

石墨烯温热外展矫形器对痉挛型脑瘫患儿髋关节发育的影响

崔美玉, 刘建军*, 张雁, 曾凡勇

中国康复研究中心(北京博爱医院), 北京 100068

* 通信作者: 刘建军, E-mail: ljj990@163.com

收稿日期: 2022-10-12; 接受日期: 2023-04-28

基金项目: 中国残疾人联合会课题项目(CJFJRRB09-2019)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2023.05010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



摘要 目的:观察石墨烯温热外展矫形器对痉挛型脑瘫患儿髋关节发育的影响。**方法:**将28例(56髋)2~10岁的痉挛型脑瘫患儿采用随机数字表法分为对照组和治疗组,其中5例(10髋)退出研究,最终对照组12例(24髋)和治疗组11例(22髋)。2组均接受常规康复训练,在此基础上对照组进行内收肌外展牵拉治疗,治疗组佩戴石墨烯温热外展矫形器。治疗时内收肌最小角度 $>30^{\circ}$,每天训练时间1~2 h,共治疗2个月。分别在治疗前后测量2组患儿股骨头偏移百分比(MP)、髋臼指数(AI)、颈干角(NSA)、粗大运动功能评定量表(GMF)和改良Tardieu量表(MTS),并计算其差值。根据以上指标比较2组的疗效。**结果:**对照组治疗后GMFM(49.90 \pm 13.08)较治疗前(47.67 \pm 3.56)明显改善($P<0.05$),MP、AI及MTS与治疗前比较差异无统计学意义($P>0.05$),治疗后NSA(156.92 \pm 9.31) $^{\circ}$ 较治疗前(149.00 \pm 8.07) $^{\circ}$ 明显改善($P<0.05$)。治疗组MP、AI、GMFM及MTS治疗后分别为(26.82 \pm 12.44)%、[15.00(13.75, 19.00)] $^{\circ}$ 、(55.96 \pm 0.12)、(26.12 \pm 7.49) $^{\circ}$ 优于治疗前的(31.93 \pm 11.37)%、[17.50(13.00, 21.00)] $^{\circ}$ 、(51.79 \pm 9.15)、(19.09 \pm 8.93) $^{\circ}$,差异均有统计学意义($P<0.05$);治疗后NAS(152.20 \pm 8.72) $^{\circ}$ 较治疗前(154.27 \pm 1.03) $^{\circ}$ 相比,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗组d-MP[3.75(0.09, 10.61)]%、d-NAS(2.28 \pm 9.54) $^{\circ}$ 、d-GMF(-3.80 \pm 1.97)与对照组的[0.00(-3.70, 2.80)]%、(-7.90 \pm 8.63) $^{\circ}$ 、(-2.14 \pm 1.60)相比较,差异有统计学意义($P<0.05$),d-AI和d-MTS值差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**石墨烯温热外展矫形器可以有效改善脑瘫患儿髋关节脱位或半脱位,并可延缓其进展,改善粗大运动功能。

关键词 脑性瘫痪;髋关节脱位;石墨烯;外展矫形器

脑性瘫痪(cerebral palsy, CP)简称脑瘫,是导致儿童躯体残疾的最常见原因^[1-2]。由于髋关节屈曲、内收肌群的过度活动和痉挛导致髋关节无法保持头白同心位,股骨头近端前倾和颈-轴外翻增加,同时CP患儿的运动功能落后导致负重不足,髋臼发育表浅,最终出现髋关节脱位和骨关节畸形^[3-5]。研究显示,CP患儿髋关节半脱位的发生率为27%~35%^[6-7],全脱位的发生率10%~15%^[8-9]。早期髋关节脱位通常无症状,后期逐渐发展出现疼痛和功能障碍,

神经系统受累更严重的CP患儿疼痛发生率更高,并且随着年龄的增长而增加^[4,10]。

有效的康复治疗是必要的,否则可能会出现疼痛和坐位、行走等功能障碍,降低生活质量。多项研究显示,姿势管理是预防和改善髋关节脱位的有效方法^[11-18]。PICCIOLINI等^[17]研究了坐位和站立姿势管理对髋关节脱位的影响,HANKINSON和MORTON^[18]报道了卧位髋关节外展系统对髋关节脱位的影响,结果均显示髋关节脱位有显著的改

引用格式: 崔美玉, 刘建军, 张雁, 等. 石墨烯温热外展矫形器对痉挛型脑瘫患儿髋关节发育的影响[J]. 康复学报, 2023, 33(5): 456-462.

CUI M Y, LIU J J, ZHANG Y, et al. Effect of graphene warm abduction orthosis on hip joint development in children with spastic cerebral palsy [J]. Rehabil Med, 2023, 33(5): 456-462.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2023.05010

善。目前髋关节是否脱位依赖骨盆正位X线片来评估,以便于尽早发现进行性的髋关节脱位,并及时转诊进行相关治疗。

本研究通过随机对照试验,利用石墨烯温热外展矫形器对痉挛型CP患儿进行姿势管理,观察其对痉挛型CP患儿的粗大运动功能及髋关节发育的影响。

1 临床资料

1.1 病例选择标准

1.1.1 纳入标准 ① 年龄2~10岁;② 符合《中国脑性瘫痪康复指南(2015):第一部分》^[19]诊断标准的痉挛型CP患儿;③ 内收肌痉挛;④ 不伴有其他慢性疾病和先天性疾病;⑤ 患儿监护人签署知情同意书。

1.1.2 排除标准 ① 内收肌已挛缩或髋关节全脱位的患儿;② 接受过手术治疗的CP患儿;③ 曾接受过肉毒毒素注射治疗的患儿;④ 患儿监护人依从性差或不会使用矫形器;⑤ 正在服用降肌张力药物的

患儿。

1.2 一般资料

选自2019年9月—2021年11月就诊于中国康复研究中心(北京博爱医院)2~10岁的痉挛型CP患儿28例(56髋),采用随机数字法分为对照组15例和治疗组13例。5例患儿因失访而退出研究,其中对照组3例,2例因拒绝回院复查,1例因顾虑X线检查的辐射危害而退出研究;治疗组2例,1例因患儿入组期间接受了内收肌肉毒毒素注射退出研究,1例因疫情回京复查不方便而退出研究。故本研究最终收集对照组12例(24髋)和治疗组11例(22髋)。2组患儿性别、年龄、随访时间、身高、体质量及粗大运动功能分级系统(gross motor function classification system, GMFCS)等一般资料比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),2组数据具有可比性,见表1。治疗前向监护人进行解释说明知情同意书的内容并签署知情同意书。本研究已获中国康复研究中心医学伦理委员会批准(审批号:2020-134-1)。

表1 2组一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between two groups

组别	例数	髋数	性别		年龄/ ($\bar{x}\pm s$,月)	随访时间/ ($\bar{x}\pm s$,d)	身高/ ($\bar{x}\pm s$,cm)	体质量/ ($\bar{x}\pm s$,kg)	GMFCS		
			男	女					2级	3级	4级
对照组	12	24	10	2	46.91±1.12	70.27±1.51	97.00±10.22	15.55±3.29	3	6	3
治疗组	11	22	8	3	47.22±9.10	69.64±7.17	95.91±9.25	13.91±3.65	5	3	3

2 方法

2.1 治疗方法

常规康复训练主要包括神经生理疗法(又称Bobath疗法)、诱导疗法(又称Vojta疗法)等运动方法;目标导向型疗法、限制诱导及双手强化训练等作业疗法;经颅磁刺激、蜡疗、水疗等物理因子疗法;还有按摩、针灸等中医疗法。

2.1.1 对照组 进行常规康复训练联合内收肌牵拉训练。内收肌牵拉训练需要家长或治疗师模仿矫形器的外展作用,训练时内收肌最小角度 $>30^\circ$,每天累计训练时间1~2 h,让患儿监护人记录每日训练时间及训练天数,2个月内使用天数必须 >50 d。

2.1.2 治疗组 进行常规康复训练联合佩戴石墨烯温热外展矫形器。佩戴矫形器时患儿仰卧位双下肢伸展,双髋关节外展位,内收肌角度最小 $>30^\circ$,矫形器置于双侧大腿相同高度,利用移动电源开启

温热作用,其分为3个档位,以患儿能接受的档位为宜,每日佩戴1~2 h。让患儿监护人记录每日使用时间及使用天数,2个月内使用天数必须 >50 d。

2.2 评定指标

首先,在标准体位拍摄髋部X线片,髋关节内收/外展中性,骨盆应该是平坦的,如果有一个固定的屈曲畸形导致前凸,应将腿垫高,直到腰椎变平,并且需要两侧对称,以确保有一个相对正常的骨盆^[20]。测量治疗前后的髋关节股骨头偏移百分比(migration percentage, MP)、髋臼指数(acetabular index, AI)、颈干角(neck shaft angle, NSA),并评估粗大运动功能评定量表(gross motor function measure, GMFMS)和改良Tardieu量表(modified Tardieu scales, MTS)。治疗前后MP、AI、NSA之间取差值,若为正,则表示半脱位改善;若为负,则表示半脱位进展。治疗前后GMFMS、MTS取差值,若为负,则表示半脱位改善;若为正,则表示半脱位进展。见图1。

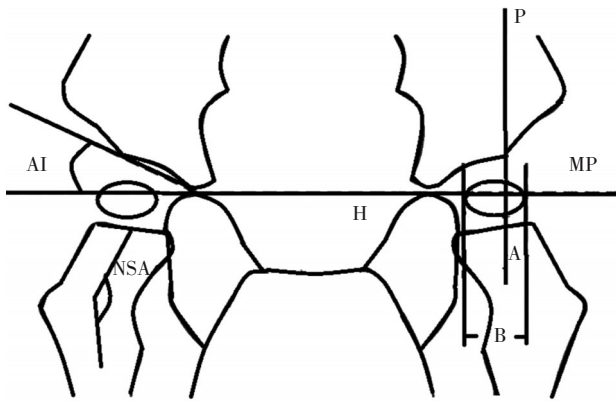


图1 骨盆X线片上MP、AI及NSA的测量方法

Figure 1 Measurement methods of MP, AI and NSA on pelvic radiographs

2.2.1 MP MP是最有效、最可靠的测量CP患儿髋关节脱位的方法^[21-22]。在骨盆X线片上,经髋臼外上缘顶点做一与两侧髋臼内下缘两点连线的垂线,在垂线外面的股骨头与垂线两侧股骨头的比值乘以100%就是MP。见图1。MP分为4级:1级(正常)为 $MP < 25\%$; 2级(风险)为 $25\% \leq MP < 33\%$; 3级(半脱位)为 $33\% \leq MP < 50\%$; 4级(全脱位)为 $MP \geq 50\%$ 。

2.2.2 AI 在骨盆X平片中,两髋臼内下缘连线和内下缘顶点至外上缘顶点连线之间的角度即为AI值,见图1。新生儿正常 $\leq 30^\circ$, AI随年龄的增长而逐渐变小, AI越大,说明髋臼发育不良的程度越严重。

2.2.3 NSA 股骨干长轴与股骨颈长轴间的夹角见图1。儿童为 $150^\circ \sim 160^\circ$, 随年龄的增大而减小。NSA > 正常值为髋外翻, NSA < 正常值为髋内翻。研究显示NSA与内收肌痉挛有明显相关性^[4]。

2.2.4 GMFM 包含88个按四分制评分的项目,分卧位和翻身,坐位,爬和跪,站立位,走、跑、跳5个功能区。GMFM常被用来评价患儿粗大运动功能,评判各种康复训练和治疗手段对CP患儿粗大运动的影响及各种治疗方法之间的疗效对比^[23]。

2.2.5 MTS MTS通过评估2种不同速度(慢速和快速拉伸)下的阻力来量化痉挛状态^[24]。在慢速(V1)下测量的关节角度为R2,即内收肌角度;而在快速(V2)下肢体出现卡住的关节角度为R1,用于

评价内收肌痉挛。R2-R1表示肢体的痉挛程度,差值较小时提示可能存在肢体挛缩,而差值较大时则提示肌肉痉挛为主^[25]。MTS可以结合关节活动度及改良Ashworth分级(modified Ashworth scale, MAS)的优势,因此有研究者提出与MAS相比,MTS更能有效地评定痉挛情况,且可以区分痉挛和挛缩^[26]。

2.2.6 GMFCS GMFCS主要是客观地描述患者目前的运动能力和受限程度。该分级在不同年龄段区间内,依据下肢病情严重程度分成5个等级,等级越高,患儿下肢运动功能越差,髋关节脱位、半脱位发生的概率越大。

2.3 统计学方法

采用SPSS 23.0对数据进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,不符合正态分布的数据用 $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示,正态分布的数据组间比较用两独立样本t检验,组内比较用配对t检验,非正态分布数据组内比较使用2个相关样本Wilcoxon检验,组间比较使用2个独立样本Mann-Whitney U检验。计数资料满足条件的用 χ^2 检验,不满足条件的用Fisher确切概率法分析。等级资料比较用秩和检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3 结果

3.1 2组治疗前后各测量指标比较

治疗组治疗后MP、AI、GMFM、MTS值均较治疗前明显改善($P < 0.05$); NSA改善为 $(152.20 \pm 8.72)^\circ$, 但与治疗前比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。对照组治疗后GMFM改善为 (49.9 ± 13.08) , 与治疗前比较差异有统计学意义($P < 0.05$); 而MP、MTS、NSA较治疗前均有所加重,但差异无统计学意义($P > 0.05$); AI虽有所改善,但较治疗前相比,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表2。

3.2 2组治疗前后各测量指标差值比较

治疗组治疗后MP、AI、GMFM、MTS及NSA均较治疗前改善;对照组MP、AI、GMFM、MTS有所改善,而NSA较治疗前进展了 (7.90 ± 8.63) 。2组MP、NSA及GMFM的改善程度(d-MP、d-NSA、d-GMFM)比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$),而AI和MTS的改善程度(d-AI、d-MTS)差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表3。

表2 2组治疗前后各测量指标比较($\bar{x}\pm s$)Table 2 Comparison of measures between the two groups before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	MP/%		AI/ $^{\circ}$	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
对照组	12	25.91 \pm 13.70	30.64 \pm 14.92	18.50 \pm 5.09	17.42 \pm 6.29
治疗组	11	31.93 \pm 11.37	26.82 \pm 12.44 ¹⁾	17.50(13.00,21.00)	15.00(13.75,19.00) ¹⁾

GMFM/分		MTS/ $^{\circ}$		NSA/ $^{\circ}$	
治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
47.67 \pm 3.56	49.90 \pm 13.08 ¹⁾	18.97 \pm 7.68	49.90 \pm 13.08	149.00 \pm 8.07	156.92 \pm 9.31 ¹⁾
51.79 \pm 9.15	55.96 \pm 0.12 ¹⁾	19.09 \pm 8.93	26.12 \pm 7.49 ¹⁾	154.27 \pm 1.03	152.20 \pm 8.72

注:与治疗前比较,1) $P<0.05$ 。

Note: Compared with that before treatment, 1) $P<0.05$.

表3 2组治疗前后各测量指标差值比较($\bar{x}\pm s$)Table 3 Comparison of the measures' difference between two groups before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	d-MP/%	d-AI/ $^{\circ}$	d-NSA/ $^{\circ}$	d-GMFM/分	d-MTS/ $^{\circ}$
对照组	12	0.00(-3.70,2.80)	0.00(-2.75,4.75)	-7.90 \pm 8.63	-2.14 \pm 1.60	-2.95(-6.08,-1.32)
治疗组	11	3.75(0.09,10.61) ¹⁾	2.00(0.50,4.00)	2.28 \pm 9.54 ¹⁾	-3.80 \pm 1.97 ¹⁾	-4.98(-7.06,-4.42)

注:与对照组比较,1) $P<0.05$ 。

Note: Compared with the control group, 1) $P<0.05$.

4 讨论

有研究发现CP患儿髋关节脱位风险在2~3岁时最高^[27]。另有研究发现MP>33%或>40%的最常见年龄为3~4岁,一些患儿在2岁时就已经出现脱位^[28-29]。髋关节脱位的发生率随年龄的增大而减小,一般认为7~8岁时没有出现髋关节脱位,以后基本不会再发生^[27,30],并且在6岁时通常稳定在MP<30%^[31]。本研究选取了2~10岁的CP患儿,包括开始出现脱位、已出现脱位或半脱位和不易脱位的年纪,说明石墨烯温热外展矫形器在预防髋关节脱位发生、改善已经发生的髋关节脱位等方面都有明显效果。

课题组在前期的研究中进行了常规康复训练联合内收肌牵拉训练与常规矫形器的效果对比的研究,结果显示2组疗效差异无统计学意义。并且检索资料时发现暂无研究显示普通矫形器对CP患儿髋关节发育有显著影响。另外纳入研究的患儿年龄偏小,配合度欠佳,所以本研究对照组选择应用常规康复训练联合内收肌牵拉训练的方法而不是常规矫形器。

本研究结果显示:治疗组在接受矫形器联合常规康复训练后MP、AI、GMFM、MTS值都有明显改善,NSA从数值上虽有所改善,但差异无统计学意义。而对照组除了GMFM的改善差异有统计学意义外,

AI、MTS值改善差异无统计学意义,MP、NSA则是加重,说明2组治疗后粗大运动功能均明显改善,另外治疗组髋关节脱位情况优于治疗前。比较2组治疗前后各测量指标的改善程度,2组d-MP、d-NSA、d-GMFM差异有统计学意义,d-AI、d-MTS差异无统计学意义,治疗组改善更明显,说明治疗组MP、NSA和GMFM的改善程度优于对照组。HANKINSON和MORTON^[18]对14例因脑瘫导致髋关节半脱位的儿童进行为期12个月的卧位髋关节外展姿势管理的治疗,治疗前后均测量MP,结果显示MP有显著的改善。MARTINSSON和HIMMELMANN^[32]的研究则显示,保持15 $^{\circ}$ ~30 $^{\circ}$ 的内收肌角度按10h/周的频率进行姿势管理可减少MP,并保持长达7年的治疗效果。POUNTNEY等^[16]进行的前瞻性队列研究,跟踪了39名18个月以下开始使用姿势管理设备的患儿,分别在30个月和60个月时进行髋关节X线检查,并测量MP,将结果与历史对照组进行比较,结果显示治疗组患儿的髋关节脱位的发生率显著降低。本研究结果与上述既往研究结果相符,证明石墨烯温热外展矫形器可以有效改善髋关节脱位或延缓髋关节脱位的进展,促进髋关节的正常发育,并且可以增强CP患儿粗大运动功能。

髋关节脱位的治疗除了上述的常规康复训练,还包括药物或外科手术。A型肉毒毒素(botulinum toxin type A, BTX-A)的局部注射治疗是临床常用的

降低肌张力的方法, BTX-A 治疗在改善 CP 患儿的步态、关节活动范围及痉挛等方面均有效, 主要表现在短期或中期评估时, 可能因为其作用时间较短^[33]。常用的手术治疗包括选择性脊神经后根切断术、内收肌切断术和骨性手术。无论采用何种手术方法, 术后常常出现髋关节肌肉失衡, 剩余的生长期都有再脱位的风险。在平均年龄为 4 岁的患儿进行早期软组织或股骨近端手术后, 由于术后髋臼重建不可靠, 再次手术率较高^[34]。且手术创伤较大可能对患儿的心理造成影响。以上治疗均缺乏持续性, 治疗期过后髋关节内收、屈曲肌群张力往往又会上升。

在常规的姿势管理中, 睡眠姿势管理占很大一部分, 通常包括一个或多个组成部分组装而成, 虽然尽可能地使患儿更舒适, 但因使用时间长, 仍严重限制了 CP 患儿的活动, 睡眠障碍可能是导致停止使用卧位矫形器的重要原因^[14]。同时携带不方便、价格昂贵、治疗师和护理人员的经验不足等其他因素的影响也可能导致患者退出研究。PICCIOLINI 等^[17]研究使用的定制座椅与常用的石膏矫形器类似, 从膝盖下方延伸到上乳头线, 使患儿的髋关节和躯干受到了很大限制。

本研究使用的石墨烯温热外展矫形器, 相对于普通矫形器除了单纯的牵拉作用, 还有温热作用。温热作用被认为可以降低 γ 运动神经元的兴奋性, 从而降低肌肉的敏感性^[35-36]。热能降低肌肉组织的黏弹性^[37]。另有研究认为温热作用可以增加肌肉胶原蛋白的延展性, 减轻关节刚度^[38-39]。以上机制可能对改善肌肉痉挛和髋关节脱位有效。温热作用还可以通过减轻疼痛来让患者更好地忍受肌肉牵拉, 从而增加牵拉的疗效^[40-41]。

石墨烯具有独特的电子、光学、热学和力学性能, 如优异的载流子迁移率、强电子-电子相互作用和超高热导率^[42-43]。近年来, 碳材料(尤其是石墨烯)中的热红外辐射已经得到了研究^[44]。矫形器中所用的发热材料是石墨烯红外线发热膜, 具有超薄、轻便、平整、电阻率小的特点。石墨烯电热膜是一种方便且非侵入性工具, 在石墨烯电热膜两端电极通电的情况下, 电热膜中的碳分子在电阻中产生声子、离子和电子, 由产生的碳分子团之间相互摩擦、碰撞而产生热能^[45], 热能又通过控制波长在 7~14 μm 的远红外线以平面方式均匀地辐射出来^[46], 把石墨烯电热膜压在双侧内收肌上, 石墨烯电热膜的红外线就能有效地照射到皮肤上。它可以在分

子水平上产生强烈的旋转和振动效应^[47]。同时加上石墨烯材料的超导性, 保证发热性能稳定。石墨烯电热膜的用电功率小, 热量分布均匀, 热效率高。通电后, 电能可迅速加热至缓解痉挛所需要的温度。

本研究将新型材料石墨烯引入到康复中, 并将温热疗法和牵拉训练 2 种缓解痉挛的方法联合应用, 提高缓解痉挛的效果。其优势在于: ① 置于双侧大腿, 保持髋臼同心促使髋关节以正确的解剖位置发育, 且不限各个关节的活动, 佩戴矫形器时可自由活动躯干和上肢。② 矫形器与肢体的接触面采用石墨烯电热膜, 在体位保持的同时可对内收肌进行热疗, 其根据患儿的接受程度可调节不同挡位。③ 根据患儿大腿粗细可调节松紧, 不存在一段时间后由于患儿生长发育而不适用的情况。④ 内收肌角度可自行调节, 配备了小螺丝刀, 方便操作, 患儿家长也可快速上手, 可以实现内收肌的持续牵拉。⑤ 体积小方便携带, 使用方法简单易学, 依从性较好, 可以长期使用。⑥ 佩戴时间较短不会影响患儿睡眠。⑦ 造价便宜。所以我们认为石墨烯温热外展矫形器联合常规康复的疗效是确定的, 带有温热作用的矫形器可能比常规的矫形器效果更好, 石墨烯温热外展矫形器的应用可以提高 CP 患儿康复训练的效果, 减少髋关节半脱位的发生, 减轻家庭负担, 促进社会和谐。也可以应用于其他脑损伤造成内收肌痉挛的患者, 建议有髋关节脱位风险或已经脱位的患儿常规使用。

本研究的不足在于病例数较少, 但最终共 23 例患儿坚持完成了平均 2 个月矫形器和康复治疗, 已经非常不易。本研究只初步采取了卧位矫形器佩戴, 虽然卧位可保持髋臼同心的体位, 但髋关节缺乏重力刺激, 后期将会纳入 CP 患儿的病例继续开展不同姿势佩戴矫形器时的效果, 且延迟观察时间。另外本研究的样本是痉挛型 CP 患儿, 其他类型患儿的应用效果尚需进一步观察。

参考文献

- [1] BLAIR E. Epidemiology of the cerebral palsies [J]. *Orthop Clin North Am*, 2010, 41(4): 441-455.
- [2] VITRIKAS K, DALTON H, BREISH D. Cerebral palsy: an overview [J]. *Am Fam Physician*, 2020, 101(4): 213-220.
- [3] HOWARD C B, MCKIBBIN B, WILLIAMS L A, et al. Factors affecting the incidence of hip dislocation in cerebral palsy [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1985, 67(4): 530-532.
- [4] CHO Y, PARK E S, PARK H K, et al. Determinants of hip and femoral deformities in children with spastic cerebral palsy [J]. *Ann Rehabil Med*, 2018, 42(2): 277-285.

- [5] DOHIN B. The spastic hip in children and adolescents [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2019, 105(1S):S133-S141.
- [6] HÄGGLUND G, LAUGE-PEDERSEN H, WAGNER P. Characteristics of children with hip displacement in cerebral palsy [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2007, 8:101.
- [7] HUSER A, MO M, HOSSEINZADEH P. Hip surveillance in children with cerebral palsy [J]. *Orthop Clin North Am*, 2018, 49(2):181-190.
- [8] HÄGGLUND G, ANDERSSON S, DÜPPE H, et al. Prevention of dislocation of the hip in children with cerebral palsy. The first ten years of a population-based prevention programme [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2005, 87(1):95-101.
- [9] COOKE P H, COLE W G, CAREY R P. Dislocation of the hip in cerebral palsy. Natural history and predictability [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1989, 71(3):441-446.
- [10] DE MORAES BARROS FUCS P M, SVARTMAN C, DE ASSUMPÇÃO R M C, et al. Treatment of the painful chronically dislocated and subluxated hip in cerebral palsy with hip arthrodesis [J]. *J Pediatr Orthop*, 2003, 23(4):529-534.
- [11] OCCHIPINTTI A, MENDOZA S M. Efficacy of passive standing programmes in children with cerebral palsy: a systematic review [J]. *Fisioterapia*, 2018, 40(3):153-164.
- [12] MACIAS-MERLO L, BAGUR-CALAFAT C, GIRABENT-FARRES M, et al. Effects of the standing program with hip abduction on hip acetabular development in children with spastic diplegia cerebral palsy [J]. *Disabil Rehabil*, 2016, 38(11):1075-1081.
- [13] BLAKE S F, LOGAN S, HUMPHREYS G, et al. Sleep positioning systems for children with cerebral palsy [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, 2015(11):CD009257.
- [14] MOL E M, MONBALIU E, VEN M, et al. The use of night orthoses in cerebral palsy treatment: sleep disturbance in children and parental burden or not? [J]. *Res Dev Disabil*, 2012, 33(2):341-349.
- [15] MARTINSSON C, HIMMELMANN K. Effect of weight-bearing in abduction and extension on hip stability in children with cerebral palsy [J]. *Pediatr Phys Ther*, 2011, 23(2):150-157.
- [16] POUNTNEY T E, MANDY A, GREEN E, et al. Hip subluxation and dislocation in cerebral palsy: a prospective study on the effectiveness of postural management programmes [J]. *Physiother Res Int*, 2009, 14(2):116-127.
- [17] PICCIOLINI O, ALBISETTI W, COZZAGLIO M, et al. "Postural Management" to prevent hip dislocation in children with cerebral palsy [J]. *Hip Int*, 2009, 19 Suppl 6:S56-S62.
- [18] HANKINSON J, MORTON R E. Use of a lying hip abduction system in children with bilateral cerebral palsy: a pilot study [J]. *Dev Med Child Neurol*, 2002, 44(3):177-180.
- [19] 唐久来, 秦炯, 邹丽萍, 等. 中国脑性瘫痪康复指南(2015): 第一部分 [J]. *中国康复医学杂志*, 2015, 30(7):747-754.
- TANG J L, QIN J, ZOU L P, et al. Guide to rehabilitation of cerebral palsy in China(2015): the first part [J]. *Chin J Rehabil Med*, 2015, 30(7):747-754.
- [20] DOBSON F, BOYD R N, PARROTT J, et al. Hip surveillance in children with cerebral palsy. Impact on the surgical management of spastic hip disease [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2002, 84(5):720-726.
- [21] FARAJ S, ATHERTON W G, STOTT N S. Inter- and intra-measurer error in the measurement of Reimers' hip migration percentage [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2004, 86(3):434-437.
- [22] MILLER F, BAGG M R. Age and migration percentage as risk factors for progression in spastic hip disease [J]. *Dev Med Child Neurol*, 1995, 37(5):449-455.
- [23] RUSSELL D J, ROSENBAUM P L, CADMAN D T, et al. The gross motor function measure: a means to evaluate the effects of physical therapy [J]. *Dev Med Child Neurol*, 1989, 31(3):341-352.
- [24] PANDYAN A D, JOHNSON G R, PRICE C I, et al. A review of the properties and limitations of the Ashworth and modified Ashworth scales as measures of spasticity [J]. *Clin Rehabil*, 1999, 13(5):373-383.
- [25] PATRICK E, ADA L. The Tardieu scale differentiates contracture from spasticity whereas the Ashworth scale is confounded by it [J]. *Clin Rehabil*, 2006, 20(2):173-182.
- [26] MORRIS S. Ashworth and Tardieu scales: their clinical relevance for measuring spasticity in adult and paediatric neurological populations [J]. *Phys Ther Rev*, 2002, 7(1):53-62.
- [27] LARNERT P, RISTO O, HAGGLUND G, et al. Hip displacement in relation to age and gross motor function in children with cerebral palsy [J]. *J Child Orthop*, 2014, 8(2):129-134.
- [28] ROBB J E, HAGGLUND G. Hip surveillance and management of the displaced hip in cerebral palsy [J]. *J Child Orthop*, 2013, 7(5):407-413.
- [29] GORDON G S, SIMKISS D E. A systematic review of the evidence for hip surveillance in children with cerebral palsy [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2006, 88(11):1492-1496.
- [30] SOO B, HOWARD J J, BOYD R N, et al. Hip displacement in cerebral palsy [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2006, 88(1):121-129.
- [31] WAGNER P, HAGGLUND G. Development of hip displacement in cerebral palsy: a longitudinal register study of 1,045 children [J]. *Acta Orthop*, 2022, 93:124-131.
- [32] MARTINSSON C, HIMMELMANN K. Abducted standing in children with cerebral palsy: effects on hip development after 7 years [J]. *Pediatr Phys Ther*, 2021, 33(2):101-107.
- [33] BLUMETTI F C, BELLOTI J C, TAMAOKI M J, et al. Botulinum toxin type A in the treatment of lower limb spasticity in children with cerebral palsy [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2019, 10:CD001408.
- [34] SCHMALE G A, EILERT R E, CHANG F, et al. High reoperation rates after early treatment of the subluxating hip in children with spastic cerebral palsy [J]. *J Pediatr Orthop*, 2006, 26(5):617-623.
- [35] TEPPERMAN P S, DEVLIN M. The therapeutic use of local heat and cold [J]. *Can Fam Physician*, 1986, 32:1110-1114.
- [36] LEHMANN J F, WARREN C G, SCHAM S M. Therapeutic heat and cold [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1974(99):207-245.
- [37] MUTUNGI G, RANATUNGA K W. Temperature-dependent changes in the viscoelasticity of intact resting mammalian (rat) fast- and slow-twitch muscle fibres [J]. *J Physiol*, 1998, 508(Pt 1):

- 253-265.
- [38] WARREN C G, LEHMANN J F, KOBLANSKI J N. Elongation of rat tail tendon: effect of load and temperature [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1971, 52(10): 465-474.
- [39] LEHMANN J F, MASOCK A J, WARREN C G, et al. Effect of therapeutic temperatures on tendon extensibility [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1970, 51(8): 481-487.
- [40] LEHMANN J F, BRUNNER G D, MCMILLAN J A, et al. Modification of heating patterns produced by microwaves at the frequencies of 2,456 and 900 mc. by physiologic factors in the human [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1964, 45: 555-563.
- [41] GAMMON G D, STARR I. Studies on the relief of pain by counter-irritation [J]. *J Clin Invest*, 1941, 20(1): 13-20.
- [42] LIN S, LU Y, XU J, et al. High performance Graphene/semiconductor van der Waals Heterostructure Optoelectronic Devices [J]. *Nano Energy*, 2017, 40: 122-148.
- [43] LIU C, LU Y, SHEN R, et al. Dynamics and physical process of hot carriers in optoelectronic devices [J]. *Nano Energy*, 2022, 95: 106977.
- [44] FREITAG M, CHIU H Y, STEINER M, et al. Thermal infrared emission from biased graphene [J]. *Nat Nanotechnol*, 2010, 5(7): 497-501.
- [45] TOMADIN A, BRIDA D, CERULLO G, et al. Nonequilibrium dynamics of photoexcited electrons in graphene: Collinear scattering, Auger processes, and the impact of screening [J]. *Physical Review B*, 2013, 88: 035430.
- [46] HSU P-C, SONG A, CATRYSSSE P, et al. Radiative human body cooling by nanoporous polyethylene textile [J]. *Science*, 2016, 353: 1019-1023.
- [47] TOYOKAWA H, MATSUI Y, UHARA J, et al. Promotive effects of far-infrared ray on full-thickness skin wound healing in rats [J]. *Exp Biol Med (Maywood)*, 2003, 228(6): 724-729.

Effect of Graphene Warm Abduction Orthosis on Hip Joint Development in Children with Spastic Cerebral Palsy

CUI Meiyu, LIU Jianjun*, ZHANG Yan, ZENG Fanyong

China Rehabilitation Research Center (Beijing Boai Hospital), Beijing 100068, China

*Correspondence: LIU Jianjun, E-mail: lj990@163.com

ABSTRACT Objective: To observe the effect of graphene warm abduction orthosis on hip joint development in children with spastic cerebral palsy. **Methods:** A total of 28 children (56 hips) aged 2-10 years with spastic cerebral palsy were randomly divided into two groups by random number table method. There were 12 cases (24 hips) enrolled in the control group, 11 cases (22 hips) enrolled in the treatment group, and 5 cases (10 hips) withdrew from the study. Both groups received routine rehabilitation training. Additionally, the control group underwent adductor abduction traction training, and the treatment group wore graphene warm abduction orthosis. During the training, the adductor angle was at least $>30^\circ$, the training time was 1-2 hours per day, and the treatment continued for 2 months. The migration percentage (MP), acetabular index (AI), neck shaft angle (NSA), gross motor function measure (GMFM) and modified Tardieu scale (MTS) were measured before and after treatment, and the differences were calculated. **Results:** Compared with before treatment (47.67 ± 3.56), the GMFM (49.9 ± 13.08) after treatment in the control group significantly improved ($P<0.05$), and the change of MP, AI and MTS were not significant ($P>0.05$), and NAS ($152.20\pm 8.72^\circ$) was progressing ($154.27\pm 1.03^\circ$) ($P<0.05$). In the treatment group, MP, AI, GMFM and MTS after treatment were (26.82 ± 12.44), [15.00 ($13.75, 19.00$)] $^\circ$, (55.96 ± 0.12), and (26.12 ± 7.49) $^\circ$, respectively, better than those before treatment (31.93 ± 11.37), [17.50 ($13.00, 13.00$), 21.00] $^\circ$, (51.79 ± 9.15), (19.09 ± 8.93) $^\circ$, the differences were statistically significant ($P<0.05$). There was no significant difference in NAS ($152.20\pm 8.72^\circ$) after treatment compared with that ($154.27\pm 1.03^\circ$) before treatment ($P>0.05$). The d-MP [3.75 ($0.09, 10.61$)] $^\circ$, d-NAS (2.28 ± 9.54) $^\circ$ and d-GMFM (-3.80 ± 1.97) of the treatment group were compared with those of the control group [0.00 ($-3.70, 2.80$)] $^\circ$, (-7.90 ± 8.63) $^\circ$, (-2.14 ± 1.60), the differences were statistically significant ($P<0.05$), while the d-AI and d-MTS were not statistically significant ($P>0.05$). **Conclusion:** The graphene warm abduction orthosis can effectively improve hip dislocation or subluxation in children with spastic cerebral palsy, delay its progression, and improve the gross motor function.

KEY WORDS cerebral palsy; hip dislocation; graphene; abduction orthosis

DOI:10.3724/SP.J.1329.2023.05010