

文章编号: 1004-7220(2021)05-0712-06

痉挛型脑瘫患者功能性选择性脊神经后根切断术前后的三维步态特征分析

张杰^{1,2}, 徐意涵³, 林思渝¹, 李彩霞¹, 夏汶², 郑洁皎²

(1.上海市浦东新区浦南医院 功能神经外科, 上海 200125; 2.复旦大学附属华东医院 康复医学科, 上海 200040;

3.上海市浦东新区浦南医院 科教拓展部, 上海 200125)

摘要:目的 分析痉挛型脑瘫患者功能性选择性脊神经后根切断 (functional selective posterior rhizotomy, FSPR) 手术前后的步态特征, 客观量化评估手术疗效。方法 选取 15 名将要进行 FSPR 手术治疗的痉挛型脑瘫患者, 应用 VICON 三维运动捕捉系统结合 AMTI 三维测力台对患者进行手术前后的步态采集, 分析手术前后步态的时空、运动学及动力学参数。结果 手术后, 左、右支撑时间均大于手术前, 左侧步长明显大于手术前, 步高、步速及冠状面重心偏移均小于手术前; 着地时的膝关节矢状面角度 (即屈伸角度) 出现明显提高, 髌、踝关节未见明显差异。手术后, 步行过程中左右侧髌、膝、踝关节活动范围 (range of motion, ROM) 在矢状面均出现不同程度的提高, 且有统计学差异; 右踝关节冠状面 ROM 也出现明显提高。手术后, 右膝关节最小屈曲角度及左、右踝关节最大跖屈角度均出现显著减小; 左、右侧支撑相最大垂直力较手术前明显提高, 而下肢关节力矩未见明显差异。结论 三维步态分析可以在一定程度上评估痉挛型脑瘫患者 FSPR 手术的疗效。术后痉挛型脑瘫患者的痉挛得到缓解, 对步态的时空参数及下肢关节运动学参数改善比较明显, 而对于动力学参数改善相对不明显, 需进行进一步康复治疗。

关键词:功能性选择性脊神经后根切断术; 脑瘫; 痉挛; 步态分析

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2021.05.008

Analysis of Three-Dimensional Gait Characteristics before and after FSPR Surgery of Patients with Spastic Cerebral Palsy

ZHANG Jie^{1,2}, XU Yihan³, LIN Siyu¹, LI Caixia¹, XIA Wen², ZHENG Jiejiao²

(1. Department of Functional Neurosurgery, Punan Hospital of Pudong New District, Shanghai 200125, China;

2. Department of Rehabilitation, Huadong Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai 200040, China;

3. Department of Science and Education, Punan Hospital of Pudong New District, Shanghai 200125, China)

Abstract: Objective To analyze gait characteristics of patients with spastic cerebral palsy (CP) before and after functional selective posterior rhizotomy (FSPR) surgery, so as to evaluate curative effects of the surgery objectively. **Methods** Fifteen patients with spastic CP to be treated by FSPR were selected. The VICON three-dimensional (3D) motion analysis system and AMTI 3D force plates were used to collect and analyze the spatiotemporal gait parameters, kinematic and dynamic parameters before and after FSPR surgery.

收稿日期: 2020-11-09; 修回日期: 2021-01-16

基金项目: 上海市卫生和计划生育委员会科研课题 (青年) (20164Y0022), 华东医院临床培育项目 (2019lc004)

通信作者: 郑洁皎, 主任医师, 教授, E-mail: zjjess@163.com

Results After the surgery, the left and right support phases were longer, and the left-side step length was significantly larger. The step height, velocity and the max displacement of center of gravity (COG) in coronal plane were smaller than those before surgery. The sagittal plane angle (flexion and extension angle) of the knee during initial landing was significantly increased, while no significant differences were found in that of the hip and ankle. The range of motion (ROM) of the left/right hip, knee and ankle in sagittal plane was increased to some extent during walking, with statistical differences. The ROM of right ankle in coronal plane was also increased obviously. The minimum flexion angle of the right knee and the maximum plantar flexion angle of the left/right ankle were significantly reduced. The maximum vertical forces of left and right support phases were significantly increased, while no significant differences were found in torque of lower limbs. **Conclusions** The 3D gait analysis can be used to evaluate the effect of FSPR on patients with spastic CP. The spasticity of patients with spastic CP is relieved after FSPR surgery, and the spatiotemporal gait parameters and kinematics parameters are improved significantly. But the improvement of dynamic parameters was not obvious, and further rehabilitation treatment is needed.

Key words: functional selective posterior rhizotomy (FSPR); cerebral palsy; spasticity; gait analysis

脑性瘫痪(cerebral palsy, CP)又称脑瘫,是幼年早期出现的永久性、非进行性的神经、运动障碍的总称^[1-2]。据统计,目前我国有大约 600 万 CP 病例,且每年新增约 6 万例^[2]。CP 患者中痉挛型 CP 占 60%~70%,步态异常是痉挛型 CP 患者的主要运动功能障碍之一^[2-3]。目前,对于痉挛型 CP 患儿的治疗以康复治疗为主,但单纯的康复治疗,在康复治疗停止后肌张力反弹的可能性较高。近年来,外科手术治疗成为了解除痉挛型 CP 患者痉挛的重要手段,功能性选择性脊神经后根切断术(functional selective posterior rhizotomy, FSPR)是目前改善 CP 患者痉挛的重要外科治疗方法之一^[3]。相关研究已经证实,FSPR 手术对痉挛型 CP 患者的痉挛解除有一定疗效^[4-6]。但有关手术疗效的评估,均为改良 Ashworth 分级、粗大运动功能测试量表-88(GMFM-88),这对于手术及手术之后的进一步康复缺乏一定的指导意义^[7-8]。尤其是对于术后患者的进一步康复,由于不同的临床医师或康复治疗师对患者的评估存在一定偏差,可能会影响患者的进一步治疗。

三维步态分析是利用红外运动捕捉系统结合三维测力台及表面肌电对步态进行全面的分析,且被认为是步态评估的金标准^[9-11]。患者步行时的时空、运动学和动力学参数能在一定程度上反映运动控制能力及肌肉活动状态,以客观数值的形式记录患者的步行参数,对患者下一步的治疗可能更具有参考意义。本文应用三维动作捕捉系统采集并分

析痉挛型 CP 患者手术前后的步态数据,客观量化评估外科手术的疗效,同时为痉挛型 CP 患者的运动功能评价及进一步治疗提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取上海市浦东新区浦南医院功能神经外科 2018~2019 年收治的双侧痉挛型 CP 患者 15 名,其中 9 名男性,6 名女性;年龄(11.87 ± 2.10)岁,身高(142.30 ± 8.05)cm;体质量(38.88 ± 8.05)kg,根据相关研究中 CP 患者治疗前后膝关节屈曲最大角度分别为 $51.24^\circ \pm 20.46^\circ$ 、 $60.75^\circ \pm 10.86^\circ$,计算效应量为 0.51,本研究招募 15 名受试者的统计功效值为 0.81^[1]。纳入标准如下:① 年龄 4~18 岁;② 符合痉挛型 CP 的诊断标准^[12];③ 粗大运动功能评分(gross motor function measure, GMFM) I 级或 II 级;④ 智力正常,能充分配合三维步态数据采集,且有独立行走 10 m 及下蹲能力;⑤ 患者及家属知情同意;⑥ 肌张力达到改良 Ashworth 分级 2 级及以上。排除标准如下:① 手足徐动明显、颈部四肢扭转;② 有过度兴奋、焦虑退缩或冲动、攻击行为或自伤、自残行为者,适当用精神药物但仍不能很好控制者;合并严重运动障碍不能行走者,智力严重障碍者;③ 有实验材料过敏史。

1.2 手术方式

对入选的 CP 患者行 FSPR 手术,手术节段均为腰 5~骶 1(L5~S1),切断比例为 30%~40%。术后

绝对卧床2周,卧床期进行简单的康复训练,防止肌肉萎缩,2周后下地进行简单步行训练,训练1周后再次进行三维步态数据采集。

1.3 试验方法

步态采集在同济大学附属养志康复医院生物力学实验室完成。应用三维红外运动捕捉系统(Vicon公司,英国,采样频率100 Hz)结合三维测力台(AMTI公司,美国,采样频率1.5 kHz)采集受试者三维步态数据,不同采样频率的实验装置采用数模转换器进行同步连接。

数据采集前,先进行实验温、湿度调试,然后调试实验环境,同时记录患者基本信息,并告知基本动作要求,患者先进行一定的动作练习,然后指导患者更换运动紧身衣。更换衣物后,由1名中级康复治疗师为患者下肢主要骨性标记点粘贴标记点,粘贴位置见图1(a)。标记点粘贴完毕,开始进行数据采集,患者以自己最舒适行走姿势裸足沿着采集系统(内含地板平面相同高度的3块三维测力台)中央8 m长的步行通道步行,自然行走,患者步行时连续的2步落在测力台上即为有效数据[见图1(b)]。多次采集患者有效数据(至少5次),采集完成后,进行数据备份,数据采集结束。

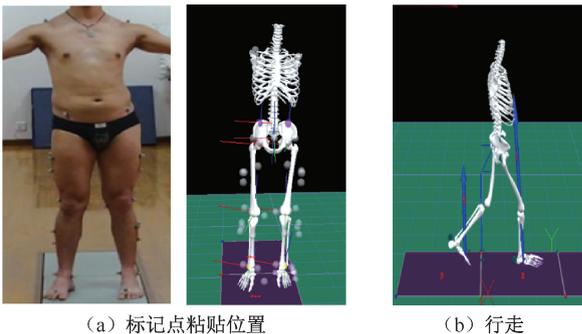


图1 标记点粘贴位置和行走示意图

Fig.1 Schematic for marker location and walking mode pattern (a) Marker location, (b) Walking

1.4 数据采集与分析

利用三维红外运动捕捉与分析系统采集实验过程中的运动学数据,通过采集步态周期中粘贴于实验受试者骨性标志处标记点的三维坐标得到。动力学数据利用三维测力台实时采集地面反作用力,通过逆向动力学计算得到。二者同步采集。将数据在Nexus软件初步处理后,导入生物力学数据

处理软件(C-motion Visual 3D v5)进行时空参数、运动学参数及动力学参数的计算及导出,标记点和地面反作用力原始数据采用Butterworth四阶低通滤波器滤波,截止频率为10 Hz^[13]和50 Hz^[14]。本研究中,1个完整的步态周期定义为一侧脚跟着地到同侧脚跟再次着地。时空参数中的步态周期、步长指标含义如图2所示。其中,步高为步行时足抬起高度,以足跟的标记点z轴坐标最大值表示;重心(centre of gravity, COG)为冠状面偏移最大值,即步态周期中相对于实验室原点COG左右最大偏移。关节角度定义为身体远端环节相对于近端环节旋转的欧拉角。关节力矩为关节内力矩。力值利用体重(body weight, BW)标准化,力矩用身体质量(body mass, BM)标准化。

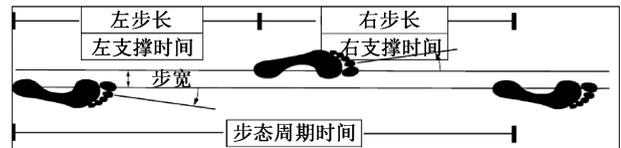


图2 时空参数示意图

Fig.2 Schematic for spatiotemporal gait parameters

1.5 统计学分析

采用Excel 2016和SPSS 21.0统计软件进行数据统计学整理与分析,首先采用Shapiro-Wilk对数据进行正态分布检验,符合正态分布的数据采用配对样本t检验进行统计学分析,数据以平均值±标准差表示;不符合正态分布的数据采用非参数检验,数据以[Me (P25, P75)]表示,显著性差异水平为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 时空参数

CP患者FSRP术后,时空参数结果显示,左、右支撑时间均大于手术前,且有统计学差异(左侧 $P<0.05$,右侧 $P<0.01$),左侧步长明显大于手术前($P<0.05$),步高($P<0.05$)、步速($P<0.01$)及冠状面COG偏移($P<0.05$)均小于手术前,且有统计学差异,见表1。

2.2 运动学参数

CP患者FSRP术后,运动学参数结果显示,着地时的膝关节矢状面角度(即屈伸角度)出现明显

提高,且具有统计学差异(左膝 $P < 0.05$,右膝 $P < 0.05$),髌、踝关节未见明显差异。手术之后,步行过程中的左右侧髌、膝、踝关节的活动范围在矢状面均出现了不同程度的提高,且有统计学差异(左髌 $P < 0.05$,右髌 $P < 0.05$,左膝 $P < 0.01$,右膝

$P < 0.05$,左踝 $P < 0.05$,右踝 $P < 0.05$);且右踝关节冠状面活动范围也出现了明显提高($P < 0.05$)。步行过程中的特征角度中,手术后,右膝关节最小屈曲角度及左、右踝关节最大跖屈角度均出现显著减小($P < 0.05$),见表2。

表1 患者手术前后步态时空参数比较(* $P < 0.05$,** $P < 0.01$)

Tab.1 Comparison of spatiotemporal gait parameters for patients before and after FSPR surgery

时空参数	手术前	手术后	<i>t</i>	<i>P</i>
步态周期总时间/s	1.05±0.14	1.10±0.18	-0.744	0.469
左支撑相/s	0.58±0.07	0.65±0.08	-2.979	0.010*
右支撑相/s	0.58±0.05	0.70±0.14	-3.257	0.006**
左步长/m	0.44±0.10	0.57±0.03	-3.421	0.011*
右步长/m	0.45±0.09	0.52±0.12	-1.555	0.164
步高/m	0.21±0.02	0.19±0.02	2.760	0.015*
步宽/m	0.07±0.06	0.09±0.06	-0.922	0.372
步速/(m·s ⁻¹)	1.15±0.07	0.82±0.12	8.857	0.000**
步态周期 COG 冠状面最大偏移/m	0.21±0.03	0.19±0.03	2.550	0.023**

表2 患者手术前后步态运动学参数比较(* $P < 0.05$,** $P < 0.01$)

Tab.2 Comparison of kinematic parameters for patients before and after FSPR surgery

参数	术前	术后	<i>t</i>	<i>P</i>	
着地时矢状面角度/(°)	左髌关节	36.45±9.69	34.39±5.10	0.893	0.387
	右髌关节	37.11±5.03	38.41±6.12	-1.003	0.333
	左膝关节	27.04±15.81	17.40±6.88	2.460	0.028*
	右膝关节	28.77±18.34	20.39±8.68	2.309	0.037*
	左踝关节	0.75±0.71	0.26±0.16	0.880	0.408
	右踝关节	1.02±0.98	0.29±0.26	1.281	0.241
关节活动范围/(°)	左髌关节矢状面	35.88±6.61	44.63±6.96	-2.852	0.025*
	右髌关节矢状面	39.19±2.82	46.34±5.97	-3.037	0.019*
	左膝关节矢状面	38.79±12.25	57.59±3.90	-4.287	0.004**
	右膝关节矢状面	47.38±14.87	60.21±7.08	-2.730	0.029*
	左踝关节矢状面	20.34±5.98	24.74±7.02	-2.566	0.022*
	左踝关节冠状面	1.52±0.80	2.24±1.02	-2.743	0.520
特征值角度/(°)	右踝关节矢状面	22.65±4.75	24.98±6.27	-2.864	0.012*
	右踝关节冠状面	2.55±0.92	3.19±1.57	-2.562	0.023*
	左膝关节最小屈曲角度	18.33±13.01	10.20±7.76	2.167	0.067
	右膝关节最小屈曲角度	17.12±10.86	8.36±7.01	2.660	0.032*
左踝关节最大跖屈角度	26.66±7.70	19.63±5.86	2.940	0.011*	
右踝关节最大跖屈角度	28.65±11.66	18.79±12.67	2.532	0.016*	

2.3 动力学参数

CP 患者 FSRP 术后,动力学参数结果显示,左、右侧支撑相最大垂直力较手术前明显提高,且有统

计学差异($P < 0.05$),而下肢关节力矩未见明显差异,见表3。

表3 患者手术前后步态动力学参数比较(* $P < 0.05$)

Tab.3 Comparison of patients before and after FSPR surgery on dynamics parameters

参数	术前	术后	<i>t</i>	<i>P</i>	
最大关节力矩/($N \cdot m \cdot kg^{-1}$)	左膝关节矢状面	0.95±0.84	0.80±0.35	0.883	0.392
	右膝关节矢状面	1.10±0.52	0.90±0.49	1.483	0.160
	左踝关节矢状面	0.87±0.56	1.10±0.27	-1.385	0.209
	右踝关节矢状面	1.06±0.44	1.15±0.23	-0.408	0.695
	左踝关节冠状面	0.16±0.13	0.16±0.11	-0.058	0.955
	右踝关节冠状面	0.17±0.12	0.23±0.16	-0.520	0.619
支撑相最大垂直力/BW	左侧	1.13±0.10	1.22±0.19	-2.386	0.032*
	右侧	0.99±0.07	1.15±0.21	-2.619	0.020*

3 讨论

治疗痉挛型 CP 患者,解除痉挛是最首要的问题^[15]。FSPR 手术是近年来逐步发展和完善的神经纤维外科手术,其主要目的是选择性切断 Iα 类纤维,阻断 γ 环路,解除痉挛的同时不影响患者的感觉和运动功能^[3]。本文应用三维步态分析评估痉挛型 CP 患者手术前后的步行参数,以数值的形式表现步行功能,进而反映运动功能,结果具有一定的客观性^[16-19]。

步态分析时空参数的结果表明:手术后患者左、右支撑相时间明显提高,同时左步长较术前明显提高,右步长出现变大的趋势,患者手术后步高降低,COG 在冠状面的位移减小即患者左右摇晃幅度减小,这些都可能是由于手术之后患者小腿三头肌痉挛紧张状态得到缓解,步行时表现为足跟开始着地而非前中脚掌着地,继而运动控制能力提高。这与文献[1,20]的结果相吻合,然而本文中手术后患者步行速度较术前降低,推测原因是在手术前小腿三头肌痉挛状态下,患者不能很好控制自己步行,为了尽快完成步行任务,表现为向前冲的步态;而术后患者痉挛缓解,能在一定程度上控制自己的步行,步行速度下降。

运动学数据表明:FSPR 术后,在初始着地期,患者脚跟触地时的左、右膝关节屈角明显减小,即以更直立的状态触地,这可能是由于手术后股二头肌的痉挛得到缓解。手术后患者步行时关节活动范围均出现不同程度的提高,这与文献[1,7-8,20]的研究结果相同,因为痉挛型 CP 患者行走时,由于股后肌群和小腿三头肌的痉挛导致髌、膝、踝运动时张力失调,进而限制关节运动;随着痉挛的缓解,关节活动度逐步增大。同时,这也是患者手术后踝

关节最大跖屈角度减小的原因。

对于 CP 患者,因为其运动控制能力较差,故动力学数据的采集十分困难。而动力学数据能直观反映步行过程中身体环节、关节受力、做功等情况。动力学参数的结果表明:手术后患者左、右侧支撑最大垂直力均出现明显提高,这可能与患者在肌张力降低后,运动控制能力提高,导致步行过程中前后向、左右向的分力减小有一定关系。而膝、踝关节的关节力矩均出现轻微的减小,推测与手术后一直卧床,肌肉力量的减弱有关。

本文应用三维步态分析评估痉挛型 CP 患者选择性脊神经背跟切断手术前后的时空、运动学和动力学参数,以具体数值的形式反映步行功能,但存在如下的局限性:① 缺乏对照组。本研究既缺乏正常儿童对照,又缺乏未进行手术 CP 儿童的数据对照,缺乏基线的研究,对于手术疗效的评估,有一定的意义,但降低了说服力。② 应对术后患者康复一段时间后(3个月、6个月、1年等)的数据进行采集,并进一步分析随访与手术前后的数据,这对于后续进行外科手术及术后康复具有一定的指导意义。

4 结论

三维步态分析可以在一定程度上评估痉挛型 CP 患者选择性脊神经背跟切断手术的疗效。选择性脊神经背跟切断手术后痉挛型 CP 患者的痉挛得到缓解,对步态的时空参数及下肢关节运动学参数改善比较明显,而对于动力学数据改善相对不明显,需开展进一步康复治疗。

参考文献:

- [1] 孙爱萍,毕胜,赵海红,等.痉挛型脑瘫患儿个体化康复治疗前后步态特征分析[J].中国康复,2020,35(6):317-320.

- [2] 史惟, 杨红, 施炳培, 等. 国内外脑性瘫痪定义、临床分型及功能分级新进展[J]. 中国康复理论与实践, 2009, 15(9): 801-803.
- [3] 穆晓红, 李筱叶. 痉挛型脑性瘫痪外科治疗专家共识[J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28(1): 77-81.
- [4] 徐林, 洪毅, 易斌, 等. 痉挛性脑瘫选择性脊神经后根切断术的10年回顾(附825例随访结果分析)[J]. 中国矫形外科杂志, 2001, 8(1): 48-50.
- [5] 徐林, 蒋化龙, 傅中国, 等. 选择性腰骶神经后根切断术及其方法改进[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 1996, 6(5): 203-205.
- [6] ARENS LJ, PEACOCK WJ, PETER J. Selective posterior rhizotomy: A long-term follow-up study [J]. Childs Nerv Syst, 1989, 5(3): 148-152.
- [7] 徐杰, 徐林, 曾杰, 等. 选择性脊神经后根切断术改善脑瘫患者痉挛及粗大运动的临床观察[J]. 中国骨伤, 2019, 32(9): 815-819.
- [8] 杜爱民, 孙成彦, 彭云川, 等. 腰骶部功能性选择性脊神经后根切断术治疗痉挛性脑瘫的效果[J]. 中国医药导报, 2015, 12(24): 158-161.
- [9] 孙志成, 王彤. 三维运动分析系统在康复医学评估检测中的应用进展[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(2): 234-238.
- [10] PAPAGIANNIS GI, TRIANTAFYLLOU AI, ROUMPELAKIS IM, et al. Gait analysis methodology for the measurement of biomechanical parameters in total knee arthroplasties. A literature review [J]. J Orthop, 2018, 15(1): 181-185.
- [11] MIURA N, KATSUHIRA J, KUROSAWA K. Effect of paralyzed side soleus muscle pressure on the gait of stroke patients as measured by a three-dimensional motion analysis system [J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27(6): 1713-1717.
- [12] 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.
- [13] 黄尚军, 伍颢, 阮棉芳, 等. 4种算法评估落地动作中ACL负荷的对比研究[J]. 体育科学, 2018, 38(3): 73-79.
- [14] LUGADE V, LIN V, CHOU LS. Center of mass and base of support interaction during gait [J]. Gait Posture, 2011, 33(3): 406-411.
- [15] 张蓓华, 宋伟栋, 严善钟, 等. 全方位密集型运动训练系统对痉挛型脑瘫儿童粗大运动功能的影响[J]. 医用生物力学, 2017, 32(6): 529-534.
- ZHANG BH, SONG WD, YAN SZ, et al. Effects of intensive therapy program on gross motor function of children with spastic cerebral palsy [J]. J Med Biomech, 2017, 32(6): 529-534.
- [16] SCHWARTZ MH, ROZUMALSKI A, TRUONG W, et al. Predicting the outcome of intramuscular psoas lengthening in children with cerebral palsy using preoperative gait data and the random forest algorithm [J]. Gait Posture, 2013, 37(4): 473-479.
- [17] TEIXEIRA FB, RAMALHO JÚNIOR A, DE MORAIS FILHO MC, et al. Correlation between physical examination and three-dimensional gait analysis in the assessment of rotational abnormalities in children with cerebral palsy [J]. Einstein, 2018, 16(1): 1-7.
- [18] TRETIKOV M, DO KP, AIONA M. The influence of the unaffected hip on gait kinematics in patients with hemiplegic cerebral palsy [J]. J Pediatr Orthop, 2017, 37(3): 217-221.
- [19] LUNDH D, COLEMAN S, RIAD J. Movement deviation and asymmetry assessment with three dimensional gait analysis of both upper and lower extremity results in four different clinical relevant subgroups in unilateral cerebral palsy [J]. Clin Biomech, 2014, 29(4): 381-386.
- [20] 徐杰, 徐林, 曾杰, 等. 选择性脊神经后根切断术改善脑瘫患者下肢功能的研究进展[J]. 中国骨伤, 2020, 33(5): 489-492.