

论著·临床研究 doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2017.17.018

3D 打印体外导板辅助儿童膝内外翻畸形矫正的初步应用*

陈昊¹,康晓鹏^{1△},周游¹,刘建双²,石浩²,张然¹,胡熙¹,周平¹

(云南省昆明市儿童医院:1.骨科;2.放射科 650228)

[摘要] **目的** 利用 3D 打印技术研制个性化膝部体外导板,探讨其应用于 8 字钢板骨骺阻滞术的可行性。**方法** 对 2014 年 1 月至 2016 年 1 月该院诊治的 12 例膝内外翻患儿(男 7 例,女 5 例;平均年龄 8.2 岁,膝关节伸直位时完成下肢连续螺旋 CT 扫描,将 Dicom 格式存储的 CT 数据导入 Mimics 15.0 中,重建膝关节三维模型。将重建后的膝关节数据以 .stl 格式导入 Geomagic 11.0 软件中,根据置钉不穿破骨骺和关节面、与骨骺平行、位于骨骺前后中线的要求,设计出 8 字钢板置钉导航模板;利用 3D 打印技术打印出导航模板;术中通过模板定位,行 8 字钢板及螺钉内固定,术后 CT 评估置钉位置。**结果** 经过影像学验证,应用 3D 打印个性化体外导板对 12 例患者行 8 字钢板骨骺阻滞术,置钉准确。病例随访 6 个月至 2 年,均取得满意矫正效果。**结论** 3D 打印制作个性化膝部体外导板,辅助 8 字钢板骨骺阻滞治疗儿童膝内外翻畸形,置钉位置精准,疗效满意。

[关键词] 膝内翻;膝外翻;8 字钢板骨骺阻滞术;3D 打印技术**[中图分类号]** R726.8**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2017)17-2362-03**Preliminary application of 3D printing in vitro guide plate assisted deformity correction in child genu varus or valgum***Chen Hao¹, Kang Xiaopeng^{1△}, Zhou You¹, Liu Jianshuang², Shi Hao², Zhang Ran¹, Hu Xi¹, Zhou Ping¹

(1. Department of Orthopedics; 2. Department of Radiology, Kunming Children's Hospital, Kunming, Yunnan 650228, China)

[Abstract] **Objective** To research and prepare the individualized knee in vitro guided plate by 3D printing technique and to investigate the feasibility of its application in 8-plate epiphysiodesis. **Methods** Twelve children patients with knee varus or valgum in our hospital from January 2014 and November 2016, 7 boys and 5 girls, average age of 8.2 years old, were performed the lower extremity continuous spiral CT scanning in the knee straight position. The Dicom format stored CT data were imported into software Mimics 15.0 for reconstructing the knee joint 3D model. The knee joint data after reconstruction were guided into software Geomagic11.0 with the .stl format. According to the demand that screws without perforating epiphyseal and joint surface, paralleling to the epiphyseal and locating in the anterior-posterior median line of epiphyseal, the 8-plate placing screw navigation template was designed and printed by using the 3D printing technique; the 8-plate plate and screw internal fixation was conducted by intraoperative template location. The placed screw position was evaluated by postoperative CT. **Results** The imaging identification showed that 8-plate epiphysiodesis by using 3D printing individualized in vitro guided plate had accurate screw placement. The cases were followed from 6 months to 2 years, the satisfactory orthopedic effect was obtained in all cases. **Conclusion** Preparing the individualized knee in vitro guided plate by applying 3D printing technique in assisted 8-plate epiphysiodesis for treating child knee varus or valgum has accurate screw position and satisfactory effect.

[Key words] knee varus; knee valgum; 8-plate epiphysiodesis; 3D printing technique

儿童膝内外翻畸形是小儿骨科常见病,其原发性病因包括低血磷性佝偻病、Blount 病、特发性膝外翻、创伤及感染等所致的骺板损伤,导致股骨或胫骨发育畸形,改变了下肢力线及膝关节一侧的接触压力,导致骨关节炎,从而引起患肢疼痛、步态及外观异常等。8 字钢板骨骺阻滞术对于治疗骺板未闭合的成角畸形,因快速、简单、创伤小、并发症少等特点,得到广泛应用^[1-3]。8 字钢板置钉的精确性对治疗效果至关重要,本院于 2014 年 1 月至 2016 年 1 月采用 3D 打印技术设计体外导板,辅助膝部 8 字钢板固定治疗 12 例膝内外翻患儿,取得满意疗效,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选择 2014 年 1 月至 2015 年 11 月本院诊治的 12 例膝内外翻患儿,发病原因:特发性 3 例,创伤性膝外翻 3 例,Blount 病 1 例,佝偻病 5 例。其中男 7 例,女 5 例;年龄

2.5~10.0 岁,平均 8.2 岁。8 字钢板固定时间 18~24 个月。术前表现为肢体畸形、步态异常和不同程度的膝关节炎痛。

1.2 方法 术前评估患儿股骨远端外侧角和胫骨近端内侧角,8 字钢板使用在畸形部位,如果股骨远端和胫骨近端均存在异常,则同时进行固定。8 字钢板固定在畸形部位的凸侧,即膝外翻固定在内侧,膝内翻固定在外侧。术中使用 8 字钢板及螺钉的规格,应根据患儿年龄、骺板宽度和厚度来选择。

术前在膝关节伸直位时(足跟垫高,膝关节后侧悬空)完成下肢连续螺旋 CT 扫描,将 Dicom 格式存储的 CT 数据导入 Mimics 15.0 软件(Materialise 公司,比利时),根据需要重建组织的不同 HU 值范围,依次运用阈值选取技术选取骨骼和软组织的相应阈值,采用表面遮盖显示法建立膝关节骨质及软组织数字化模型。

1.3 3D 打印个性化体外导板的设计与制作 将重建后的膝

* 基金项目:云南省科技厅-昆明医科大学联合专项(2013FZ293)。研究。△ 通信作者,E-mail:1735237790@qq.com。

作者简介:陈昊(1983-),硕士,主治医师,主要从事儿童骨科方面研究。

关节及软组织数字化模型 STL 文件导入 Geomagic 11.0 软件 (Geomagic 公司, 美国), 不同类型组织的文件选择不同颜色, 设置软组织文件透明度为 50%。此时可自由缩小、放大、移动、旋转模型, 在软组织模型上创建线条边界, 确定膝关节前方及侧方体表皮肤导板接触面, 接触面需要包括髌骨边缘、股骨髌、胫骨髌、腓骨小头等骨性突起的体表投影位置, 然后逆向设计出与此导板接触面形态完全一致的三维反向模板, 作为导板底板。然后, 根据置钉不穿破骨骺和关节面, 与骨骺平行 (图 1), 位于骨骺前后中线 (图 2) 的要求, 设计 8 字钢板置钉导航管。使用“圆柱体”工具设计骨骺上下 2 个置钉通道, 直径为 2 mm, 置钉通道的间距设定为选用 8 字钢板置钉孔中心距; 然后在置钉通道外侧设计一个环柱, 删除环柱内芯即导航通道, 就生成了置钉的导向筒。最后, 将底座导板和导航管合为一体, 生成辅助膝部 8 字钢板置钉体外导板的数字化模型 (图 3), 借助 3D 打印技术制作导板实物。

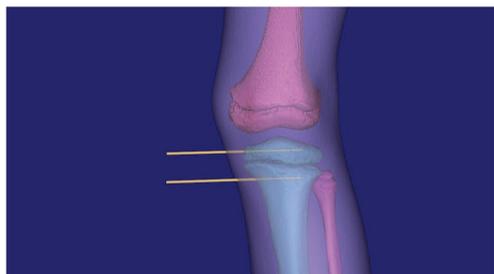


图 1 三维重建模型中 8 字钢板螺钉钉道的设计 (前后位观)

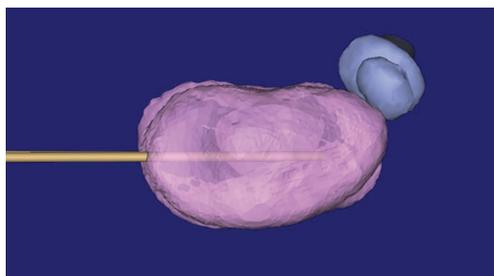


图 2 8 字钢板螺钉钉道的设计 (上下位观)

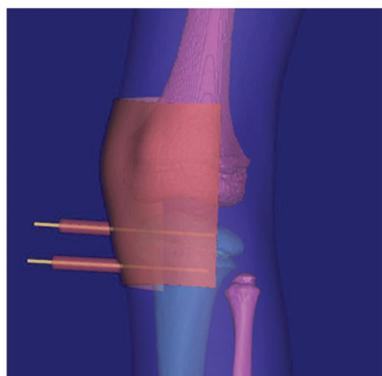


图 3 辅助儿童膝内外翻畸形矫正的 3D 打印导板模型

1.4 初步临床应用及术后评价 患儿在全身麻醉下取仰卧位, 常规消毒、铺无菌手术单。于患肢近端加驱血带, 膝关节处于完全伸直位, 保证术中膝关节体位和 CT 扫描时体位一致, 这样 3D 打印导板可较好地与膝关节的皮肤贴合。沿着置钉导航管钻入 2 枚 1.2 mm 或 1.5 mm 直径克氏针导针 (图 4), C 臂透视证实导针定位符合预计方向 (图 5), 取下导航模板, 在 2 枚导针之间做 2.0~3.0 cm 切口, 以导针为轴心置入空心螺钉

及 8 字钢板, 缝合切口, 手术完成。通常 8 岁以下的儿童选择 3.5 mm 直径 8 字钢板螺钉 (导针直径为 1.2 mm), 8 岁以上选择 4.5 mm 直径 8 字钢板螺钉 (导针直径为 1.5 mm)。



图 4 贴合到膝部的 3D 打印导板实物



A: 前后位 X 线透视图像; B: 侧位透视图像。

图 5 3D 打印导板导航下置钉的位置

术前预防性使用抗生素 1 次。术后再次进行膝关节 CT 扫描, 评估 8 字钢板系统放置位置。由于是一种微创手术, 一旦切口愈合, 鼓励患儿早期主动关节功能活动, 逐渐负重行走。术后 2 周开始下蹲训练。术后每 3 个月拍摄 1 次 X 线片, 目的是观察 8 字钢板的位置改变和肢体力线的矫正情况。

2 结 果

12 例患儿共应用 19 枚 8 字钢板固定, 平均每个切口的手术操作时间为 16 min, 出血小于 5 mL。

术后第 1 天即鼓励患肢活动, 伤口疼痛缓解后开始下地行走。12 例患儿均获得随访, 平均随访时间 15 个月 (6~24 个月); 所有患儿伤口愈合满意, 无感染及钢板不适症状, 临床检查关节功能正常, 未发生骺早闭、内固定折断或退钉等并发症。10 例随访时间大于 12 个月的下肢力线恢复正常, 2 例随访时间短畸形未完全矫正, 需后续观察。12 例患儿的 19 侧下肢平均股胫角改善 15 度 (7~30 度)。平均带板时间 13 个月 (8~24 个月), 取板后平均随访 12 个月 (0~21 个月), 未发现矢状位畸形。

3 讨 论

8 字钢板骨骺阻滞术是利用张力带原理, 在骺板闭合前临时阻滞骨骺生长发育快的一侧, 以希望达骺板两侧生长平衡, 从而矫正肢体畸形。内固定在置入侧产生压力的同时, 在对侧产生了张力。持续增大的压力会抑制骨骼生长, 而牵引力会促进骨骼生长, 从而加快矫正速率^[4]。2004 年 Stevens 等^[5] 首先报道采用 8 字钢板方法进行临时性骨骺阻滞, 引导骨骺生长逐步矫正下肢畸形, 取得满意的效果。8 字钢板骨骺阻滞术因快速、创伤小等特点, 近年来得到越来越多的关注, 并广泛应用于佝偻病、Blount 病、特发性膝外翻、创伤及感染等所导致的儿童膝内外翻畸形^[6-7]。但是, 北美儿童骨科学会 (POSNA) 在 2007 年问卷调查中发现, 8 字钢板使用中约 15% 手术者遇到过失败病例^[8]。国内临床研究也有螺钉松动、断裂的报道^[9]。不准确的螺钉放置是手术失败的危险因素。

8 字钢板置钉的准确性,决定了手术的成败。置钉失败,损伤关节软骨、骨骺,可造成永久性关节损伤、骨骺生长障碍;置钉的方向、方位的错误,可导致 8 字钢板系统起效慢、无效,甚至畸形程度加重。良好的 8 字钢板置钉需要满足以下要求:螺钉不穿破骨骺和关节面;螺钉与骨骺平行;螺钉位于股骨或胫骨前后中线上。矫正膝内翻畸形时,需要使 8 字钢板螺钉处于骨骺前后居中位置,否则在矫正膝部冠状位畸形的同时产生矢状位的畸形。靠前的螺钉放置可能导致膝部前侧骨骺阻滞,造成膝反张畸形^[10-11]。反之,螺钉靠后会带来膝部后侧骨骺阻滞,使得膝部伸直受限^[12]。另外,2 枚螺钉置入排列方式不同(平行、汇聚、分散)会影响内固定物应力分布,Schoenleber 等^[13]通过生物力学测试分析,认为理想的置钉方式是平行置钉。8 字钢板术后需要经历一段时间,螺钉和钢板伴随着骨骺的生长,相互接触拴系后才能发挥阻滞骨骺生长的作用,而平行的螺钉排列较其他方式能够在更短时间内产生拴系效应,开始发挥作用。

8 字钢板置钉传统的方法是通过术中 C 臂 X 线机双平面透视,评估 8 字钢板置钉的位置。照射物体在两个垂直平面分别投影,根据其投影便可还原其在空间的真实位置。双平面 X 线法即应用这个原理,被检查者需要接受两次 X 线片摄影,一张是膝关节前后位 X 线片,另一张是膝关节侧位 X 线片。但因体位限制,难以拍摄到垂直双平面图片,难以准确评估置钉的位置;另外可能因为需要患者多次调整拍摄位置,增大辐射剂量。

3D 打印导板辅助手术技术是医学影像学技术、计算机辅助设计技术、逆向工程技术及 3D 打印技术有机结合的产物。该技术在满足术前规划与实际手术精确链接要求的同时也避免了传统术中定位方法的弊端^[14-15]。本研究利用 Mimics、Geomagic 等数字化设计软件结合 3D 打印定位技术,设计并制作体外辅助膝部 8 字钢板置钉导板。CT 三维重建技术来重建靶组织器官的三维模型,能够直观、精确地显示其立体结构,准确测量各解剖结构的空间关系,术前预先在膝关节三维模型上设定 8 字钢板置钉通道,借助 3D 打印技术制作模板,体外 3D 打印模块贴合膝前方皮肤,设计导航管为理想置钉通路;术中通过模板精确定位确定置钉方向,行 8 字钢板及螺钉内固定,故在术前规划与实际手术搭起连接桥梁。

经过反复设计及对比,作者得出了以下设计经验:(1)在术前 CT 扫描和手术中膝关节保持伸膝状态,控制好体位因素,导板容易贴合膝部皮肤和骨性标记点;(2)导板设计需要包括髌骨边缘、股骨内外髁、腓骨头等骨性标记点的贴合接触面,以增加导板的准确性;(3)设计导航孔能容纳 1.2 mm 或 1.5 mm 直径克氏针穿过,避免过细的克氏针接触骨皮质时针头会弯转。

本研究中 12 例患儿均应用 3D 打印体外导板辅助 8 字钢板骨骺阻滞术置钉。创伤更小,术中不需要骨骺穿刺定位,避免骨骺损伤;手术时间缩短;术后影像学评估置钉位置良好,实现手术实施与术前三维模拟计划相统一。但本研究历时较短,病例数少,随访时间不长,远期效果还有待于进一步的观察和实践。

参考文献

[1] Klatt J, Stevens PM. Guided growth for fixed knee flexion

deformity[J]. *J Pediatr Orthop B*, 2008, 28(6): 626-631.

- [2] Burghardt RD, Herzenberg JE. Temporary hemiepiphysiodesis with the eight-plate for angular deformities: mid-term results [J]. *J Orthop Sci*, 2010, 15(5): 699-704.
- [3] 董铁非, 周达飞, 张建立, 等. 8 字钢板治疗儿童低磷性佝偻病所致下肢畸形[J]. *中华小儿外科杂志*, 2014, 35(3): 203-207.
- [4] Stevens PM. Guided growth for angular correction: a preliminary series using a tension band plate[J]. *J Pediatr Orthop*, 2007, 27(3): 253-259.
- [5] Stevens PM, MacWilliams B, Mohr RA. Gait analysis of stapling for genu valgum [J]. *J Pediatr Orthop*, 2004, 24(1): 70-74.
- [6] Eastwood DM, Sanghrajka AP. Guided growth: recent advances in a deep-rooted concept [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2011, 93(1): 12-18.
- [7] Ghanem I, Karam JA, Widmann RF. Surgical epiphysiodesis indications and techniques: update[J]. *Curr Opin Pediatr*, 2011, 23(1): 53-59.
- [8] Burghardt RD, Specht SC, Herzenberg JE. Mechanical failures of eight-plate guided growth system for temporary hemiepiphysiodesis [J]. *J Pediatr Orthop*, 2010, 30(6): 595-597.
- [9] 范竟一, 孙琳, 张学军, 等. 8 字钢板技术治疗小儿下肢成角畸形及肢体过度生长 44 例[J]. *临床小儿外科杂志*, 2013, 12(3): 171-174.
- [10] Kievit AJ, van Duijvenbode DC, Stavenuiter MH. The successful treatment of genu recurvatum as a complication following eight-plate epiphysiodesis in a 10-year-old girl: a case report with a 3.5-year follow-up [J]. *J Pediatr Orthop B*, 2013, 22(4): 318-321.
- [11] Palocaren T, Thabet AM, Rogers K, et al. Anterior distal femoral stapling for correcting knee flexion contracture in children with arthrogryposis-preliminary results[J]. *J Pediatr Orthop*, 2010, 30(2): 169-173.
- [12] Khoury JG, Tavares JO, McConnell S, et al. Results of screw epiphysiodesis for the treatment of limb length discrepancy and angular deformity [J]. *J Pediatr Orthop*, 2007, 27(6): 623-628.
- [13] Schoenleber SJ, Iobst CA, Baitner A, et al. The biomechanics of guided growth: does screw size, plate size, or screw configuration matter? [J]. *Pediatr Orthop B*, 2014, 23(2): 122-125.
- [14] Kunz M, Ma B, Rudan JF, et al. Image-guided distal radius osteotomy using patient-specific instrument guides [J]. *J Hand Surg A*, 2013, 38(8): 1618-1624.
- [15] Tricot M, Duy KT, Docquier PL. 3D-corrective osteotomy using surgical guides for posttraumatic distal humeral deformity [J]. *Acta Orthop Belg*, 2012, 78(4): 538-542.

(收稿日期: 2017-01-18 修回日期: 2017-03-25)