

· 临床论著 ·

## 3D 打印导板 8 字骨骺阻滞钢板矫正儿童下肢畸形<sup>△</sup>

郑朋飞, 庞浩田, 王亦维, 范民杰, 楼跃, 唐凯\*

(南京医科大学附属儿童医院骨科, 江苏南京 210000)

**摘要:** [目的] 评价 3D 打印导板辅助 8 字骨骺阻滞钢板矫正儿童下肢畸形的临床效果。[方法] 2016 年 1 月—2018 年 12 月共 37 例双侧膝外翻或膝内翻患儿纳入本研究并随机分为两组, 其中, 20 例采用 3DP 导板引导下钢板置入, 17 例采用传统徒手技术置入钢板。比较两组患儿围手术期、随访和影像资料。[结果] 所有患儿均顺利完成手术, 无严重并发症。导板组手术时间、钢板置入时间和透视次数均显著优于徒手组 ( $P<0.05$ )。所有患儿均获随访 12 月以上, 与术前相比, 末次随访时, 两组患儿双下肢平均长度均显著增加 ( $P<0.05$ ), 而双侧膝关节平均 ROM 无明显改变 ( $P>0.05$ )。相应时间点, 两组双下肢平均长度和双侧膝关节平均 ROM 的差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。影像方面, 与术前相比, 末次随访时, 两组患儿 FTA、mMP-TA、mLDFA 均显著改善 ( $P<0.05$ ), 双侧下肢长度差稍降低, 但差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 相应时间点, 两组间上述影像指标的差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。[结论] 本研究设计的 3DP 个性化导板减少了儿童下肢畸形 8 字钢板骨骺阻滞术手术时间和术中 X 射线暴露次数, 可辅助 8 字钢板精准置入。

**关键词:** 膝外翻, 膝内翻, 3D 打印导板, 骨骺阻滞, 导向生长

**中图分类号:** R687      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-8478 (2022) 12-1070-06

**3D printed guider for 8 shaped plate placement in epiphysiodesis for correction of lower limb deformities in children // ZHENG Peng-fei, PANG Hao-tian, WANG Yi-wei, FAN Min-jie, LOU Yue, TANG Kai. Department of Orthopedics, Children's Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210000, China**

**Abstract:** [Objective] To evaluate the clinical results of 3D printed guider assisted epiphyseal block plate placement in correction of lower limb deformities in children. [Methods] From January 2016 to December 2018, a total of 37 children with bilateral genu varus or genu valgus were enrolled in this study, and randomly divided into two groups. Among them, 20 children had the plate inserted with assistance of the 3D printed guider, while the remaining 17 patients had the plate implanted with traditional free-hand technique. Perioperative, follow-up and imaging data of the two groups were compared. [Results] All the children were operated on successfully without serious complications. The guider group proved significantly superior to the free-hand group in terms of operation time, plate placement time and fluoroscopy times ( $P<0.05$ ). All patients were followed up for more than 12 months. The length of lower limbs significantly increased ( $P<0.05$ ), whereas the knee range of motion (ROM) remained unchanged at the latest follow up compared with those preoperatively ( $P<0.05$ ). At any corresponding time points, there were no significant differences in the length of lower limbs and the ROM between the two groups ( $P>0.05$ ). In terms of imaging evaluation, the femorotibial angle (FTA), mechanical medial proximal tibial angle (mMP-TA) and mechanical lateral distal femoral angle (mLDFA) significantly improved in both groups at the latest follow-up compared with those preoperatively ( $P<0.05$ ), while the discrepancy in bilateral lower limb length was slightly decreased without statistically significant differences ( $P>0.05$ ). However, there were no significant differences in abovementioned radiographic items between the two groups at any corresponding time points ( $P>0.05$ ). [Conclusion] The personalized 3D printed guider designed in this study does reduce the operation time and the number of intraoperative X-ray exposure during 8 shaped plate placement in epiphysiodesis for correction of lower limb deformities in children.

**Key words:** genu valgus, genu varus, 3D printed guider, epiphysiodesis, guided growth

膝内翻或膝外翻畸形是儿童常见的下肢畸形<sup>[1, 2]</sup>。经过生理性膝内翻和膝外翻畸形期后, 如果

畸形残留并超过一定的程度则需要治疗, 其他如外伤、感染、肿瘤或先天性疾病等造成的膝关节生长失

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2022.12.03

<sup>△</sup>基金项目:江苏省重点研发计划(社会发展)项目(编号:BE2019608);江苏省“科教强卫工程”青年医学人才项目(编号:QNRC201609)

作者简介:郑朋飞,副主任医师,研究方向:小儿骨科,(电话)13915904148,(电子信箱)zhengpengfei@njmu.edu.cn

\*通信作者:唐凯,(电话)18951769655,(电子信箱)tk603@sina.com

衡而引起的畸形同样需要治疗, 否则除外观和步态异常外, 长期异常负重易出现骨性关节炎 (osteoarthritis, OA) 等并发症的发生<sup>[3, 4]</sup>。对膝关节骨骺临时阻滞的导向性生长技术是目前国内外矫正仍具有较大生长潜力的儿童下肢畸形的安全有效的方法<sup>[5-10]</sup>。更有研究证实, 矫正效果与8字钢板及其螺钉的放置位置和角度密切相关<sup>[11]</sup>。然而由于儿童个体差异大, 且骨骼的解剖体积相对小, 实现8字钢板螺钉的精准置入并不容易。如果8字钢板的位置偏离矢状面或冠状面方向, 易出现旋转畸形等继发性畸形<sup>[12, 13]</sup>。而手术过程中反复对螺钉位置和方向的调整容易导致螺钉松动, 甚至损伤到骺板造成永久骨骺阻滞; 此外, 术中反复拍摄X线片易增加儿童发生肿瘤的风险<sup>[14]</sup>。因此, 临床亟需一种能够辅助医生精准置入8字钢板的方法。

近年来, 随着数字医学的发展, 利用计算机辅助设计 (computer-aided design, CAD) 和三维打印 (three-dimensional printing, 3DP) 技术制作的手术导板被广泛应用于脊柱外科<sup>[15]</sup>、关节外科<sup>[16]</sup>、创伤骨科<sup>[17]</sup>和儿童骨科<sup>[18-20]</sup>等多种手术中, 尽管如此, 截至目前, 尚无使用CAD+3DP技术辅助儿童膝内(外)翻畸形导向生长手术的相关报道。作者将2016年1月—2018年12月37例因膝内翻或膝外翻畸形在本院需接受8字钢板导向生长手术治疗的儿童纳入研究。以探讨CAD+3DP技术制备的导板辅助8字钢板置入的有效性和准确性。

## 1 资料与方法

### 1.1 纳入与排除标准

纳入标准: (1) 外观和双下肢全长X线片证实双膝内翻或双膝外翻畸形 (图1a, 1b), 且机械轴股骨远端机械外侧角 (mechanical lateral distal femoral angle, mL DFA) <82°和/或机械轴胫骨近端内侧角 (mechanical medial proximal tibial angle, mMPTA) >95°; (2) 患儿膝关节股骨远端和胫骨近端骨骺线清晰, 未经历青春发育期生长高峰。

排除标准: (1) 患儿膝关节CT扫描发现骨骺病变, 骨桥形成; (2) 生理性膝内翻和膝外翻; (3) 因骨代谢性疾病、感染、肿瘤或创伤导致的双下肢畸形患儿。

### 1.2 一般资料

2016年1月—2018年12月, 共37例下肢畸形儿童符合上述标准, 纳入本研究。年龄7~11岁, 平均(8.89±2.03)岁; 男17例, 女20例; 膝外翻27

例, 膝内翻10例。采用随机数字表法将患儿分为导板组和徒手组。两组患儿术前一般资料见表1, 两组年龄、性别、BMI、病程和畸形类型的差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。本研究已获南京医科大学附属儿童医院伦理委员会的审查并批准, 并向患儿及其法定监护人充分告知病情及研究目的及方法等事项, 并签署知情同意书。

表1 两组患儿术前一般资料与比较

指标	导板组 (n=20)	徒手组 (n=17)	P值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$ )	8.77±2.09	9.05±2.12	0.689
性别 (例, 男/女)	9/11	8/9	1.000
BMI (kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	21.05±2.96	20.77±3.15	0.653
病程 (月, $\bar{x} \pm s$ )	10.10±4.38	11.54±4.57	0.547
畸形 (例, 内翻/外翻)	6/14	4/13	0.725

### 1.3 手术方式

导板组: 术前使用64排螺旋CT (64-muti Detector Spiral CT, 64-MS C) (飞利浦, 荷兰) 采集膝关节CT图像, 扫描参数为120 kV, 160 mA, 1 mm。图像数据以DICOM格式存储。使用CT数据生成膝关节3D重建模型。使用Mimics 17.0软件 (Materialise, 比利时) 设计导板。将模型数据导入3DP设备 (复翔科技, 中国), 使用医用聚乳酸 (polylactic acid, PLA) 材料打印出皮外定位的8字钢板置入导板。

术中患儿仰卧位, 将预先消毒好的3DP导板与膝关节周围骨性标记点, 包括髌骨、胫骨结节和髌骨头, 以及皮肤表面匹配, 沿导板引导的方向置入3枚导针 (图1c), 并控制在术前测量好的长度, 透视确认导针置入准确后去除导板。以上下2枚导针为界行纵向切口, 钝性分离至骨膜表面。将8字钢板沿导针套入 (图1d), 按术前计算机测量好长度, 沿导针拧入空心螺钉。再次透视确定8字钢板及其螺钉位置正确后, 取出导针, 分层缝合切口。

徒手组: 透视定位目标骨骺线, 插入导针, 以导针为中心, 结合术前根据影像选定的8字钢板大小作切口, 逐层切开直至骨膜, 将8字钢板中心导孔套入第1根导针, 将8字钢板贴于骨膜表面。经过钢板上、下孔, 分别沿套筒钻入上、下导针, 透视下调导针至位置和进入长度满意。沿上、下导针钻入长度合适的空心螺钉, 闭合切口。

术后2周所有患儿门诊复查见切口愈合后鼓励开始完全下地行走, 3周后负重活动, 之后每3个月随访1次。在实现矫形目的或术后2年仍未达到目的时取出8字钢板。

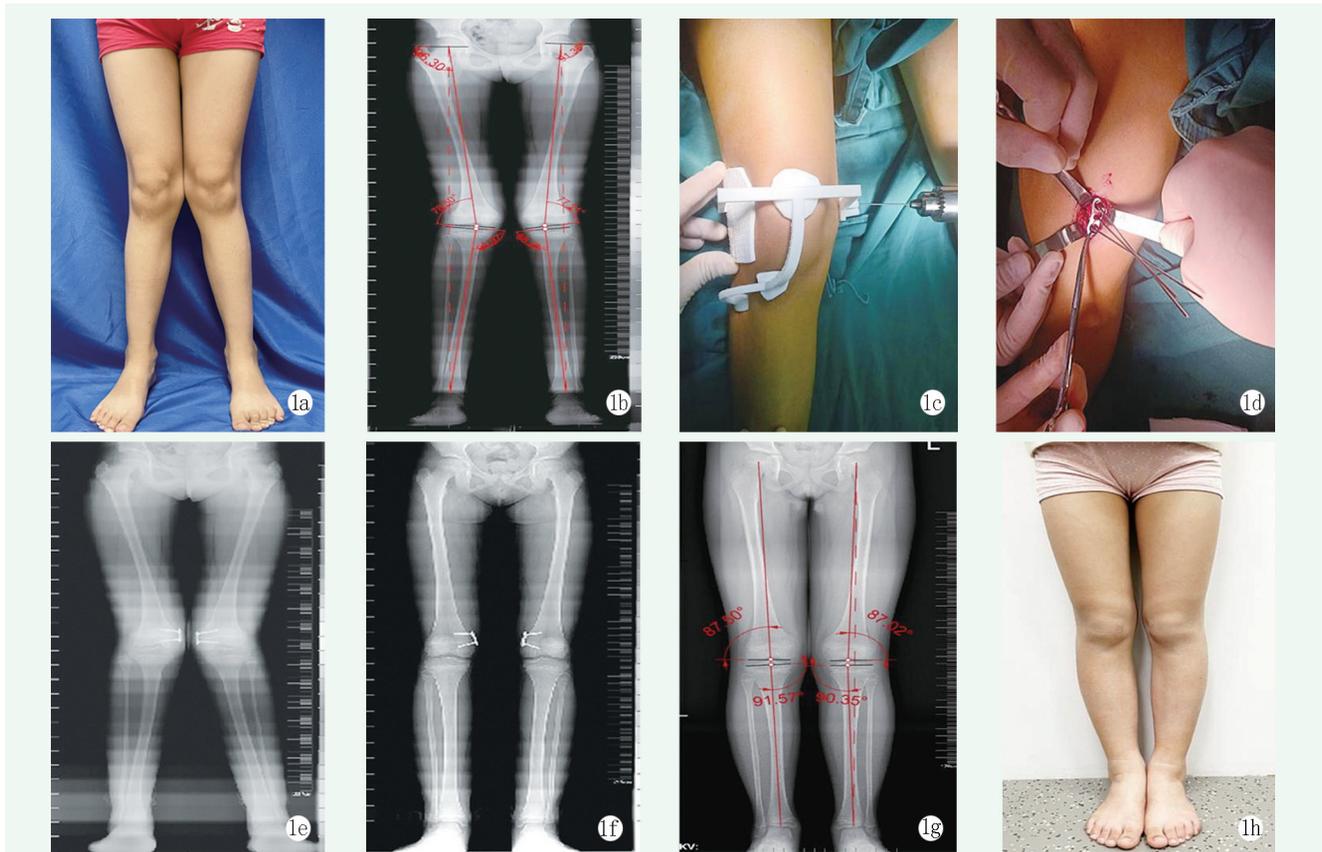


图 1 患儿,女,10岁 1a:大体外观照显示双膝外翻 1b:术前患儿站立前后位全长 X 线片显示严重双膝外翻畸形,右膝 mLDFA 78.50°, mMPTA 90.97°;左膝 mLDFA 77.21°, mMPTA 88.28° 1c:将导航模板与膝关节周围标记点匹配,按导管的方向钻入 3 枚导针,透视验证导针置入准确后去除导板 1d:以上下 2 枚导针为界取纵向切口,逐步置入 8 字钢板及术前计算机测量好长度的空心螺钉 1e:术后双下肢全长正位 X 线片示钢板位置良好 1f:术后 12 个月双下肢正位全长 X 线片示矫正效果满意,取出内固定 1g:术后 24 个月随访时双下肢正位全长 X 线片示矫正效果满意,右膝 mLDFA 87.50°, mMPTA 91.57°;左膝 mLDFA 87.02°, mMPTA 90.35° 1h:术后 24 个月随访时大体外观照,外观改善明显

#### 1.4 评价指标

比较两组围手术期资料,包括手术时间、切口长度、每块钢板置入时间、术中失血量、透视次数、钢板置入部位,采用下地行走时间、完全负重时间、双下肢长度、双膝关节活动范围(range of motion, ROM)评价临床效果。行影像检查,测量下肢机械轴线、股胫角(femortibial angle, FTA)、mLDFA 和 mMPTA 值,评估畸形矫正程度。

#### 1.5 统计学方法

采用 SPSS 23.0 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,组内时间点间比较采用配对 *T* 检验;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 围手术期结果

所有患儿均顺利完成手术,无严重并发症。导板组除 2 例膝外翻患儿由于过于肥胖,导板在匹配时出现误差,未能一次性准确置入导针,余 18 例患儿均匹配完美,一次性准确置入导针。未能一次性准确置入导针的 2 例肥胖患儿术中经 1~2 次微调准确置入导针后,沿远近 2 个导孔顺利置入固定螺钉用导针,且控制 2 针距离及角度精准。相比之下,徒手组所有患儿均需调整导针位置 1~5 次。

两组患儿围手术期资料见表 2,导板组在手术时间、每块钢板置入时间及透视次数均显著优于徒手组 ( $P < 0.05$ )。但是,两组切口长度、术中失血量、手术部位、下地行走时间和完全负重活动时间的差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。两组切口均一期愈合,无感染。

#### 2.2 随访结果

所有患儿均获随访 12 个月以上,两组随访资料

见表 3，两组患儿取出钢板时间的差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。与术前相比，末次随访时，两组患儿双下肢长度均显著增加 ( $P<0.05$ )，而双侧膝关节 ROM 无明显改变 ( $P>0.05$ )。相应时间点，两组双下肢长度和双侧膝关节 ROM 差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。

表 2 两组患儿围手术期资料与比较

指标	导板组 (n=20)	徒手组 (n=17)	P 值
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$ )	54.50±6.51	76.48±10.35	<0.001
切口长度 (cm, $\bar{x} \pm s$ )	3.50±0.36	3.55±0.38	0.866
钢板置入时间 (min, $\bar{x} \pm s$ )	21.75±3.82	33.40±4.35	<0.001
术中失血量 (ml, $\bar{x} \pm s$ )	12.50±1.36	12.75±1.40	0.773
透视次数 (次, $\bar{x} \pm s$ )	3.15±0.45	7.20±2.14	<0.001
部位 (例, MDF/LDF/MPT/LPT)	28/6/4/10	26/4/2/7	0.862
下地行走时间 (d, $\bar{x} \pm s$ )	15.05±0.94	14.75±1.06	0.171
完全负重时间 (d, $\bar{x} \pm s$ )	21.40±2.80	21.06±2.88	0.718

末次随访时，导板组 20 例中，14 例下肢力线完全恢复正常，6 例下肢力线明显改善。徒手组 17 例中，12 例下肢力线完全恢复正常，5 例下肢力线明显改善。两组间差异无统计学意义 ( $P=0.825$ )。

### 2.3 影像评估

按外翻与内翻畸形分亚组影像测量结果比较见表 4 及表 5。与术前相比，末次随访时两组患儿，包括外翻与内翻亚组的 FTA、mMPTA、mLDFA 均显著改善 ( $P<0.05$ )。但相应时间点，两组外翻与内

翻亚组间 FTA、mMPTA 和 mLDFA 差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )

### 3 讨论

对于仍有生长潜力的患儿，使用 8 字钢板进行临时阻滞是目前最常用的治疗方法，如治疗效果满意，可避免后期行截骨矫形术<sup>[21, 22]</sup>。然而，8 字钢板及螺钉能否精准置入和治疗效果密切相关。本研究通过 CAD 和 3DP 技术制备的手术导板术中与患儿匹配良好。髌骨、胫骨结节和腓骨头是容易触及的体表骨性标志，然而此 3 处解剖结构体积较小，故设计时应结合一定软组织表面匹配，以增加导板的准确性。手术过程中使用该导板可以避免频繁的定位校正和 X 线检查，通过导管可以准确置入导针，结合术前测量的合适螺钉长度，无需术中反复调整导针深度；其次，在徒手组，除了保证 8 字钢板在冠状位定位准确外，为避免矢状位偏前或偏后而引起扭转畸形，需反复改变患儿体位或转动 C 形臂 X 线机，延长了手术时间并增加了感染风险；此外，置入 8 字钢板后螺钉需要一定的时间才能随着生长而张开，进而对骺板产生一定的生物力而产生阻滞作用，因此在螺钉置入时即以一定的角度张开可实现更快的矫正<sup>[23]</sup>。此外，对于双侧肢体畸形，应控制双侧 8 字钢板螺钉张开角度一致，可以使双侧矫正速度接近一致。因此，本研究得出结论：和徒手组相比，导板组的手术时间明显缩短且 X 线暴露次数明显减少。

表 3 两组患儿临床资料与比较

指标	时间点	导板组 (n=20)	徒手组 (n=17)	P 值
取钢板时间 (月, $\bar{x} \pm s$ )		10.55±4.14	12.25±4.33	0.234
双下肢平均长度 (cm, $\bar{x} \pm s$ )	术前	77.50±8.22	73.74±10.03	0.080
	末次随访时	86.90±8.67	84.91±10.60	0.378
	P 值	<0.001	<0.001	
双侧平均 ROM (°, $\bar{x} \pm s$ )	术前	141.43±2.48	141.41±2.65	0.982
	末次随访时	141.35±2.70	141.09±3.15	0.701
	P 值	0.897	0.648	

8 字钢板置入最重要的步骤即为第 1 根导针准确插入骺板水平，张洪涛等<sup>[24]</sup>设计的导板无法精准辅助第 1 根导针置入，需要反复调整第 1 根导针，切开软组织后再使用设计的导板，对手术的辅助作用非常有限；其次，只使用该骨表面导板，由于其与骨表面接触面积小，匹配精准度相对差。而本研究设计的导板除 3 处骨性标记外，增加了相对面积

较大的软组织匹配，提高了精准度；此外，由于最终 8 字钢板是置于骨膜外，并非皮肤外，如果在皮肤外使用预先选好的 8 字钢板的尺寸数据进行设计，将造成手术过程中钢板无法沿 3 根导针置入骨膜表面，因此，本研究先在骨表面设计虚拟骨性导板，再向外延伸至皮肤表面设计最后的导板。

表 4 两组的外翻畸形影像测量结果 ( $\bar{x} \pm s$ ) 与比较

指标	时间点	导板组 (n=20)	徒手组 (n=17)	P 值
FTA (°)	术前	162.77±6.45	163.32±6.04	0.746
	末次随访时	173.38±2.08	173.82±1.61	0.390
	P 值	<0.001	<0.001	
mMPTA (°)	术前	91.25±2.77	91.42±2.38	0.798
	末次随访时	88.42±1.65	87.91±1.87	0.634
	P 值	0.008	0.003	
mLDFA (°)	术前	76.88±5.23	76.86±5.65	0.985
	末次随访	87.97±3.55	88.08±3.29	0.682
	P 值	<0.001	<0.001	
双侧下肢长度差 (mm)	术前	4.17±1.24	4.23±1.18	0.733
	末次随访	3.92±1.08	4.14±1.27	0.359
	P 值	0.467	0.713	

表 5 两组的内翻畸形影像测量结果 ( $\bar{x} \pm s$ ) 与比较

指标	时间点	导板组 (n=20)	徒手组 (n=17)	P 值
FTA (°)	术前	190.00±5.27	186.00±3.56	0.096
	末次随访时	175.25±4.85	186.00±3.56	0.421
	P 值	<0.001	<0.001	
mMPTA (°)	术前	78.50±2.28	79.00±2.53	0.592
	末次随访时	87.25±1.66	87.50±1.83	0.838
	P 值	<0.001	<0.001	
mLDFA (°)	术前	92.00±2.35	91.50±2.87	0.485
	末次随访	87.75±1.89	87.50±2.05	0.644
	P 值	0.004	0.006	
双侧下肢长度差 (mm)	术前	4.25±0.95	4.50±1.28	0.454
	末次随访	3.75±1.14	4.00±1.33	0.541
	P 值	0.494	0.322	

本研究制备的手术导板主要优点：(1)通过计算机测量获得的个体化数据可以确定导针、8 字钢板和螺钉的置入位置，结果精确；(2)利用导板经皮准确置入导针，再根据导针做手术切口，切口长短和位置恰到好处，随后置入预先测量长度的螺钉，缩短手术时间，减少手术创伤及术中 X 线暴露；(3)导板不像导航机器人系统等价格昂贵，且无需较大手术空间。

本研究仍有一定局限性：(1)本研究设计的皮肤表面模板依赖于表面骨性标志点的定位，并利用这些骨性标志点在立体空间来提高导板的贴合度和稳定性。对于肥胖患儿，易出现一定误差；(2)研究样本量不够大，对儿童膝关节的矢状位畸形的矫治尚无研究；(3)尽管导板的使用减少了手术时间，但术前导

板设计需要花费时间，后期可结合人工智能技术辅助导板构建，实现一键设计、打印导航模板。

综上所述，利用 CAD 和 3DP 技术制备的手术导板减少了儿童下肢畸形 8 字钢板骨骺阻滞术手术时间和术中 X 射线暴露次数，可辅助 8 字钢板精准置入，值得在临床工作中推广应用。

参考文献

[1] White GR, Mencia GA. Genu valgum in children: diagnostic and therapeutic alternatives [J]. J Am Acad Orthop Surg, 1995, 3 (5) : 275-283.  
 [2] Rerucha CM, Dickison C, Baird DC. Lower extremity abnormalities in children [J]. Am Fam Physician, 2017, 96 (4) : 226-233.  
 [3] Gurney B. Leg length discrepancy [J]. Gait Posture, 2002, 15 (2) : 195-206.

- [4] Li M, Chang H, Wei N, et al. Biomechanical study on the stress distribution of the knee joint after tibial fracture malunion with residual varus-valgus deformity [J]. *Orthop Surg*, 2020, 12 (3) : 983-989.
- [5] Danino B, Rödl R, Herzenberg JE, et al. The efficacy of guided growth as an initial strategy for Blount disease treatment [J]. *J Child Orthop*, 2020, 14 (4) : 312-317.
- [6] Dai ZZ, Liang ZP, Li H, et al. Temporary hemiepiphysiodesis using an eight-plate implant for coronal angular deformity around the knee in children aged less than 10 years: efficacy, complications, occurrence of rebound and risk factors [J]. *BMC Musculoskeletal Disord*, 2021, 22 (1) : 53.
- [7] Shabtai L, Herzenberg JE. Limits of growth modulation using tension band plates in the lower extremities [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2016, 24 (10) : 691-701.
- [8] Rodrigues NV, Guarniero R, Boas PJ, et al. Hemiepiphysiodesis using eight-plate versus blount staple to correct genu valgum and genu varum [J]. *Acta Ortop Bras*, 2020, 28 (4) : 195-198.
- [9] Gupta P, Gupta V, Patil B, et al. Angular deformities of lower limb in children: correction for whom, when and how [J]. *J Clin Orthop Trauma*, 2020, 11 (2) : 196-201.
- [10] Eltayeb HH, Iobst CA, Herzenberg JE. Hemiepiphysiodesis using tension band plates: does the initial screw angle influence the rate of correction [J]. *J Child Orthop*, 2019, 13 (1) : 62-66.
- [11] Schoenleber SJ, Iobst CA, Baitner A, et al. The biomechanics of guided growth: does screw size, plate size, or screw configuration matter [J]. *J Pediatr Orthop B*, 2014, 23 (2) : 122-125.
- [12] 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.
- [13] Houry 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.
- [14] Shu XO, Jin F, Linet MS, et al. Diagnostic X-ray and ultrasound exposure and risk of childhood cancer [J]. *Br J Cancer*, 1994, 70 (3) : 531-536.
- [15] Wu AM, Lin JL, Kwan KYH, et al. 3D-printing techniques in spine surgery: the future prospects and current challenges [J]. *Expert Rev Med Devices*, 2018, 15 (6) : 399-401.
- [16] Ni J, Li D, Mao M, et al. A method of accurate bone tunnel placement for anterior cruciate ligament reconstruction based on 3-dimensional printing technology: a cadaveric study [J]. *Arthroscopy*, 2018, 34 (2) : 546-556.
- [17] Sun L, Liu H, Xu C, et al. 3D printed navigation template-guided minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis for distal femoral fracture: a retrospective cohort study [J]. *Injury*, 2020, 51 (2) : 436-442.
- [18] Zheng P, Xu P, Yao Q, et al. 3D-printed navigation template in proximal femoral osteotomy for older children with developmental dysplasia of the hip [J]. *Sci Rep*, 2017, 7 : 44993.
- [19] 官哲轩, 严亚波, 黄鲁豫, 等. 计算机辅助骨盆三联截骨术治疗儿童发育性髋关节脱位 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (7) : 649-652.
- [20] 李克伟, 戎帅, 滕勇, 等. 3D 打印技术个性化手术治疗儿童 DDH [J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 27 (5) : 465-469.
- [21] Burghardt RD, Herzenberg JE, Standard SC, et al. Temporary hemiepiphyseal arrest using a screw and plate device to treat knee and ankle deformities in children: a preliminary report [J]. *J Child Orthop*, 2008, 2 (3) : 187-197.
- [22] Burghardt RD, Herzenberg JE. Temporary hemiepiphysiodesis with the eight-Plate for angular deformities: mid-term results [J]. *J Orthop Sc*, 2010, 15 (5) : 699-704.
- [23] Burghardt RD, Kanellopoulos AD, Herzenberg JE. Hemiepiphyseal arrest in a porcine model [J]. *J Pediatr Orthop*, 2011, 31 (4) : 25-29.
- [24] 张洪涛, 孔祥雪, 史强, 等. 快速成型导板辅助 8 字形钢板螺钉置入在儿童下肢畸形矫正术中的应用 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2016, 31 (5) : 479-481.

(收稿:2021-09-01 修回:2022-03-01)

(同行评议专家: 俞松)

(本文编辑: 郭秀婷)