

学龄儿童柔韧性扁平足足底压力分布特征

陈盼盼, 刘夕东, 韩林林, 陈振邦, 李伟, 白翔

【摘要】 目的:探索学龄儿童柔韧性扁平足生物力学参数化研究,为临床儿童柔韧性扁平足干预方案提供佐证。**方法:**利用 Sensor Media 型号为 FM6050 的压力测试板和 freestep pro 分析软件采集分析 16 例 6~9 岁柔韧性扁平足儿童和 16 例 6~9 岁正常足弓儿童的站立和步行状态下的足底压力分布数据,探索儿童柔韧性扁平足与正常足弓儿童的足底压力分布差异。**结果:**观察组前足 A 区($P=0.001$)和 B 区($P=0.009$)负荷低于对照组,观察组中足 D 区($P=0.000$)负荷高于对照组。观察组与对照组在步行状态下足底最大冲量存在差异,观察组最大冲量在内侧跟骨,对照足最大冲量在第 2、3 跖骨,且观察组内侧足弓冲量高于对照组($P=0.002$)。**结论:**学龄儿童因足弓发育的问题导致足底压力分布的异常,即便是无症状的,也是有必要做进一步评估的。监测学龄儿童足底压力,对柔韧性扁平足预防和指导康复具有临床意义。

【关键词】 扁平足;足底压力;参数;儿童

【中图分类号】 R49;R726.8 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2021.04.008

Characteristics of plantar pressure distribution of school-age children with flexible flatfoot Chen Panpan, Liu Xidong, Han Linlin, et al. Auxiliary Equipment Center of Sichuan Rehabilitation Hospital Affiliated to Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611135, China

【Abstract】 **Objective:** To explore the biomechanical parameterization of school-age children with flexible flatfoot, and provide evidence for the intervention program of clinical children with flexible flatfoot. **Methods:** The plantar pressure distribution data of 16 children with flexible flatfoot aged 6-9 years and 16 children with normal arch aged 6-9 years were collected and analyzed by Sensor Media pressure test board FM6050 and freestep pro analysis software to explore the difference in plantar pressure distribution between children with flexible flatfoot and children with normal arch. **Results:** The load of forefoot area a ($P=0.001$) and area b ($P=0.009$) in experimental group was lower than that in control group, while the load of midfoot area d ($P=0.000$) in experimental group was higher than that in control group, and the difference was significant. There were differences in the maximum pressure impulse of the plantar when walking between the experimental group and the control group. The maximum pressure impulse of the experimental group was in the medial calcaneus, while that in the control foot was in the second and third metatarsals, and the pressure impulse of the medial arch in the experimental group was higher than that in the control group ($P=0.002$). **Conclusion:** School-age children's plantar pressure distribution is abnormal due to arch development, even if it is asymptomatic, it is necessary to make further evaluation. Monitoring the plantar pressure of school-age children is of clinical significance for preventing and guiding the rehabilitation of flexible flatfoot.

【Key words】 flatfoot; plantar pressure; parameters; children

儿童扁平足是临床常见足部问题,约有 90% 的临床足部患者归因于扁平足^[1]。婴幼儿期(≤3岁)脚趾部位相对较宽,皮下脂肪较多,平衡能力差;学龄前儿童(4~6岁)足部骨骼逐渐变硬,易发生扁平足畸形^[2]。有报道指出年龄在 2~6 岁和 8~13 岁的扁平足患病率分别为 37.0%~59.7% 和 4.0%~19.1%^[3~4],文献中扁平足患病率各有不同的原因可能与不同的年龄分组和不同的评估方法有关^[5]。扁平

足大多表现为足弓塌陷或消失,以及由此引起的包括跟骨外翻、距下关节轻度半脱位、距骨向内侧跖侧旋转等解剖异常^[6]。扁平足被认为可引起包括足底筋膜炎、足部损伤、膝关节疼痛、下背痛等^[7~9]。

儿童扁平足可分为柔韧性和僵硬性,柔韧性扁平足是指在非承重状态下有正常的足弓,但承重时足弓消失,伴随无症状的或有症状的;僵硬性扁平足是指在承重和非承重状态下都是足弓扁平^[8]。大多数僵硬性的扁平足与潜在的病理性相关联^[10~11],病理性包括泛发性韧带松弛,神经和肌肉异常,基因和胶原蛋白病变等^[10]。关于儿童扁平足属于正常还是病理性说法一直存在争议^[12],Mickle 等^[13]提出在新生儿初学

收稿日期:2020-09-06

作者单位:成都中医药大学附属四川省康复医院辅具中心,成都 611135

作者简介:陈盼盼(1986-),女,中级辅具适配师,中级社工,主要从事肢体制类辅具评估适配、足底压力分析和矫形鞋垫设计制作方面的研究。

通讯作者:刘夕东,1184515582@qq.com

步期，伴随幼儿足弓发育的还有内侧纵弓下脂肪垫的出现，尽管在足弓形成的2~5岁期间足底脂肪垫会溶解，但儿童在开始学走路的时候仍然普遍存在“扁平足”的现象。Labovitz^[12]提出幼儿生理性的柔软性扁平足会在10岁前发育出正常的足弓。目前国际上尚无标准的扁平足评价体系^[14]，儿童扁平足不能单纯的看做是成人扁平足的缩小版^[15]。

本研究以6~9岁儿童柔軟性扁平足患者为研究对象,利用足底压力分析系统进行静态和动态足底压力数据采集,比较足底不同区域负荷的差异,旨在探索儿童柔軟性扁平足生物力学参数化研究,为临床儿童柔軟性扁平足干预方案提供佐证。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2018 年 9 月～2020 年 5 月期间来四川省八一康复中心辅具中心就诊并诊断为儿童柔软性扁平足且年龄在 6～9 岁之间的患者作为观察组，排除伴随有距骨垂直、跗骨联合、脑瘫、脊髓型肌萎缩症、张力低下、副舟骨等其他疾病后，实验前要求受试者闭眼单脚站立试验，基于最好支撑下肢确定受试者的优势足^[16]，通过测试右利足纳入本次研究，共计 16 例。选择年龄、身高、体重相近的正常足弓右利足儿童 16 例作为对照组。受试者基础信息见表 1。

表 1 受试者基础信息 $\bar{x} \pm s$

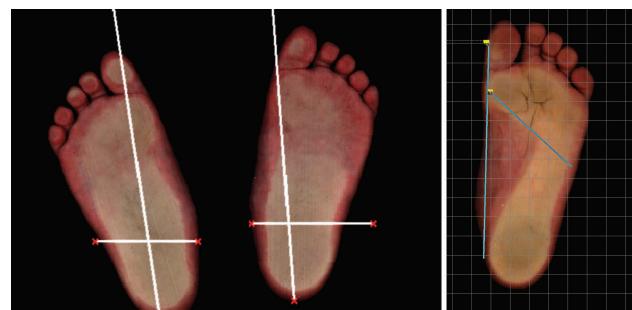
组别	<i>n</i>	年龄 (岁)	体重 (kg)	身高 (m)	体重指数 (Kg.m ⁻²)
观察组	16	7.13±1.02	29.0±9.42	1.26±0.11	15.41±1.91
对照组	16	7.56±1.03	26.93±6.94	1.31±0.11	17.82±3.12

1.2 方法

1.2.1 测试设备 Sensor Media 公司生产的型号为 FM6050 的压力测试板,采集频率为 200~400Hz,电
阻式传感器,可承受最大压力 $150\text{N}/\text{cm}^2$,扫描类型为矩阵扫描。压力分析软件采用配套的同为 Sensor
Media 公司生产的型号为 freestep pro 分析软件。

1.2.2 测试方法 采集实验，输入受试者基础信息，告知受试者及家属实验流程和具体操作，并在试验前脱去受试者鞋袜，为减少误差，所以数据采集和评估由指定人员进行，柔软性扁平足检测采用足印法，见图1。试验流程：①操作人员对设备进行调试；②受试者在测试板上进行站立和步行规范性操作模拟；③受试者站立在压力板上数据采集区采集足底静态生物力学数据；④受试者在压力板上来回5个步态周期采集足底动态生物力学数据。足底按照足的轴线（足跟与第二跖骨的连线）将传统的前、中、后足细分为前足A区、前足B区、中足C区、中足D区、后足E区、后足F区。

区,见图2。静态生物力学试验数据主要包括:前足A区负荷、前足B区负荷、中足C区负荷、中足D区负荷、后足E区负荷、后足F区负荷、最大压强和平均压强,见图3;动态生物力学数据包括:第1趾骨、第2~5趾骨、第1跖骨、第2、3跖骨、第4、5跖骨、内侧足弓、外侧足弓、内侧跟骨、外侧跟骨压力冲量,见图4、图5。



a. 足底扫描 b. 足印角测量
图 1 扁平足检测-足印分析法
注:受试者双足负重,静止站立时间大于5s,通过扫描足印后测量足印角,足印角小于 29° 判定为扁平足。



图 2 足底压力分区

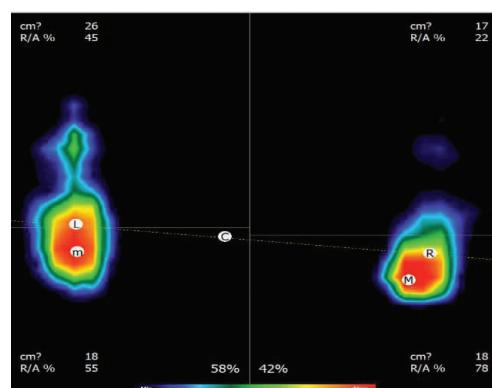


图3 静态足底压力数据采集
注：受试者双足承重，静止站立在压力测试板上，时间大于5s，系统扫描并测试足底负荷、面积等数据

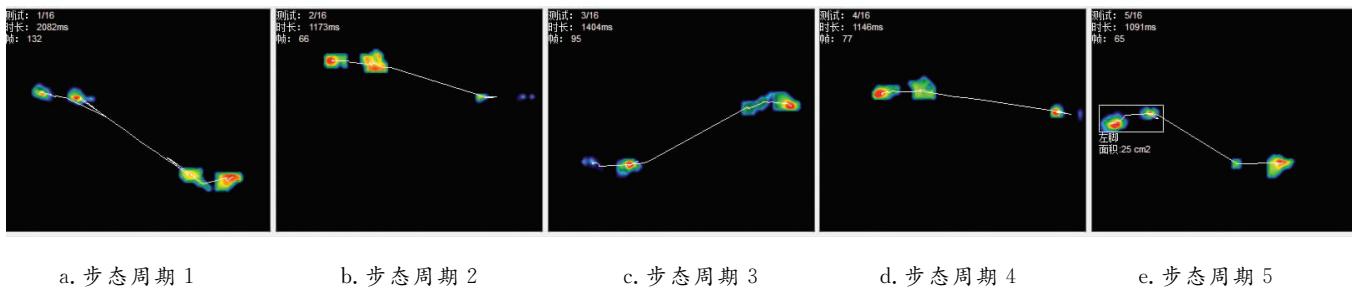


图 4 动态足底压力数据采集

注:受试者按照正常步态经过压力测试板,步行超过 5 个步态周期测量动态足底压力数据

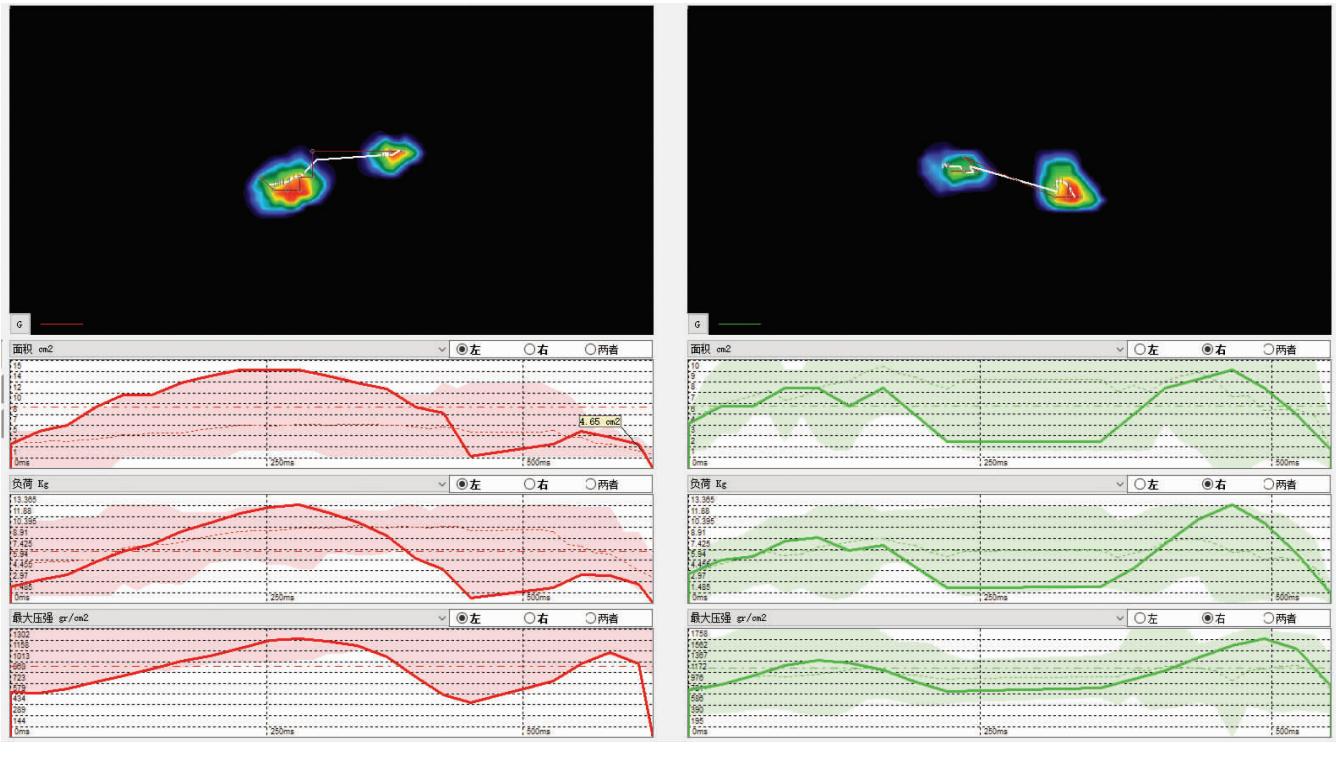


图 5 一个步态周期中面积、负荷和最大压强-时间曲线图

注:步态周期中支撑前期、初期、中期、后期足底面积、负荷和最大压强随时间变化曲线

1.3 统计学方法 采用 SPSS 18.0 统计分析软件进行数据处理,计量资料均以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 *t* 检验,确定置信区间为 95%,以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

表 2 所示为受试者站立状态下所测得的静态足底压力负荷分布情况。观察组和对照组均为后足负荷大

于前足负荷,与前期研究结果一致^[17]。观察组前足 A 区 ($P = 0.001$) 和 B 区 ($P = 0.009$) 负荷低于对照组,观察组中足 D 区 ($P = 0.000$) 负荷高于对照组,且差异具有统计学意义。2 组中足 C 区、后足 E 区、F 区负荷差异无统计学意义。观察组足底最大压强和平均压强均高于对照组,但差异不具有统计学意义 ($P = 0.223$, $P = 0.338$)。

表 2 2 组受试者站立状态下静态足底压力测试比较

组别	n	部位(Kg)						最大压强 (gr/cm ²)	平均压强 (gr/cm ²)
		前足 A 区	前足 B 区	中足 C 区	中足 D 区	后足 E 区	后足 F 区		
对照组	16	8.5±2.98	8.62±4.51	5.43±2.39	0.25±0.44	12.37±3.54	14.63±3.98	668.5±176.85	210.13±51.04
观察组	16	4.87±2.47	5.0±2.22	6.12±2.47	3.69±2.55	13.5±3.85	16.13±4.63	772.25±282.37	233.5±81.36
<i>t</i> 值		3.783	2.882	-0.799	-5.314	-0.861	-1.008	-1.246	-0.974
P 值		0.001	0.009	0.431	0.000	0.396	0.322	0.223	0.338

表3所示为步行状态下测试受试者足底冲量情况,观察组足底冲量由大到小依次为内侧跟骨、外侧跟骨、第2、3跖骨、第4、5跖骨、第1趾骨、第1跖骨、外侧足弓、第2~5趾骨、内侧足弓,对照组足底冲量由大到小依次为第2、3跖骨、外侧跟骨、内侧跟骨、第1趾骨、第4、5跖骨、第1跖骨、第2~5趾骨、外侧足弓、内侧足弓。观察组与对照组在步行状态下足底最大冲量存在差异,观察组最大冲量在内侧跟骨,对照组足最大冲量在第2、3跖骨,且观察组内侧足弓冲量高于对照组($P=0.002$),其余指标差异无统计学意义。

3 讨论

足是人体与地面接触的重要支撑点和负重关节^[18],正常足部的内侧纵弓包括跟骨、距骨、舟骨、楔骨和跖骨组成,是足部主要的称重与减震结构^[19~20]。足弓的降低是扁平足的基本表现,这将引起在站立和步行状态下重心向足内侧转移^[4]。Stoltzman等^[21]认为穿戴传统矫形器如矫形鞋等对无症状的儿童柔软性扁平足有矫正作用。然而,有随访研究表明,大多数儿童无症状扁平足会随着年龄的增长自行恢复,不需要治疗^[22]。尽管扁平足的精准发病原因未知,但是流行病学研究显示扁平足仍有3%持续存在成人群体中^[23]。

排除肥胖对本研究的影响^[16],观察到柔软性扁平足儿童较正常足弓儿童站立状态下前足A区和B区负荷降低、中足D区负荷增高,且差异具有统计学意义;足底最大压强和平均压强增高,但差异不具有统计学意义。这可能由于足弓塌陷或消失后,在站立状态下,体重倾向于向下压迫距骨和内侧纵弓,足底受力面积增大,整个足底相对受力减小,前足负荷降低,包括足弓在内的后足部分负荷增大^[24]。

步态周期支撑期内侧足弓冲量增大,在步态周期的首次触地阶段,由于足弓塌陷或消失导致跟骨内侧接触面积增大,同时姿势性后足外翻^[14,25],引起内侧足弓冲量增大,且内侧跟骨冲量最大。扁平足患者内侧纵弓塌陷或消失会进一步引起足底横弓的塌陷,反应在前足离地阶段足底轨迹线像足外侧倾斜^[24],同时扁平足患者的足底筋膜、弹簧韧带等过度拉伸或无力,

致使足底部缺失较好的支撑^[26],出现足内侧冲量大于足外侧冲量,包括内侧跟骨、跖骨、趾骨,这也是扁平足患者出现拇外翻的可能原因。

随着生长发育,足部排列和活动能力的变化将持续到大约8岁^[5],学龄儿童因足弓发育的问题导致足底压力分布的异常,即便是无症状的,也是有必要做进一步评估的^[5]。监测学龄儿童足底压力,根据站立和步行状态下的足底压力分布情况,评估引起异常步态的可能原因,对柔软性扁平足预防和指导康复具有临床意义。

【参考文献】

- [1] Fabry G. Clinical practice. Static, axial, and rotational deformities of the lower extremities in children[J]. Eur J Pediatr, 2010, 169(5):529-534.
- [2] 张勤良,周旭,倪朝民.正常人足底压力分布影响因素及研究现状[J].中国康复,2011,26(6):443-445.
- [3] Pfeiffer M, Kotz R, Ledl T, et al. Prevalence of flatfoot in preschool-aged children[J]. Pediatrics, 2006, 118(2):634-639.
- [4] Evan AM, Rome K, A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2011, 47(1):69-89.
- [5] Farzin Halabchi , Reza Mazaheri , Maryam Mirshahi, et al. Pediatric Flexible Flatfoot; Clinical Aspects and Algorithmic Approach [J]. Iran J Pediatr, 2013, 23(3):247-260.
- [6] HERRING JA. Flexible pes planovalgus (flatfoot) [M]. USA: Tachd jian Mo, 1990:2717-2759.
- [7] 蒙雨,唐学阳,刘利君.儿童柔软性扁平足的治疗进展[J].临床小儿外科杂志,2018,17(5):390-397.
- [8] BUERKAA, ALBERT MC. Advances in pediatric foot and ankle treatment[J]. Curr Opin Orthop, 2001, 12(6):437-442.
- [9] Han Y, Duan D, Zhao k, et al. Investigation of the Relationship Between Flatfoot and Patellar Subluxation in Adolescent[J]. Foot Ankle Surg, 2017, 56(1):15-18.
- [10] Harris EJ, Vanore JV, Thomas JL, et al. Diagnosis and treatment of pediatric flatfoot[J]. Foot ANKLE Surg, 2004, 43(6):341-373.
- [11] Rodriguez N, Choung DJ, Dobbs MB. Rigid pediatric pes planovalgus :conservative and surgical treatment options[J]. Clin Podiatr Med Surg, 2010, 27(1):79-92.
- [12] Labovitz JM. The algorithmic approach to pediatric flexible pes planovalgu[J]. Clin Podiatr Med Surg, 2006, 23(1):57-76.
- [13] Mickle KJ, Steele JR, Munro BJ. The feet of overweight and

表3 2组动态足底压力测试结果比较

组别	n	部位								N. S/cm ² , $\bar{x} \pm s$
		第1趾骨	第2~5趾骨	第1跖骨	第2、3跖骨	第4、5跖骨	内侧足弓	外侧足弓	内侧跟骨	
对照组	16	13.9±5.49	5.94±6.76	9.98±8.05	19.33±7.86	13.61±7.36	0.12±0.48	3.71±4.07	15.04±5.31	17.19±7.13
观察组	16	10.48±6.94	5.01±5.01	9.09±5.39	16.1±5.48	12.18±5.76	2.57±2.84	6.22±6.89	18.69±5.69	18.11±6.14
t值		1.548	0.445	0.365	1.346	0.615	-3.394	-1.251	-1.874	-0.392
P值		0.132	0.660	0.717	0.188	0.543	0.002	0.223	0.071	0.698

- obese young children: are they flat or fat [J]. *Obesity* (Silver Spring), 2006, 14(11):1949-1953.
- [14] 曹萍,汪波,丛燕,等.矫形鞋垫对扁平足的矫治效果的评价研究[J].影像研究与医学应用,2017,1(18):184.
- [15] Gonul Y, Yucel O, Eroglu M, et al. Ultrasonographic evaluation of Achilles tendon in children with flatfoot: A case-control morphometric study[J]. *Diagn Interv Imaging*, 2016, 97(9) : 907-913.
- [16] Shiyang Yan, Ruoyi Li, Bi Shi, et al. Mixed factors affecting plantar pressures and center of pressure in obesechildren: Obesity andflatfoot [J]. *Gait & Posture*, 2020, 80(1): 7-13.
- [17] Buldt AK,orghany SF, Landorf KB, et al. Foot posture is associated with plantar pressure during gait: a comparison of normal, planus and cavus feet [J]. *Gait& Posture* , 2018, 62 (2018), 235-240.
- [18] Cifuentes De La Christian Portilla, Larrainzar Gariojo R, Bayod J. Biomechanical stress analysis of the main soft tissues associated with the development of adult acquired flatfoot deformity[J]. *Clin Biomech*, 2019, 61(1):163-171.
- [19] 吴立军,钟世镇,李义凯,等.扁平足第二跖骨纵弓疲劳损伤的生物力学机制[J].中华医学杂志,2004,84(12):34-38.
- [20] Peterson KS, Hyer CF. Surgical decision making for stage IV adult acquired flatfoot disorder[J]. *Clin podiatr Med Surg*, 2014, 31 (3):445-454.
- [21] Stoltzman S, Irby MB , Callahan AB, et al. Pes planus and pediatric obesity :a asystematic review of the literature[J]. *Clin Obes*, 2015,5(2):52-59.
- [22] Carr JB, Yang S, Lather LA. Pediatric Pes Planus: A Stat-of-the-ArtReview[J]. *Pediatrics*, 2016, 137(3):1205-1230.
- [23] Mosca VS. Flexible flatfoot in children and adolescents[J]. *Child Orthop*, 2010,4(1):107-121.
- [24] 韩艳坤,霍洪峰.扁平足患者足型及步态特征研究[J].临床研究, 2020,35(4):434-439.
- [25] Jane Mackenzie A, Rome K, Evans AM, The efficacy of nonsurgical interventions for pediatric flexible flatfoot: a critical review. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 2012,32(8):830-834.
- [26] 向静,胥方元.步态分析在临床康复应用中的研究进展[J].现代医学卫生,2014,30(22):3411-3413.

• 外刊拾粹 •

全膝关节置换术之后的快速康复方案

在美国,每年大约有 50 万例全膝关节置换术 (TKA),这项回顾性、观察性、队列研究比较了 TKA 术后快速和标准的康复方案。所有患者均在 2012 年 1 月至 2017 年 7 月期间接受了初次 TKA。2012 年 1 月至 2013 年 12 月期间接受治疗的患者接受了三天住院治疗,并在术后第一周内开始标准康复方案 (SRP)。从 2013 年开始,患者在术前 7 天对隐神经髌下支和股前皮神经进行低温神经松解术等疼痛处理,术后当天出院回家,并在术后当天开始快速康复方案 (RRP)。在基线及手术后 52 周随访时中测量患者的关节活动范围。总共 323 例患者接受了 TKA,其中 129 例接受 SRP 治疗,194 例接受 RRP 治疗。所有受试者在术后一年内膝关节屈曲有显著改善,其中在前 12 周改善最明显。与接受 SRP 的患者相比,接受 RRP 的人在第 2、6 和 12 周时屈曲较大,但在第 26 和 52 周时没有差异。RPR 组在第 2、6 和 12 周时屈曲挛缩较轻。结论:这项单一的手术研究发现,与标准康复方案相比,快速康复方案可缩短住院时间并加快膝关节活动度的恢复。

(包春茶 译)

Plessl D, et al. Rapid versus Standard Recovery Protocol is Associated with Improved Recovery of Range of Motion 12 Weeks after Total Knee Arthroplasty. *J Am Academy Ortho Surg*. 2020, 28(21): e962-e968.

中文翻译由 WHO 康复培训与研究合作中心(武汉)组织

本期由 四川大学华西医院 何成奇教授主译编