndrome[J]. *International Journal of Therapies & Rehabilitation Research*. 2016, 5(4): 1-8.
- [21] Petryk A, Polgreen LE, Grames M, et al. Feasibility and tolerability of whole-body, low-intensity vibration and its effects on muscle function and bone in patients with dystrophinopathies: a pilot study. *Muscle Nerve*. 2017, 55(6): 875-883.
- [22] Song S, Lee K, Jung S, et al. Effect of Horizontal Whole-Body Vibration Training on Trunk and Lower-Extremity Muscle Tone and Activation, Balance, and Gait in a Child with Cerebral Palsy. *Am J Case Rep*. 2018, 19(11): 1292-1300.
- [23] Vanessa, Rustler, Aram, et al. Whole-Body Vibration Training Designed to Improve Functional Impairments After Pediatric Inpatient Anticancer Therapy: A Pilot Study. *Pediatr Phys Ther*. 2018; 30(4): 341-349.
- [24] 邓桂勇, 王震, 薛文忠. 全身振动训练对神经肌肉功能的影响[J]. 广州体育学院学报, 2021, 41(2): 89-92.
- [25] Simón-Martínez C, Mailloux L, Ortibus E, et al. Combining constraint-induced movement therapy and action-observation training in children with unilateral cerebral palsy: a randomized controlled trial. *BMC Pediatr*. 2018, 18(1): 250.
- [26] Mealing D, Long G, McCarthy PW. Vibromyographic recording from human muscles with known fibre composition differences[J]. *Br J Sports Med*, 1996, 30(1): 27-31.
- [27] 杨德洪, 吴雪萍, 闻一鸣, 孟杰. 坐位低频全身振动训练对老年下肢残疾者肌肉力量及行走能力的影响[J]. 中华老年多器官疾病杂志, 2018, 17(5): 339-342.
- [28] Jung Y, Chung EJ, Chun HL, et al. Effects of whole-body vibration combined with action observation on gross motor function, balance, and gait in children with spastic cerebral palsy: a preliminary study. *J Exerc Rehabil*. 2020, 16(3): 249-257.
- [29] 负国俊, 梁显荣, 王景刚, 等. 全身振动训练对痉挛型偏瘫儿童运动功能影响的临床研究[J]. 中国儿童保健杂志, 2020, 28(7): 4-6.
- [30] Ali MS, Awad AS, Elassal MI. The effect of two therapeutic interventions on balance in children with spastic cerebral palsy: A comparative study. *J Taibah Univ Med Sci*. 2019, 14(4): 350-356.
- [31] Han YG, Lee SW, Yun CK. The immediate influence of various whole-body vibration frequency on balance and walking ability in children with cerebral palsy: a pilot study. *J Exerc Rehabil*. 2019, 15(4): 597-602.
- [32] 王军, 郎永斌, 杜江华, 等. 悬吊运动训练对痉挛型脑瘫儿童运动及平衡功能的影响[J]. 中国当代儿科杂志, 2018, 20(6): 5-8.
- [33] 赵盼超, 梁晓, 张子华, 等. 运动及康复训练改善儿童平衡功能的 Scoping 综述[J]. 中国康复理论与实践, 2021, 27(5): 10-12.
- [34] 刘俏, 扈盛, 李永杰, 等. 全身振动训练对慢性踝关节不稳影响的 Meta 分析[J]. 中国康复, 2020, 35(10): 535-540.
- [35] Stark C, Duran I, Cirak S, et al. Vibration-Assisted Home Training Program for Children With Spinal Muscular Atrophy. *Child Neurol Open*. 2018, 5: 2329048X18780477.
- [36] Martakis K, Stark C, Alberg E, et al. Motor Function Improvement in Children with Ataxia Receiving Interval Rehabilitation, Including Vibration-Assisted Hometraining: A Retrospective Study. *Verbesserung der Grobmotorik bei Kindern mit Ataxie unter Intervall-Rehabilitation mit vibrationsgestütztem Heimtraining: eine retrospektive Analyse*. *Klin Padiatr*. 2019, 231(6): 304-312.
- [37] Ritzmann R, Stark C, Krause A, Krause A. Vibration therapy in patients with cerebral palsy: a systematic review[J]. *Neuropsychiatric Disease & Treatment* Volume, 2018, 14(11): 1607-1625.
- [38] Telford D, Vesey RM, Hofman PL, et al. The Effect of Vibration Therapy on Walking Endurance in Children and Young People With Cerebral Palsy: Do Age and Gross Motor Function Classification System Matter *Arch Rehabil Res Clin Transl*. 2020, 2(3): 100068.
- [39] 严善钟, 金娟, 陈世动, 张婵, 余波. 全身振动训练对痉挛型脑瘫患儿 20 例步行速度及粗大运动功能影响研究[J]. 中国实用儿科杂志, 2021, 36(1): 33-37.
- [40] 李鑫, 余礼梅, 龙耀斌. 全身振动训练结合束腹带对痉挛型脑性瘫痪运动能力的影响[J]. 中国儿童保健杂志, 2020, 28(11): 1294-1297.
- [41] Liang V, Henderson G, Wu J. Neuromuscular response to a single session of whole-body vibration in children with cerebral palsy: A pilot study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2020, 80(12): 105170.
- [42] Estes S, Iddings JA, Ray S, et al. Comparison of Single-Session Dose Response Effects of Whole Body Vibration on Spasticity and Walking Speed in Persons with Spinal Cord Injury. *Neurotherapeutics*. 2018, 15(3): 684-696.
- [43] Kantele S, Karinkanta S, Sievonen H. Effects of long-term whole-body vibration training on mobility in patients with multiple sclerosis: A meta-analysis of randomized controlled trials. *J Neurol Sci*. 2015, 358(1-2): 31-37.
- [44] 彭康龙, 梁显荣, 曹建国, 等. 全身振动治疗改善脑瘫患者步行能力的 Meta 分析[J]. 中国康复, 2017, 32(5): 365-369.
- [45] Seo HG, Oh BM, Leigh JH, et al. Effect of Focal Muscle Vibration on Calf Muscle Spasticity: A Proof-of-Concept Study. *PM R*. 2016, 8(11): 1083-1089.
- [46] Wunram HL, Hamacher S, Hellmich M, et al. Whole body vibration added to treatment as usual is effective in adolescents with depression: a partly randomized, three-armed clinical trial in inpatients. *Eur Child Adolesc Psychiatry*. 2018, 27(5): 645-662.
- [47] Leite HR, Camargos ACR, Mendonça VA, et al. Current evidence does not support whole body vibration in clinical practice in children and adolescents with disabilities: a systematic review of randomized controlled trial. *Braz J Phys Ther*. 2019, 23(3): 196-211.
- [48] Wuestefeld A, Fuermaier ABM, Bernardo-Filho M, et al. Towards reporting guidelines of research using whole-body vibration as training or treatment regimen in human subjects-A Delphi consensus study. *PLoS One*. 2020, 15(7): e0235905.