·数字康复与神经发育·

MOTOmed 虚拟情景训练联合全身振动训练对痉挛型脑性瘫痪患儿下肢功能与步态平衡的影响

吴值荣，石立业，吕楠，李海贝

郑州大学附属儿童医院/河南省儿童医院/郑州儿童医院康复中心，河南 郑州　450000

摘　要：目的　分析 MOTOmed 虚拟情景训练联合全身振动训练对痉挛型脑性瘫痪（SCP）患儿下肢功能与步态平衡的影响，为 SCP 患儿的康复治疗提供依据。**方法**　选取 2023 年 12 月—2024 年 12 月于郑州大学附属儿童医院康复医学科就诊的 72 例 SCP 患儿为研究对象，采用随机数字表法分为对照组和观察组，每组各 36 例。在接受基础康复训练（包括运动疗法、作业疗法、电子生物反馈疗法、中医推拿及蜡疗等）的基础上，对照组给予 MOTOmed 虚拟情景训练；观察组给予 MOTOmed 虚拟情景训练联合全身振动训练。干预 12 周后，比较两组患儿下肢腓肠肌肌张力、被动背屈踝关节腓肠肌与主动跖屈踝关节腓肠肌肌电信号的均方根值（RMS）、粗大运动功能评定量表 88 项（GMFM-88）测评中 D 区（站立）、E 区（行走跑跳）评分、重心移动轨迹面积、10m 步行测试（10mWT）时间、足底压力偏差，评估联合干预对患儿下肢功能与步态平衡的改善效果。**结果**　干预前，两组各项指标差异均无统计学意义（$P>0.05$）。干预后，观察组下肢腓肠肌肌张力评分（$Z=-2.861$）、被动背屈踝关节腓肠肌 RMS（$t=-2.395$）、主动跖屈踝关节腓肠肌 RMS（$t=-2.058$）、重心移动轨迹面积（$t=-2.029$）、10mWT（$t=-2.538$）、足底压力偏差（$t=-2.094$）均显著低于对照组（$P<0.05$）；观察组 D 区（$t=2.052$）、E 区（$t=2.059$）功能评分均显著高于对照组（$P<0.05$）。**结论**　MOTOmed 虚拟情景训练联合全身振动训练能够有效改善 SCP 患儿的下肢肌张力，提升站立和行走跑跳功能，优化动态平衡性与步态稳定性。

关键词：痉挛型脑性瘫痪；全身振动训练；MOTOmed 虚拟情景训练；下肢功能；步态平衡

中图分类号：R179　**文献标识码：**A　**文章编号：**1008-6579(2026)08-0837-05　doi:10.11852/zgetbjzz2026-0127

Effect of MOTOmed virtual scenario training combined with whole-body vibration training on lower limb function and gait balance in children with spastic cerebral palsy

WU Zhirong, SHI Liye, LÜ Nan, LI Haibei

Rehabilitation Center, Children's Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Henan Children's Hospital, Zhengzhou Children's Hospital, Zhengzhou, Henan 450000, China

Corresponding author: LI Haibei, E-mail: zz20lihaibei260268@126.com

Abstract: Objective　To investigate the synergistic effects of whole-body vibration training combined with MOTOmed virtual scenario training on lower limb function and gait balance in children with spastic cerebral palsy (SCP), so as to provide an evidence-based reference for the rehabilitation treatment of children with SCP. **Methods**　A total of 72 children diagnosed with SCP were recruited from the Department of Rehabilitation Medicine, Children's Hospital Affiliated to Zhengzhou University between December 2023 and December 2024. Participants were randomly assigned into a control group and an observation group using a random number table, with 36 cases in each group. Both groups received conventional rehabilitation training. The control group additionally received MOTOmed-assisted virtual scenario training, while the observation group received MOTOmed-assisted virtual scenario training combined with whole-body vibration training. The intervention lasted for 12 weeks. After 12 weeks of intervention, indicators including lower limb gastrocnemius muscle tone, root mean square (RMS) values of the gastrocnemius during passive ankle dorsiflexion and active ankle plantarflexion, Gross Motor Function Measure 88 (GMFM-88) scores for dimension D (standing) and dimension E (walking, running, and jumping), center of pressure (CoP) sway area, 10-meter walk test (10mWT) time, and plantar pressure deviation were compared between the two groups to evaluate the efficacy of the combined intervention

基金项目：河南省医学科技攻关计划联合共建项目（LHGJ20240590）；河南省医学科技攻关计划联合共建项目（LHGJ20220752）；郑州市医疗卫生领域科技创新指导计划项目（2025YLZDJH043）

作者简介：吴值荣（1982—），女，副主任医师，硕士学位，主要从事儿童康复的诊疗。

通信作者：李海贝，E-mail：zz20lihaibei260268@126.com

on improving lower limb function and gait balance. **Results** Before the intervention, there were no significant differences in any outcome between the two groups ($P>0.05$). After the intervention, the gastrocnemius muscle tone score of the lower limbs was significantly lower in the observation group than in the control group ($Z=-2.861$, $P<0.05$). Furthermore, the observation group demonstrated significantly lower RMS values for passive ankle dorsiflexion ($t=-2.395$) and active ankle plantarflexion ($t=-2.058$), center of gravity sway area ($t=-2.029$), 10mWT time ($t=-2.538$), and plantar pressure deviation ($t=-2.094$) compared to the control group ($P<0.05$). Functional assessment indicated a significantly higher GMFM dimension D($t=2.052$) and E($t=2.059$) score in the observation group compared to the control group ($P<0.05$). **Conclusion** Whole-body vibration training combined with conventional rehabilitation and MOTOmed-assisted virtual scenario training may further reduce lower-limb muscle tone, improve walking/running/jumping function, and optimizes dynamic balance and gait stability in children with SCP.

Keywords: spastic cerebral palsy; whole-body vibration training; MOTOmed virtual scenario training; lower limb function; gait balance

痉挛型脑性瘫痪(spastic cerebral palsy,SCP)是脑瘫中最常见的类型,约占全部小儿脑瘫病例的70%～80%[1-2],严重影响患儿的生活质量和社会参与能力。探索有效的康复治疗方法,是康复医学领域的研究重点[3]。随着康复技术的进步,多种物理疗法和康复训练设备被应用于脑瘫患儿的康复治疗。MOTOmed 虚拟情景训练作为一种智能化康复训练,能够通过模拟正常的步行运动模式,促进患儿下肢肌肉力量的恢复和关节活动度的增加,并提升患儿的兴趣度、投入性,具有较好的康复效果。然而,单一的治疗方式难以满足患儿复杂多样的康复需求,因此,联合应用多种康复手段,以期达到更佳的康复效果,已成为当前脑瘫康复治疗的新趋势。全身振动训练作为一种新兴的康复技术,能够通过向人体传递特定频率和振幅的振动刺激,激活肌肉收缩、改善血液循环、促进神经肌肉功能的恢复。相关研究表明,全身振动训练在改善肌张力、增强肌肉力量和促进运动功能恢复方面具有较大潜力[4]。本研究通过观察全身振动训练联合 MOTOmed 虚拟情景训练在 SCP 患儿中的疗效,旨在为 SCP 患儿的康复治疗提供依据。

1 对象和方法

1.1 一般资料 选取 2023 年 12 月—2024 年 12 月在郑州大学附属儿童医院康复医学科就诊的 72 例 SCP 患儿,采用随机数字表法分为对照组和观察组,每组各 36 例。纳入标准:1)符合 SCP 诊断标准;2)依从性较好;3)粗大运动功能分级(gross motor function classification system,GMFCS)评级Ⅰ～Ⅱ级。排除标准:存在以下情况 1)认知障碍;2)关节固定挛缩;3)选择性脊神经后根切断或周围神经选择性切断术;4)下肢外科矫形手术史;5)重要脏器疾病;6)听力障碍、交流障碍、行为障碍、癫痫等问题。两组患儿的一般资料见表 1。本研究经郑州大学附属儿童医院伦理委员会审批(医院伦理批件号:2025-IIT-004-002),患儿监护人均知情同意。

表 1 对照组和观察组患儿一般资料比较(例,%)

Tab. 1 Comparison of general characteristics between control group and observation group (n,%)

项目		对照组(n=36)	观察组(n=36)	Z/χ^2值	P值
年龄[岁,$M(P_{25},P_{75})$]		3(2,4)	3(2,4)	0.018[a]	0.986
性别	男	23(63.89)	24(66.67)	0.061[b]	0.804
	女	13(36.11)	12(33.33)		
瘫痪类型	双瘫	20(55.56)	21(58.33)	0.057[b]	0.812
	偏瘫	16(44.44)	15(41.67)		
GMFCS 评级	Ⅰ	17(47.22)	18(50.00)	0.056[a]	0.814
	Ⅱ	19(52.78)	18(50.00)		

注:[a]Z值,[b]χ^2值。

1.2 方法 所有患儿均接受基础康复训练。运动疗法包括 Bobath 球上训练:利用矫正反应,抑制异常的运动模式,建立正确运动模式。牵引-悬吊:可针对患儿功能障碍选择恰当的牵引-悬吊训练装置,在不稳定的平面上,激活肢体主动肌、拮抗肌、协同肌,在减重状态与正常姿势下促进肢体负重,训练动态平衡,提高核心稳定性。关节松动训练:间接拉伸过度紧张的肌肉,抑制关节粘连,扩大关节活动范围,改善肌肉紧张度。平衡功能训练:通过在不稳定平面上的刺激,改善患儿对快速位置变化的调节能力,促进躯体深、浅肌肉的协调运动,帮助患儿建立运动平衡功能,如跪位、独站及独走平衡。作业疗法:主要改善上肢的关节活动范围、肌肉力量、手眼协调性。手功能训练:通过训练手伸、屈、抓、握、推、拿等动作提高精细运动功能。电子生物反馈疗法:通过打破“生理盲区”,将无意识过程转化为可控行为,发挥“神经-肌肉-认知”的关键工具,可抑制痉挛肌、激活拮抗肌,输入正确的运动认知模式;传统中医推拿:疏通经络、调整阴阳、促进气血运行,结合现

代康复理论，应用不同的按摩手法，达到调节浅筋膜紧张度及肌张力的作用。蜡疗：通过温热效应，改善局部血液循环，缓解肌肉紧张。1 次/d，5 次/周，连续训练 12 周。

对照组给予 MOTOmed 虚拟情景训练。采用 MOTOmed Viva2 型虚拟情景运动系统。训练前，在脚踏架上将下肢固定并调整至舒适位置。训练时，大屏幕呈现与患儿下肢运动同步的虚拟骑行竞赛场景，通过视、听及综合运动疗法训练其肌力、行动能力及协调平衡能力。30min/次，1 次/d，5 次/周，连续训练 12 周。

观察组给予 MOTOmed 虚拟情景训练联合全身振动训练。MOTOmed 虚拟情景训练方法同对照组。全身振动训练，使用全身振动训练仪（韩国 SONIX 公司，型号：SW-VM10）的垂直振动模式（频率 12Hz，振幅 4mm）。训练循环：3min 垂直振动＋3min 深蹲位振动，持续 15min（垂直振动总时间 9min，深蹲位振动总时间 6min）。垂直振动姿势：患儿直立站于振动平台，双脚分开与肩同宽，脚尖稍外展，身体重心保持中线，双手握扶手。深蹲位振动姿势：躯干伸展，腹部收紧，膝关节屈曲＞40°，足前部垫 2cm 厚毛巾卷，双踝适当背屈使小腿后肌群充分牵伸。整个训练在专业治疗师指导下完成。特殊处理：可使用弹力绷带缠绕踝关节及膝关节，增强存在下肢感觉障碍患儿感知压力刺激的能力，并指导其注视镜子调整身体姿势。MOTOmed 虚拟情景训练和全身振动训练各进行 15min，各 1 次/d，各 5 次/周，连续训练 12 周。

1.3　评价标准

1.3.1　下肢肌张力　干预前、干预 12 周结束时，采用改良 Ashworth 量表（Modified Ashworth Scale，MAS）评估两组患儿下肢腓肠肌肌张力，包括 0、1、1＋（1.5）、2、3、4 级，等级越高说明下肢肌张力越大。该量表已得到充分验证，内容效度总相关系数范围为 0.61～0.76，效标效度相关系数范围为 0.70～0.83，能精准反映下肢肌张力状态；信度优异，组内相关系数（ICC）＞0.90。

1.3.2　表面肌电　使用肌电仪测量，采集腓肠肌在踝关节背屈和跖屈时的表面肌电信号，计算均方根（root mean square，RMS）值，RMS 值越大，说明肌肉收缩越强。

1.3.3　D（站立）、E 区（行走跑跳）功能　干预前、干预 12 周结束时，采用粗大运动功能评定量表 88 项（Gross Motor Function Measure 88，GMFM-88）评估患儿站立能力（D 区）、行走跑跳能力（E 区）。D 区共 13 项，每项 0～3 分，总分 39 分；E 区共 24 项，每项 0～3 分，总分 72 分。得分越高，表明功能恢复越好。该量表内容效度良好，能有效评估患儿的站立、行走跑跳等粗大运动功能；信度优异，ICC 均＞0.90。

1.3.4　平衡功能　采用 D-wall 三维动作捕捉分析系统评估患儿静态站立时的平衡功能，捕捉并分析患儿重心移动轨迹。采用系统自带软件计算重心移动的面积及长度。

1.3.5　足底压力偏差　采用足底压力扫描仪测量，指导患儿赤足站立于板中央保持 10s 静态姿势后保存数据。采集患儿足底压力变化，计算足底压力偏差，重复 3 次取平均值。

1.3.6　10m 步行测试　10m 步行测试（10-meter walk test，10mWT）：患儿在平坦走廊以自然速度行走，起点和终点各预留 2～3m 作为加速和减速区，有效测量距离为 10m。进行 3 次重复试验，记录通过时间。

1.4　质量控制　采用评估者盲法的单中心临床随机对照试验。涉及人员均已按照标准完成统一规范化训练。采用标准化操作流程，确保干预效果的可测量性与可重复性。评估采用同一场地和时间段以确保干预前后评估条件一致。干预前后均由同一名经专业培训的治疗师进行评估。所有操作人员均具备中级以上职称，且年资相近。

1.5　统计学方法　SPSS 27.0 处理数据，符合正态分布计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示，采用 t 检验，非正态分布计量资料采用 $M(P_{25},P_{75})$ 表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验，组内比较采用 Wilcoxon 符号秩检验。计数资料以例数（%）表示，采用 χ^2 检验。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2　结　果

2.1　下肢腓肠肌肌张力评分比较　干预前，观察组［2（1.5，3）分］与对照组下肢腓肠肌肌张力评分［2（1.5，3）分］比较，差异无统计学意义（$Z=0.990$，$P>0.05$）。干预后，观察组下肢腓肠肌肌张力评分［1.5（1，1.5）分］显著低于对照组［1.5（1.5，2）分，$Z=-2.861$，$P<0.05$］，且两组患儿下肢腓肠肌肌张力评分较干预前显著改善（$P<0.05$）。

2.2　表面肌电活动的 RMS、GMFM-88 测评中 D 区、E 区功能评分、动态平衡和步态稳定性功能比较　干预前，两组各项指标差异均无统计学意义（$P>0.05$）。干预后，观察组被动背屈踝关节腓肠肌和主动跖屈踝关节腓肠肌 RMS、重心移动轨迹面积、

10mWT、足底压力偏差均显著低于对照组（$P<0.05$）。观察组 GMFM-88 测评中 D 区、E 区功能评分均显著高于对照组（$P<0.05$）。见表 2。

表 2 对照组和观察组患儿表面肌电活动的 RMS、GMFM-88 测评中 D、E 区功能评分、动态平衡和步态稳定性功能比较（$\bar{x}\pm s$）

Tab. 2 Comparison of surface electromyography RMS, GMFM-88 D and E scores, dynamic balance, and gait stability between the control and observation groups（$\bar{x}\pm s$）

项目	组别	例数	干预前	干预后	t 值	P 值
被动背屈踝关节腓肠肌 RMS（μV）	对照组	36	106.72±16.33	84.17±14.22	−6.946	<0.001
	观察组	36	108.43±17.29	78.21±13.98	−7.996	<0.001
	t 值		0.431	−2.395		
	P 值		0.668	0.019		
主动跖屈踝关节腓肠肌 RMS（μV）	对照组	36	118.43±18.22	89.45±17.42	−7.176	<0.001
	观察组	36	116.53±19.37	81.25±16.37	−9.398	<0.001
	t 值		−0.429	−2.058		
	P 值		0.670	0.043		
D 区功能评分	对照组	36	24.33±6.85	28.06±9.78	5.878	<0.001
	观察组	36	24.39±6.33	32.33±7.79	9.801	<0.001
	t 值		0.037	2.052		
	P 值		0.969	0.044		
E 区功能评分	对照组	36	18.11±5.15	21.22±4.89	6.701	<0.001
	观察组	36	18.13±4.95	23.39±3.88	6.857	<0.001
	t 值		0.016	2.059		
	P 值		0.984	0.041		
重心移动轨迹面积（mm^2）	对照组	36	556.17±162.13	533.99±158.88	−34.134	<0.001
	观察组	36	553.07±162.38	460.61±147.76	−32.231	<0.001
	t 值		−0.081	−2.029		
	P 值		0.936	0.046		
10mWT（s）	对照组	36	19.36±5.22	15.76±4.58	−2.745	0.010
	观察组	36	18.72±5.89	13.18±4.03	−5.238	<0.001
	t 值		−0.488	−2.538		
	P 值		0.627	0.013		
足底压力偏差（%）	对照组	36	20.54±5.48	14.63±4.22	−4.955	<0.001
	观察组	36	21.29±6.37	12.78±3.21	−6.637	<0.001
	t 值		0.536	−2.094		
	P 值		0.594	0.040		

3 讨 论

3.1 SCP 患儿的病理机制及康复治疗的核心理念

SCP 是小儿脑瘫常见类型，病理基础涉及锥体束损伤，临床表现包括肌张力明显增高、肢体关节活动受限、姿势异常等。如未得到有效干预，可能会进一步造成肌肉挛缩与关节变形等继发性问题[5-6]。SCP 患儿康复治疗的核心理念是降低肌肉张力、增加肌肉力量、抑制异常的运动模式，促进正常运动模式形成，从而改善患儿运动的协调性、独立性、平衡性，最大限度恢复肢体运动功能[7-8]。同时康复训练还需要强调患儿与家长的主观能动性，树立康复信心，保持长期的积极配合[9-10]。因此，选择既有康复疗效又能调动家长与患儿的主观能动性、配合度高的治疗方法至关重要。

3.2 MOTOmed 虚拟情景训练及全身振动训练的作用机制

MOTOmed 虚拟情景训练可以通过虚拟现实技术提高患儿康复训练的积极性和投入性。其治疗机制在于：训练时，通过持续增加传入大脑皮层的神经冲动，提高大脑皮层运动的敏感性及神经通路传递效率，减少并抑制异常的运动模式，促进双侧肢体分离运动的出现、建立正确的运动模式，从而调节肢体肌张力、增加肌肉力量、改善关节活动度，提高肢体运动的平衡性、稳定性。同时，该训练还融合了功能性渐进阻力运动的原理，将功能性动作模式和渐进性阻力训练相结合，有效提高了日常活动能力、肌肉力量及运动表现，降低运动损伤风险。

全身振动训练可通过对肢体的刺激增强肌肉骨骼功能[11-12]。训练采用垂直振动模式，通过振动平台产生沿人体 Z 轴方向的周期性往复推力，将振动能量均匀传导至下肢、躯干及全身。这种驱动模式运行平稳，在规范设置参数的前提下，能大幅降低身

体紧张程度与体重差异带来的振动效果偏差，保证了振动平台运行的稳定性与训练环境的可重复性。其作用机理在于：振动刺激可激活肌梭，兴奋 α-运动神经元，达到增强肌肉收缩和运动单位电位同步化的目的，同时给予骨骼重复性应力刺激，优化肌肉-骨骼系统的结构和功能[13-14]。

3.3　联合干预对 SCP 患儿下肢功能与步态平衡的影响　干预结束时，观察组下肢肌张力、表面肌电活动的 RMS 改善情况明显优于对照组，表明全身振动训练的加入对于缓解 SCP 患儿的肌张力过高现象具有显著效果。推测原因：MOTOmed 虚拟情景训练营造了生动逼真的自行车竞赛场景，患儿通过模拟骑行锻炼下肢肌肉，有趣的环境提升了训练依从性和积极性，有利于下肢康复和肌张力降低。而全身振动训练中，深蹲位锻炼增强了患儿下肢力量，治疗师持续纠正姿势并辅助训练，有助于缓解高肌张力导致的姿势异常；垂直振动可放松因肌张力过高而僵硬的肌肉；深蹲位振动则能牵伸肌肉和韧带，刺激肌梭，从而调节下肢肌张力。

观察组在联合干预后 D、E 区功能评分均高于对照组，说明该方案对提升患儿站立和行走跑跳能力效果更佳。MOTOmed 虚拟情景训练直接锻炼了下肢肌肉力量、行动能力及协调平衡能力，有利于 D、E 区粗大运动功能的恢复；全身振动训练中，垂直站立位振动强化了躯干、髋关节及下肢力量，深蹲位振动不仅激活了踝、膝关节及关节周围肌群，增强了肌肉力量，还提高了关节运动控制的稳定性、肌群的协调性，从而改善肢体运动的平衡性、稳定性。

观察组重心移动轨迹面积、10mWT、足底压力偏差明显小于对照组，说明在改善患儿平衡性和步态稳定性方面，联合干预效果更佳。MOTOmed 虚拟情景训练可调动患儿训练的主动性和积极性，加上其提供持续稳定的运动刺激，实现了康复训练的可持续性，为肌张力降低、运动功能改善提供了保证。全身振动训练则可能通过刺激神经肌肉系统来调节肌张力、增强肌力和运动耐力，从而促使出现完整且稳定的运动动作，主要因为振动训练通过反复挤压关节，一方面通过刺激肌腱和韧带本体感受器来增强本体觉，另一方面通过刺激肌梭感受器，兴奋伸肌肌群，促进钙离子的释放，进而募集更多的肌肉运动单位，增加肌肉力量；振动还可降低交互抑制和脊髓上抑制，导致振动后 H 反射的抑制，实现主动肌与拮抗肌间的运动平衡协调；振动刺激还可能诱导神经传导的突触前抑制，减少神经递质的释放，维持肌肉张力、产生协调运动、快速应对异常姿势干扰，使行走时肢体交替摆动更协调；在中枢层面，振动信号的传导激活了中央前回运动区，促进形成新突触及重塑中枢神经[15]。

综上所述，全身振动训练联合 MOTOmed 虚拟情景训练能够有效改善 SCP 患儿的下肢肌张力，提升站立和行走跑跳功能，优化动态平衡性与步态稳定性。然而，本研究样本量较小，且仅评估干预 12 周结束时的效果，未来应扩大样本量并延长观察时间，以全面评估干预的长期效果。

利益冲突声明　本文不存在利益冲突

数据可用性声明　本研究的原始数据因涉及参与者隐私保护、伦理限制及法律约束等原因，无法公开共享。经脱敏处理后的数据可根据合理请求，向负责人申请获取（wzrzz2021@163.com）。申请人需通过伦理委员会审批，并签署数据使用协议。

参考文献

[1] Åhblom A, Pontén E, Destro A, et al. Exploration of the triceps surae muscle in ambulatory children with cerebral palsy using instrumented measurements of stiffness and diffusion tensor magnetic resonance imaging for muscle architecture[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2024, 25(1): 803.

[2] 左心玮，刘港，白惠中，等. 痉挛型脑性瘫痪儿童腰椎与髋关节发育的关系[J]. 中国组织工程研究，2024，28(8)：1247-1252.
Zuo XW, Liu G, Bai HZ, et al. Relationship between lumbar spine development and hip development in children with spastic cerebral palsy[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2024, 28(8): 1247-1252. (in Chinese)

[3] Panda S, Singh A, Kato H, et al. Cerebral palsy: A current perspective[J]. Neoreviews, 2024, 25(6): e350-e360.

[4] Yilmaz Menek M, Dansuk E, Tayboga UI. Effect of local vibration therapy on pain, joint position sense, kinesiophobia, and disability in cervical disc herniation: A randomized controlled trial[J]. J Clin Med, 2024, 13(15): 4566.

[5] Do KP, Feng J, Bauer JP. Factors associated with flexed knee gait in unilateral cerebral palsy[J]. J Child Orthop, 2025, 19(2): 151-157.

[6] Seo NJ, Brinkhoff M, Fredendall S, et al. The use of TheraBracelet upper extremity vibrotactile stimulation in a child with cerebral palsy-A case report[J]. Electronics, 2024, 13(16): 3147.

[7] Ramírez-Barragán A, Galán-Olleros M, Egea-Gámez RM, et al. Contractura rígida grave de flexión-abducción de cadera en parálisis cerebral: Reporte de un caso y revisión de la literatura[J]. Acta Ortop Mex, 2024, 38(3): 197-201.

[8] Chambers HG. From 'bench to bedside': Dissolving muscle contractures in cerebral palsy[J]. Dev Med Child Neurol, 2023, 65(12): 1548-1549.

[9] Hu YJ, Tian JJ, Wen XL, et al. Clinical effects of MOTOmed intelligent exercise training combined with intensive walking training on the rehabilitation of walking, nerve and lower limb functions among patients with hemiplegia after stroke[J]. Pak J Med Sci, 2022, 38(5): 1222-1227.

（下转第 867 页）

velopment at 2 years old[J]. BMC Med, 2024, 22(1): 220.
[3] Necula AI, Stoiciu R, Radulescu Botica R, et al. Neurological outcomes in late preterm infants: An updated review of recent research and clinical insights[J]. Diagnostics, 2025, 15(12): 1514.
[4] Griesmaier E, Schreiner C, Winkler I, et al. Association of aEEG and brain injury severity on MRI at term-equivalent age in preterm infants[J]. Acta Paediatr, 2024, 113(2): 229-238.
[5] Chen SL, Zhao JZ, Hu XL, et al. Children neuropsychological and behavioral scale-revision 2016 in the early detection of autism spectrum disorder[J]. Front Psychiatry, 2022(13): 893226.
[6] 张沂洁, 朱燕, 陈超. 早产儿发生率及变化趋势[J]. 中华新生儿科杂志, 2021, 36(4): 74-77.
[7] Sharma D, Padmavathi IV, Tabatabaii SA, et al. Late preterm: A new high risk group in neonatology[J]. J Matern Fetal Neonatal Med, 2021, 34(16): 2717-2730.
[8] Gill JV, Boyle EM. Outcomes of infants born near term[J]. Arch Dis Child, 2017, 102(2): 194-198.
[9] Dewan MV, Weber PD, Felderhoff-Mueser U, et al. A simple MRI score predicts pathological general movements in very preterm infants with brain injury—Retrospective cohort study[J]. Children, 2024, 11(9): 1067.
[10] Song IG. Neurodevelopmental outcomes of preterm infants[J]. Clin Exp Pediatr, 2023, 66(7): 281-287.
[11] 傅慧青, 黄为民, 陈志权, 等. 婴儿运动表现测试联合全身运动评估及头颅磁共振成像对早产儿神经运动发育结局的预测价值[J]. 川北医学院学报, 2024, 39(9): 1171-1175.
Fu HQ, Huang WM, Chen ZQ, et al. Analysis of the predictive value of infant motor performance tests combined with GMs and cranial MRI for neuromotor developmental outcomes in preterm infants[J]. Journal of North Sichuan Medical College, 2024, 39(9): 1171-1175. (in Chinese)
[12] Ueda K, Tsuda K, Yamada T, et al. Incidence andrisk factors of white matter lesions in moderate and late preterm infants[J]. Diagnostics, 2025, 15(7): 881.
[13] Wang Y, Zhu J, Zou N, et al. Pathogenesis fromthe microbial-gut-brain axis in white matter injury in preterm infants: A review[J]. Front Integr Neurosci, 2023, 17: 1051689.
[14] Cho KHT, Xu B, Blenkiron C, et al. Emergingroles of miRNAs in brain development and perinatal brain injury[J]. Front Physiol, 2019(10): 227.
[15] Crowther CA, Ashwood P, Middleton PF, et al. Prenatal-intravenous magnesium at 30 to 34 weeks' gestation and neurodevelopmental outcomes in offspring: The MAGENTA randomized clinical trial[J]. Obstet Anesth Dig, 2024, 44(2): 94.
[16] Strzalko B, Karowicz-Bilinska A, Wyka K, et al. Serum S100β protein concentrations in SGA/FGR newborns[J]. Ginekol Pol, 2021. doi: 10.5603/gp.a2021.0119.
[17] Ladyman SR, Larsen CM, Taylor RS. et al. Case-control study of prolactin and placental lactogen in SGA pregnancies[J]. Reprod Fertil, 2021, 2(4): 244-250.
[18] Velipaşaoglu M, Yurdakök M, Özyüncü Ö, et al. Neural injury markers to predict neonatal complications in intrauterine growth restriction[J]. J Obstet Gynaecol, 2015, 35(6): 555-560.
[19] Perrone S, Grassi F, Caporilli C, et al. Brain damage in preterm and full-term neonates: Serum biomarkers for the early diagnosis and intervention[J]. Antioxidants, 2023, 12(2): 309.
[20] Qian J, Zhou D, Wang YW. Umbilical artery blood S100β protein: A tool for the early identification of neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy[J]. Eur J Pediatr, 2009, 168(1): 71-77.
[21] Pellkofer Y, Hammerl M, Griesmaier E, et al. The effect of postnatal cytomegalovirus infection on (micro)structural cerebral development in very preterm infants at term-equivalent age[J]. Neonatology, 2023, 120(6): 727-735.
[22] Yin J, Wu Y, Shi Y, et al. Relationship between the quantitative indicators of cranial MRI and the early neurodevelopment of preterm infants[J]. Comput Math Methods Med, 2021, 2021: 6486452.
[23] Badr EA, Ismail MS. Neurobehavioral outcome of multisensory stimulation intervention in preterm neonates: Randomised controlled trial[J]. J Neonatal Nurs, 2024, 30(6): 661-667.

收稿日期:2025-10-28　**修回日期**:2026-05-12　**本文编辑**:李少闻

(上接第 841 页)

[10] Li ZY, Hou YF, Su GT, et al. Does acupuncture combined with MOTOmed movement therapy have a better rehabilitation effect on post-stroke hemiplegia patients? A systematic review and meta-analysis[J]. Top Stroke Rehabil, 2024, 32(5): 512-530.
[11] Zhuang M, Gu Y, Wang Z, et al. Effects of 12-week whole-body vibration training versus resistance training in older people with sarcopenia[J]. Sci Rep, 2025, 15: 6981.
[12] Alfieri GR, Eaton AC, Dourvetakis K, et al. Impact of whole-body vibration therapy in elderly populations: A scoping review[J]. Cureus, 2025, 17(2): e79296.
[13] Akan Begoğlu F, Yılmaz F, Öncü Alptekin J, et al. Effects of whole-body vibration in horizontal position on bone, quality of life, and balance in postmenopausal osteoporosis[J]. Turk J Phys Med Rehab, 2024, 70(4): 433-442.
[14] 任雪松, 蔡志军, 张小安, 等. 全身振动训练联合肉毒毒素注射对痉挛型双瘫脑瘫儿童尖足及粗大运动功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(9): 688-692.
Ren XS, Cai ZJ, Zhang XA, et al. Whole body vibration combined with botulinum neurotoxin A injection in the treatment of spastic diplegic cerebral palsy[J]. Chin J Phys Med Rehabil, 2019, 41(9): 688-692. (in Chinese)
[15] 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.
Li X, Yu LM, Long YB. Effect of whole-body vibration training and combined with belly band for motor function of children with spastic cerebral palsy[J]. J Child Health Care, 2020, 28(11): 1294-1297. (in Chinese)

收稿日期:2026-02-03　**修回日期**:2026-06-08　**本文编辑**:李少闻