

• 临床研究 •

不同频率全身振动疗法对痉挛型 脑瘫患儿上肢运动功能的影响

张秋^{1,2,3}, 张驰¹, 李卫平¹, 虞记华¹, 杜鑫萍¹, 王剑雄¹

1. 西南医科大学附属医院康复医学科, 四川 泸州 646000; 2. 西南医科大学康复医学系, 四川 泸州 646000;

3. 康复医学与工程泸州市重点实验室, 四川 泸州 646000

摘要: **目的** 比较不同频率全身振动疗法(WBVT)对痉挛型脑瘫患儿上肢运动功能及日常生活活动能力(ADL)的影响,为脑瘫患儿康复提供依据。**方法** 选取2023年12月—2024年10月在西南医科大学附属医院就诊的91例6~12岁痉挛型脑瘫患儿为研究对象,按随机数字表法分为对照组($n=23$)、10Hz组($n=22$)、15Hz组($n=24$)及20Hz组($n=22$)。4组均进行常规康复训练,10Hz组、15Hz组及20Hz组分别额外接受振动频率为10Hz、15Hz及20Hz的WBVT,均治疗6周。治疗前后使用改良Ashworth量表(MAS)、Carroll双上肢功能评定量表(UE-FT)以及儿童功能独立性量表(WeeFIM)对所有患儿进行测定。**结果** 治疗6周后,4组儿童MAS评分($F=8.014$)、UE-FT($F=15.737$)、WeeFIM($F=17.525$)得分比较,差异有统计学意义($P<0.05$);LSD事后比较,10Hz组、15Hz组及20Hz组各项得分均优于对照组,其中20Hz组改善最显著($P<0.05$)。**结论** 常规康复训练联合WBVT可降低痉挛型脑瘫儿童上肢肌张力,改善上肢运动功能,并提高ADL,且20Hz的WBVT效果最佳。

关键词: 全身振动训练; 痉挛型脑瘫; 上肢运动; 日常生活活动

中图分类号:R179 文献标识码:A 文章编号:1008-6579(2025)12-1367-05 doi:10.11852/zgetbjzz2024-1250

Effect of whole-body vibration therapy at different frequencies on upper extremities motor function in children with spastic cerebral palsy

ZHANG Qiu^{1,2,3}, ZHANG Chi¹, LI Weiping¹, YU Jihua¹, DU Xinping¹, WANG Jianxiong¹

1. Department of Rehabilitation, The Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou, Sichuan 646000, China;

2. Department of Rehabilitation Medicine, Southwest Medical University, Luzhou, Sichuan 646000, China;

3. Rehabilitation Medicine and Engineering Key Laboratory of Luzhou, Luzhou, Sichuan 646000, China

Corresponding author: ZHANG Chi, E-mail: chizhang_swmu@126.com

Abstract: **Objective** To compare the effects of whole-body vibration training (WBVT) at different frequencies on upper limb motor function and activities of daily living (ADL) in children with spastic cerebral palsy (CP), in order to provide evidence for rehabilitation strategies. **Methods** A total of 91 children with spastic CP (aged 6 - 12 years) from the Affiliated Hospital of Southwest Medical University were enrolled between December 2023 and October 2024. Participants were randomly assigned to four groups: control group ($n=23$), 10Hz group ($n=22$), 15Hz group ($n=24$), and 20Hz group ($n=22$). All groups received conventional rehabilitation training, while the 10Hz, 15Hz, and 20Hz groups additionally underwent WBVT at their respective frequencies for 6 weeks. Outcomes were assessed pre- and post-intervention using the Modified Ashworth Scale (MAS), Carroll Upper Extremity Function Test (UE-FT), and Functional Independence Measure for Children (WeeFIM). **Results** After 6 weeks of treatment, significant differences were observed among the four groups in MAS scores ($F=8.014$), UE-FT scores ($F=15.737$), and WeeFIM scores ($F=17.525$) ($P<0.05$). Post-hoc LSD tests revealed that the 10Hz, 15Hz, and 20Hz groups showed superior outcomes compared to the control group, with the 20Hz group demonstrating the most significant improvements ($P<0.05$). **Conclusions** Conventional rehabilitation combined with WBVT can reduce upper limb muscle tone, improve motor function, and enhance ADL in children with spastic CP. Notably, WBVT at 20Hz appears to be the most effective frequency.

Keywords: whole body vibration; spastic cerebral palsy; upper extremities function; activity daily living

基金项目:四川省科学技术厅社会发展项目(23ZDYF2793)

作者简介:张秋(1995—),女,硕士学位,主要研究方向为儿童脑发育及行为障碍。

通信作者:张驰, E-mail: chizhang_swmu@126.com

脑性瘫痪(cerebral palsy)简称脑瘫,是导致儿童肢体残疾与运动功能障碍最为常见的原因之一。研究显示近 83% 的脑瘫患儿存在上肢运动功能损伤,近 69% 的患儿存在精细运动障碍,这极大限制了患儿日常生活活动能力(activity daily living, ADL)并严重影响其生活质量^[1-2]。目前国内外多基于动作观察疗法、强制性诱导疗法等干预脑瘫上肢运动功能,以上治疗效果虽好,但存在康复周期长、训练费用高,患儿及家属依从性差等问题^[3-4]。近年来多项研究表明全身振动训练(whole-body vibration training, WBVT)可通过设置特定频率的机械振动波刺激人体外周感受器,并有效激活神经肌肉,使受试患者无需高强度训练也可达到有效的康复效果^[5-6]。Tekin 等^[7]对脑瘫患儿进行为期 8 周的 WBVT 治疗后,发现患儿下肢肌张力及步态均显著改善;Ali 等^[8]发现 WBVT 疗法可改善脑瘫下肢粗大运动功能。目前国内外多聚焦于 WBVT 疗法改善脑瘫下肢粗大运动功能,较少涉及对脑瘫上肢精细运动功能的影响,而本研究创新性提出 WBVT 疗法对痉挛型脑瘫上肢运动功能及 ADL 的影响,并对不同频率 WBVT 疗效进行对比分析,以期得到振动频率这一重要参数对上肢运动功能的影响,并为后续 WBVT 参数设置提供参考与借鉴。

1 对象和方法

1.1 对象 选取 2023 年 12 月—2024 年 10 月在西南医科大学附属医院儿童康复门诊和/或入院的痉挛型脑瘫患儿为研究对象。本研究样本量估算采用 G * Power 3.1 软件中的 *F* tests-ANOVA,效应量 Effect size = 0.30,检验标准 $\alpha = 0.05$,检验效能 $1-\beta = 0.7$,组数 $n = 4$,总样本至少应为 80,按照 25% 脱落率,最终纳入 100 人。并按随机数表法分为对照组、10Hz 组、15Hz 组、20Hz 组各 25 例。所有受试患儿及其监护人均已充分知情并签署知情同意书。研究经本院医学伦理委员会审核批准(编号: KY2023274)。

纳入标准:1)符合脑瘫诊断及痉挛型偏瘫、双瘫分型标准^[1];2)6~12 岁;3)手功能分级(Manual Ability Classification System, MACS) I ~ III 级;4)改良 Ashworth 分级 $\leq$ II 级;5)患儿能理解指令并配合治疗师完成训练;6)坚持完成为期 6 周的训练。排除标准:1)癫痫;2)严重骨质疏松;3)骨折;4)严重并发症影响治疗效果;5)有严重心、肺等内脏器官疾病;6)WBVT 疗法绝对禁忌证,如体内植入心脏起搏器、心脏支架等。脱落标准:1)训练过程中

出现病情恶化等无法进行研究;2)患者拒绝继续临床试验。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 本研究为评估者盲的单中心临床随机对照试验,采用方便抽样,所有受试患儿在结束所有评估后 6 周揭盲,涉及人员均已按照标准完成统一规范化培训。

1.2.2 训练方案 常规康复训练:精细运动、肌肉牵伸及上肢关节活动度训练等,以上训练 1 次/d, 40min/次,每周 5d,为期 6 周。WBVT 疗法:1)训练选用德国 Science 公司生产的型号为 SRT-ZEP-TORING 组合式振动训练台;2)开始训练前 2h,患儿禁食,并安静休息 20min;3)要求患儿坐于 30cm × 30cm × 15cm 木箱上,身体重心线与振动平台中线垂直相交,患儿双上肢伸直且肘关节微屈并与振动平台相接触;4)10Hz 组、15Hz 组及 20Hz 组分别设置振动频率为 10Hz、15Hz 及 20Hz;5)为保证患儿安全,训练过程中须配备 1 名受专业培训的治疗师全程监督,密切观察患儿运动水平及体征,对突发状况及时进行处理;6)WBVT 治疗时间为 10min,每振动训练 2min 后,要求患儿原地休息 3min,该治疗 1 次/d,每周 5d,为期 6 周;7)训练结束后,患儿需在观察室休息观察 30min,严密监测患儿生命体征。

1.3 评定方法

1.3.1 改良 Ashworth 量表 采用改良 Ashworth 量表(Modified Ashworth Scale, MAS)对受试患儿肱二头肌肌张力进行评估,将评分等级中 0、1、1⁺、2、3 和 4 级分别量化为 1、2、3、4、5 和 6 分,评分越高代表肌张力越高,该量表具备良好的信、效度(intra-class correlation coefficients, ICC > 0.895)^[9]。

1.3.2 Carroll 双上肢功能评定 Carroll 双上肢功能评定(Carroll Upper Extremities Functional Test, UE-FT)主要评估患儿抓握、协调性及书写能力等,得分越高代表患儿双上肢运动功能越好(ICC = 0.921~0.976)^[10]。

1.3.3 儿童功能独立性量表 采用儿童功能独立性量表(the Functional Independence Measure for Children, WeeFIM)评估患儿自理能力、交流、转移、行走等,得分越高,儿童独立性越强(ICC = 0.900~0.990)^[11]。

1.4 质量控制 本研究由经过专业设备培训的儿童康复治疗师对受试患儿进行 WBVT 训练,训练过程中配有急救设备,严密观察患儿各项指标;由经过规范化量表培训的儿童康复治疗师进行 MAS、UE-

FT 以及 WeeFIM 测评,使用统一指导语,并设有独立评估室,且评估室内的温度、环境适宜、光线充足等,所有评估均在受试患儿配合且情绪稳定时进行;对数据收集人员进行规范化培训,按照统一流程收集数据;数据收集后进行统一审核和编码,由双人录入并核对数据。

1.5 统计学方法 本研究使用 SPSS 27.0 进行数据处理与分析,对计量资料进行正态性检验,符合正态分布以 $\bar{x} \pm s$ 表示,且组间比较采用方差分析以及

LSD 事后检验,组内比较采用配对样本 t 检验;不符合正态分布则用中位数 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,并采用非参数秩和检验进行比较。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 研究对象一般情况 本研究共纳入 100 例痉挛型脑瘫患儿,入组后有 9 例脱落,最终共 91 例患儿完成本次研究,4 组患儿一般基线资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 1。

表 1 对照组、10Hz 组、15Hz 组及 20Hz 组一般情况比较(例,%)

Tab. 1 Comparison of general condition among the control group, 10Hz group, 15Hz group and 20Hz group ($n, \%$)

组别	例数	性别		MACS 分级			分型		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	体重 (kg, $\bar{x} \pm s$)
		男	女	I	II	III	双瘫	偏瘫		
对照组	23	13(56.52)	10(43.48)	8(34.78)	9(39.13)	6(26.09)	11(47.83)	12(52.17)	7.35 $\pm$ 0.92	22.96 $\pm$ 1.93
10Hz 组	22	14(63.64)	8(36.36)	7(31.82)	10(45.45)	5(22.73)	12(54.55)	10(45.45)	7.85 $\pm$ 1.31	24.12 $\pm$ 1.78
15Hz 组	24	11(45.83)	13(54.17)	9(37.50)	7(29.17)	8(33.33)	14(58.33)	10(41.67)	7.25 $\pm$ 1.10	23.61 $\pm$ 1.97
20Hz 组	22	8(36.36)	14(63.64)	6(27.28)	8(36.36)	8(36.36)	13(59.09)	9(40.91)	8.00 $\pm$ 1.67	24.37 $\pm$ 2.05
χ^2/F 值		2.826 ^a		2.138 ^a			1.608 ^a		1.875 ^b	2.350 ^b
P 值		0.419		0.907			0.657		0.140	0.078

注:^a χ^2 值, ^b F 值。

2.2 10Hz 组、15Hz 组 20Hz 组及对照组患儿治疗前后 MAS、UE-FT、WeeFIM 比较 治疗 6 周后,4 组患儿各项评分均较治疗前增加,差异有统计学意义($P<0.05$);4 组患儿间 MAS($F=8.014$)、UE-FT($F=15.737$)、WeeFIM($F=17.525$)得分,差异均有统计学意义($P<0.05$);LSD 事后比较,10Hz 组、15Hz 组及 20Hz 组 MAS 得分均低于对照

组、UE-FT 得分和 WeeFIM 得分均高于对照组,且 20Hz 组 MAS 得分显著低于 10Hz 组及 15Hz 组($P<0.05$),但 15Hz 组与 10Hz 组间 MAS 得分差异无统计学意义($P>0.05$);UE-FT 与 WeeFIM 得分 20Hz 组最高,其余由高到低依次为 15Hz 组、10Hz 组、对照组($P<0.05$)。见表 2。

表 2 对照组、10Hz 组、15Hz 组及 20Hz 组治疗前、后 MAS、UE-FT 及 WeeFIM 比较($\bar{x} \pm s$)

Tab. 2 Comparison of MAS, UE-FT, WeeFIM score among the control group, 10Hz group, 15Hz group and 20Hz group before and after treatment ($\bar{x} \pm s$)

项目	分组	对照组① ($n=23$)	10Hz 组② ($n=22$)	15Hz 组③ ($n=24$)	20Hz 组④ ($n=22$)	F 值	P 值	LSD 事后检验
MAS	治疗前	3.04 $\pm$ 0.85	2.91 $\pm$ 0.75	3.00 $\pm$ 0.78	2.95 $\pm$ 0.79	0.122	0.947	
	治疗后	2.83 $\pm$ 0.83	2.36 $\pm$ 0.79	2.21 $\pm$ 0.66	1.77 $\pm$ 0.61	8.014	<0.001	④ $>$ ③、②、①; ③ $>$ ①;② $>$ ①
	t 值	2.472	3.813	6.593	9.419			
	P 值	0.022	0.001	<0.001	<0.001			
UE-FT	治疗前	36.78 $\pm$ 4.18	38.50 $\pm$ 4.70	37.79 $\pm$ 4.63	38.95 $\pm$ 5.67	0.873	0.458	
	治疗后	40.91 $\pm$ 4.01	44.82 $\pm$ 5.22	48.63 $\pm$ 6.81	53.18 $\pm$ 8.24	15.737	<0.001	④ $>$ ③ $>$ ② $>$ ①
	t 值	13.911	18.694	19.113	17.779			
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
WeeFIM	治疗前	75.74 $\pm$ 3.97	74.36 $\pm$ 3.02	75.04 $\pm$ 3.28	76.05 $\pm$ 4.54	0.894	0.447	
	治疗后	78.91 $\pm$ 4.36	82.18 $\pm$ 3.91	85.21 $\pm$ 5.25	88.68 $\pm$ 5.24	17.525	<0.001	④ $>$ ③ $>$ ② $>$ ①
	t 值	14.193	22.205	14.448	30.934			
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			

3 讨论

痉挛型脑瘫多因锥体系受损导致其脊髓前角运

动神经元失抑制,从而使受支配肌群牵张反射异常亢进,并出现持续痉挛症状,此型脑瘫患儿上肢易出现抬肩、屈肘及手屈曲等异常运动模式,并进一步影

响患儿手部精细动作,且随着年龄增长,脑瘫患儿上肢功能障碍越严重,而上肢正常运动又与进食、穿衣等 ADL 紧密相关,严重限制患儿日常生活及社会参与,此外上肢还在坐、站平衡训练及体位转移等粗大运动中起重要作用^[12-13]。本研究首次基于不同振动频率(20Hz、15Hz、10Hz)WBVT 对痉挛型脑瘫上肢功能的影响进行探讨。

3.1 全身振动疗法可降低痉挛型脑瘫上肢肌张力

据不完全统计,70%~80%的脑瘫患儿出现不同程度的肌肉痉挛,这与锥体系上运动神经元损伤所导致下运动神经元失抑制,速度依赖性牵张反射异常亢进及肌肉活动过度增加有关^[14]。Peungsuwan 等^[15]研究证实 WBVT 可用于改善痉挛型脑瘫髓内收肌、膝伸肌肌张力,吴羽^[16]的研究表明痉挛型脑瘫接受 WBVT 后,其下肢伸膝肌群和踝跖屈肌等肌张力均显著降低。为进一步探究 WBVT 对脑瘫上肢肌张力的影响,本研究中受试患儿双上肢分别接受不同频率的振动刺激,结果显示不同频率 WBVT 组患儿肱二头肌肌张力降低优于对照组($P<0.05$),这表明常规康复训练联合 WBVT 可用于改善痉挛型脑瘫上肢屈肌肌张力,且效果优于常规康复训练,可能机制为机械振动波作用于人体,刺激外周肌梭与 Ia 传入纤维来抑制单突触反射,减少脊髓反射与牵张反射的亢进,降低拮抗肌异常活动,同时加强原动肌正常活动,促进其恢复到正常生理状态等^[17]。此外康海燕等^[18]发现脑卒中患者在接受低高频 WBVT 治疗后,其偏瘫侧 F 波参数及 MAS 均明显降低,提示 WBVT 治疗可通过加强机体感觉与运动皮层间的相互联系,进而提高偏侧大脑皮质的兴奋性,降低肢体肌张力。

3.2 全身振动疗法可改善痉挛型脑瘫上肢精细运动功能

本研究显示不同频率 WBVT 组 UE-FT 得分均高于对照组($P<0.05$),采用 WBVT 治疗的患儿表现出手部精细抓握、不同距离拿、放物体及整体动作协调性更佳,这与王曼等^[19-20]的研究结果类似,可能机制为患儿肩、肘、腕等关节处的本体感受器,接受来自外界振动刺激,引发外周肌肉内纺锤体兴奋,募集运动单位并加速肌质网释放钙离子,通过激活骨骼-肌肉-神经环路,产生骨骼应力反应,从而达到激活肌群、稳定关节的作用,同时肩、肘关节稳定性提高,可使患儿上肢随意运动、手、腕协调性与控制性增加。此外 WBVT 所发出的外周振动刺激,引发肌群反射性收缩,刺激 γ 运动神经元的神经冲动与血管内皮因子增加,有效改善心脏及外周末梢循环,增加患者血氧含量浓度,而氧气的充分输送又可

加强能量储存,同时为肌肉最大收缩提供动力来源,从而加强上肢各肌群收缩力量^[21]。

3.3 全身振动疗法可提高痉挛型脑瘫日常生活活动

近年来,在《国际功能、残疾和健康分类》指导下,脑瘫康复治疗理念正逐步转变,从最初主要解决患儿功能障碍,逐渐转为提高患儿 ADL 与实践能力,而这又与上肢功能密切相关,因此早期有效恢复上肢功能是提高脑瘫 ADL 及功能康复的关键,但大多数家属更重视患儿下肢运动恢复,对其下肢独立行走的期盼远高于上肢精细活动,这就导致脑瘫上肢功能发育的重要性被忽略,患儿依赖父母帮助,无法独立完成日常生活与社会交往,长久以往,患儿易出现自卑、抑郁等消极情绪,并引发后续异常行为问题,给家庭与社会造成极大的负担^[22]。本研究结果显示 WBVT 的患儿 WeeFIM 总分高于对照组($P<0.05$),且 WBVT 组在进食、梳洗、穿衣等与上肢活动紧密相关的自理项目中评分更高,这与 Mailleux 等^[23]研究结果类似。脑瘫患儿肩、肘、腕以及手部肌肉力量决定其 ADL 的独立性,WBVT 治疗可加强上肢各关节间的稳定性与协调性,使脑瘫患儿更好地参与 ADL,提高其日常自理能力,因此 WBVT 联合常规康复训练可提高痉挛型脑瘫患儿 ADL。

3.4 20Hz 的全身振动疗法疗效优于 15Hz 及 10Hz

目前国内外研究多集中于单一振动频率对治疗的影响,如 Tekin 等^[7]对脑瘫患儿进行 15Hz 的 WBVT 治疗,8 周后受试患儿下肢粗大运动功能、步态及平衡均得到提高。王浩等^[24]对脑瘫患儿进行 10Hz 的 WBVT 治疗后,患儿核心肌群及下肢肌力均得到有效改善,并提高了患儿整体运动与平衡能力。而本研究基于不同频率下 WBVT 疗效对比,结果表明 20Hz 组 MAS、UE-FT 及 WeeFIM 得分均优于 15Hz 组和 10Hz 组($P<0.05$),由于 20Hz 组患儿接收来自外界的机械振动强度更大,使得外周神经发放频率进一步加快,并加速调节肌梭内纤维长度,从而募集更多的运动单位参与运动,提高运动水平。但目前有关振动频率这一关键参数的研究较少,且国内外对于其有效值设定并未统一,但值得注意的是振动频率并非越高越好,因为人体各组织与器官之间固有频率存在差异,研究表明当外界刺激与靶组织或靶器官固有频率接近时,可最大程度引发受刺激组织与器官生物谐振,加强神经-肌肉兴奋性,从而达到最佳治疗效果^[25]。

总体而言,WBVT 治疗可用于改善痉挛型脑瘫上肢肌张力、提高其上肢精细运动功能,增强患儿自理能力,且与 10Hz、15Hz WBVT 相比,20Hz WB-

VT 疗效更佳,但目前对于 WBVT 适用频率参数设置,还需进一步深入研究,以提供更加安全、有效的临床指南。

参考文献

- [1] 中国康复医学会儿童康复专业委员会,中国残疾人康复协会小儿脑性瘫痪康复专业委员会,中国医师协会康复医师分会儿童康复专业委员会,等.中国脑性瘫痪康复指南(2022)第一章:概论[J].中华实用儿科临床杂志,2022,37(12):887-892.
- Chinese Association of Rehabilitation Medicine Pediatric Rehabilitation Committee, Chinese Association of Rehabilitation of Disabled Persons Rehabilitation Committee for Cerebral Palsy, Chinese Medical Doctor Association Pediatric Rehabilitation Committee, et al. Chinese rehabilitation guidelines for cerebral palsy (2022) part 1: Overview[J]. Chin J Appl Clin Pediatr, 2022, 37(12):887-892. (in Chinese)
- [2] Paul S, Nahar A, Bhagawati M, et al. A review on recent advances of cerebral palsy[J]. Oxid Med Cell Longev, 2022, 2022(1):2622310-2622330.
- [3] Oliva-Sierra M, Ríos-León M, Abuín-Porras V, et al. Effectiveness of mirror therapy and action observation therapy in infantile cerebral palsy: A systematic review[J]. An Sist Sanit Navar, 2022, 45(2):e1003-e1016.
- [4] Shih TY, Wang TN, Shieh JY, et al. Comparative effects of kinect-based versus therapist-based constraint-induced movement therapy on motor control and daily motor function in children with unilateral cerebral palsy: A randomized control trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2023, 20(1):13-23.
- [5] Pulay Má, Nagy R, Kóti T, et al. The effect of additional whole-body vibration on musculoskeletal system in children with cerebral palsy: A systematic review and Meta-analysis of randomized clinical trials[J]. J Clin Med, 2023, 12(21):6759-6773.
- [6] Cai X, Qian G, Cai S, et al. The effect of whole-body vibration on lower extremity function in children with cerebral palsy: A Meta-analysis [J]. PLoS One, 2023, 18(3):e0282604-e0282622.
- [7] Tekin F, Kavlak E. Short and long-term effects of whole-body vibration on spasticity and motor performance in children with hemiparetic cerebral palsy [J]. Percept Motor Skill, 2021, 128(3):1107-1129.
- [8] Ali MS, Abd El-Aziz HG. Effect of whole-body vibration on abdominal thickness and sitting ability in children with spastic diplegia [J]. J Taibah Univ Med Sci, 2020, 16(3):379-386.
- [9] 吴跃迪,李放,熊莉.改良 Ashworth 量表及改良 Tardieu 量表应用于卒中患者屈肘肌评估的信度比较[J].中国康复医学杂志,2013,28(12):1151-1152.
- Wu YD, Li F, Xiong L. Comparison of the reliability of the modified Ashworth scale and the modified Tardieu scale applied to the flexor elbow muscle evaluation in stroke patients [J]. Chin J Rehabil Med, 2013, 28(12):1151-1152. (in Chinese)
- [10] 何璐,徐开寿,邱晒红,等. Carroll 上肢功能试验在痉挛型偏瘫儿童中的信度研究[J].中国康复医学杂志,2011,26(9):822-825.
- He L, Xu KS, Qiu SH, et al. Carroll reliability of upper limb function test in children with spastic hemiparesis [J]. Chin J Rehabil Med, 2011, 26(9):822-825. (in Chinese)
- [11] 朱默,史惟.儿童功能独立检查量表的研究及应用[J].中国儿童保健杂志,2006,1(5):500-502.
- Zhu M, Shi W. Study and application of Children Functional Independent Scale [J]. Chin J Child Health Care, 2006, 1(5):500-502. (in Chinese)
- [12] Stewart K. Assessing dyskinesia in children with cerebral palsy: Moving forward: A commentary on development of a clinical framework for the assessment of dyskinesia and function in the upper limb in children with cerebral palsy [J]. Phys Occup Ther Pediatr, 2023, 43(1):14-16.
- [13] Mohamed MA, El-Dein MS, El-Deen SMN, et al. Sensory integration versus Masgutova neuro-sensorimotor reflex integration program on controlling primitive reflexes and gross motor abilities in children with diplegic cerebral palsy [J]. Physiother Res Int, 2023, 28(4):e2030-e2039.
- [14] Cheng HY, Ju YY, Chen CL, et al. Managing spastic hypertonia in children with cerebral palsy via repetitive passive knee movements [J]. J Rehabil Med, 2012, 44(3):235-240.
- [15] Peungsuwan P, Chatchawan U, Donpunha W, et al. Different protocols for low whole-body vibration frequency for spasticity and physical performance in children with spastic cerebral palsy [J]. Children (Basel), 2023, 10(3):458-460.
- [16] 吴羽.不同低频全身振动训练对痉挛型脑瘫患儿下肢运动功能的影响[D].苏州:苏州大学,2023.
- Wu Y. Effect of different low-frequency whole-body vibration training on lower limb motor function in children with spastic cerebral palsy [D]. Suzhou: Soochow University, 2023. (in Chinese)
- [17] Krause A, Schönauf E, Gollhofer A, et al. Alleviation of motor impairments in patients with cerebral palsy: Acute effects of whole-body vibration on stretch reflex response, voluntary muscle activation and mobility [J]. Front Neurol, 2017, 8(1):416-425.
- [18] 康海燕,褚涛,高政,等.全身振动对卒中后踝关节跖屈肌群肌张力的作用分析[J].中国康复医学杂志,2021,36(10):1299-1301.
- Kang HY, Chu T, Gao Z, et al. Analysis of the effect of whole body vibration on ankle plantar flexor group after stroke [J]. Chin J Rehabil Med, 2021, 36(10):1299-1301. (in Chinese)
- [19] 王曼,肖莹莹,张园园,等.数字 OT 系统辅助下分析全身振动训练对脑瘫患儿精细运动能力影响的临床研究[J].中国儿童保健杂志,2023,31(5):491-496.
- Wang M, Xiao YY, Zhang YY, et al. Clinical study on the effect of whole-body vibration training on fine motor ability in children with cerebral palsy with the assistance of digital OT system [J]. Chin J Child Health Care, 2023, 31(5):491-496. (in Chinese)
- [20] Wong ML, Widerstrom-Noga E, Field-Fote EC. Effects of whole-body vibration on neuropathic pain and the relationship between pain and spasticity in persons with spinal cord injury [J]. Spinal Cord, 2022, 60(11):963-970.

(下转第 1391 页)

- 2019: An age-period-cohort analysis for the Global Burden of Disease 2019 study [J]. *E Clinical Medicine*, 2022, 43: 101249.
- [10] 孔令婉,樊利春,陈仁伟,等. 海南省新生儿先天性心脏病筛查-诊断-评估适宜技术的建立与应用[J]. *中国热带医学*, 2023, 23(7): 704-709.
- Kong LW, Fan LC, Chen RW, et al. Establishment and application of suitable technology for screening diagnosis and evaluation of neonatal congenital heart disease in Hainan Province[J]. *China Tropical Medicine*, 2023, 23(7): 704-709. (in Chinese)
- [11] 何春花,王艳萍,朱军,等. 1996—2006 年全国 5 岁以下儿童先天异常死亡流行病学分析[J]. *四川大学学报(医学版)*, 2010, 41(2): 324-328.
- He CH, Wang YP, Zhu J, et al. Mortality from congenital malformations in children under 5 years old in China, 1996—2006[J]. *Journal of Sichuan University (Medical Sciences)*, 2010, 41(2): 324-328. (in Chinese)
- [12] Canfield MA, Collins JS, Botto LD, et al. Changes in the birth prevalence of selected birth defects after grain fortification with folic acid in the United States: Findings from a multi-state population-based study[J]. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol*, 2005, 73(10): 679-689.
- [13] GBD 2017 Congenital Heart Disease Collaborators. Global, regional, and national burden of congenital heart disease, 1990—2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *Lancet Child Adolesc Health*, 2020, 4(3): 185-200.
- [14] Lynn MM, Salemi JL, Kostelyna SP, et al. Lesion-specific congenital heart disease mortality trends in children: 1999 to 2017[J]. *Pediatrics*, 2022, 150(4): e2022056294.
- [15] Howell HB, Zaccario M, Kazmi SH, et al. Neurodevelopmental outcomes of children with congenital heart disease: A review[J]. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*, 2019, 49(10): 100685.
- [16] Zheng G, Wu J, Chen P, et al. Characteristics of in-hospital mortality of congenital heart disease (CHD) after surgical treatment in children from 2005 to 2017: A single-center experience[J]. *BMC Pediatr*, 2021, 21(1): 521.
- [17] Kansy A, Tobota Z, Maruszewski P, et al. Analysis of 14 843 neonatal congenital heart surgical procedures in the European Association for Cardiothoracic Surgery Congenital Database[J]. *Ann Thorac Surg*, 2010, 89(4): 1255-1259.
- [18] Marelli A, Gauvreau K, Landzberg M, et al. Sex differences in mortality in children undergoing congenital heart disease surgery: A United States population-based study[J]. *Circulation*, 2010, 122(Suppl 11): 234-240.
- [19] Pugnali F, Felici A, Corno AF, et al. Gender differences in congenital heart defects: A narrative review[J]. *Transl Pediatr*, 2023, 12(9): 1753-1764.
- [20] Zhao L, Chen L, Yang T, et al. Birth prevalence of congenital heart disease in China, 1980—2019: A systematic review and Meta-analysis of 617 studies[J]. *Eur J Epidemiol*, 2020, 35(7): 631-642.
- [21] 荆俊鹏,马刚,付春云,等. 广西地区围产儿先天性心脏病发生率及其预后危险因素分析[J]. *现代预防医学*, 2020, 47(20): 3822-3826.
- Jing JP, Ma G, Fu CY, et al. Incidence and prognostic risk factors of congenital heart disease of perinatal infants, Guangxi[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2020, 47(20): 3822-3826. (in Chinese)
- [22] Xiang L, Su Z, Liu Y, et al. Effect of family socioeconomic status on the prognosis of complex congenital heart disease in children: An observational cohort study from China[J]. *Lancet Child Adolesc Health*, 2018, 2(6): 430-439.
- [23] Zhang H, Shi L, Yang J, et al. Efficiency and equity of bed utilization in China's health institutions: Based on the rank-sum ratio method[J]. *Int J Equity Health*, 2023, 22(1): 177.
- [24] Liu A, Diller GP, Moons P, et al. Changing epidemiology of congenital heart disease: Effect on outcomes and quality of care in adults[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2023, 20(2): 126-137.
- [25] Wu W, He J, Shao X. Incidence and mortality trend of congenital heart disease at the global, regional, and national level, 1990—2017 [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(23): e20593.
- [26] 刘迎龙,苏俊武,许耀强. 先天性心脏病三级防治对促进全民健康助力全面小康的重要贡献[J]. *中国医药*, 2020, 15(8): 1153-1156.
- Liu YL, Su JW, Xu YQ, et al. The important contribution of the tertiary prevention and treatment of congenital heart disease in national health and prosperity for all[J]. *China Medicine*, 2020, 15(8): 1153-1156. (in Chinese)
- 收稿日期: 2024-09-26 修回日期: 2025-02-17 本文编辑: 李少闻

(上接第 1371 页)

- [21] Percival S, Sims T, Stebbings GK. Local vibration therapy, oxygen resaturation rate, and muscle strength after exercise-induced muscle damage[J]. *J Athl Train*, 2022, 57(5): 502-509.
- [22] Chagas PSC, Magalhães EDD, Sousa Junior RR, et al. Development of children, adolescents, and young adults with cerebral palsy according to the ICF: A scoping review[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2023, 65(6): 745-753.
- [23] Mailleux L, Feys H. Upper limb strength training and somatosensory stimulation: Optimizing self-care independence for children with unilateral cerebral palsy[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2019, 61(9): 998.
- [24] 王浩,吴洁,王栋,等. 全身振动疗法对痉挛型脑瘫患儿坐位及整体运动平衡能力的影响[J]. *浙江临床医学*, 2023, 25(9): 1304-1306.
- Wang H, Wu J, Wang D, et al. Effects of whole body vibration therapy on sitting and overall motor balance in children with spastic cerebral palsy[J]. *Zhejiang Clin Med*, 2023, 25(9): 1304-1306. (in Chinese)
- [25] 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[J]. *PLoS One*, 2020, 15(7): e0235905-e0235935.
- 收稿日期: 2024-10-21 修回日期: 2025-04-27 本文编辑: 李少闻