

· 临床论著 ·

# 超声引导闭合复位外固定治疗儿童桡骨远端骨折

孙炜俊<sup>1</sup>, 汤海峰<sup>1\*</sup>, 田康勇<sup>2</sup>, 林金丁<sup>1</sup>, 张华昆<sup>1</sup>

(1. 福建医科大学附属泉州第一医院骨科, 福建泉州 362000; 2. 山东威高骨科材料股份有限公司, 山东威海 264000)

**摘要:** [目的] 探讨超声引导下闭合复位改良微型外固定架治疗儿童桡骨远端不稳定性骨折的临床疗效。[方法] 2017年3月—2020年12月, 55例儿童桡骨远端不稳定性骨折患者纳入本研究, 根据医患沟通结果, 29例采用超声引导下闭合复位改良微型外固定架治疗, 26例采用透视下闭合复位传统外固定架治疗。比较两组患者的围手术期、随访和影像资料。[结果] 两组患者均顺利完成手术。超声组的手术时间、影像曝光次数、术中失血量、住院时间显著优于透视组 ( $P<0.05$ )。术后1、3 d时超声组的WB-FACES疼痛评分显著低于透视组 ( $P<0.05$ )。两组患者平均随访(18.53±4.24)个月。两组患者拆除外固定时间和完全负重活动时间比较差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。与术后3个月相比, 末次随访时两组的腕伸-屈ROM、腕尺偏-桡偏ROM均显著增加 ( $P<0.05$ ), 两组的Gartland-Werlay评分均有所进步, 但差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。相应时间点, 两组间上述指标的差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。影像方面, 两组骨折复位质量比较差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。两组术后PT、RI、RL均较术前显著改善 ( $P<0.05$ ), 相应时间点, 两组间上述指标的差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。[结论] 超声引导下闭合复位改良微型外固定架治疗儿童桡骨远端不稳定性骨折临床效果优于透视下闭合复位外固定架固定。

**关键词:** 桡骨远端骨折, 不稳定性骨折, 儿童, 超声引导, 改良小外固定架

**中图分类号:** R683.41      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-8478 (2022) 24-2218-05

**Ultrasound-guided closed reduction and external fixation for distal radius fractures in children** // SUN Wei-jun<sup>1</sup>, TANG Hai-feng<sup>1</sup>, TIAN Kang-yong<sup>2</sup>, LIN Jin-ding<sup>1</sup>, ZHANG Hua-kun<sup>1</sup>. 1. Department of Orthopedics, The First Affiliated Hospital of Quanzhou, Fujian Medical University, Quanzhou 362000, China; 2. Shandong Weigao Orthopedic Materials Co., LTD., Weihai 264000, China

**Abstract:** [Objective] To investigate the clinical effect of ultrasound-guided closed reduction and fixation with modified mini-external fixator for unstable distal radius fractures in children. [Methods] From March 2017 to December 2020, 55 children with unstable fractures of the distal radius were enrolled in this study. According to doctor-patient communication results, 29 patients were treated with ultrasound-guided closed reduction and fixation with modified mini-external fixator (the ultrasound group), while the remaining 26 children were treated with traditional external fixator under fluoroscopy (the fluoroscopy group). The perioperative, follow-up and imaging data were compared between the two groups. [Results] All the patients in both groups had operation performed smoothly. The ultrasound group proved significantly superior to the fluoroscopy group in terms of operation time, imaging exposure times, intraoperative blood loss and hospital stay ( $P<0.05$ ). In addition, the WB-faces pain scores in the ultrasound group were significantly lower than those in the fluoroscopy group at 1 day and 3 days postoperatively ( $P<0.05$ ). All patients in both groups were followed up for (18.53±4.24) months on average, with no significant differences in the time to remove external fixator and the time to resume full weight-bearing activity between the two groups ( $P>0.05$ ). Compared with those 3 months after surgery, the extension-flexion range of motion (ROM) and ulnar-radial deviation ROM significantly increased in both groups ( $P<0.05$ ), the Gartland-Werlay scores also improved in both groups at the last follow-up whereas without statistically significant differences ( $P>0.05$ ). However, there were no significant differences in the abovesaid indexes between the two groups at any corresponding time points ( $P>0.05$ ). Radiographically, there was no significant difference in fracture reduction quality between the two groups ( $P>0.05$ ). The PT, RI and RL in both groups were significantly improved after operation ( $P<0.05$ ), whereas no significant differences in the above imaging parameters were noticed between the two groups at corresponding time points ( $P>0.05$ ). [Conclusion] The ultrasound-guided closed reduction and fixation with modified mini-external fixator does achieve considerably better clinical outcomes over the fluoroscopic closed reduction and conventional external fixator for distal radial unstable fractures in children.

**Key words:** distal radius fracture, unstable fracture, children, ultrasound-guidance, modified mini-external fixator

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2022.24.03

作者简介: 孙炜俊, 主治医师, 硕士, 研究方向: 创伤骨科, (电话)15985988859, (电子信箱)swj7620@163.com

\* 通信作者: 汤海峰, (电话)13505942288, (电子信箱)orange\_zhangailing@163.com

桡骨远端骨折是儿童常见骨折类型之一，多数可以通过手法复位石膏固定获得满意的治疗效果<sup>[1]</sup>。但部分骨折由于屈肌腱或伸肌腱牵拉产生的“弓弦效应”，可能产生骨折端进行性掌侧或背侧成角移位，虽然通过调整外固定位置可部分纠正，但渐进性成角移位导致固定失败的病例并非少数<sup>[2]</sup>。这类不稳定性骨折，临床上常采用切开复位钢板内固定、闭合复位外固定架或克氏针、弹性髓内针内固定<sup>[3-5]</sup>，但这些治疗方式都存在一定的不足：(1) 钢板内固定损伤大，且需二次取出；(2) 传统外固定架笨重且带螺纹的外固定螺钉在置入过程中可能损伤肌腱或导致骨折再移位<sup>[6]</sup>；(3) 这个部位接近骨髓的解剖特点导致交叉克氏针置入难度较大，且可能损伤骺板，存在潜在的生长障碍<sup>[7]</sup>；(4) 由于邻近骺板，髓腔的直径差异较大，弹性髓内针的复位效果和稳定性较差，而且该部位髓内针置入操作复杂<sup>[8]</sup>。另外，闭合复位过程中需反复X线透视，潜在的辐射损伤也是临床需关注的问题。基于上述术式的不足，本院2017年3月—2020年12月采用超声引导下闭合复位改良微型外固定架治疗儿童桡骨远端不稳定性骨折，获得满意效果。现报道如下。

## 1 资料与方法

### 1.1 纳入与排除标准

纳入标准：(1) 年龄≤12岁；(2) 符合儿童桡骨远端骨折的X线诊断标准<sup>[9]</sup>；(3) 手法复位后骨折仍进行性移位；(4) 骨折端与桡骨远端骺板距离>1 cm。

排除标准：(1) 年龄>12岁；(2) 未经手法复位治疗者；(3) 骨折端与桡骨远端骺板距离<1 cm；(4) 合并患肢其他部位骨折；(5) 骨折部位皮肤损伤或感染；(6) 桡骨远端骨折病史；(7) 前臂肌腱或神经损伤史。

### 1.2 一般资料

2017年3月—2020年12月，55例患者符合上述标准，纳入本前瞻性研究，根据医患沟通结果，将患者分为超声组29例和透视组26例，两组患者一般资料见表1，两组年龄、性别、侧别、BMI (body mass index, BMI)、损伤至手术时间及OTA类型的差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。本研究通过医院伦理管理委员会审批，患者家属均签署知情同意书。

### 1.3 手术方法

所有患者均在全麻下进行，取仰卧位，患肢外展

置于手术侧台上。

表1 两组患者术前一般资料与比较

指标	超声组 (n=29)	透视组 (n=26)	P值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )	6.72±2.49	6.31±2.40	0.531
性别(例, 男/女)	18/11	14/12	0.537
BMI (kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	23.88±4.43	23.84±3.82	0.971
损伤至手术时间(d, $\bar{x} \pm s$ )	7.76±2.31	7.92±2.26	0.791
侧别(例, 左/右)	6/23	9/17	0.247
OTA类型(例, A2/A3)	25/4	19/7	0.224

超声组：手法复位桡骨远端骨折，将便携式超声仪的线阵探头（广州索诺星科技有限公司提供，频率：7.5~10 MHz）置于无菌薄膜袋内，平行桡骨长轴动态探查骨折端复位情况，确认骨折成功后，超声下标记桡骨远端骺板和骨折端位置，引导经前臂桡侧于骨折远端和近端各置入2枚直径2.0 mm钛合金克氏针。如果桡骨远端骨干直径小，可采用直径1.6 mm克氏针，注意避免进入骺板和骨折端。再次超声下确定骨折端复位满意后，安装微型外固定架和碳素连接杆，处理针尾，无菌敷料包扎。

透视组：手法复位桡骨远端骨折，C形臂X线机透视确定骨折复位成功后，透视下确定前臂桡侧进针点，作长约5~7 mm纵行切口，牵开保护拇长展肌腱，使用直径1.8 mm钻头行骨皮质开口，缓慢拧入直径2.0 mm带螺纹外固定螺钉。同样方法分别于桡骨远端和近端各置入2枚外固定螺钉，再次透视确定骨折复位满意后，安装连接杆并锁紧常规外固定架（山东威高骨科材料股份有限公司提供）。处理针尾，无菌敷料包扎。

两组术后常规预防感染24 h，定期针眼换药，患侧上肢功能位支具固定，术后24 h即开始指导患肢屈伸功能锻炼。术后4、6、8周、3、6个月分别拍摄尺桡骨正侧位X线片，骨折愈合后拆除外固定架。

### 1.4 评价指标

记录围手术期指标，包括手术时间、影像曝光次数、术中失血量、住院时间。记录早期并发症，包括钉道感染、螺钉松动、断裂、弯曲等事件。采用Wong-Baker脸部疼痛量表 (Wong-Baker faces pain rating scale, WB-FACES) 评估疼痛程度<sup>[10]</sup>，采用完全负重活动时间、Gartland-Werley腕关节功能评分<sup>[11]</sup>、腕关节伸-屈活动度 (range of motion, ROM)、尺偏-桡偏ROM评价临床效果。行影像检查，评估骨折复位质量：优为解剖复位；良为骨折侧方移位<

3 mm, 无成角或旋转移位; 差为骨折侧方移位 $\geq 3$  mm, 伴成角或旋转移位<sup>[11]</sup>。测量掌倾角 (palmar tilt, PT)、尺偏角 (radial inclination, RI)、桡骨茎突长度 (radial length, RL)。

### 1.5 统计学方法

采用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析。计量数据以  $\bar{x} \pm s$  表示, 资料呈正态分布时, 两组间比较采用独立样本 *t* 检验; 组内时间点比较采用单因素方差分析, 两两比较采用 LSD 法; 资料呈非正态分布时, 采用秩和检验。计数资料采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确检验。等级资料两组比较采用 Mann-whitney *U* 检验。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 围手术期情况

两组患者均顺利完成手术, 透视组有 2 例拇长展肌腱断裂, 行肌腱吻合术后痊愈。两组患者围手术期资料见表 2。超声组的手术时间、术中曝光次数、术中失血量、住院时间均显著优于透视组 (*P*<0.05)。两组术后 WB-FACES 疼痛评分均较术前逐渐降低, 且术后 1、3 d 超声组的 WB-FACES 疼痛评分显著低于透视组 (*P*<0.05), 但术后 7 d 两组间的疼痛评分比较的差异无统计学意义 (*P*>0.05)。术后早期并发症中, 超声组和透视组各出现 1 例和 3 例钉道感染, 经换药后均痊愈。

表 2 两组患者围手术期结果 ( $\bar{x} \pm s$ ) 与比较

指标	超声组 (n=29)	透视组 (n=26)	<i>P</i> 值
手术时间 (min)	30.52±4.47	59.58±4.78	<0.001
术中曝光次数 (次)	1.55±0.91	10.35±2.00	<0.001
术中失血量 (ml)	2.66±0.81	17.35±6.30	<0.001
住院时间 (d)	2.55±0.63	3.73±1.48	<0.001
WB-FACES 疼痛评分 (分)			
术前	2.62±1.35	2.50±1.33	0.740
术后 1 d	2.03±1.27	3.03±0.91	0.002
术后 3 d	1.21±0.41	1.62±0.57	0.003
术后 7 d	0.38±0.49	0.38±0.50	0.968
<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	

### 2.2 随访结果

所有患者均获随访, 随访时间 12~30 个月, 平均 (18.53±4.24) 个月。两组患者随访资料见表 3。两组拆除外固定时间和完全负重活动时间比较差异均

无统计学意义 (*P*>0.05)。与术后 3 个月相比, 末次随访时两组腕伸-屈 ROM、腕尺偏-桡偏 ROM 均显著增加 (*P*<0.05); 两组的 Gartland-Werlay 评分均有所进步, 但差异均无统计学意义 (*P*>0.05)。相应时间点, 两组间 Gartland-Werlay 评分和 ROMs 的差异均无统计学意义。

随访过程中超声组未出现再骨折或再手术的并发症, 但透视组出现 1 例外固定螺钉松动, 予延长支具固定时间至 9 周时拆除外固定架。

表 3 两组患者随访结果 ( $\bar{x} \pm s$ ) 与比较

指标	超声组 (n=29)	透视组 (n=26)	<i>P</i> 值
拆除外固定时间 (周)	5.86±1.51	6.15±1.49	0.474
完全负重活动时间 (周)	10.00±2.27	10.23±2.35	0.713
Gartland-Werlay 评分 (分)			
术后 3 个月	0.66±0.55	2.23±5.57	0.136
末次随访	0.41±0.50	0.73±1.28	0.224
<i>P</i> 值	0.087	0.187	
腕伸-屈 ROM (°)			
术后 3 个月	100.00±10.18	100.58±10.61	0.838
末次随访	108.10±7.00	108.58±10.61	0.840
<i>P</i> 值	<0.001	0.002	
腕尺偏-桡偏 ROM (°)			
术后 3 个月	62.24±4.55	60.77±5.42	0.279
末次随访	66.55±3.30	65.38±2.80	0.166
<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	

### 2.3 影像评估

两组患者影像评估结果见表 4。两组骨折复位质量比较的差异无统计学意义 (*P*>0.05), 两组术后 PT、RI、RL 均较术前显著改善 (*P*<0.05), 相应时间点, 两组间上述指标的差异均无统计学意义 (*P*>0.05)。典型病例见图 1。

## 3 讨论

儿童不稳定性桡骨远端骨折主要是由于骨折端背侧或掌侧骨质塌陷导致支撑力不足<sup>[13]</sup>、外固定不可靠<sup>[14]</sup>或屈伸肌腱牵拉力量失衡所致<sup>[13]</sup>。经典的钢板内固定存在损伤大、需二次取出内固定的缺点<sup>[15]</sup>。随着外固定架技术的应用, 该类型骨折的治疗逐渐趋于闭合复位外固定架技术, 但该技术也存在置钉时骨折移位、需反复透视及易损伤肌腱的不足<sup>[6, 16, 17]</sup>。



图 1 患者,男,9岁,因跌倒致左腕部疼痛、畸形、活动受限 2 h 入院 1a, 1b: 初次复位后 1 周后正侧位 X 线片示左桡骨远端骨折掌侧移位明显, 伴下尺桡关节脱位, 骨折端掌侧可见粉碎性骨折块, 诊断为左桡骨远端不稳定性骨折 1c: 改行手术治疗, 术中超声影像显示左桡骨远端掌侧骨折端对位对线满意 1d: 术中超声引导下置入直径 2.0 mm 克氏针作为外固定架螺钉 1e, 1f: 术中透视见左桡骨远端骨折复位满意 1g, 1h: 术后 28 个月正侧位 X 线片示左桡骨远端骨折完全愈合, 下尺桡关节在位

表 4 两组患者影像评估结果与比较

指标	超声组 (n=29)	透视组 (n=26)	P 值
复位质量 (例, 优/良/差)	12/13/4	10/14/2	0.759
PT (°, $\bar{x} \pm s$ )			
术前	1.34±10.63	1.85±12.67	0.874
术后	11.76±2.98	11.04±3.41	0.407
P 值	<0.001	<0.001	
RI (°, $\bar{x} \pm s$ )			
术前	17.90±7.90	16.35±8.39	0.483
术后	21.86±2.47	22.23±2.07	0.554
P 值	0.013	<0.001	
RL (mm, $\bar{x} \pm s$ )			
术前	4.90±4.09	5.19±3.41	0.773
术后 3 d	1.62±1.12	1.73±1.19	0.724
P 值	<0.001	<0.001	

本研究中改良微型外固定架使用直径 2.0 mm 或 1.6 mm 克氏针代替外固定螺钉, 置入时扭力小于螺钉, 不易出现骨折再移位。超声组均一次性置针, 无需反复调整骨折位置, 手术时间低于透视组。目前尚无克氏针作为外固定螺钉的报道, 但 Wright 等<sup>[18]</sup>发现尺桡骨外固定时确实存在螺钉扭力过大导致骨折再移位的情况。透视组置钉时需经 2~5 次骨折调整方

可达到满意复位效果, 在不稳定桡骨远端骨折更为常见, 这也增加了操作时间和难度。

桡骨远端的肌腱血管神经较为密集, 外固定螺钉置入时需作小切口, 分离肌腱后才能在开口置钉, 既增加操作步骤和时间, 也增加出血量, 透视组手术时间和失血量均高于超声组。超声组采用光滑克氏针, 置针时容易避开肌腱, 组织损伤小, 操作效率高, 术后疼痛控制也优于透视组。重要的是, 肌腱滑动时与克氏针不会切割, 而螺钉的螺纹则可能导致肌腱的切割损伤, 透视组出现 2 例拇长展肌断裂, 但超声组未出现该并发症, 所以光滑克氏针替代外固定螺钉可能更为安全、高效。

外固定螺钉抗折弯和提拉能力强, 具有稳定骨折的良好效果<sup>[19]</sup>。而克氏针具有弹性, 抗折弯和把持能力差, 能否替代螺钉尚无文献报道。如何增加其把持力和抗折弯力呢? 本研究的经验是减少克氏针有效长度来增加稳定性, 超声组未出现克氏针断裂、弯曲, 在骨折早期可提供满意的固定作用。同时术后均采取支具辅助, 也可避免克氏针松动的风险, 所以超声组均未出现外固定松动, 而透视组则出现 1 例, 发生率 3.85%, 可能与螺钉钢质材料的组织相容性不如钛合金或螺钉在拧入过程摇摆有关, 但病例较少, 其中原因尚需进一步研究。

儿童术中辐射损伤一直是临床关注的问题,但目前仅能在减少曝光次数与增加防护方面做工作<sup>[20, 21]</sup>。本研究中透视组需曝光(10.35±2.00)次,最高达17次,放射损伤不容忽视。相反,超声可以实时监测骨折复位<sup>[22]</sup>,超声组通过实时超声影像,可根据骨折移位情况采用手法或经皮撬拨进行精准复位。桡骨远端桡侧经皮置钉的主要风险是损伤拇长展肌、针尖向掌侧滑移损伤桡动脉或背侧滑移损伤伸肌腱,或针尖误入骺板等,虽然可通过反复透视来避免损伤骺板,但仍无法完全规避钉道上的肌腱。本研究中应用超声获得拇长展肌影像,确保克氏针回声位于拇长展肌掌侧,避免损伤拇长展肌,同时冠状位获取骺板影像,可以在超声监视下确保克氏针方向准确。超声组克氏针均为一次性置入,未出现损伤肌腱血管神经和骺板的病例,安全性和效率优于透视组,所以超声引导下闭合复位经皮穿针在儿童桡骨远端骨折治疗中具有可取之处。

综上所述,超声引导下闭合复位改良微型外固定架治疗儿童桡骨远端不稳定性骨折,临床效果优于透视下闭合复位传统外固定架固定,可作为传统外固定架技术的替代方法之一。

#### 参考文献

- Marson BA, NG JWG, Ollivere BJ, et al. Treatment of completely displaced distal radial fractures with a straight plaster or manipulation under anaesthesia [J]. *Bone Joint J*, 2021, 103-B (5): 902-907.
- Ramoutar DN, Shivji FS, Rodriues JN, et al. The outcomes of displaced paediatric distal radius fractures treated with percutaneous Kirschner wire fixation: a review of 248 cases [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2015, 25 (3): 471-476.
- 杜智军, 陆士姣, 张友波. 弹性髓内针顺行固定治疗儿童桡骨远端干骺端移行部骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25 (24): 2290-2293.
- 卡索, 关志明, 刘成, 等. 桡骨交叉针内固定治疗儿童尺桡骨远端不稳定骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2000, 7 (5): 506-507.
- Wang D, Shan L, Zhou JL. Locking plate versus external fixation for type C distal radius fractures: a meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Chin J Traumatol*, 2018, 21 (2): 113-117.
- Korobeinikov A, Popkov D. Use of external fixation for juxta-articular fractures in children [J]. *Injury*, 2019, 50 (Suppl 1): S87-S94.
- Luscombe KL, Chaudhry S, Dwyer JS, et al. Selective Kirschner wiring for displaced distal radial fractures in children [J]. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 2010, 44 (2): 117-123.
- Varga M, Fadgyas B, Kassai T, et al. Short, double elastic nailing of severely displaced distal pediatric radial fractures: a new method for stable fixation [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96 (14): e6532-e6536.
- 潘少川. 实用小儿骨科学 [M]. 3版. 北京: 人民卫生出版社, 2016: 356-357.
- Garra G, Singer AJ, Taira BR, et al. Validation of the Wong-Baker FACES Pain Rating Scale in pediatric emergency department patients [J]. *Acad Emerg Med*, 2010, 17 (1): 50-54.
- Kwak JM, Jung GH. Biologic plating of unstable distal radial fractures [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2018, 19 (1): 117-119.
- Bentohami A, Bijlsma TS, Goslings JC, et al. Radiological criteria for acceptable reduction of extra-articular distal radial fractures are not predictive for patient-reported functional outcome [J]. *J Hand Surg Eur*, 2013, 38 (5): 524-529.
- Asadollahi S, Ooi KS, Hau RC. Distal radial fractures in children: risk factors for redisplacement following closed reduction [J]. *J Pediatr Orthop*, 2015, 35 (3): 224-228.
- Wendling-Keim DS, Wieser B, Dietz HG. Closed reduction and immobilization of displaced distal radial fractures. Method of choice for the treatment of children [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2015, 41 (4): 421-428.
- Asadollahi S, Ooi KS, Hau RC. Distal radial fractures in children: risk factors for redisplacement following closed reduction [J]. *J Pediatr Orthop*, 2015, 35 (3): 224-228.
- Mitchell L, Archer E, Middleton S, et al. Paediatric distal radial fracture manipulation: multicentre analysis of process times [J]. *Emerg Med J*, 2009, 26 (1): 41-43.
- Korobeinikov A, Popkov D. Use of external fixation for juxta-articular fractures in children [J]. *Injury*, 2019, 50 (Suppl 1): S87-S94.
- Esposito J, Schemitsch EH, Saccone M, et al. External fixation versus open reduction with plate fixation for distal radius fractures: a meta-analysis of randomised controlled trials [J]. *Injury*, 2013, 44 (4): 409-416.
- Wei DH, Poolman RW, Bhandari M, et al. External fixation versus internal fixation for unstable distal radius fractures: a systematic review and meta-analysis of comparative clinical trials [J]. *J Orthop Trauma*, 2012, 26 (7): 386-394.
- Wright TW, Horodyski M, Smith DW. Functional outcome of unstable distal radius fractures: ORIF with a volar fixed-angle tine plate versus external fixation [J]. *J Hand Surg Am*, 2005, 30 (2): 289-299.
- Pieske O, Geleng P, Zaspel J, et al. Titanium alloy pins versus stainless steel pins in external fixation at the wrist: a randomized prospective study [J]. *J Trauma*, 2008, 64 (5): 1275-1280.
- Paulino AC, Constine LS, Rubin P, et al. Normal tissue development, homeostasis, senescence, and the sensitivity to radiation injury across the age spectrum [J]. *Semin Radiat Oncol*, 2010, 20 (1): 12-20.
- Monje ML, Palmer T. Radiation injury and neurogenesis [J]. *Curr Opin Neurol*, 2003, 6 (2): 129-134.
- 付世杰, 张建志, 张国川. 超声在创伤骨科中的应用进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2013, 21 (20): 1327-1329.

(收稿:2022-01-01 修回:2022-06-07)

(同行评议专家: 张立军 毛小成 曹杰)

(本文编辑: 郭秀婷)