

·专题·儿童骨科 3D 打印技术的应用·

3D 打印对儿童发育性髋关节脱位手术策略的应用价值探讨

王 彭^{1,3} 杜智军² 陆士蛟¹ 吕洪海¹

【摘要】 目的 探讨3D打印技术在儿童发育性髋关节脱位手术策略中的应用价值。**方法** 将2015年1月到2015年12月间由本院收治的18例发育性髋关节脱位患儿随机分成3D打印组($n=8$)和常规组($n=10$)。3D打印组通过3D打印技术制作仿真模型以及手术导板,制定个体化手术方案。测量数字模型与打印模型在形态学上的差异。分析两组手术时间、出血量、辐射次数以及住院费用等情况。术后随访采用Mackay和Severin评分标准进行评价。**结果** 测量3D数字模型获得颈干角 $153.7^\circ \pm 10.9^\circ$;前倾角 $45.3^\circ \pm 7.3^\circ$;髋臼长轴(47.7 ± 7.79)mm;短轴(39.7 ± 7.14)mm;髋臼面积(1932 ± 723)mm²;髋臼体积(6569 ± 738)mm³;打印模型颈干角 $157.3^\circ \pm 7.4^\circ$;前倾角 $51.2^\circ \pm 3.7^\circ$;髋臼长轴(46 ± 8.24)mm;短轴(40.2 ± 6.06)mm;髋臼面积(1751 ± 421)mm²;髋臼体积(6233 ± 506)mm³;与数字模型相比差异无统计学意义($P>0.05$)。3D打印组中4例Salter联合截骨;2例Pemberton联合截骨;1例Dega联合截骨;1例Chiari内移截骨;常规组中5例Salter截骨联合截骨,3例Pemberton截骨,2例Dega截骨。3D打印组平均手术时间(2.82 ± 0.42)h,出血量(285 ± 40)mL,术中透视次数(5.7 ± 1.0)次。常规组手术时间(3.4 ± 0.48)h,出血量(355 ± 57)mL,术中透视次数(14 ± 2.9 次)。3D打印组较常规组手术时间有缩短,出血量和术中透视次数也减少,差异有统计学意义($P<0.01$)。3D打印组为(27686 ± 1401)元;常规组为(26934 ± 2893)元,患儿总治疗费用并无增加($t=0.685, P=0.501$)。两组患儿术后均获得随访,平均随访时间0.6年。Mackay评分优良率:3D打印组为87.5%(7/8),常规组90%(9/10);两组比较无统计学差异($\chi^2=0.028, P=0.867$)。Severin评分优良率:3D打印组为100%(8/8),常规组90%(9/10),两组比较无统计学差异($\chi^2=0.847, P=0.357$)。**结论** 3D打印与计算机辅助导板设计技术为儿童髋关节发育不良的个体化手术规划策略提供了良好的辅助工具,具有较好的临床应用价值。

【关键词】 3D打印; 计算机辅助外科设计; 导板; 髋关节发育不良; 儿童

The application of 3D printing in individualized surgical plan of developmental dislocation of the hip in children. Wang Peng¹, Du Zhijun², Lu Shijiao¹, Lv Honghai¹. 1. Nantong Rich Hospital, The 4th Affiliated Medical Hospital of Yangzhou University, Jiangsu Nantong 226001, China. 2. Nantong Maternity And Child Care Hospital, Nantong 226006, China. 3. Suzhou New Century International Children's Hospital. Suzhou, 215003, China. Corresponding author: Lv Honghai, Email: hunter1994@163.com

【Abstract】 Objective To explore the application of 3D printing in surgical plan of developmental dislocation of hip (DDH) in children. **Methods** 18 children of DDH from 2015 Jan to Dec were randomly divided into two groups: 3D printing group and normal group. Simulation model and guided template were made by 3D printing for individualized surgical plan. The variance between digital model and entity were measured via neck shaft angle, anteversion angle, axis of acetabulum, volume and surface of acetabulum. The surgical time, amount of bleeding, radiation and hospitalization expense were analyzed. The score of Mackay and Severin criterion were applied to evaluate the affected hip function. $P<0.05$ was regarded as statistically significant. **Results** Neck shaft angle and anteversion angle in digital model were $153.7^\circ \pm 10.9^\circ$ and $45.3^\circ \pm 7.3^\circ$ re-

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.004

基金项目:南通市青年基金(WQZ2014003)

作者单位:1.南通瑞慈儿童医院,扬州大学医学院第四附属医院(江苏省南通市,226001);2.南通市妇幼保健院(江苏省南通市,226006);3.苏州新世纪儿童医院小儿外科(江苏省苏州市,215003)

通讯作者:吕洪海,Email:hunter1994@163.com

spectively, which in entity were $157.3^{\circ} \pm 7.4^{\circ}$ and $51.2^{\circ} \pm 3.7^{\circ}$ respectively. Long axis was (47.7 ± 7.79) mm while short axis was (39.7 ± 7.14) mm in digital model. Meanwhile, long axis was (46 ± 8.24) mm with short axis (40.2 ± 6.06) mm in entity. There was no significant difference between the two results. Moreover, the volume and surface of digital model was $(6\,569 \pm 738)$ mm³ and $(1\,932 \pm 723)$ mm² respectively, whereas the entity was $(6\,233 \pm 506)$ mm³ and $(1\,751 \pm 421)$ mm² in volume and surface. During 3D printing group, 4 cases were undergoing combined salter osteotomy, 2 cases combined Pemberton osteotomy, 1 case combined Dega osteotomy and 1 case Chiari osteotomy. In normal group, 5 cases underwent combined salter osteotomy, 3 cases Pemberton osteotomy and 2 cases osteotomy. In normal group, the mean surgical time was 3.4 ± 0.48 h, with mean amount of bleeding (355 ± 57) mL and mean radiation (14 ± 2.9) times. meanwhile, in 3D printing group, the mean surgical time was (2.82 ± 0.42) h, mean amount of bleeding 2 was (85 ± 40) mL and mean radiation was (5.7 ± 1.0) times, which apparently shorter than the normal group ($P < 0.01$). The cost of 3D printing group was $\text{¥}2\,768 \pm 1\,401$, Meanwhile, the cost of normal group was $\text{¥}26\,934 \pm 2\,893$, which was no significant variance ($t = 0.685, P > 0.05$). All cases were followed-up to 0.6 years. The excellent-good ratio with Mackay criterion in 3D printing group was 87.5% while 90% in normal group, there was no obviously difference between two groups ($\chi^2 = 0.028, P = 0.867$). Meanwhile, the excellent-good ratio with Severin criterion in 3D printing group was 100% while 90% in normal group, there was no significant difference between the two groups either ($\chi^2 = 0.847, P = 0.357$). **Conclusion** 3D printing and computed aided guided template provided a good method for individualized surgical plan of developmental dislocation of hip in children.

【Key words】 3D Printing; Computed aided surgery; Guided template; Developmental dislocation of hip, Children

儿童发育性髋关节脱位 (Developmental dislocation of the hip, DDH) 是儿童常见下肢畸形之一。国内早期筛查项目的开展, 让许多患儿避免了手术的痛苦, 然而, 在经济落后地区, 仍有较多的患儿由于错过最佳治疗时机, 而不得不承担很大的手术风险。手术成功的主要影响因素除了手术者的经验技术之外, 患儿髋关节的病理结构对于手术方案的设计有着举足轻重的意义^[1]。有研究表明 DDH 患侧股骨近端通常存在过度前倾, 往往需要股骨去旋转截骨术矫正^[2-4]。然而由于股骨截骨时旋转过度或旋转方向错误常常导致医源性股骨头再脱位的发生^[5-7], 如何实施精准截骨, 提高手术成功率是目前面临的一大难题。

近年来, 随着影像学技术与设备的飞速发展, 计算机辅助外科设计与 3D 打印技术已广泛应用于医学领域^[8-9]。可视化技术在儿童髋关节解剖结构的应用为后续的髋关节形态学定量分析以及模拟手术方案提供了技术基础^[10-12]。姜海等^[13]通过计算机模拟重建的 Salter 骨盆截骨可使术者了解合适的截骨位置、截骨远端旋转角度以及截取三角骨块大小, 以指导实际的截骨手术。然而, 由于儿童的髋关节里面有很多骨骺软骨和关节软骨由于灰度值较低, 在 CT 上很难得到显影, 而且有时候患儿扫描体位的变化也会对临床相关参数的测量以及对病理解剖形态的认识带来困难, 也进一步增加了手

术的风险。笔者前期通过对患儿髋关节的影像学数据, 成功建立了含有髋关节软骨的数字化模型, 可为虚拟手术提供准确参考^[14]。

本研究通过计算机辅助外科设计联合 3D 打印技术, 对儿童髋关节发育不良髋关节进行三维重建以及 3D 打印, 根据提供的模型设计个体化手术方案, 大大提高了手术精准度以及手术效率。现报道如下。

材料与方法

一、研究对象

选自 2015 年 1 月至 2015 年 12 月间入院的髋关节发育不良初次手术患儿, 共 18 例, 年龄从 2.3 ~ 13 岁, 平均年龄 5.4 岁, 均签署知情同意书, 按照随机数字表, 分成 3D 打印组 (8 例) 和常规组 (10 例), 所有手术均由同一组手术医师完成。

二、研究方法

(一) 实验仪器与软件

CT: SIMENS avanto 64 排; 快速成型机: 中瑞 SLA-300 快速成型机 (江苏舟可医疗器械科技有限公司提供); 工作站: 惠普 ZBOOK Z17; Windows 8 (Microsoft); MIMICS 17.0 Materialise's interactive medical image control system (Materialise USA); 3-Matic 9.0 (Materialise USA); Magics 17.0 (Materialise USA); SPSS19.0 Statistical Product and Service Solu-

tions (IBM);Photoshop CS4 (Adobe Systems)。

(二)实验方法与步骤

1. 数据采集:所有患儿接受双下肢全长(从骨盆至踝关节)的扫描,扫描条件:扫描电压:80 KVP;管电流:120 mA;层厚5.0 mm;层间距5.0 mm;容积扫描数据经工作站进行薄层处理(层厚0.625 mm),图像分辨率:512 * 512。最后以 DICOM 数据

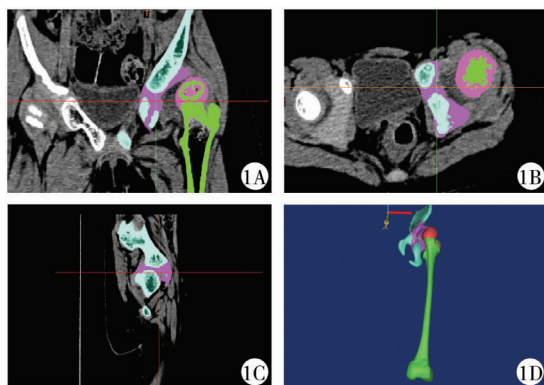


图1 髋关节不同断层的影像学图像,将股骨,股骨头软骨,髋臼,髋臼软骨分别以不同颜色作为蒙版(A:冠状面;B:横断面;C:矢状面;D:三维重建图) 图2 在不同软件中进行股骨颈干角与前倾角的测量(A和B在Photoshop中测量;C、D和E在3-Matic中测量)

Fig. 1 Different orthogonal tomography images of hip and mask with different color standing for each components of the hip such as femur, cartilage of femoral head, acetabulum and corresponding cartilage (A: coronal plane; B: transverse plane; C: sagittal plane; D: three-dimension reconstruction of the whole hip). **Fig. 2** Measurements of femur morphology such as neck-shaft angle and anteversion angle in different software (A and B measured by Photoshop; C, D & E measured by 3-Matic).

3. 模型打印:数字模型导入 Magics17.0 软件进行修复成可打印的数据,并手动设置支撑格式(图3A),最后制作切片数据导入到快速成型机,环境条件(温度26度,湿度20);工作条件(功率450 W)。成型的模型经过95%酒精冲洗去除残留树脂,去除支撑,并对毛刺部位进行打磨后最后进行二次固化,检查模型光滑,体腔内无树脂,无毛刺(图3B)。

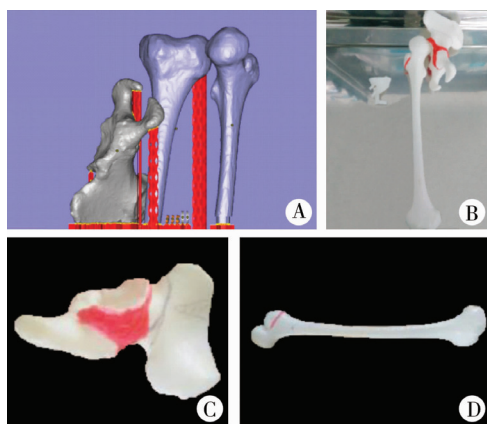
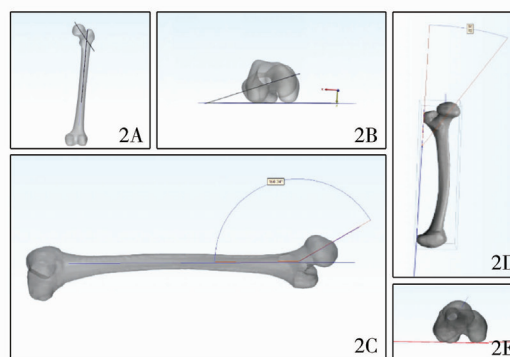


图3 模型打印与手术规划(A:Magics 软件中的支撑设计;B:3D打印后的实物图;C、D在实物上进行模拟手术规划)

Fig. 3 Model printing and surgical plan (A: the design of support in Magics; B: the results of 3D-printing model; C & D: Conduct the virtual surgical plan in the printing acetabulum and femur).

格式刻盘保存备用。

2. 模型重建:将 DICOM 数据导入 MIMICS17.0 软件,经过阈值分割,区域增长,动态区域增长,3D livewire,多层编辑,形态学操作等多种交互式分割方法建立带有软骨的儿童髋关节模型(图1),在软件中分别测量相关形态学参数(图2)。最后将数字化模型以 STL 格式保存。



4. 手术方案设计:根据3D打印的模型,观察模型的外观形态与数字化模型的差异,在模型上测量髋臼长短轴以及髋臼容积(长轴:髋臼上缘至髋臼切迹,短轴,与长轴相垂直,并位于髋臼开口平面最终与髋臼边缘相交两端点的距离。髋臼容积采用盛水法测量)。在模型上模拟不同的手术方案(图3C、3D),最终确定最佳的手术方案,然后在软件中设计相应的截骨导板,以同样的方法输入快速成型机将其打印成型,最后以低温等离子封装灭菌用于手术。

5. 临床应用:典型病例照片见图4A。手术体位与手术入路同常规,在行股骨截骨的时候,将灭菌的导板安放在股骨外侧的相应部位,经导孔打入定位导针以及截骨方向定位导针,透视下验证方向的准确性(图4B、C)。然后沿着设计的截骨平面进行程序截骨,最后安装角钢板(图4D)。

6. 临床随访方法:两组患儿分别随访0.5~1年,平均0.6年。分别按照 McKay 标准以及 Severin 标准进行临床以及影像学评估(见图4E、F、G)。

三、统计学处理

本研究应用 SPSS19.0 进行数据统计分析,对于数字模型与实物模型的股骨颈干角/前倾角,髋臼长轴和短轴,髋臼容积和表面积,以及应用3D打印

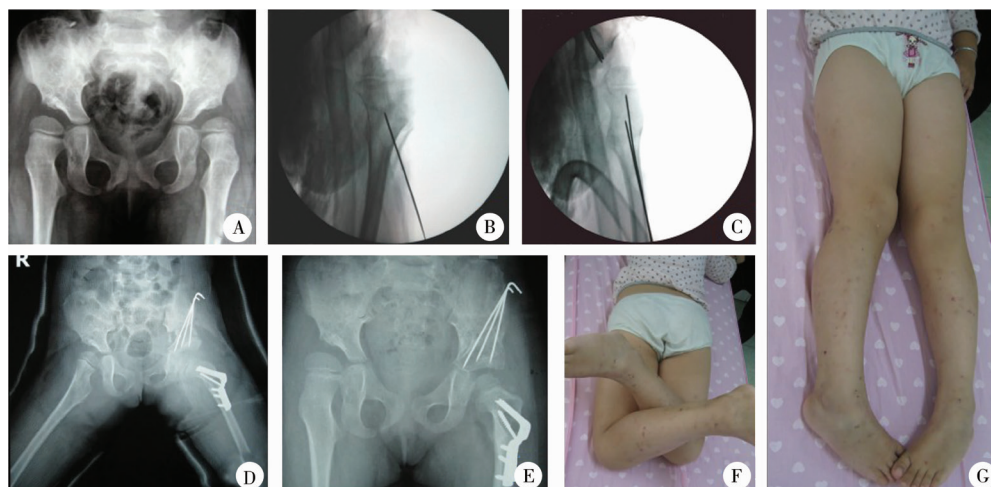


图4 病例图片(A:术前骨盆正位片;B和C:股骨定位导针在正侧位的图像;D:术后髋关节正位片;E:术后半年髋关节截骨愈合情况;F和G:髋关节内旋、外旋功能展示)

Fig.4 Case introduction(A:anteroposterior fluoroscopy of the hip; B&C,the position of guided pin of femur in front and lateral fluoroscopy ;D:anteroposterior fluoroscopy of postoperative hip; E,the healing of osteotomy after 6 months of operation; F&G,the function of hip such as internal and external rotation).

技术与未应用3D打印技术两组病患之间在手术时间、出血量、辐射次数,住院费用等计量资料采用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用单独 t 检验。两组患儿的优良率采用独立样本卡方检验。以 $P < 0.05$ 视为差异有统计学意义。

结 果

一、两组年龄及手术比较

3D打印组平均年龄4.6岁(3~8.7岁);常规组平均年龄在5.4岁(2.8~9.5岁)。3D打印组中4例采用Salter联合截骨;2例Pemberton联合截骨;

1例Dega联合截骨;1例Chiari内移截骨;常规组中5例Salter截骨联合截骨,3例Pemberton截骨,2例Dega截骨。

二、数字化模型与实物模型的参数对比

3D数字模型获得颈干角 $153.7^\circ \pm 10.9^\circ$;前倾角 $45.3^\circ \pm 7.3^\circ$;髋臼长轴(47.7 ± 7.79)mm;短轴(39.7 ± 7.14)mm;髋臼面积($1\,932 \pm 723$)mm²;髋臼体积($6\,569 \pm 738$)mm³;打印模型颈干角 $157.3^\circ \pm 7.4^\circ$;前倾角 $51.2^\circ \pm 3.7^\circ$;髋臼长轴(46 ± 8.24)mm;短轴(40.2 ± 6.06)mm;髋臼面积($1\,751 \pm 421$)mm²;髋臼体积($6\,233 \pm 506$)mm³;两者相比差异无统计学意义($P > 0.05$),详见表1。

表1 数字化模型与实物模型的形态学参数比较($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of hip morphology between digital model and 3D printing model($\bar{x} \pm s$)

| 分组 | 股骨颈干角($^\circ$) | 股骨前倾角($^\circ$) | 髋臼短轴(mm) | 髋臼长轴(mm) | 髋臼容积(mm ³) | 髋臼表面积(mm ²) |
|-------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------------|-------------------------|
| 数字化模型 | 153.7 ± 10.9 | 45.3 ± 7.3 | 39.7 ± 7.14 | 47.7 ± 7.79 | $6\,569 \pm 738$ | $1\,932 \pm 723$ |
| 实物模型 | 157.3 ± 7.4 | 51.2 ± 3.7 | 40.2 ± 6.06 | 46 ± 8.24 | $6\,233 \pm 506$ | $1\,751 \pm 421$ |
| t 值 | -0.804 | -2.025 | 0.436 | -0.151 | 1.061 | 0.612 |
| P 值 | 0.435 | 0.062 | 0.669 | 0.882 | 0.307 | 0.551 |

三、两组手术时间、出血量、辐射次数、费用对比

3D打印组平均手术时间(2.82 ± 0.42)h,出血量(285 ± 40)mL,术中透视次数(5.7 ± 1.0)次。常规组手术时间(3.4 ± 0.48)h,出血量(355 ± 57)mL,术中透视次数(14 ± 2.9)。3D打印组较常规组手术时间有缩短,出血量和术中透视次数也减少,差异有统计学意义($P < 0.01$)。3D打印组为($27\,686 \pm 1\,401$)元;常规组为($26\,934 \pm 2\,893$)元,患儿总治疗费用并无增加($t = 0.685, P = 0.501$),见表2。

表2 两组在手术时间、出血、辐射、费用上的比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of surgical time/blooding amount/radiation/hospitalization cost between 3D printing and normal groups($\bar{x} \pm s$)

| 分组 | 手术时间(h) | 出血量(mL) | 辐射次数(times) | 住院费用(RMB) |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------|----------------------|
| 3D打印($n = 8$) | 2.82 ± 0.42 | 285 ± 40 | 5.7 ± 1.0 | $27\,686 \pm 1\,401$ |
| 常规组($n = 10$) | 3.4 ± 0.48 | 355 ± 57 | 14 ± 2.9 | $26\,934 \pm 2\,893$ |
| t 值 | -2.774 | -3.078 | -7.491 | 0.685 |
| P 值 | 0.012 | 0.006 | <0.001 | 0.501 |

四、两组按 Mackay 与 Severin 评定标准的优良率(%)比较

两组患儿术后均获得随访,平均随访时间 0.6 年。Mackay 评分优良率:3D 打印组为 87.5% (7/8), 常规组为 90% (9/10); 两组比较无统计学差异($\chi^2 = 0.028, P = 0.867 > 0.05$)。Severin 评分优良率:3D 打印组为 100% (8/8); 常规组 100% (10/10), 两组比较无统计学差异($\chi^2 = 0.847, P = 0.357$), 见表 3。

表 3 两组的临床与影像学评定标准的比较[n(%)]

Table 3 Comparison of Mackay and Severin criterion between 3D printing and normal group[n(%)]

| 分组 | Mackay 临床 评定标准* | Severin 影像学 评定标准 |
|-------------|--------------------|---------------------|
| 3D 打印组(n=8) | 7(87.5) | 8(100.0) |
| 常规组(n=10) | 9(90.0) | 10(100.0) |
| P 值 | 0.706 | - |

注: * Fisher 精确概率法

讨 论

一、应用 3D 打印技术对儿童髋关节脱位手术的意义

本文通过计算机辅助导板设计以及 3D 打印技术,不仅较好地还原了髋关节的病理形态结构,而且优化设计的导板让手术导向定位大大缩短手术时间,有效提高了手术精准度和成功率,缩短了患儿术后康复时间。为未来儿童髋关节矫形手术提供了良好的工具。

二、3D 打印的髋关节脱位模型的精准性

目前,联合计算机辅助设计与 3D 打印技术在临床上的应用已有很多。曾有文献针对尸体标本的参数测量与三维重建结果进行比对,验证三维重建的可靠性^[15]。如今,通过 3D 打印将数字化模型转换为实物,实物是否为等比例,与数字化模型之间以及标本之间是否存在误差尚无定论。燕华等^[16-20]通过对髋关节的三维重建以及三维打印出儿童髋关节骨盆用于模拟手术,但是却忽略了软骨的存在,因此,打印的模型仅为骨骼结构,不能精确呈现髋关节结构。尤其对于儿童,不论是髋臼,还是股骨,都存在较多的关节软骨和骨骺,年龄越小,关节软骨成分越多。测量得出的结果误差也就越大,继而大大影响了手术方案的制定。笔者前期通过 MRI、CT 图像等建立了富有软骨的股骨三维模型。大大提高了形态学测量的精准度。鉴于软骨、骨密度上存在的差异性,本研究在软件中,通过调整窗宽、窗位,让软骨的对比度更为清

晰,借助 3D livewire 算法在正交平面上勾勒出软骨的轮廓,从而实现软骨建模,借助布尔运算实现骨与软骨的统一。不仅更为真实地反映了关节的病理形态,有助于进一步分型。通过三维模型与快速成型的模型相比,实物的股骨颈干角、前倾角与数字模型相比,虽无显著统计学差异,但总体均值略高于数字模型,推测与测量方法有关系,数字模型的测量严格按照定义进行测量,而实物模型的测量乃是通过拍摄照片进行测量,实质上是将 3D 数据转换成了二维数据测量。

有研究表明,生理状态的髋臼可以近似于半球球形态,髋臼的长轴与短轴基本相等。而发育不良的髋关节不仅存在着髋臼方向、大小等不同程度的异常,同时伴有股骨近端的畸形改变。曾有作者报道 DDH 手术方案的选择不仅取决于髋臼的大小、方向,同时与股骨头的匹配程度,股骨前倾角的大小有密切关系。通过髋臼长、短轴的变化可以直观精准地反映出髋臼形态的改变。同时,髋臼容积可以反映髋臼对股骨头的包容与匹配程度,从而为进一步选择个性化的手术方案提供了参考。

根据本研究测量结果,发育不良的髋臼主要变现为长轴明显长于短轴,从形态上看,髋臼上缘明显上移,这与股骨头长期挤压有密切关系。如果长轴与短轴无显著差异,再结合髋臼容积与股骨头体积的比较,若两者无差异,则可以考虑选择 salter 截骨方案,若两者体积差异较大,则需要考虑采用 Pemberton 截骨方案。如果长轴明显高于短轴,说明髋臼倾斜度大,此时亦建议采用 Pemberton 截骨方案。

三、计算机辅助设计导板技术的优越性

随着数字骨科的深入应用,导板技术也越来越得到推广,从脊柱到口腔等,皆有文献报道其优势^[21-25]。计算机辅助设计导板技术主要是由逆向工程技术、正向设计技术快速成型技术等多种关键技术组成。通过逆向工程,对骨骼的贴合面进行解剖特征的提取,保证了导板基底有效的与骨骼高度贴合,正向设计的导孔以及截骨平面也有效保证了穿刺定位的方向与术前设计一致。佟旷等^[26]设计的截骨导板用于 steel 三联截骨,获得满意的效果。笔者在该技术使用过程中,发现作为一项新兴技术,仍有很多需要进一步完善的地方。

第一,计算技术辅助导板设计是基于骨骼系统,忽略了软骨与软组织的影响,尤其对于低年龄儿童,不仅骨膜厚,软骨成分也较多,这样大大影响了导板的安放。为此,本研究通过 3D lire 方法将股骨远近的软骨重建,不仅大大提高了测量前倾角的精准度,

而且为导板设计的关键点——如何选择好解剖标志点提供了参考。但带来的代价却是更多更为广泛的剥离,血运的破坏。

第二,在设计截骨平面时,不仅需要考虑到截骨平面的精准,更要联合实际,考虑截骨定位导板的安放问题。入选病例中有1例患儿在设计股骨粗隆下截骨时,截骨定位板部分在设计时未采取逆向贴合设计,导致术中安放导板时截骨槽过长无法放置,只有通过剥离更多的骨膜与软组织来完成。在以后的病例中,我们吸取了这例的教训,与骨骼贴合的部分仍采用逆向工程技术,同时,在此基础上,我们将内翻截骨与旋转截骨定位融合在一个导板上,程序化和简化了手术步骤,提高了手术效率。

第三,该项技术不仅融合了医工等多门交叉学科知识,这也迫使医生在做手术规划时要掌握更多工科基础知识和理论,从而进一步缩短术前规划时间,提高手术效率。就目前而言,尽管3D打印技术基本成熟,但是打印速度仍然是3D打印技术发展的瓶颈,这也限制了其在临床上的推广应用,同时,高昂的打印成本也是目前尚未为广大病患接受的原因之一。

另外,值得注意的是,尽管有了计算机的理论支持与帮助,但是我们不能忽视术者经验的重要性,过分迷信导板技术,而忽略人的因素,往往会带来灾难性的后果。

本研究初步探讨计算机辅助设计导板技术以及3D打印技术的应用,认为等比例模型不仅方便了医患之间的沟通,也是治疗小组之间规划手术方案的有力工具,同时,数据模型的采集也为临床教学提供了一种全新模式。另外,计算机辅助导板设计技术虽能缩短手术时间,提高手术效率,但从质量监管角度出发,作为关键的是设计理念的认证与检验,从而最大程度优化导板设计,优化手术方案。另一方面,随着技术壁垒的突破,原材料市场的进一步开放,笔者相信在不久的将来,将会有更多病患享受新兴技术带来额实惠。

参考文献

- Kamath SU, Bennet GC. Re-dislocation following open reduction for developmental dysplasia of the hip[J]. Int Orthop, 2005, 29(3): 191-194. DOI: 10. 1007/s00264-005-0654-6.
- 唐学阳, 蒋欣, 王道喜. 发育性髋脱位切开复位手术失败及术后再脱位的原因分析[J]. 中华小儿外科杂志, 2010, 31(3): 195-199. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2010. 03. 011.
- Tang XY, Jiang X, Wang DX. The causes of operative failure after open-reductions of development dislocation of hips[J]. Chin J Pediatr Surg, 2010, 31(3): 195-199. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2010. 03. 011.
- 贾惊宇, 张立军, 殷明. 3D-CT评价18至48个月单髋脱位DDH患儿股骨头前倾角和结合前倾角[J]. 中华小儿外科杂志, 2013, 34(11): 834-839. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2013. 11. 009.
- Jia JY, Zhang LJ, Ying M. 3D-CT measurement of femoral neck anteversion and combined anteversion in unilateral DDH[J]. Chin J Pediatr Surg, 2013, 34(11): 834-839. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2013. 11. 009.
- 柳达, 马瑞雪, 吉士俊. 股骨头前倾角的测量及其临床意义[J]. 中华小儿外科杂志, 2002, 23(4): 366. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2002. 04. 025.
- Liu D, Ma RX, Ji SJ. Clinical significance of measurements of femoral anteversion[J]. Chin J Pediatr Surg, 2002, 23(4): 366. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2002. 04. 025.
- 李斌, 李锋, 刘复奇, 等. 发育性髋脱位术后再脱位的三维CT分析[J]. 组织工程与重建外科, 2010, 6(1): 41-44. DOI: 10. 3969/j. issn. 1673-0364. 2010. 01. 013.
- Li B, Li F, Liu FQ, et al. Three-Dimensional Computer Tomography Characteristics of Re-dislocation Following Reduction of Hip Joint Dislocation[J]. Journal of Tissue Engineering and Reconstructive Surgery, 2010, 6(1): 41-44. DOI: 10. 3969/j. issn. 1673-0364. 2010. 01. 013.
- Chidambaram S, Abd Halim AR, Yeap JK, et al. Revision surgery for developmental dysplasia of the hip[J]. Med J Malaysia, 2005, 60 Suppl C: 91-98.
- Wang TM, Wu KW, Shih SF, et al. Outcomes of open reduction for developmental dysplasia of the hip: does bilateral dysplasia have a poorer outcome[J]. J Bone Joint Surg Am, 2013, 95(12): 1081-1086. DOI: 10. 2106/JBJS. K. 01324.
- Tominaga K, Habu M, Tsurushima H, et al. CAD/CAM splint based on soft tissue 3D simulation for treatment of facial asymmetry[J]. Maxillofacial Plast Reconstr Surg, 2016, 38(1): 4. DOI: 10. 1186/s40902-016-0050-8.
- Koyama T, Sugano N, Nishii T, et al. MRI-Based Surgical Simulation of Trans trochanteric Rotational Osteotomy for Femoral Head Osteonecrosis[J]. J Orthop Res, 2009, 27(4): 447-451. DOI: 10. 1002/jor. 20568.
- 季丰琨, 李浩宇. 儿童髋关节发育不良的三维CT测量研究进展[J]. 中国体视学与图像分析, 2015, 20(3): 282-290. DOI: 10. 13505/j. 1007-1482. 2015. 20. 03. 011.
- Ji FK, Li HY. Advances in three-dimensional CT measurements for developmental dysplasia of the hip in children[J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2015, 20(3): 282-290. DOI: 10. 13505/j. 1007-1482. 2015. 20. 03.

- 011.
- 11 Nakahara I, Takao M, Sakai T, et al. Three-dimensional morphology and bony range of movement in hip joints in patients with hip dysplasia [J]. *Bone Joint J*, 2014, 96 (5): 580-589. DOI:10.1302/0301-620X.96B5.32503.
- 12 Beltran LS, Rosenberg ZS, Mayo JD, et al. Imaging evaluation of developmental hip dysplasia in the young adult [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2013, 200 (5): 1077-1088. DOI: 10.2214/AJR.12.9360.
- 13 姜海, 苗武胜, 吴革, 等. 计算机模拟在儿童发育性髋关节脱位 Salter 骨盆截骨术中的应用 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2016, 15 (3): 246-249. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2016.03.012.
Jiang H, Miao WS, Wu G, et al. Application of preoperative computer simulation based on three-dimensional computed tomography re-construction during Salter pelvic osteotomy of children with developmental dislocation of the hip [J]. *J Clin Ped Sur*, 2016, 15 (3): 246-249. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2016.03.012.
- 14 王彭, 吕洪海, 杜智军, 等. 儿童股骨三维立体模型的构建 [J]. *中国数字医学*, 2012, 07 (07): 111-113. DOI:10.3969/j.issn.1673-7571.2012.07.034.
Wang P, Lv HH, Du ZJ, et al. Three-Dimensional Reconstruction of Femur of Child [J]. *China Digital Medicine*, 2012, 07 (07): 111-113. DOI:10.3969/j.issn.1673-7571.2012.07.034.
- 15 Li LY, Zhang LJ, Zhao Q, et al. Measurement of acetabular anteversion in developmental dysplasia of the hip in children by two and three dimensional computed tomography [J]. *J Int Med Res*, 2009, 37 (2): 567-575. DOI:10.1177/147323000903700234.
- 16 Starosolski ZA, Kan JH, Rosenfeld SD, et al. Application of 3-D printing (rapid prototyping) for creating physical models of pediatric orthopedic disorders [J]. *Pediatr Radiol*, 2014, 44 (2): 216-221. DOI:10.1007/s00247-013-2788-9.
- 17 Wu XB, Wang JQ, Zhao CP, et al. Printed Three-dimensional Anatomic Templates for Virtual Preoperative Planning Before Reconstruction of Old Pelvic Injuries; Initial Results [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2015, 218 (4): 477-482. DOI: 10.4103/0366-6999.151088.
- 18 燕华, 史强, 吴伟平, 等. 3D 打印技术在儿童髋关节脱位翻修术中的临床应用 [J]. *中国数字医学*, 2015, 10 (05): 18-19. DOI:10.3969/j.issn.1673-7571.2015.05.004.
Yan H, Shi Q, Wu WP, et al. Application of 3D Printing Technology in the Revision Surgery for DDH in Children [J]. *China Digital Medicine*, 2015, 10 (05): 18-19. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7571.2015.05.004.
- 19 Liu AI, Xue GH, Sun M, et al. 3D Printing Surgical Implants at the clinic: A Experimental Study on Anterior Cruciate Ligament Reconstruction [J]. *Sci Rep*, 2016, 15 (6): 21704. DOI:10.1038/srep21704.
- 20 Wu AM, Shao ZX, Wang JS, et al. The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models [J]. *PLoS One*, 2015, 10 (4): e0124291. DOI: 10.1371/journal.pone.0124291.
- 21 Fu M, Lin L, Kong X, et al. Construction and accuracy assessment of patient-specific biocompatible drill template for cervical anterior transpedicular screw (ATPS) insertion: an in vitro study [J]. *PLoS One*, 2013, 8 (1): e53580. DOI: 10.1371/journal.pone.0053580.
- 22 Ma L, Zhou Y, Zhu Y, et al. 3D-printed guiding templates for improved osteosarcoma resection [J]. *Sci Rep*, 2016, 21 (6): 23335. DOI:10.1038/srep23335.
- 23 Hirao M, Ikemoto S, Tsuboi H, et al. Computer assisted planning and custom-made surgical guide for malunited pronation deformity after first metatarsophalangeal joint arthrodesis in rheumatoid arthritis: a case report [J]. *Comput Aided Surg*, 2014, 19 (1-3): 13-9. DOI:10.3109/10929088.2014.885992.
- 24 Wang YT, Yang XJ, Yan B, et al. Clinical application of three-dimensional printing in the personalized treatment of complex spinal disorders [J]. *Chin J Traumatol*, 2016, 19 (1): 31-34.
- 25 Chen H, Wu D, Yang H, et al. Clinical Use of 3D Printing Guide Plate in Posterior Lumbar Pedicle Screw Fixation [J]. *Med Sci Monit*, 2015, 18 (21): 3948-3954.
- 26 佟矿, 张元智, 张晟, 等. 计算机辅助截骨模板在 Steel 三相截骨治疗儿童先天性髋关节脱位中的应用 [J]. *南方医科大学学报*, 2013, 33 (6): 906-909. DOI:10.3969/j.issn.1673-4254.2013.06.26.
Tong K, Zhang YZ, Zhang S, et al. Application of computer-aided osteotomy template design in treatment of developmental dysplasia of the hip with steel osteotomy [J]. *Journal of Southern Medical University*, 2013, 33 (6): 906-909. DOI:10.3969/j.issn.1673-4254.2013.06.26.

(收稿日期: 2016-08-19)

本文引用格式: 王彭, 杜智军, 陆士蛟, 等. 3D 打印对儿童发育性髋关节脱位手术策略的应用价值探讨 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2018, 17 (4): 252-258. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.004.

Citing this article as: Wang P, Du ZJ, Lu SJ, et al. The application of 3D printing in individualized surgical plan of developmental dislocation of the hip in children [J]. *J Clin Ped Sur*, 2018, 17 (4): 252-258. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2018.04.004.