

## · 短篇论著 ·

3D 打印联合经皮微创钢板内固定术在  
骨盆前环损伤中的应用\*

周 东 吴舒婷 郭卫中 王 磊 李铖嵩 苏 郁\*\*

(福建医科大学附属闽东医院创伤骨科, 宁德 355000)

【摘要】 目的 探讨 3D 打印联合经皮微创钢板内固定术 (minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis, MIPPO) 治疗骨盆前环损伤的初步临床效果。 方法 2017 年 12 月 ~ 2023 年 7 月我们采用 3D 打印联合 MIPPO 治疗骨盆前环损伤 15 例, 术前 3D 打印建立实体模型, 体外模拟手术精准预弯钢板及设计螺钉数量、方向及长度, 然后沿骨盆前环骨膜下通道置入术前体外模拟手术已预弯好的内固定物, 内外侧切口分别置入术前已规划好的螺钉固定。 结果 15 例均顺利完成手术, 无神经、血管损伤等并发症。手术时间 (162.9 ± 63.1) min, 切口总长度 (13.5 ± 2.2) cm, 术中透视次数 (5.5 ± 1.0) 次, 术中出血量 (456.7 ± 272.5) ml。骨折愈合时间 (17.5 ± 1.8) 周。15 例随访 (15.2 ± 3.9) 月, Majeed 功能评分由术前 (18.3 ± 2.3) 分显著提高至术后 6 个月 (86.3 ± 6.0) 分 ( $t = -47.313, P = 0.000$ ); 骨折复位 Matta 影像学标准: 优 14 例, 可 1 例, 优良率 93.3% (14/15)。 结论 3D 打印联合 MIPPO 治疗骨盆前环损伤可取得良好的临床疗效。

【关键词】 骨盆前环损伤; 3D 打印; 经皮微创钢板内固定术

文献标识: A 文章编号: 1009-6604(2024)12-0815-05

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2024.12.007

## Application of 3D Printing Combined With Minimally Invasive Percutaneous Plate Osteosynthesis for Anterior Pelvic Ring

Injuries Zhou Dong, Wu Shuting, Guo Weizhong, et al. Department of Traumatic Orthopedics, Mindong Hospital Affiliated to Fujian

Medical University, Ningde 355000, China

Corresponding author: Su Yu, E-mail: suyu6518@163.com

【Abstract】 **Objective** To investigate preliminary clinical effects of three-dimensional (3D) printing combined with minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis (MIPPO) in the treatment of anterior pelvic ring injuries. **Methods** Between December 2017 and July 2023, we treated 15 patients with anterior pelvic ring injuries by using 3D printing combined with MIPPO. Before surgery, a 3D model was printed to establish the actual structure, and a steel plate was pre-bent outside the body to simulate the surgery, as well as the design of number, direction, and length of screws. Then, the pre-bent internal fixation device was inserted through the bone membrane tunnel in the anterior pelvic ring, and the screws were fixed through both sides of the incision according to the preoperative planning. **Results** All the 15 patients underwent surgery successfully without complications such as nerve and vascular injury. The operation time was (162.9 ± 63.1) min, the total length of incision was (13.5 ± 2.2) cm, the number of fluoroscopic examinations during the surgery was (5.5 ± 1.0) times, and the amount of blood loss was (456.7 ± 272.5) ml. The fracture healing time was (17.5 ± 1.8) weeks. The 15 patients were followed up for (15.2 ± 3.9) months. The Majeed functional score increased significantly from (18.3 ± 2.3) points before surgery to (86.3 ± 6.0) points at 6 months postoperatively ( $t = -47.313, P = 0.000$ ). The fracture reduction according to the Matta standards showed excellent in 14 patients, fair in one patient, the excellent and good rate being 93.3% (14/15). **Conclusion** Combination of 3D printing and MIPPO treatment for anterior pelvic ring injuries can achieve good clinical effects.

\* 基金项目: 福建省自然科学基金项目 (2020J011339, 2024J011636)

\*\* 通讯作者, E-mail: suyu6518@163.com

【Key Words】 Anterior pelvic ring injury; 3D printing; Minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis

骨盆损伤被认为是最难治疗的损伤之一,通常是高能创伤的结果,在多发伤患者中患病率居高不下<sup>[1]</sup>。骨盆解剖结构复杂、位置深,且周围有丰富的血管和神经,骨盆前环损伤是一种严重的创伤,虽然骨盆稳定性主要由后环维持,但前环提供 30% 的骨盆稳定性<sup>[2]</sup>,即使是经验丰富的骨科医生,手术也存在很大的风险和挑战。传统开放手术虽然有效,但存在出血多、感染风险高、恢复时间长等问题<sup>[3]</sup>。经皮微创钢板内固定术(minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis, MIPPO)减少手术创伤,加快患者康复,但对手术精确度要求极高,尤其是在复杂骨盆骨折的治疗中,如何精准定位和固定内植物成为一大挑战。近年来,这些问题在 3D 打印技术辅助下得到很好地解决。2017 年 12 月~2023 年 7 月我们对 15 例骨盆前环损伤在 MIPPO 术前采用 3D 打印技术进行术前计划、体外模拟手术等方式指导精准治疗,疗效满意,报道如下。

## 1 临床资料与方法

### 1.1 一般资料

本研究为回顾性研究,伦理批文号:[2019]宁闽医伦理审字第(0419-4)号,豁免患者知情同意。本组 15 例,男 5 例,女 10 例。年龄 30~78 岁,(51.5±13.8)岁。15 例患侧腹股沟区疼痛伴髋部活动受限。车祸外伤 7 例,高空摔伤 5 例,局部撞击伤 3 例。受伤至手术时间(10.4±3.7)d。术前骨盆 X 线片或 CT 提示骨盆骨折,采用 Tile 骨盆骨折分型<sup>[4]</sup>:5 例 A2 型,3 例 B2 型,1 例 B3 型,5 例 C1 型,1 例 C2 型。美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists, ASA)分级均为 I 级。

病例选择标准:①年龄≥18 岁;②新鲜的存在移位或者耻骨联合分离的骨盆前环损伤;③拒绝保守治疗、手术意愿强烈的无移位骨盆前环骨折。排除标准:①ASA 分级Ⅳ级或以上;②血友病;③患有精神类疾病;④陈旧性骨盆骨折。

### 1.2 方法

1.2.1 入院处理 患者入院后,待生命征平稳后行骨盆 X 线片及骨盆三维 CT 重建,了解损伤情况(图

1A、B)。对于前环纵向移位明显的患者,入院后患侧股骨髁上牵引,牵引持续至手术当天,牵引重量 6~9 kg。

1.2.2 术前规划 将患者术前骨盆三维 CT 扫描的 DICOM 数据(层厚 1 mm)导入 Mimics17.0 软件,应用 3D 打印技术按照 1:1 等比例打印出骨盆三维物理模型(图 1C),于实物模型上开展体外模拟手术,对骨折复位进行模拟,明确钢板螺钉的最佳位置、钢板预弯程度、螺钉长度、螺钉数量和方向、螺钉进入角度等一系列术前模拟手术操作<sup>[5]</sup>(图 1D)。

1.2.3 手术方法 全身麻醉,仰卧位,常规消毒、铺无菌巾单。取耻骨联合上方 2 cm、髂前上棘上方沿骨盆缘分别做横行切口及弧形切口(图 1E),逐层切开各层组织,男性患者保护好精索,女性患者保护好子宫圆韧带,分别显露耻骨结节、耻骨上支及髂骨内侧板。在内外侧创口内分别用骨膜剥离器贴着耻骨上支骨面沿骨膜下朝髋臼方向进行钝性剥离形成通道并汇合,在助手屈髋屈膝的配合下,由内侧切口沿骨膜下置入术前已预弯好的重建钢板,钢板内侧端位置到达耻骨联合处,外侧端置于髂骨板内侧面,依照术前体外模拟手术设计的方案,内外侧切口分别置入术前规划好的螺钉固定。有骨盆前环移位者可在点状复位钳协助复位后再置入钢板螺钉,不宜过多剥离骨折断端软组织。术中 X 线显示钢板、螺钉固定在位(图 1F)。冲洗内外侧创口,留置引流管 1 条,逐层缝合创口。

1.2.4 术后处理 术后 24 h 内头孢二代预防切口感染,肝素抗凝预防下肢静脉血栓形成;术后需复查骨盆 X 线片(图 1G)及骨盆三维 CT 重建(图 1H)。指导患者康复功能锻炼,详细告知患者及其家属定期随访复查的时间。

### 1.3 观察指标

①手术时间(从耻骨联合上方切皮开始到内外侧切口缝合结束)、切口总长度、术中透视次数、术中出血量(全部沾满血的纱布块数×20 ml+吸引器吸引量-冲洗量)、围手术期输血量等。②骨折相关指标:骨折愈合时间和骨折复位质量,复位质量采用 Matta 评分标准<sup>[6]</sup>:优,移位<4 mm;良,移位 4~

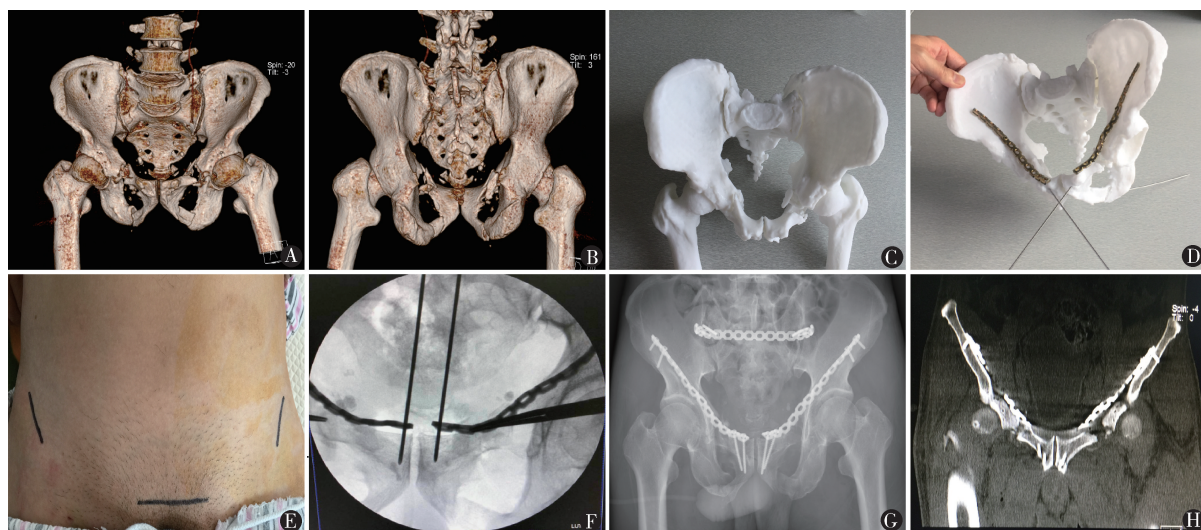


图1 男,60岁 A,B. 交通伤致双侧腹股沟区疼痛、活动受限,术前骨盆CT重建显示骨盆骨折,Tile分型为C2型;C,D. 3D打印技术辅助术前体外模拟手术;E. 术中切口选择;F. 骨折得到满意复位,钢板精准置入固定,术中X线片显示钢板位置紧贴骨面;G,H. 术后复查X线片、CT显示骨折得到满意复位,内固定装置位置良好,螺钉未进入关节内

10 mm;可,移位 11 ~ 20 mm;差,移位 > 20 mm。

③骨盆 Majeed 功能评分<sup>[7]</sup>:包括疼痛评分(0 ~ 45 分)、步态评分(0 ~ 20 分)、功能活动评分(0 ~ 35 分)和骨盆稳定性评分(0 ~ 5 分),各项评分相加得出骨盆 Majeed 功能评分(总分越高表示功能恢复越好)。

#### 1.4 统计学处理

采用 SPSS26.0 软件进行统计学处理。正态分布的计量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示,手术前后比较采用配对 *t* 检验。 $P < 0.05$  认为有统计学差异。

## 2 结果

均未发生血管神经损伤、切口感染等并发症。手术时间( $162.9 \pm 63.1$ ) min,切口总长度( $13.5 \pm 2.2$ ) cm,术中透视次数( $5.5 \pm 1.0$ )次,术中出血量( $456.7 \pm 272.5$ ) ml。8 例围手术期输血量 250 ~ 1000 ml,中位数 450 ml。骨折愈合时间( $17.5 \pm 1.8$ )周。15 例随访 6 ~ 18 个月,( $15.2 \pm 3.9$ )月。骨折复位 Matta 影像学标准:优 14 例,可 1 例,优良率 93.3% (14/15);Majeed 功能评分由术前( $18.3 \pm 2.3$ )分显著提高至术后 6 个月( $86.3 \pm 6.0$ )分( $t = -47.313, P = 0.000$ )。

## 3 讨论

### 3.1 骨盆前环内固定对构建骨盆环稳定性的重要性

骨盆环由骨盆前环和骨盆后环共同构成,前环

由 2 个副弓组成,后环由 2 个负重的主弓组成。副弓往往不如主弓坚强牢固,当遇到外力时,前环最先受累,容易发生骨折。骨盆前环作为骨盆的关键结构部分,其内固定有助于稳固整个骨盆环,减少后环固定的失效风险,从而提升早期的活动及承重能力。尽管过去通常认为耻骨支骨折并不重要,认为后环是维护骨盆稳定的关键,然而来自瑞士的 Scheyerer 等<sup>[8]</sup>研究显示单独的耻骨支骨折可能不太常见,往往伴有不易察觉的骨盆后环损伤,这可能导致骨盆结构的不稳定。因此,骨盆前环对保护盆腔内脏器以及维持骨盆稳定性扮演不可缺少的角色,若骨盆前环骨折未能获得稳固的内固定,骨盆因缺乏足够的稳定性引起慢性疼痛,从而对患者生活质量造成严重影响<sup>[9]</sup>。目前,骨盆骨折治疗的关键是骨盆前、后环的复位和稳定<sup>[10]</sup>,在治疗骨盆环不稳定性损伤时,通过骨盆前环的内固定可以显著改善整体的影像学表现和功能恢复,同时降低并发症的风险。

### 3.2 3D 打印联合 MIPPO 的临床优势及注意事项

骨盆环损伤手术对骨科医生来说是一项具有挑战性的任务。手术的难点在于骨盆复杂的解剖结构,骨折形态的多样性以及骨盆轮廓的不确定性,对术者的技术水平要求极高,大切口开放手术存在损伤大、术中出血多、手术时间长及血管神经损伤等诸多问题。详细的术前规划配合精确的钢板轮廓是骨



盆环损伤手术成功的保证。越来越多的文献<sup>[11-14]</sup>表明,3D 打印辅助手术在减少术中出血量和缩短手术时间方面具有显著优势。我们利用 MIPPO 的小切口,在术前 3D 打印骨盆模型上预弯好的内植物沿骨膜下精确放置到预定位置,通过该钢板的张力及压力完成骨折的闭合复位,实现对骨盆前环骨折的精准复位和稳定固定,减小骨折断端血运的破坏,促进骨折愈合,加快患者术后的康复。耻骨支上下移位时,可用点状复位钳协助复位,但需特别留意避免过度剥离骨折端,尽量保持其完整性。术中无须对重要的股神经和股动静脉进行解剖,也无需结扎“死亡冠”,只需将腹股沟部位的结构拉向一侧以保护,因此,膀胱受损的风险较低,医源性损伤的风险也相对较低。Du 等<sup>[15]</sup>报道“死亡冠”距离耻骨上支骨面 8.8 ~ 18.3 mm,垂直距离 (12.6 ± 3.0) mm。骨膜剥离器和钢板需要沿骨膜下紧贴骨面才能安全通过这狭窄的空间,否则容易损伤“死亡冠”造成大出血。

### 3.3 精准的术前 3D 打印模型对骨盆前环 MIPPO 的影响

Cole 等<sup>[16]</sup>采用微创技术治疗骨盆前环损伤,重塑接骨板的步骤需要由经验丰富的骨盆外科医生来完成,3D 打印技术的应用弥补这一缺陷,且学习曲线短。Keltz 等<sup>[17]</sup>认为 3D 打印技术提高对外科医生对复杂骨折的空间理解和术前计划的能力。Liu 等<sup>[18]</sup>认为 3D 打印技术最大的优势是术前使用 1:1 打印模型操作,可以确定理想的复位和固定顺序,植入物的最佳位置,评估预后。本组通过 3D 打印技术 1:1 等比例打印术前骨盆 3D 模型,可以帮助术者精确判断骨折线的走行方向及骨折碎块的分布位置情况,有助于指导术中开展精准的手术治疗。本组骨折复位优良率高,证实 3D 打印技术应用的优点,大大弥补单纯 MIPPO 内固定治疗骨盆前环损伤的不足。

### 3.4 本研究的局限性

①骨盆 3D 模型只体现骨性结构,无软组织覆盖,术前模拟手术操作与术中实际手术情况存在差异,因周围软组织情况部分患者术中仍需对预弯好的钢板再次预弯;②样本量较小,仅是描述性研究,探讨 3D 打印技术应用的可行性、安全性和治疗效

果,待积累较多病例后经验成熟,达到学习曲线的平稳期,与传统 MIPPO 比较才能证实 3D 打印的优越性。

综上所述,3D 打印联合经皮微创钢板内固定术对骨盆前环损伤的精准治疗取得良好的临床疗效,值得临床推广。

### 参考文献

- 1 Djaja YP, Silitonga J, Dilogio IH, et al. The management of pelvic ring fractures in low-resource environments: Review. *Eur J Orthop Surg Traumatol*,2023,33(3):515-523.
- 2 Bi C, Wang Q, Nagelli C, et al. Treatment of unstable posterior pelvic ring fracture with pedicle screw-rod fixator versus locking compression plate: a comparative study. *Med Sci Monit*,2016,22:3764-3770.
- 3 郭晓山. 骨盆骨折微创手术的问题及展望. *中华创伤骨科杂志*,2019,21(1):90-92.
- 4 贾 健. 骨盆骨折的分类及内固定治疗. *中华骨科杂志*,2002,22(11):695-698.
- 5 周 东,苏 郁,吴舒婷,等. 3D 打印辅助开放复位内固定移位型髌臼骨折. *中国矫形外科杂志*,2023,31(18):1670-1675.
- 6 Matta JM, Tornetta P 3rd. Internal fixation of unstable pelvic ring injuries. *Clin Orthop Relat Res*,1996,(329):129-140.
- 7 Majeed SA. Grading the outcome of pelvic fractures. *J Bone Joint Surg Br*,1989,71(2):304-306.
- 8 Scheyerer MJ, Osterhoff G, Wehrle S, et al. Detection of posterior pelvic injuries in fractures of the pubic rami. *Injury*,2012,43(8):1326-1329.
- 9 刘 敏,周晓赛,刘良乐,等. 不同固定方法治疗 Tile C 型骨盆骨折的生物力学稳定性比较. *医用生物力学*,2018,33(5):423-428.
- 10 Santoro G, Braidotti P, Gregori F, et al. Traumatic sacral fractures: navigation technique in instrumented stabilization. *World Neurosurg*,2019,131:399-407.
- 11 陈开放,段德胜,熊泽康,等. 3D 打印技术辅助高位髌腹股沟入路治疗复杂髌臼骨折. *中华骨科杂志*,2017,37(13):786-792.
- 12 Upex P, Jouffroy P, Riouallon G. Application of 3D printing for treating fractures of both columns of the acetabulum: Benefit of pre-contouring plates on the mirrored healthy pelvis. *Orthop Traumatol Surg Res*,2017,103(3):331-334.
- 13 张玉东,吴仁愿,谢丁丁,等. 3D 打印技术对骨盆骨折治疗效果影响的 Meta 分析. *中国骨伤*,2018,31(5):465-471.
- 14 Huang JH, Liao H, Tan XY, et al. Surgical treatment for both-column acetabular fractures using pre-operative virtual simulation and three-dimensional printing techniques. *Chin Med J (Engl)*,

2020,133(4):395–401.

15 Du MM, Wang AG, Shi XH, et al. Safety precautions for the corona mortis using minimally invasive ilioinguinal approach in treatment of anterior pelvic ring fracture. Orthop Surg, 2020, 12(3):957–963.

16 Cole PA, Gauger EM, Anavian J, et al. Anterior pelvic external fixator versus subcutaneous internal fixator in the treatment of anterior ring pelvic fractures. J Orthop Trauma, 2012, 26(5):269–277.

17 Keltz E, Keshet D, Peled E, et al. Interobserver and intraobserver agreement for Letournel acetabular fracture classification system using 3-dimensional printed solid models. World J Orthop, 2021, 12(2):82–93.

18 Liu ZJ, Jia J, Zhang YG, et al. Internal fixation of complicated acetabular fractures directed by preoperative surgery with 3D printing models. Orthop Surg, 2017, 9(2):257–260.

( 收稿日期:2024–07–31 )

( 修回日期:2024–10–18 )

( 责任编辑:李贺琼 )