

·论著·

3D 打印技术在小儿后天性肘内翻畸形截骨矫形术中的应用



全文二维码



开放科学码

宁金波 姚明木

【摘要】 目的 探讨 3D 打印技术在小儿后天性肘内翻畸形截骨矫形术中的临床应用价值。 **方法** 收集 2016 年 6 月至 2018 年 8 月由重庆大学附属三峡医院小儿外科收治的 16 例肘内翻畸形患者作为研究对象,均行截骨矫形手术治疗。其中男童 10 例,女童 6 例,平均年龄 7.7 岁。术前根据 HSS (Hospital for Special Surgery) 肘关节评分标准评价肘关节功能,行肘关节 CT 扫描,建立数字模型,按照 1 : 1 等比例打印 3D 实体模型,在模型上设计截骨平面,术中参照 3D 模型实施截骨矫形。手术后 6 个月复查,采用 HSS 肘关节评分标准评价肘关节功能,拍摄肘关节正侧位 X 线片测量肘关节提携角、肱骨前倾角和鲍曼角,并与术前设计进行比较,评价矫形效果是否符合预期。 **结果** 16 例患者均在全麻下顺利完成手术,术后均获随访,所有患者获骨性愈合,肘内翻畸形获得矫正,无神经血管损伤、术区感染、克氏针移位等并发症发生。3D 模型模拟手术效果:提携角范围为 $9^{\circ} \sim 19^{\circ}$, 平均 $(13.57 \pm 2.62)^{\circ}$; 手术后 6 个月 X 线片结果:提携角范围为 $9^{\circ} \sim 19^{\circ}$, 平均 $(14.34 \pm 3.28)^{\circ}$, 前倾角范围为 $24^{\circ} \sim 51^{\circ}$, 平均为 $(40.08 \pm 7.44)^{\circ}$, 鲍曼角范围为 $55^{\circ} \sim 76^{\circ}$, 平均为 $(67.54 \pm 6.10)^{\circ}$ 。3D 模拟手术与实际手术后提携角对比,差异无统计学意义 ($t = 1.76, P = 0.1$)。术后 6 个月随访时肘关节功能评定:优 10 例,良 0 例,一般 5 例,差 1 例。肘关节功能评分:69 ~ 100 分,平均 (89.00 ± 11.62) 分;与术前肘关节功能评分比较,差异无统计学意义 ($t = 1.03, P = 0.32$)。 **结论** 在小儿肘关节畸形截骨矫形术中运用 3D 打印技术,有助于评估畸形形态和精确设计截骨角度,截骨矫形效果符合预期。

【关键词】 3D 打印; 肘关节/损伤; 肘关节/畸形; 肘内翻; 截骨; 外科手术; 儿童

【中图分类号】 R726.873.1 R726.8 R682

Application of three-dimensional printing technology during corrective osteotomy for cubitus varus deformity in children. Ning Jinbo, Yao Mingmu. Department of Pediatric Surgery, Chongqing University Three Gorges Hospital, Chongqing 404000, China. Corresponding author: Yao Mingmu, Email: 3052679@qq.com

【Abstract】 Objective To explore the clinical application value of three-dimensional (3D) printing technology during corrective osteotomy for cubitus varus deformity (CVD) in children. **Methods** From June 2016 to August 2018, 16 CVD children underwent humeral osteotomy. There were 10 boys and 6 girls with an average age of 7.7 years. According to the elbow joint scoring standard of HSS (Hospital for Special Surgery), elbow joint function was evaluated preoperatively. The computed tomography (CT) scans of elbow joint were performed for constructing a computer bone model. A 1 : 1 proportional 3D solid model was printed and corrective osteotomy planes were designed on the basis of the above model. Then osteotomy was guided by the 3D model. And elbow joint function was evaluated at Month 6 post-operation. Carrying angle, humerotrochlear angle and Baumann's angle were calculated by radiographic measurements. The postoperative outcomes were compared with preoperative designs to evaluate whether orthopedic efficacy accorded with expectations. **Results** All of them were operated under general anesthesia. After revision surgery, bone union was achieved without complications of neurovascular injuries. Results of 3D model surgical simulation: carrying angle was $13.57^{\circ} \pm 2.62^{\circ}$ ($9^{\circ} \sim 19^{\circ}$); radiograph at Month 6 post-operation: carrying angle $(14.34^{\circ} \pm 3.28^{\circ})$ ($9^{\circ} \sim 19^{\circ}$), humerotrochlear

DOI: 10.12260/lxewkzz.2021.10.009

基金项目:重庆市万州区社会发展领域科技计划指导性项目(编号:

wzstc-z201702)

作者单位:重庆大学附属三峡医院小儿外科(重庆市,404000)

通信作者:姚明木, Email: 3052679@qq.com

angle $40.08^{\circ} \pm 7.44^{\circ}$ ($24^{\circ} - 51^{\circ}$) and Baubann's angle ($67.54^{\circ} \pm 6.10^{\circ}$) ($55^{\circ} - 76^{\circ}$). No significant difference existed in carrying angles ($t = 1.76, P = 0.1$). Elbow joint function was evaluated at Month 6; excellent ($n = 10$), good ($n = 0$), decent ($n = 5$) and poor ($n = 1$). Elbow joint function score was (89.00 ± 11.62) ($69 - 100$) points. And no statistically significant difference existed in preoperative elbow joint function ($t = 1.03, P = 0.32$). **Conclusion** Applying 3D printing technology during osteotomy of children with elbow joint deformity enables surgeons to precisely evaluate deformities. Also 3D corrective osteotomy may be simulated. The efficacy of osteotomy fulfills expectations.

【Key words】 3D Printing; Elbow Joint/IN; Elbow Joint/AB; Cubitus Vars; Osteotomy; Surgical Procedures, Operative; Child

3D 打印技术近年来在医学领域得到了越来越多的应用,成为脊柱、骨盆、颅颌面部等部位手术设计的重要帮手。重庆大学附属三峡医院小儿外科于 2016 年 6 月至 2018 年 8 月将 3D 打印技术应用用于小儿后天性肘内翻畸形截骨矫形手术,取得了良好效果,现报道如下。

材料与方法

一、一般资料

回顾性收集重庆大学附属三峡医院小儿外科自 2016 年 6 月至 2018 年 8 月实施截骨矫形手术治疗的先天性肘内翻畸形患者临床资料。病例纳入标准:①术前利用 3D 打印技术制作 3D 模型,术中采用 3D 模型辅助手术者;②骨折后继发肘内翻畸形,且已骨性愈合者;③内翻角 + 对侧提携角 $> 20^{\circ}$ 者;④未合并其他需同期手术处理的病变者。共收集病例 16 例,其中男童 10 例,女童 6 例,平均年龄 7.7 岁 ($6.2 \sim 10.4$ 岁);均有肘关节外伤史,受伤至手术时间为 7 个月至 4 年 8 个月,平均 21 个月。术前采用 HSS (Hospital for Special Surgery) 肘关节评分标准评定肘关节功能^[1];其中优 11 例,良 0 例,一般 4 例,差 1 例,优良率为 68.75%。术前测量患侧肘内翻角为 $8^{\circ} \sim 29^{\circ}$,平均 (17.88 ± 6.78) $^{\circ}$;前倾角为 $3^{\circ} \sim 50^{\circ}$,平均 (37.30 ± 13.10) $^{\circ}$;鲍曼角为 $97^{\circ} \sim 115^{\circ}$,平均 (108.39 ± 5.59) $^{\circ}$ 。采用测量肱尺角

(HUA, humeral-ulna-angle) 法测量健侧提携角。

二、3D 模型制作及模拟手术

所有患者术前行 CT 断层扫描 (16 排螺旋 CT, 德国西门子公司), 扫描层厚 1 mm, 获取 Dicom 数据, 将数据导入 Mimics 15.0 软件获得骨折区域的三维图像, 以 STL 格式文件输入 3D 打印机。采用 ABS 树脂材料在 3D 打印机上按 1:1 的比例打印 3D 实体模型。在 3D 模型上进行三维截骨, 同时纠正内翻角度、前倾角及旋转。纠正内翻截骨角度 = 患侧内翻角 + 健侧提携角, 纠正前倾角截骨角度 = 患侧前倾角 - 健侧前倾角。选择合适的固定点进行克氏针模拟内固定 (图 1A 至图 1D)。

三、手术方法

术前用环氧乙烷消毒 3D 模型。采用全身麻醉, 患者取仰卧患肢外展位, 铅衣保护患者头颈胸腹及生殖器。取肱骨远端外侧纵形切口, 由肱桡肌与肱三头肌间隙进入, 切开骨膜显露肱骨远端, 按术前测得的拟纠正角度, 参照 3D 模型 (图 1D 至图 1E), 于肱骨相应截骨部位横向穿入直径 1.5 mm 克氏针, 术中再次 C 臂透视确定截骨线, 锯成楔形切除骨块, 保留对侧少许骨皮质增加稳定性, 手法折断内侧骨皮质, 外翻位加压纠正畸形后予克氏针固定, 一般选择直径 2.0 mm 克氏针 2~3 枚, 经肱骨外髁扇形或交叉固定, 或经内外髁交叉固定。术后上肢石膏托辅助外固定, 3 周后拆除石膏开始肘关节功能锻炼, 一般术后 4~6 周骨痂生长满意后即拆除内固定克氏针。

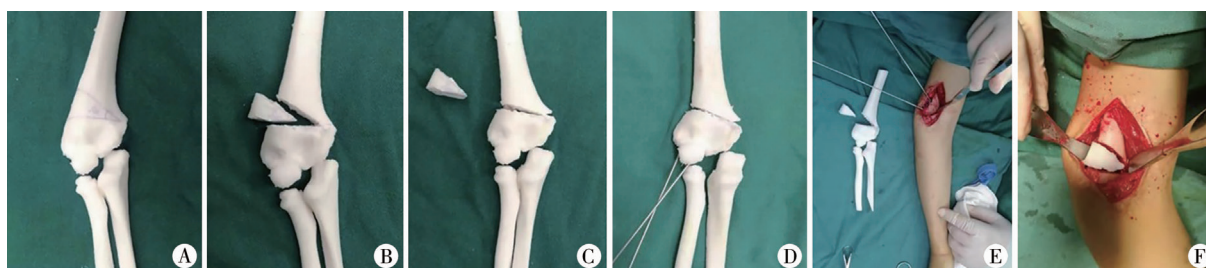


图 1 3D 模型模拟手术及术中参照 注 A:在模型上设计截骨部位和角度; B:模拟截骨; C:观察截骨效果; D:模拟内固定; E:术中参照模型定位; F:术中截骨与模拟截骨吻合

Fig. 1 3D printing model; surgical simulations and applications

四、随访及疗效判断标准

术后 6 个月行患侧肱骨正侧位 X 线片检查,测量肘关节提携角、肱骨前倾角及鲍曼角。采用 HSS 肘关节评分标准评定肘关节功能:90~100 分为优,80~89 分为良,70~79 分为一般,60~69 分为差。优良率 = 评分为优、良的例数/总例数 $\times 100\%$ [1]。

五、统计学处理

采用 SPSS 19.0 统计学软件进行数据的整理与分析,计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,手术前后比较采用配对 t 检验;计数资料用例数和率表示,手术前后比较采用配对 χ^2 检验; $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

16 例患者术后均获随访,肘内翻畸形均获矫正,截骨术后均骨性愈合,无神经血管损伤,无伤口感染及针道感染。3D 模型模拟手术效果:提携角范围为 $9^\circ \sim 19^\circ$,平均为 $(13.57 \pm 2.62)^\circ$;术后 6 个月提携角范围为 $9^\circ \sim 19^\circ$,平均为 $(14.34 \pm 3.28)^\circ$,前倾角范围为 $24^\circ \sim 51^\circ$,平均为 $(40.08 \pm 7.44)^\circ$,鲍曼角范围为 $55^\circ \sim 76^\circ$,平均为 $(67.54 \pm 6.10)^\circ$ 。3D 模

拟手术与实际手术后提携角对比,差异无统计学意义($t = 1.76, P = 0.1$),手术效果符合预期(表 1,图 2)。术后 6 个月随访时根据 HSS 肘关节评分标准评定肘关节功能:优 10 例,良 0 例,一般 5 例,差 1 例,肘关节功能评分为 69~100 分,平均为 (89.31 ± 11.62) 分,优良率为 62.5%,与术前肘关节功能评分比较,差异无统计学意义($t = 1.03, P = 0.32$),详见表 2。

讨 论

肘内翻畸形是儿童肱骨髁上骨折后期常见的并发症之一,也可继发于肱骨远端骨骺损伤。肘内翻畸形不仅引起肘关节外观的改变,还造成肘关节力线、尺骨鹰嘴及肱三头肌向内侧移位,对尺骨产生长期反复的外旋力矩,造成肘关节外侧副韧带松弛,最终导致肘关节不稳定;此外,还可引起同侧肩关节后侧不稳定和尺神经等解剖结构的移位[2,3]。由于明显的外观畸形和不同程度功能障碍,常常对儿童身心健康产生严重影响,大多数肘内翻畸形患者及家属都有手术矫形的意愿。

传统截骨方法利用肱骨正侧位 X 线片设计截

表 1 手术前、模拟手术及术后测量相关角度

Table 1 Preoperative, simulated and postoperative measurements of the relevant angles

项目	手术前	模拟手术	手术后 6 个月	手术前后对比		手术后与模拟手术对比	
				t 值	P 值	t 值	P 值
前倾角($^\circ$)	37.30 ± 13.10 (3~50)	—	40.08 ± 7.44 (24~51)	1.55	0.14	—	—
提携角 * ($^\circ$)	-17.88 ± 6.78 (-29~-8)	13.57 ± 2.62 (9~19)	14.34 ± 3.28 (9~19)	16.05	0	1.76	0.1
Baumann 角($^\circ$)	108.39 ± 5.59 (65~83)	—	67.54 ± 6.10 (55~76)	15.12	0	—	—

注 * 负值为内翻角。

表 2 手术前后肘关节功能 HSS 评分($\bar{x} \pm s$, 分)

Table 2 HSS elbow joint scores before and after operations($\bar{x} \pm s$, points)

项目	手术前	手术后 6 个月	t/χ^2 值	P 值
疼痛	39.38 ± 8.73	38.44 ± 8.89	1	0.33
功能	18.75 ± 2.30	18.75 ± 2.30	—	—
矢状面活动范围	4.81 ± 0.40	4.75 ± 0.45	1	0.33
肌肉力量	8.25 ± 2.11	8.13 ± 2.06	1	0.33
屈曲挛缩	5.75 ± 0.68	5.50 ± 2.89	1.46	0.16
伸直挛缩	5.88 ± 0.50	5.75 ± 0.68	1	0.33
旋前	3.25 ± 0.77	3.25 ± 0.77	—	—
旋后	3.88 ± 0.34	3.88 ± 0.34	—	—
HSS 评分	89.94 ± 11.13	89.31 ± 11.62	1.03	0.32
优良率(%)	68.75	62.5	—	1

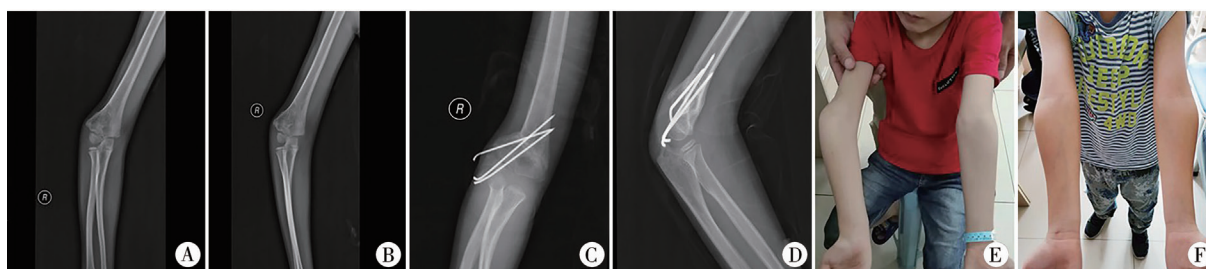


图2 手术前后X线片对比 注 A:术前正位片; B:术前侧位片; C:术后正位片; D:术后侧位片; E:术前外观; F:术后1年外观

Fig.2 Comparison of preoperative and postoperative radiographic findings

骨角度,只能改变内翻和前倾角度,无法纠正旋转角度,而肘内翻通常伴有肱骨远端内旋畸形^[4]。矫形手术后部分患者畸形复发,肘关节功能恢复差,可能与术中未同时矫正旋转畸形有关,因此旋转畸形的矫正同样需要引起重视,尤其对于术前测量前倾角过小、内旋超过 20° 、伴有关节屈曲受限的患者而言,术中需同时矫正三维畸形^[4]。对肱骨远端内旋畸形通常应用 Yamamoto 法测量肱骨远端内旋角度,并同时予以矫正^[5]。CT 三维重建技术可以清晰观察骨关节畸形的形态学改变,但医生面对的依旧是二维图像,缺乏立体感。传统手术方法术中更多凭借医生肉眼所见和经验进行定位截骨,常需要多次修正截骨,或者在 C 臂机下不断调整以获得满意的矫形,从而导致骨量损失增加、手术时间延长、出血量及并发症发生率增加,其可靠性和精确度也难免受到影响。近年来 3D 打印技术的发展突飞猛进,在医疗领域得到了极大的发展,在矫形、颅颌面、泌尿、胸心外科等领域得到了越来越多的应用^[6-11]。通过 3D 打印模型可以使医师对骨关节畸形的形态获得更直观、立体的感受,有助于畸形的立体定位和术前的全面评估,从而精确设计最佳的手术入路和截骨平面,确定术中所需暴露的范围,减少手术创伤和重要解剖结构损伤的风险。

利用 3D 打印模型协助进行准确的术前计划和手术模拟,以及选择最合适的植入物进行内固定,优化内固定方案,可大大提高术前截骨平面设计和内固定材料选择的准确性^[12,13]。通过手术预演使术者更熟悉术中截骨、复位和固定过程,可提高手术准确度和手术效果^[14]。手术中我们将 3D 模型与术野情况相对照,依据术前设计方案精确截骨和内固定,使得矫形更加准确,固定更加合理可靠,减少了医生和患者在放射线下暴露的时间和剂量。楔形截骨时应保持内侧骨皮质及骨膜完整,增加稳定性;手法折断内侧骨皮质,外翻位加压纠正畸形后再行内固定。如有明显旋转畸形,可术中对比 3D

模型同时纠正。关于内固定方式有多种选择,钢板或克氏针均可。我们的经验是在 3D 模型上进行克氏针模拟固定,一般选择直径 2.0 mm 克氏针 2~3 枚经肱骨外髁扇形或交叉固定,或经内外髁交叉固定,多可达到稳定固定,且可避免钢板内固定需二期手术取出的麻醉风险与创伤;如克氏针固定欠佳,则选择钢板内固定。

本研究中,在 3D 模型进行模拟手术后测量提携角,术后 6 个月复查 X 线片测量提携角,对数据对比分析发现,3D 模拟手术与实际手术后提携角、前倾角对比无统计学差异,手术效果符合预期。术后 6 个月 HSS 肘关节功能评分(89.31 ± 11.62)分,与术前对比无明显统计学差异,患者截骨矫形术后肘关节功能与术前相仿。但 3 例肘关节矢状面活动范围有一定丢失,1 例肘关节功能评级由优降为一般,考虑与术后疼痛导致关节功能锻炼不充分以及手术后局部瘢痕组织挛缩有关。另外,本组有 1 例患者肱骨远端粉碎性骨折继发肘内翻畸形,受伤到手术时间为 3 年 5 个月,术前根据 HHS 评分肘关节功能评价差,考虑可能与粉碎性骨折、肘部肌肉损伤严重、瘢痕形成等有关;术后随访 HHS 评分与术前相仿。虽然在疼痛、功能、肌肉力量、屈伸挛缩、前臂旋转等方面,手术前后评分无明显变化,但仍需警惕手术创伤可能对肘关节功能产生影响。

3D 模型可再现患者病变的三维解剖结构,我们在术前借助于患者的解剖模型与患者及家属进行病情交流,使患者及家属对疾病有更加直观的理解和认识,有利于医患沟通交流,增加医患互信,减少医疗纠纷的发生。但是 3D 模型是基于计算机断层扫描获取的 3D 数据打印而成,受分辨率、计算机处理、打印机精度与设置等多因素影响,与实际解剖可能存在一定差异^[15]。3D 模型模拟手术毕竟是脱离肌肉、韧带等软组织附着的一个孤立标本,与现实手术操作仍有较大差异,因此仍需要具有一定手术经验的医师进行操作,手术中需随机应变,以获

取更好的矫正效果,避免不必要的手术风险。

本研究的不足之处是样本量较小,未能设计对照组出血量、手术时间等相关指标评价,随访时间较短,不排除随着时间的延长,可能有部分畸形丢失的情况。另外,在 3D 模型上无法准确测量前倾角和鲍曼角,因此还需要更大样本量和更深入的研究,来进一步评价 3D 打印技术在小儿肘内翻畸形截骨矫形中的应用价值。

参考文献

- 1 Figgie MP, Inglis AE, Mow CS, et al. Total elbow arthroplasty for complete ankylosis of the elbow [J]. J Bone Joint Surg Am, 1989, 71(4): 513-520.
- 2 Banerjee S, Sabui KK, Mondal J, et al. Corrective dome osteotomy using the paratricipital (triceps-sparing) approach for cubitus varus deformity in children [J]. J Pediatr Orthop, 2012, 32(4): 385-393. DOI: 10.1097/bpo.0b013e318255e309.
- 3 Özkan C, Deveci MA, Tekin M, et al. Treatment of post-traumatic elbow deformities in children with the Ilizarov distraction osteogenesis technique [J]. Acta Orthop Traumatol Turc, 2017, 51(1): 29-33. DOI: 10.1016/j.aott.2016.08.019.
- 4 吴蔚, 程富礼, 宋相建, 等. 儿童肘内翻畸形的多平面矫正及疗效观察 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 23(9): 777-778. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9935.2008.09.034.
Wu W, Cheng FL, Song XJ, et al. Multi-planar reconstructions and efficacy observations of cubitus varus deformity in children [J]. Chinese Journal of Bone and Joint Injury, 23(9): 777-778. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9935.2008.09.034.
- 5 Yamamoto I, Ishii S, Usui M, et al. Cubitus varus deformity following supracondylar fracture of the humerus. A method for measuring rotational deformity [J]. Clin Orthop Relat Res, 1985, 201(201): 179-185. DOI: 10.1097/00003086-198512000-00028.
- 6 南国新. 儿童足踝畸形诊治中 3D 打印技术的应用 [J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(4): 245-247. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.002.
Nan GX. Status quo and future prospects of three-dimensional printing in the diagnosis and treatment of foot and ankle deformities in children [J]. J Clin Ped Sur, 2018, 17(4): 245-247. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.002.
- 7 刘金龙, 刘锦纷. 3D 打印技术在小儿心脏外科中的应用 [J]. 临床小儿外科杂志, 2016, 15(3): 212-213. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2016.03.002.
- 8 Liu JL, Liu JF. Applications of three-dimensional technique during pediatric cardiac operations [J]. J Clin Ped Sur, 2016, 15(3): 212-213. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2016.03.002.
- 9 Sun Z, Lee SY. A systematic review of 3-D printing in cardiovascular and cerebrovascular diseases [J]. Anatol J Cardiol, 2017, 17(6): 423-435. DOI: 10.14744/AnatolJCardiol.2017.7464.
- 10 Vukicevic M, Mosadegh B, Min JK, et al. Cardiac 3D Printing and its Future Directions [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2017, 10(2): 171-184. DOI: 10.1016/j.jcmg.2016.12.001.
- 11 张学军. 3D 打印技术在儿童脊柱外科的应用与展望 [J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(4): 241-244. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.001.
Zhang XJ. Applications and future prospects of three-dimensional printing technology during pediatric spine surgery [J]. J Clin Ped Sur, 2018, 17(4): 241-244. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.001.
- 12 Bergquist JR, Morris JM, Matsumoto JM, et al. 3D printed modeling contributes to reconstruction of complex chest wall instability [J]. Trauma Case Rep, 2019, 22: 100218. DOI: 10.1016/j.tcr.2019.100218.
- 13 Bizzotto N, Tami I, Tami A, et al. 3D Printed models of distal radius fractures [J]. Injury, 2016, 47(4): 976-978. DOI: 10.1016/j.injury.2016.01.013.
- 14 Zheng W, Su J, Cai L, et al. Application of 3D printing technology in the treatment of humeral intercondylar fractures [J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2017, 104(1): S1877-056817303614. DOI: 10.1016/j.otsr.2017.11.012.
- 15 Murase T, Oka K, Moritomo H, et al. Three-dimensional corrective osteotomy of malunited fractures of the upper extremity with use of a computer simulation system [J]. J Bone Joint Surg A, 2008, 90(11): 2375. DOI: 10.2106/JBJS.G.01299.
- 16 George E, Liacouras P, Rybicki FJ, et al. Measuring and establishing the accuracy and reproducibility of 3D printed medical models [J]. Radiographics, 2017, 37(5): 160-165. DOI: 10.1148/rg.2017160165.

(收稿日期: 2020-01-09)

本文引用格式: 宁金波, 姚明木. 3D 打印技术在小儿后天性肘内翻畸形截骨矫形术中的应用 [J]. 临床小儿外科杂志, 2021, 20(10): 941-945. DOI: 10.12260/lxewkzz.2021.10.009.

Citing this article as: Ning JB, Yao MM. Application of three-dimensional printing technology during corrective osteotomy for cubitus varus deformity in children [J]. J Clin Ped Sur, 2021, 20(10): 941-945. DOI: 10.12260/lxewkzz.2021.10.009.