

· 临床研究 ·

术前虚拟规划联合 3D 打印模板预塑形钢板治疗髌臼后壁骨折

黄晨, 徐伟, 谢美明, 王财儒, 邓少林, 廖冬发
(西部战区总医院骨科, 四川 成都 610083)

【摘要】 目的: 评估虚拟术前规划和 3D 打印模板预塑形钢板治疗髌臼后壁骨折的可行性和准确性。方法: 回顾性分析 2017 年 8 月至 2020 年 8 月治疗的髌臼后壁骨折患者 29 例, 根据是否采用术前虚拟规划和 3D 打印模板分为 2 组, 3D 打印组 14 例, 男 10 例, 女 4 例; 年龄 21~53 岁; 基于患者骨盆 CT 数据采用 Mimics 和 3-Matic 软件进行虚拟手术规划, 虚拟复位骨折, 设计后壁钢板模板及螺钉固定位置, 模拟透视记录合适方位以指导术中透视, 打印后壁钢板模板和带有后壁骨折块的钢板螺钉模型, 然后根据模板预塑形钢板备用。常规组 15 例, 男 10 例, 女 5 例; 年龄 19~55 岁; 采用常规的方法术中折弯钢板适应骨折区域。比较两组术中出血量、手术时间、骨折复位质量和髌关节功能。结果: 23 例患者获得随访, 时间 12~30 个月。两组患者骨折均愈合, 愈合时间 3~6 个月。两组手术时间、术中出血量比较, 差异均有统计学意义 ($P<0.05$)。末次随访时髌关节功能 Merle d'Aubign-Postel 评分, 3D 打印组疼痛程度评分低于常规组 ($P<0.05$); 两组行走能力、髌关节活动度和总分比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。3D 打印组优 6 例, 良 5 例, 可 3 例; 常规组优 5 例, 良 5 例, 可 4 例, 差 1 例; 两组髌关节功能疗效比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。结论: 术前虚拟规划结合 3D 打印模板预塑形钢板技术可缩手术时间, 减少手术出血量, 提高复位质量。该技术治疗髌臼后壁骨折有效、准确、可靠。

【关键词】 髌臼后壁骨折; 术前虚拟计划; 3D 打印; 预塑形

中图分类号: R641

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20220508

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Virtual preoperative planning and 3D-printed templates for pre-contoured plates in treatment of acetabular posterior wall fractures

HUANG Chen, XU Wei, XIE Mei-ming, WANG Cai-ru, DENG Shao-lin, LIAO Dong-fa (Department of Orthopaedics, General Hospital of Western Theater Command, Chengdu 610083, Sichuan, China)

ABSTRACT Objective To evaluate the feasibility and accuracy of virtual preoperative planning and 3D-printed templates for pre-contoured plates for the treatment of posterior wall fractures of the acetabulum. **Methods** A retrospective analysis of 29 patients with posterior acetabular wall fractures treated between August 2017 and March 2021 were divided into 2 groups based on whether to use preoperative virtual planning and 3D printed template. In 3D-printing group, there were 14 patients, including 10 males and 4 females; aged from 21 to 53 years old; CT-based virtual surgical planning was done using Mimics and 3-Matic software and 3D-printed templates for pre-contoured plates were adopted. In conventional group, there were 15 patients, including 10 males and 5 females; aged from 19 to 55 years old; conventional method of intra-operative contouring to adapt the plate to the fracture region was adopted. Blood loss, surgical time, radiographic quality of reduction, and hip function were compared between groups. **Results** The difference in operation time and intraoperative blood loss was significant ($P<0.05$). Twenty-three patients were followed up from 12 to 30 months, and the fractures in both groups healed with a healing time of 3 to 6 months. At the last follow-up, the Merle d'Aubign-Postel score of the 3D printed group was lower than that of the conventional group ($P<0.05$), with no significant differences in walking ability, hip mobility and total score ($P>0.05$). In 3D printing group, 6 cases were excellent, 5 cases were good, 3 cases were fair; in conventional group, 5 cases were excellent, 5 cases were good, 4 cases were fair, 1 case was worse; no significant difference between two groups ($P>0.05$). **Conclusion** Virtual preoperative planning and 3D-printed templates for pre-contoured plates can reduce operative time and the blood loss of surgery, improve the quality of reduction. This method is efficient, accurate and reliable to treat acetabular posterior wall fractures.

基金项目: 军委后勤保障部面上项目(编号: 19BJZ11)

Found program: General Project of Logistical Support Department of CMC (No.19BJZ11)

通信作者: 廖冬发 E-mail: 1532907286@qq.com

Corresponding author: LIAO Dong-fa E-mail: 1532907286@qq.com

KEYWORDS Acetabulum posterior wall fracture; Pre-operative virtual planning; Three-dimensional printing; Pre-contoured

髋臼后壁骨折是最常见的髋臼骨折, 约占髋臼骨折的 30%^[1-2]。髋臼后壁骨折常常是高能量损伤, 常伴有髋关节脱位。在不稳定的髋关节和(或)后壁大部分受累时, 需要切开复位内固定。由于髋臼解剖结构复杂、骨折位置深在、后壁骨折复位不可直视关节面, 要解剖复位关节面和稳定固定是比较困难的。而骨折复位质量直接影响临床效果^[3]。目前髋臼后壁骨折的手术治疗效果并不理想^[4]。随着图像处理 and 计算机技术的进步, 虚拟规划软件和 3D 打印技术给医学带来了革命性的变化。初步经验表明虚拟计划和 3D 打印是增加对外科医生对髋臼骨折的理解、是改善手术效果的有力工具^[5]。计算机虚拟技术可帮助外科医生理解复杂骨折、制定手术计划、预制个性化植入物^[6-7]。本研究回顾性分析 2017 年 8 月至 2020 年 8 月期间应用计算机虚拟技术制定手术计划指导术中骨折复位、固定和透视, 应用 3D 打印技术制作后壁钢板模板术前预弯钢板治疗的髋臼后壁骨折患者的资料, 报告如下。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:(1)根据 AO/OTA 髋臼骨折分型^[8]分为 A1 型(后壁骨折)。(2)髋关节存在向后不稳定。(3)仅采用 Kocher-Langenbeck 入路完成后壁骨折复位固定。(4)年龄 18~55 岁。排除标准:(1)病理性骨折。(2)受伤后 2 周内未手术。(3)伴有髋部 Morel-Lavallee 损伤。(4)记录不完整或失访的患者。(5)凝血功能障碍或长期口服抗血小板、抗凝药物的患者。

1.2 临床资料

本研究共纳入髋臼后壁骨折患者 29 例, 根据是否使用术前虚拟模型制定手术计划及采用 3D 打印模板预弯钢板将患者分为 3D 打印组和常规组。3D 打印组 14 例, 男 10 例, 女 4 例; 年龄 21~53 (35.7±10.4) 岁; 高坠伤 4 例, 交通伤 6 例, 重物砸伤 3, 其他损伤 1 例; 按 AO/OTA 分型, A1.1 型 6 例, A1.2 型 4 例, A1.2a 型 4 例。常规组 15 例, 男 10 例, 女 5 例; 年龄

19~55 (38.44 例, 12.2) 岁; 高坠伤 5 例, 交通伤 6 例, 重物砸伤 2 例, 其他损伤 2 例; 按 AO/OTA 分型, A1.1 型 7 例, A1.2 型 5 例, A1.2a 型 3 例。两组年龄、髋臼骨折侧别、性别、骨折 AO 分型等一般资料比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$), 具有可比性。3D 打印组内患者均知情同意并签署知情同意书。

1.3 治疗方法

1.3.1 术前准备 患者入院后伤侧下肢行股骨髁上骨牵引, 伴有髋关节脱位的病例急诊给予闭合复位。常规摄骨盆 X 线片、行 CT 平扫及三维重建。将所有患者的 CT DICOM 数据导入 Mimics 21.0 (Materialize, Leuven, Belgium) 软件, 重建后在二维和三维视图多角度立体观察骨折的形态和移位方向, 将骨折块分割后进行虚拟复位。将复位后的 3D 模型导入 3-Matic 13.0 (Materialize, Leuven, Belgium) 软件设计钢板模板, 再将钢板模板导入 Mimics 软件规划螺钉的置入位置和方向 (图 1)。确定钢板螺钉位置满意后进行模拟透视, 记录透视方向和角度以指导术中透视评估拉力螺钉的安全性 (图 2)。将设计好的钢板模板以及带有后壁骨折块的钢板螺钉模板的 SLT 文件发送到 3D 打印室, 打印 1:1 的钢板模板和带有后壁骨块的钢板螺钉模型, 根据钢板模板预塑形钢板备用, 将带有后壁骨块的等大钢板螺钉模型带到手术室指导术中复位以及放置钢板螺钉 (图 3)。

1.3.2 手术方法 所有患者均由同一组医生进行手术。全麻成功后患者取侧卧位, 采用 Kocher-Langenbeck (K-L) 入路。骨折复位顺序如下: 清除骨折块周围血肿及失活的软组织, 摘除关节内游离碎片, 以股骨头为模板复位压缩的关节面, 复位后壁骨折块克氏针临时固定, 后壁骨块采用 3.5 mm 皮质骨螺钉加压固定, 加 3.5 mm 骨盆重建钢板保护复位的骨折块^[9]。常规组, 骨折复位后在拟置入拉力螺钉的位置先钻入 1 枚克氏针透视确认克氏针未切入关节再退出克氏针钻孔、攻丝拧入 3.5 mm 皮质骨螺钉加压

表 1 两组髋臼后壁骨折患者术前一般资料比较

Tab.1 Comparison of preoperative general data between two groups of patients with acetabular posterior wall fractures

组别	例数	性别/例		年龄(x±s)/岁	受伤到手术时间(x±s)/d	受伤原因/例				AO/OTA 分型/例		
		男	女			高坠伤	交通伤	重物砸伤	其他损伤	A1.1 型	A1.2 型	A1.2a 型
3D 打印组	14	10	4	35.7±10.4	4.9±1.6	4	6	3	1	6	4	4
常规组	15	10	5	38.4±12.2	5.7±1.8	5	6	2	2	7	5	3
检验值		$\chi^2=0.077$		$t=-0.635$	$t=-1.138$	$\chi^2=0.611$				$\chi^2=0.297$		
P 值		0.550		0.234	0.946	0.570				0.429		

固定后壁骨折块,再使用薄金属模板确定髌臼表面的形状,在手术中根据薄金属模板轮廓折弯钢板,塑形至合适形态,于钢板两端分别置入 2 枚 3.5 mm 皮质骨螺钉保护后壁骨折块。在 3D 打印组中,骨折复位后对照等大的 3D 打印带有钢板螺钉的后壁骨折块模型根据进针点与后壁边缘和骨折线的相对位置选定进针点,根据钻头与后壁面的角度选定和指向选定进针方向,直接钻孔、攻丝后拧入 3.5 mm 皮质骨螺钉加压固定后壁骨折块,再将术前预塑形的钢板放置在规划的位置,对照 3D 模型螺钉相对于钢板的方向分别于钢板两端钻孔、测深依次拧入 2 枚 3.5 mm 皮质螺钉保护后壁骨折块。固定完成后检查髌关节活动范围并透视骨盆前后位、闭孔斜位和拉力螺钉的安全位确认骨折复位情况和螺钉位置。透视满意后大量生理盐水冲洗切口,确认无活动性出

血后修复外旋肌群放置引流管逐层关闭切口。

1.3.3 术后处理 麻醉清醒后即开始指导患者进行踝关节背伸、趾屈运动及下肢肌肉等长收缩,切口引流管 24 h 引流量<30 ml 后拔出,术后 1 周开始髌关节康复锻炼,6 周内进行股四头肌等长收缩、髌关节被动活动和非负重锻炼。术后 1、2、3、6、12 个月门诊复查,在门诊随访期间,在 X 线片上发现有骨痂形成后指导患者扶双拐部分负重,2~3 个月根据骨折愈合情况逐步过渡到完全负重。

1.4 观察项目与方法

记录并比较两组手术时间、术中出血量。术后按照 Matta 评定标准评价骨折复位质量,评定标准为:骨折移位<1 mm 为解剖复位,1~3 mm 为满意复位,>3 mm 为不满意复位^[10]。末次随访时按照改良 Merle d'Aubign-Postel 评分标准^[4]评价患者术后髌关节功能,包括疼痛程度、行走能力以及髌关节活动范围 3 个方面,满分 18 分,18 分为优,15~17 分为良,12~14 分为可,3~11 分为差。

1.5 统计学处理

采用 SPSS19 软件进行统计学分析。手术时间、术中出血量、Merle d'Aubign-Postel 评分等定量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用成组设计定量资料 *t* 检验;性别、分型、Matta 复位评价等定性资料比较采用 χ^2 检验。以 *P*<0.05 为差异具有统计学意义。

2 结果

3D 打印组骨折复位后按照术前规划的方案一次成功置入拉力螺钉,预塑形钢板 13 例顺利放置与后壁贴合紧密,和术前计划高度

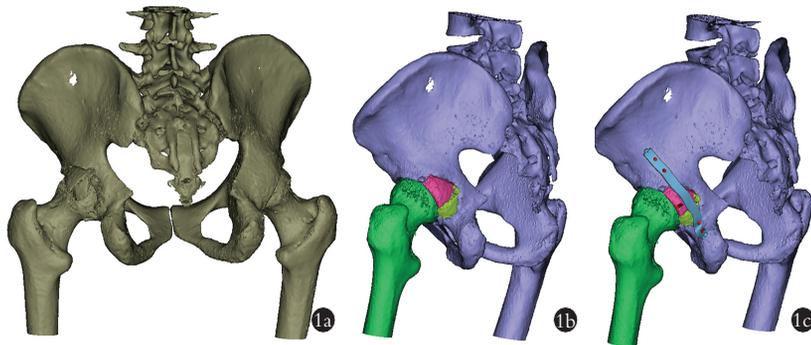


图 1 采用 3-Matic13.0(Materialize,Leuven,Belgium)软件通过复位后的 3D 模型进行钢板设计 **1a.**将患者骨盆 CT DICOM 数据导入 Mimics 软件进行重建后的三维图像 **1b.**将骨折块进行分割,虚拟骨折复位后的图像 **1c.**将复位后的三维模型导入 3-Matic 软件设计后壁钢板模板,然后将钢板模板导入 Mimics 软件设计螺钉置入位置和方向数据导入

Fig.1 Plate design by a 3D model after reduction with 3-Matic13.0 (Materialize,Leuven,Belgium) software **1a.** 3D reconstruction images of the patient reconstructed pelvis CT DICOM data into the Mimics software **1b.** The fracture block was segmented,images after the reduction of the virtual fractures **1c.** The reset 3D model was imported into the 3-Matic software to design the rear wall steel plate template,then the steel plate template was imported into the Mimics software to design screw placement position and orientation



图 2 钢板螺钉位置的透视角度和方位 **2a,2b.**虚拟三维模型上模拟透视,选择能准确显示钢板螺钉位置的透视角度和方位指导术中透视,评估骨折复位情况和螺钉安全性 **2c,2d.**术中根据术前模拟透视方案进行透视的图像

Fig.2 Perspective angle and orientation of the plate screw position **2a,2b.** Simate fluoroscopy on the virtual 3D model,select the fluoroscopy angle and orientation that can accurately show the position of the plate and the screw to guide intraoperative fluoroscopy to evaluate fracture reduction and screw safety **2c,2d.** Pertraoperative images according to the preoperative simulated fluoroscopy protocol

一致, 仅有 1 例预塑形钢板与后壁形态不贴合经过轻微重塑后放置贴服。29 例患者获得随访, 时间 12~30 个月。两组患者骨折均愈合, 愈合时间 3~6 个月。3D 打印组手术时间为 76~143 min, 术中出血量为 180~415 ml。常规组手术时间为 89~178 min, 术中出血量为 235~520 ml。两组手术时间、术中出血量比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 2。根据 Matta 骨折复位评价标准, 3D 打印组获解剖复位 11 例, 满意复位 3 例; 常规组获得解剖复位 11 例, 满意复位 4 例; 两组比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 2。

末次随访时两组髋关节功能 Merle d'Aubign-Postel 评分结果见表 3, 其中 3D 打印组疼痛程度评分明显低于常规组 ($P < 0.05$); 两组行走能力、髋关节活动度和总分比较差异均无统计学意义 ($P < 0.05$)。根据 Merle d'Aubign-Postel 评分, 3D 打印组优 6 例, 良 5 例, 可 3 例; 常规组优 5 例, 良 5 例, 可 4 例, 差 1 例; 两组间髋关节功能疗效比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 2。

伴有髋关节脱位的患者均伴有不同程度的坐骨

神经损伤症状, 术后 3 个月逐渐恢复正常。常规组 1 例术后出现血肿, 经血肿清除后切口愈合, 1 例术后 1 年半出现创伤性关节炎; 3D 打印组 1 例术后 2 个月出现异位骨化, 分级为 Brooker I 级, 未进行性发展, 未予特殊治疗。随访期间两组均无切口感染、螺钉切入关节、下肢深静脉血栓形成、股骨头缺血性坏死及骨折再移位、内固定失效等其他并发症。典型病例图片见图 4。

3 讨论

3.1 髋臼后壁骨折手术治疗要点

髋臼后壁骨折手术的主要目的是通过骨折复位获得稳定的髋关节, 消除关节面台阶或间隙, 维持复位的骨折稳定, 直到骨折愈合完成^[11]。拉力螺钉加 3.5 mm 的重建钢板固定是目前治疗髋臼后壁最常用的固定方法, 传统手术方法在后壁骨折复位后需要术中完全显露钢板放置所需的区域, 根据骨骼形态塑形钢板使重建钢板适应髋臼轮廓。这增加了手术的创伤, 扩大显露也可能出现意外损伤, 增加手术出血和手术时间。由于骨折位置深在术中暴露有限

及不精确的钢板塑形, 可能导致后壁骨折再移位和固定不可靠。多次折弯可能导致金属疲劳, 降低钢板的强度。髋臼后壁骨折固定中螺钉意外穿透髋关节面时有发生^[12]。据一项纳入了 1 226 例髋臼骨折患者的研究, 髋臼后壁骨折的手术量逐年增加而骨折复位质量并没有提高, 骨折治疗的效果也没有提高^[13]。对可控的危险因素进行合理规划, 是改善后壁骨折治疗效果的关键^[14]。为实现解剖复位、精准的拉力螺钉固定和有效的钢板固定, 需要充分地认识髋臼的形态和骨折的特点采用一种简单、高效、准确的髋臼后壁骨折复位固定方法。精心的术前规划是髋臼手术成功

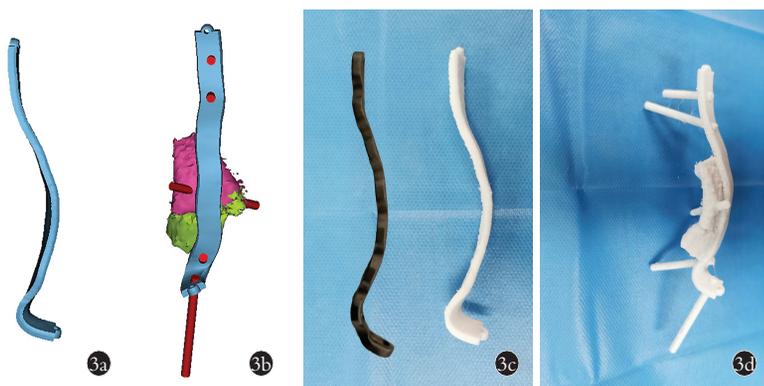


图 3 虚拟钢板螺钉设计及 3D 打印 3a. 设计完成的虚拟钢板模板 3b. 带有后壁骨块的钢板螺钉虚拟模型 3c. 3D 打印出的 1:1 钢板模板, 根据模板预塑形钢板 3d. 带有后壁骨块的钢板螺钉大模型清楚显示螺钉置入的位置和方向

Fig.3 Virtual steel plate screw design and 3D printing 3a. Design of virtual steel plate template 3b. Virtual model of plate screw with posterior wall bone block 3c. A 3D-printed 1:1 steel plate template, and plate was pre-shaped according to the template 3d. The large model of the plate screw with posterior wall clearly showed the location and direction of screw placement

表 2 两组髋臼后壁患者术后临床观察指标比较

Tab.2 Comparison of the operation time, intraoperative blood loss, fracture reduction quality and hip function between two groups of patients with acetabular posterior wall fractures

组别	例数	随访时间 ($\bar{x} \pm s$)/月	愈合时间 ($\bar{x} \pm s$)/月	手术时间 ($\bar{x} \pm s$)/min	术中出血量 ($\bar{x} \pm s$)/ml	Matta 骨折复位评价/例			Merle d'Aubign-Postel 疗效/例			
						解剖	满意	不满意	优	良	中	差
3D 打印组	14	17.71±4.53	3.81±0.82	101.79±20.32	293.21±75.11	11	3	0	6	5	3	0
常规组	15	19.67±5.96	3.42±0.46	125.53±25.41	378.67±87.31	11	4	0	5	5	4	1
检验值		$t=0.99$	$t=1.54$	$t=1.267$	$t=0.456$	$\chi^2=0.109$			$\chi^2=0.514$			
P 值		0.315	0.180	0.010	0.009	0.542			0.383			

表 3 两组髋臼后壁骨折患者术后髋关节 Merle d'Aubign-Postel 评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.3 Comparison of the Merle d'Aubign-Postel score between two groups of patients with acetabular posterior wall fractures ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	疼痛程度	行走能力	髋关节活动度	总分
3D 打印组	14	5.71±0.49	5.29±0.83	5.57±0.65	16.57±1.65
常规组	15	5.27±0.80	4.93±0.88	5.33±0.82	15.53±2.10
<i>t</i> 值		1.823	1.108	0.867	1.473
<i>P</i> 值		0.020	0.829	0.202	0.152

的重要保证,3D 打印技术可以准确地将计算机断层扫描图像转换为真实模型。精确的骨折模型有助于

外科医生根据患者的具体情况规划所需的手术方案^[15]。打印完整的骨盆模型的缺点是制作成本高和打印时间长。选择在虚拟三维模型上进行骨折复位设计钢板螺钉模板,仅打印等大的髋臼后壁骨折块和钢板螺钉模板,术前预塑形钢板,避免了术中反复折弯钢板。打印出后壁骨折和螺钉钢板三维等大模型可以指导术中复位后正确置入拉力螺钉以及准确放置钢板,避免拉力螺钉切入关节面,局部打印大大地节省了成本和时间。

3.2 计算机虚拟技术在髋臼骨折术前个性化设计中的应用

在过去的 10 年中,计算机辅助技术已经广泛应用于骨科手术过程中协助外科医生提高手术准确

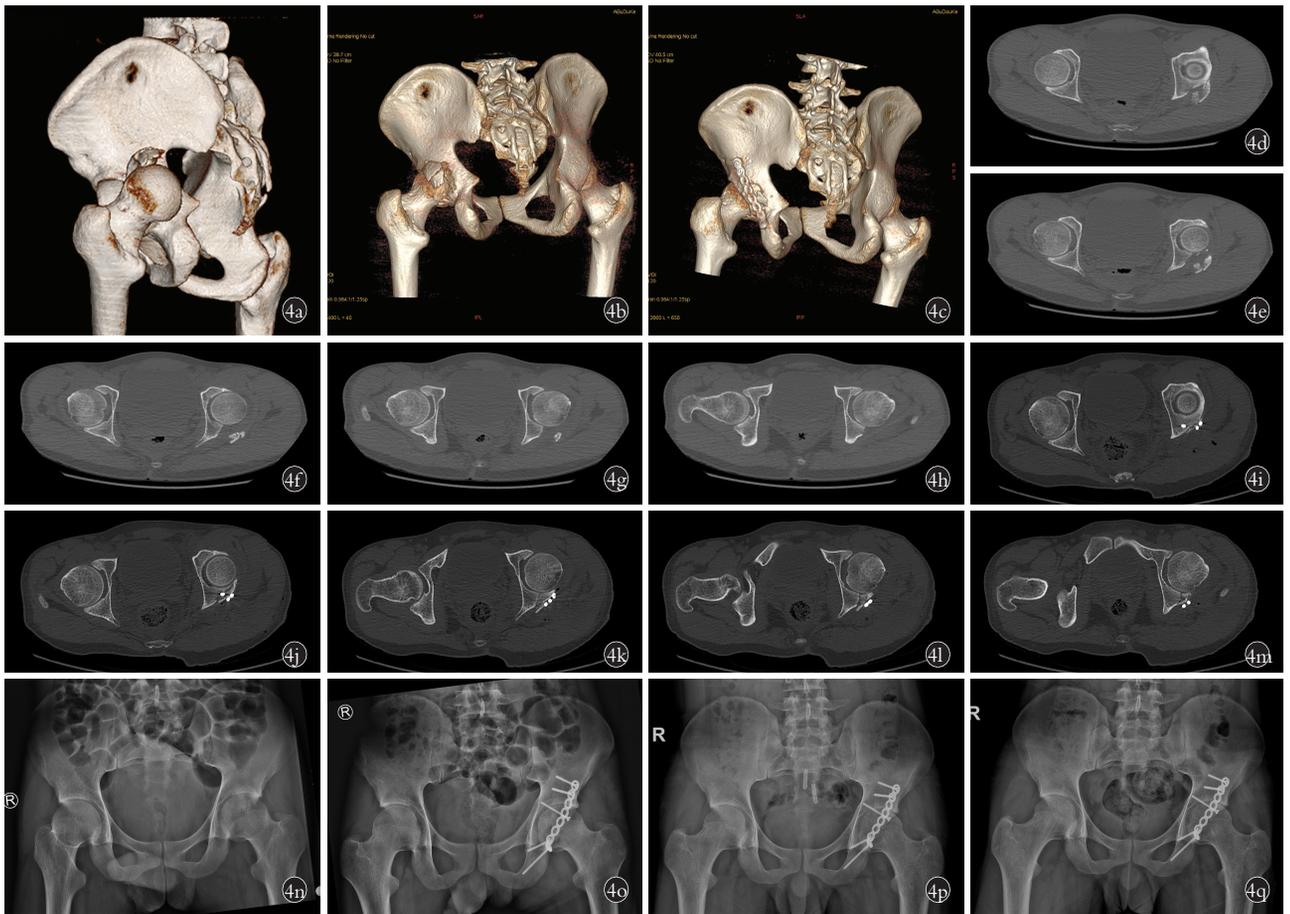


图 4 患者,23 岁,男,髋臼后壁粉碎性骨折伴有髋关节后脱位 4a. 伤后骨盆三维 CT 显示髋臼后壁粉碎性骨折伴有髋关节后脱位 4b. 急诊手法复位后骨盆三维 CT 显示髋关节复位,骨折累及后壁范围较大、骨折粉碎 4c. 骨折切开复位内固定术后三维 CT 显示骨折复位满意、拉力螺钉及保护钢板位置合适 4d,4e,4f,4g,4h. 术前 CT 平扫横断面图像显示后壁骨折粉碎、分离移位 4i,4j,4k,4l,4m. 骨折复位固定术后 CT 平扫横断面图像显示粉碎的后壁骨折得到解剖复位和稳定的固定 4n. 术前骨盆 X 线片显示左侧髋臼后壁骨折块分离移位呈“帽沿征” 4o. 术后即刻骨盆 X 线片显示后壁骨折采用 1 枚拉力螺钉和保护钢板固定,骨折复位良好、关节面平整 4p. 术后 3 个月骨盆 X 线片显示骨折愈合、螺钉钢板无移位、关节间隙清晰 4q. 术后 1 年骨盆 X 线片显示髋关节对合良好、关节间隙正常、股骨头形态正常

Fig.4 A 23-year-old male patient with the posterior wall fracture with hip dislocation of the left acetabulum 4a. Three-dimensional reconstructions of the post-traumatic CT scan 4b. Three-dimensional reconstructions of the CT scan after hip reduction 4c. Three-dimensional reconstructions of the post-operative CT scan 4d,4e,4f,4g,4h. Preoperative cross-sectional imaging 4i,4j,4k,4l,4m. Post-operative cross-sectional imaging 4n. Preoperative X-ray of the pelvis 4o. Postoperative X-ray of the pelvis 4p. X-ray of the pelvis at 3 months after surgery 4q. X-ray of the pelvis at 1 year after surgery

性^[16-17],但是虚拟手术规划在骨科手术,特别是髌臼后壁骨折,仍处于探索阶段。髌臼骨折术前虚拟计划有助于术者了解骨折形态,术中能更准确地复位^[18]。笔者通过计算机辅助虚拟技术充分认识骨折形态及移位情况制定个体化手术方案,虚拟进行复位固定,模拟透视指导术中 C 形臂 X 线透视评估拉力螺钉的安全性。螺钉穿透关节若术中不能及时发现,会导致股骨头磨损。位于坐骨棘上方的后壁和后柱的一部分为髌臼危险区域。置入危险区域的螺钉有损伤髌关节的风险。然而该区域常用于后壁和后柱骨折螺钉的固定,研究发现在距离后壁边缘 0.5~2.0 cm 范围内置入螺钉需要倾斜 75~45°才能避免螺钉切入关节面^[19]。据报道已有多多个术中透视方位有助于安全放置后壁拉力螺钉,CARMACK 等^[20]报道拉力螺钉轴位透视的敏感性、特异性和正确率分别为 95%、84%和 90%,拉力螺钉切线位透视的敏感性、特异性和正确率分别为 85%、89%和 87%。也有学者建议采用入口闭孔斜位透视引导后壁拉力螺钉安全置入^[21]。由于后壁骨折类型的多样性和复杂性,拉力螺钉置入的位置和方向也各异,采用恒定的透视方法无法确定螺钉的安全性。

笔者采用计算虚拟技术,虚拟复位骨折置入拉力螺钉在虚拟三维模型上确认螺钉位置安全后,模拟术中透视选择确保螺钉位置安全的透视方位指导术中透视,便能快速准确地评估螺钉安全性避免了术中反复透视确认螺钉位置。术前设计的准确性直接决定了术中骨折复位固定是否顺利,准确的术前设计可有效指导及评估骨折复位和螺钉的安全性。在虚拟模型上实现骨折的精确骨折复位是准确设计钢板模板的前提。对于 A1.1 型骨折通过骨折块的旋转和平移可较为容易地实现骨折精确复位,但对于 A1.2 型骨折,骨折块较多实现精确复位比较困难。可以通过去除股骨头在关节面内直视下复位,也可借助对侧镜像影像判断骨折复位情况。实现骨折复位以后,开始规划拉力螺钉的位置,根据骨折块的大小和形态设计拉力螺钉置于钢板内侧和外侧,既往有生物力学试验证实将螺钉置于钢板外侧具有更好的稳定性^[2],但是在临床中一些骨折块并不能满足将螺钉置于钢板外侧缘。在钢板模板的设计上,规划好钢板的位置后测量长度,对照拟使用的钢板型号设计适当长度的模板及螺钉置入位置和方向。术前设计不准确的原因:(1)后壁骨折块没有精确复位。(2)规划拉力螺钉位置时没有考虑钢板的实际宽度和安放位置,术中加压固定后壁骨折块后钢板不能放置到规划的位置,导致钢板放置不帖服。(3)对计算机虚拟软件掌握不熟练。

3.3 3D 打印技术在治疗髌臼骨折中的优势

术中出血是衡量手术创伤大小的一个重要指标,据以往研究术前采用术前虚拟模拟和 3D 打印技术治疗髌臼骨折可显著减少术中出血量^[22]。笔者的数据也证实了先前的研究结果,通过虚拟手术主刀医生可以更充分地理解骨折移位的情况,术中可以减少软组织剥离快速显露骨折,精准确定最佳骨折复位顺序和拉力螺钉进钉的安全方向。3D 打印组的失血量比常规组减少。手术时间是决定手术创伤的另一个重要因素。既往研究报道了 3D 打印模板预弯钢板可减少骨科手术的时间^[23]。笔者的研究中也发现类似结果,3D 打印组的手术时间比常规组减少。本研究发现采用 X 线评价骨折复位质量两组间解剖复位率没有差别,但是通过 CT 测量复位后骨折间隙,3D 打印组术后骨折间隙明显小于常规组。在评价内置物位置和评估髌臼骨折复位质量方面,CT 扫描比 X 线片更准确^[24]。尽管以前研究缺乏随机对照数据,但所有研究都得出了采用计算机虚拟技术和 3D 打印技术辅助的骨折手术术后复位更好的结论^[25-26]。笔者应用计算机虚拟技术处理髌臼后壁骨折的研究中也发现了类似的结果,术后通过 CT 扫描测量骨折间隙 3D 打印组间隙小于常规组,末次随访时 3D 打印组髌关节疼痛评分明显小于常规组。

3.4 本研究的局限性

(1)采用该技术的外科医生必须具备医学虚拟建模与重建的知识,(2)本研究的数据是以回顾性方式获得,样本量较小且骨折类型一致性较差。还需要大样本随机对照进一步研究。

综上所述,计算机虚拟三维模型可帮助外科医生更好地了解骨折形态和制定精确的术前计划,指导术中有针对性地复位和准确地透视评估骨折复位质量和螺钉安全性。3D 打印钢板模板术前预塑形钢板可减少手术创伤、缩短手术时间,并且相对于全骨盆打印可缩短打印时间、节省成本。对于年轻骨科医生来说,计算机虚拟技术和 3D 打印是一个很好的工具和技术来理解髌臼骨折,缩短手术学习曲线。

参考文献

- [1] FAKRU N H, FAISHAM W I, HADIZIE D, et al. Functional outcome of surgical stabilisation of acetabular fractures[J]. Malays Orthop J, 2021, 15(2): 129-135.
- [2] CAO Q Y, JIANG Y, LI Y N, et al. Correction to: a biomechanical comparison of different fixation techniques for fractures of the acetabular posterior wall[J]. Int Orthop, 2019, 43(5): 1277.
- [3] MATTA J M. Fractures of the acetabulum: accuracy of reduction and clinical results in patients managed operatively within three weeks after the injury[J]. J Bone Joint Surg Am, 1996, 78(11): 1632-1645.
- [4] 钟承桔, 王钢. 髌臼后壁骨折的治疗与研究进展[J]. 中华创伤

- 骨科杂志, 2018, 20(11): 1004-1009.
- ZHONG C J, WANG G. Progress in treatment and research of acetabular posterior wall fracture[J]. Chin J Orthop Trauma, 2018, 20(11): 1004-1009. Chinese.
- [5] BOUDISSA M, COURVOISIER A, CHABANAS M, et al. Computer assisted surgery in preoperative planning of acetabular fracture surgery: state of the art[J]. Expert Rev Med Devices, 2018, 15(1): 81-89.
- [6] PAHUTA M A, SCHEMITSCH E H, BACKSTEIN D, et al. Virtual fracture carving improves understanding of a complex fracture: a randomized controlled study[J]. J Bone Joint Surg Am, 2012, 94(24): e182.
- [7] 王小阵, 石震, 鲁齐林, 等. 3D 打印技术联合组合式接骨板内固定治疗陈旧性髋臼后壁骨折[J]. 中国骨伤, 2019, 32(5): 395-400.
- WANG X Z, SHI Z, LU Q L, et al. Treatment of old acetabular posterior wall fracture with 3D printing combined with composite plate internal fixation[J]. China J Orthop Traumatol, 2019, 32(5): 395-400. Chinese.
- [8] MEINBERG E G, AGEL J, ROBERTS C S, et al. Fracture and dislocation classification compendium-2018[J]. J Orthop Trauma, 2018, 32(Suppl 1): S1-S170.
- [9] COSGROVE C T, BERKES M B, MCANDREW C M, et al. Kocher-langenbeck approach for posterior wall acetabular fractures[J]. J Orthop Trauma, 2020, 34(Suppl 2): S21-S22.
- [10] MATTA J M. Operative treatment of acetabular fractures through the ilioinguinal approach. A 10-year perspective[J]. Clin Orthop Relat Res, 1994(305): 10-19.
- [11] PERDUE P W Jr, TAINTER D, TONEY C, et al. Evaluation and management of posterior wall acetabulum fractures[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2021, 29(21): e1057-e1067.
- [12] ARCHDEACON M T, DAILEY S K. Efficacy of routine postoperative CT scan after open reduction and internal fixation of the acetabulum[J]. J Orthop Trauma, 2015, 29(8): 354-358.
- [13] OCHS B G, MARINTSCHEV I, HOYER H, et al. Changes in the treatment of acetabular fractures over 15 years; analysis of 1266 cases treated by the German Pelvic Multicentre Study Group (DAO/DGU)[J]. Injury, 2010, 41(8): 839-851.
- [14] 高悠水, 孙玉强, 张长青. 髋臼后壁骨折治疗的研究进展[J]. 中华创伤杂志, 2017, 33(5): 465-469.
- GAO Y S, SUN Y Q, ZHANG C Q. Research progress in treatment of acetabular posterior wall fracture[J]. Chin J Orthop Trauma, 2017, 33(5): 465-469. Chinese.
- [15] BAGARIA V, DESHPANDE S, RASALKAR D D, et al. Use of rapid prototyping and three-dimensional reconstruction modeling in the management of complex fractures[J]. Eur J Radiol, 2011, 80(3): 814-820.
- [16] HERNANDEZ D, GARIMELLA R, ELTORAI A E M, et al. Computer-assisted orthopaedic surgery[J]. Orthop Surg, 2017, 9(2): 152-158.
- [17] 叶晓健. 机器人手术在脊柱外科手术中发挥的精准安全和微创高效作用[J]. 中国骨伤, 2022, 35(2): 99-100.
- YE X J. Robotic surgery plays a precise, safe, minimally invasive and efficient role in spinal surgery[J]. China J Orthop Traumatol, 2022, 35(2): 99-100. Chinese.
- [18] CIMERMAN M, KRISTAN A, JUG M, et al. Fractures of the acetabulum; from yesterday to tomorrow[J]. Int Orthop, 2021, 45(4): 1057-1064.
- [19] WU X B, CHEN W, ZHANG Q, et al. The study of plate-screw fixation in the posterior wall of acetabulum using computed tomography images[J]. J Trauma, 2010, 69(2): 423-431.
- [20] CARMACK D B, MOED B R, MCCARROLL K, et al. Accuracy of detecting screw penetration of the acetabulum with intraoperative fluoroscopy and computed tomography[J]. J Bone Joint Surg Am, 2001, 83(9): 1370-1375.
- [21] TOSOUNIDIS T H, GIANNOUDIS P V. Use of inlet-obturator oblique view (leeds view) for placement of posterior wall screws in acetabular fracture surgery[J]. J Orthop Trauma, 2017, 31(4): e133-e136.
- [22] HSU C L, CHOU Y C, LI Y T, et al. Pre-operative virtual simulation and three-dimensional printing techniques for the surgical management of acetabular fractures[J]. Int Orthop, 2019, 43(8): 1969-1976.
- [23] MARINESCU R, POPESCU D, LAPTOIU D. A review on 3D-printed templates for precontouring fixation plates in orthopedic surgery[J]. J Clin Med, 2020, 9(9): 2908.
- [24] ELNAHAL W A, WARD A J, ACHARYA M R, et al. Does routine postoperative computerized tomography after acetabular fracture fixation affect management[J]. J Orthop Trauma, 2019, 33(Suppl 2): S43-S48.
- [25] IJPM A F F A, MEESTERS A M L, MEREMA B B J, et al. Feasibility of imaging-based 3-dimensional models to design patient-specific osteosynthesis plates and drilling guides[J]. JAMA Netw Open, 2021, 4(2): e2037519.
- [26] SEN R K, SAINI G, KADAM S, et al. Anatomical quadrilateral plate for acetabulum fractures involving quadrilateral surface: a review[J]. J Clin Orthop Trauma, 2020, 11(6): 1072-1081.

(收稿日期: 2023-02-16 本文编辑: 王玉蔓)