

· 技术创新 ·

3D 打印滑动钛板固定不稳定性寰椎骨折[△]

高冰¹, 都金鹏², 冯铭哲², 黄小强^{3*}, 贺宝荣^{2*}

(1. 陕西中医药大学, 陕西咸阳 712046; 2. 西安交通大学附属红会医院脊柱外科, 陕西西安 710054;
3. 西安市第五医院骨科, 陕西西安 710082)

摘要: [目的] 介绍 3D 打印滑动钛板固定不稳定性寰椎骨折的手术技术和初步临床效果。[方法] 2018 年 4 月—2021 年 4 月, 对 9 例不稳定性寰椎骨折患者采用 3D 打印个性化滑动钛板行内固定术。术前行上颈椎薄层 CT 扫描, 采用 Mimics 软件中重建三维模型, 导入 Geomagic Studio 软件捕获所得三维扫描数据, 设计个性化 C₁ 后侧滑动钛板, 3D 打印实体。全麻下行颈椎后侧切口, 显露 C₁ 后弓, 建立椎弓钉道, 放置 3D 打印滑动钛板, 置入椎弓钉固定, 调整滑动钛板, 达到骨折复位和加压固定。[结果] 所有患者均顺利完成手术, 无严重并发症, 手术时间平均 (66.5±7.3) min; 术中失血量平均 (92.5±27.3) ml。患者均获 12~18 个月随访, 与术前相比, 末次随访时 VAS 评分 [(7.1±1.6) vs (1.8±1.0), P<0.05]、JOA 评分 [(8.7±6.0) vs (16.3±4.7), P<0.05] 均显著改善。影像方面, 所有患者螺钉置入位置准确, 螺钉均未突破骨皮质, Neo 评级标均为 0 级, 骨折复位满意。至末次随访, 所有患者骨折均骨性愈合, 未见内固定无松动、断裂。[结论] 3D 打印滑动钛板内固定不稳定性寰椎骨折技术可行, 安全高效。

关键词: 不稳定性寰椎骨折, 3D 打印滑动钛板, 内固定

中图分类号: R683.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2023) 08-0730-04

3D printed sliding titanium plate for internal fixation of unstable atlas fractures // GAO Bing¹, DU Jin-peng², FENG Ming-zhe², HUANG Xiao-qiang³, HE Bao-rong². 1. Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712046, China; 2. Department of Spinal Surgery, Xi'an Red Cross Hospital, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, China; 3. Department of Orthopedics, Xi'an Fifth Hospital, Xi'an 710082, China

Abstract: [Objective] To introduce the surgical technique and preliminary clinical outcomes of 3D printed sliding titanium plate for fixation of unstable atlas fracture. [Methods] From April 2018 to April 2021, 9 patients received open reduction and internal fixation with 3D printed personalized sliding titanium plate for unstable atlas fractures. As thin-layer CT scan of the upper cervical vertebra was performed before surgery, the 3D model of upper cervical spine was reconstructed using the Mimics software, and then the data captured by the Geomagic Studio software to design the C₁ posterior sliding titanium plate, finally the real personalized sliding plate was made by the 3D printer. The posterior cervical incision was made under general anesthesia to expose the posterior arch of C₁, establish the vertebral arch screw path. The 3D printed sliding titanium plate was placed to fit the posterior arch, and then insert the screw in proper length. As adjusting the plate sliding, the fracture reduction and compressive fixation were finished. [Results] All patients were successfully operated on without serious complications, whereas with operation time of (66.5±7.3)min and intraoperative blood loss of (92.5±27.3)ml, and followed up for 12~18 months. Compared with those preoperatively, the VAS scores [(7.1±1.6), (1.8±1.0), P<0.05], JOA score [(8.7±6.0), (16.3±4.7), P<0.05] improved significantly at the latest follow-up. Radiographically, all patients had screw placed properly on images, without screw broken through the bone cortex, while with satisfactory fracture reduction. Up to the last follow-up, all patients got fractures healing without loosening or fracture of the implants. [Conclusion] The 3D printed titanium sliding plate for internal fixation of unstable atlas fracture is feasible, safe and efficient.

Key words: unstable atlas fractures, 3D printed sliding titanium plate, internal fixation

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2023.08.12

[△]基金项目: 中医药传承创新暨“秦药”开发重点科学研究项目(编号:2021-02-22-016); 陕西省卫生健康科研基金项目(编号:2022A004); 西安市科技计划项目(编号:21YXYJ0024)

作者简介: 高冰, 硕士研究生, 研究方向: 脊柱外科, (电话)17847697259, (电子信箱)gaobing0118@163.com; 共同第一作者: 都金鹏, 主治医师, 研究方向: 脊柱外科, (电话)13087540521, (电子信箱)djp18700171933@163.com

* 通信作者: 黄小强, (电话)13384980586, (电子信箱)huangxq73@163.com; 并列通信作者: 贺宝荣, (电话)13700241328, (电子信箱)hebr888@163.com

com

Jefferson 骨折 (Jefferson fracture) 又称寰椎前后弓骨折, 为头部遭受轴向载荷或垂直暴力致枕骨髁撞击寰椎, 骨块受压引起其侧块及前后弓移行处骨折^[1-3]。临床表现为外伤后上颈椎疼痛, 肌肉压痛与痉挛, 也可出现罕见的脊髓损伤引起的神经功能缺损, 如截瘫等^[4, 5]。前弓两处骨折、前后弓同时骨折及侧块骨折被认为是不稳定型 Jefferson 骨折^[6], 传统的枕颈融合术和寰枢融合术手术可以达到骨折复位愈合、恢复枕-寰-枢区的稳定性^[6, 7], 但却难以避免牺牲上颈椎大部分旋转功能^[8]。新兴的单节段内固定方式保留了寰枢椎及枕颈部的功能, 并通过恢复纵向韧带的张力作用重建寰椎关节稳定性^[8-10]。近几十年来, 3D 打印的介入在许多领域变成新趋势。3D 打印通过使用分层架构模型将三维立体图实现为物理对象, 已逐渐应用于脊柱、颌面、心脏外科等各个学科, 并在外科实践和研究中得到了很好的整合^[11, 12]。该技术在治疗寰椎骨折的手术方面可提供打印完整的个性化钛板内固定装置, 可提供精准、个性化的手术过程, 将在未来形成新趋势。本院 2018 年 4 月—2021 年 4 月收治 9 例不稳定型寰椎骨折患者采用 3D 打印个性化滑动钛板内固定, 现将手术技术与初步临床效果报告如下。

1 手术技术

1.1 术前准备

术前影像检查, 明确诊断 (图 1a, 1b)。所有患者入院后行重量为 3~5 kg 的颅骨牵引, 根据致伤机制调整牵引角度。行上颈椎薄层 CT 扫描, 采用 Mimics 软件中重建三维模型, 导入 Geomagic Studio 软件捕获所得三维扫描数据, 利用计算机虚拟技术复位骨折模型的骨块。根据复位位置, 设计个性化钛板形状、滑动程度, 以及钛板放置的最契合位置和螺钉固定的方向。再用 3D 打印机制备滑动钛板和相应椎弓钉实体 (图 1c, 1d), 消毒备用。

1.2 麻醉与体位

患者气管插管全身麻醉, 保持牵引下翻身至俯卧位, 将患者头部放置于 Mayfield 头架上使头与颈部成中立位。

1.3 手术操作

行后正中切口, 自枕骨隆突向下延伸至 C₃ 棘突, 长约 8 cm。逐层切开颈后皮肤、皮下组织及背筋膜各层, 纵行分离项韧带, 紧贴棘突骨膜下剥离椎旁肌, 用牵开器向两侧牵开, 纵向显露枕骨大孔后

缘、寰椎后弓。剥离寰椎后弓时注意骨折处保留骨膜, 这样以来可降低拧入螺钉时骨折块的移位, 同时注意保护好椎动脉及 C₂ 神经根及伴行静脉丛。如遇静脉丛出血, 采用明胶海绵填塞止血。

根据术前规划确定的位置, 将 3D 打印滑动钛板临时置入, 确认其与寰椎后弓贴合后, 标记椎弓钉入点, 取出钛板。入钉点在寰椎后弓中线旁开旁开约 18~20 mm、椎弓下缘上方约 2 mm 处, 用 1.5 mm 钻头磨钻制备钉道, 钉道头倾约 5°, 深度 26~30 mm (图 1e)。探查确认钉道无误, 再将 3D 打印滑动钛板贴附于寰椎后弓, 沿钉道拧入长度适当的椎弓钉。用复位器钳加压板-钉系统, 使分离两侧的骨块复位, 同时通过拧紧椎弓钉使矢状位分离的骨块加压复位, 紧固钛板滑动锁定螺钉, 完成固定 (图 1f)。透视确认骨折复位及内固定位置满意。取出牵开器, 放置引流, 逐层闭合切口。无菌敷料加压包扎。

1.4 术后处理

术后佩戴头颈胸支具, 保持头颈中立位。术后 24~48 h 拔除引流管。拔管后行颈椎正侧位 X 线片及 CT 检查, 观察骨折复位及内固定情况。术后 3 d 后佩戴头颈胸支具下地活动并指导家属对患者四肢进行被动训练。每日可进行四肢的关节屈伸和肌肉的收缩运动数次, 促进肢体功能恢复, 并对患者手指、足趾等小关节部位进行屈伸功能锻炼。之后鼓励患者进行主动的直腿高、扩胸、握拳等动作, 加快恢复功能水平。严格佩戴头颈胸支具至骨性愈合。

2 临床资料

2.1 一般资料

2018 年 4 月—2021 年 4 月采用 3D 打印滑动钛板固定不稳定型寰椎骨折患者 9 例。其中男 6 例, 女 3 例; 年龄 24~56 岁; 致伤原因 2 例高空坠落, 6 例交通事故, 1 例重物砸击。9 例患者均存在不同程度颈椎疼痛和活动受限或伴四肢麻木无力。本研究已通过西安交通大学医学院附属红会医院医学伦理委员会批准 (201800023), 所有患者均签署知情同意书。

2.2 初步结果

全部患者均顺利完成手术, 无椎动脉或神经根的损伤, 手术用时 (66.5±7.3) min, 术中失血量 (92.5±27.3) ml。术中或术后均无患者输血, 切口均一期愈合, 无脑脊液漏及切口感染等并发症。患者住院时间为 5~7 d。

患者均获 12~18 个月随访。与术前相比, 末次

随访时 VAS 评分 [(7.1±1.6), (1.8±1.0), $P<0.001$] 和 JOA 评分 [(8.7±6.0), (16.3±4.7), $P<0.001$] 均显著改善。ASIA 分级由术前 D 级 2 例、E 级 7 例, 恢复至末次随访时均为 E 级。末次随访时颈椎屈伸活动度 (80.6±21.6)°、旋转活动度 (148.5±36.5)°。

影像方面, 所有患者螺钉置入位置准确, 所有螺钉均未突破骨皮质, 骨折复位满意。至末次随访, 所有患者骨折均骨性愈合, 骨愈合时间 3~6 个月; 未见内固定松动、断裂。典型患者影像见图 1g, 1h。

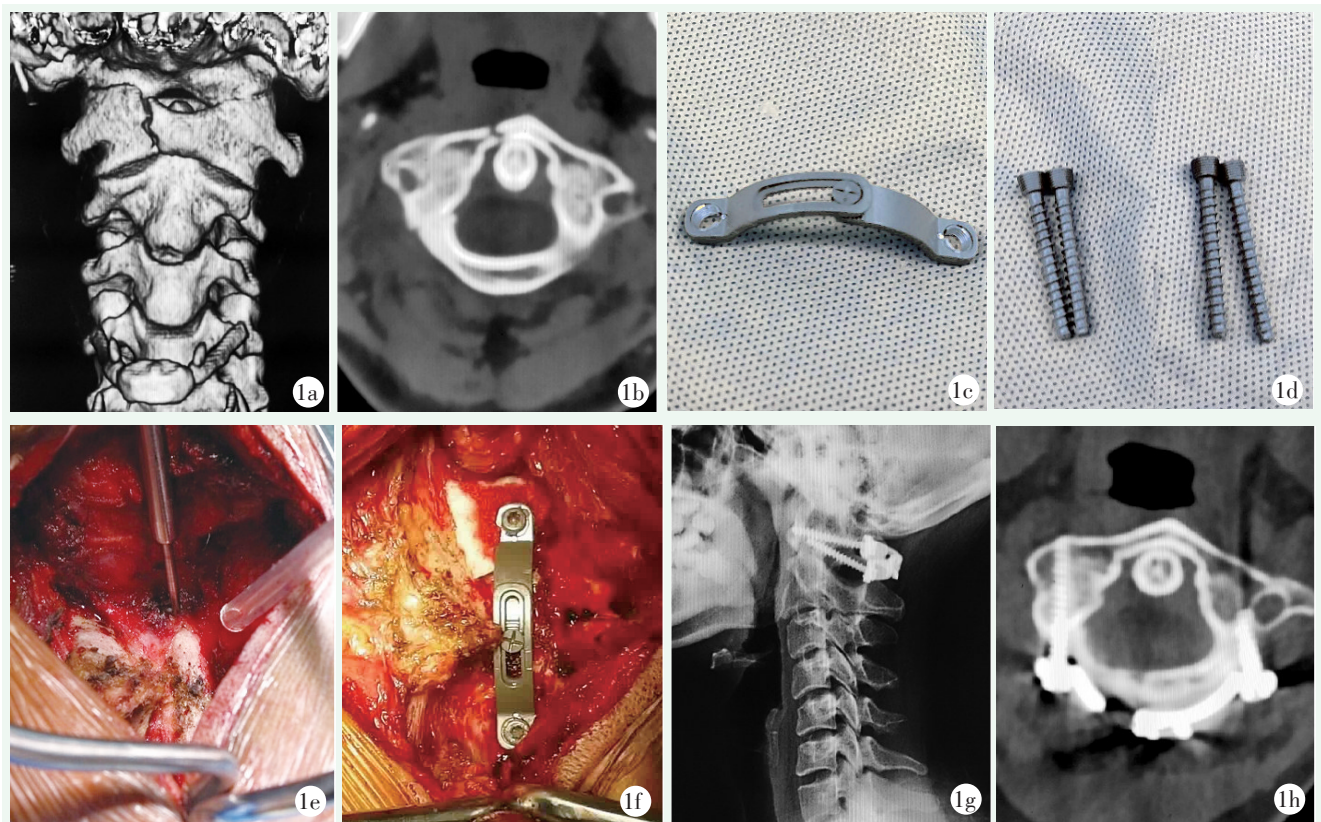


图 1 患者, 女, 36 岁, 寰椎骨折 (不稳定 Jefferson 骨折), 行寰椎骨折后路复位单纯内固定术 1a: 三维 CT 显示 C₁ 前弓骨折 1b: 术前 CT 示 C₁ 后弓骨折 1c: 术前 3D 打印滑动钛板 1d: 相适配的螺钉 1e: 术中制备钉道 1f: 滑动钛板固定完成 1g: 术后 18 个月侧位 X 线片示内固定位置良好, 骨折无移位, 已愈合 1h: 术后 18 个月横切面 CT 显示寰枢椎骨折愈合良好, 内固定物位置好

3 讨论

本技术应用的初步结果表明: 3D 打印滑动钛板内固定不稳定型寰椎骨折技术可行, 安全高效, 其优势如下: (1) 突破了二维图像获取信息的限制, 该技术使骨折部位能够无创地可视化^[13]; (2) 个性化定制的钉板系统, 固定板和螺钉的尺寸与患者骨折处完全吻合, 减少了周围神经损伤的风险; (3) 滑动设计, 有利于骨折复位和加压固定; (4) 针对复杂骨折情况可按照 1:1 制作而成的骨折模型开展预手术, 提高置钉的准确率^[14, 15]; (5) 避免了术中的过度剥离, 更少破坏组织及术中失血, 减少术中透视的需求及辐射暴露, 整体上减少手术用时^[16]。

3D 打印技术是一种以数字模型数据为基础, 使用黏性材料进行逐层打印, 堆积成所需物质实体。这种技术使从计算机辅助设计到增材制造的物理 3D 模型成为可能。3D 打印临床医学中的应用不断涌现, 如个性化置入物的设计、制作脊柱侧弯模型模拟置钉、复杂骨折虚拟复位等^[17-19], 均获得良好成效。与传统制造相比, 3D 打印置入物可以根据患者的解剖结构以及手术和生物力学要求而设计, 这对于存在复杂的解剖结构尤为重要^[20]。魏志远等^[21] 报告了 12 例采用 3D 打印个性化接骨板内固定治疗胫骨平台骨折的病例并与常规手术组进行对比研究。随访期间所有患者均未出现内固定失败、骨折不愈合等现象, 且 Lysholm 评分、HSS 评分均高于常规手术组, 差异有统计学意义。张彦超等^[22] 进行了 3D 打印多孔钛钢

板修复髋臼后壁粉碎性骨折合并骨缺损的初步研究,并证实了3D打印多孔钛合金支架/钢板一体化置入体具备优良的生物力学性能和良好的生物相容性,其有效性和稳定性能够满足人体生物力学要求,其多孔钛合金支架与髋臼匹配程度高,钢板形态与骨表面贴合度好;受力分布与对侧正常髋臼基本一致,明显优于传统重建方法。由此说明个性化定制的钛板不仅可与骨表面在三维重建的基础上产生良好的贴合性完成高匹配度,还能抵御一定程度的体重载荷避免沉降和移位实现高稳定性。因此作者将3D打印技术介入到此类手术中是必然趋势。

3D打印技术应用于临床的顾虑:(1)3D打印模型及个性化定制钛板价格昂贵;(2)制作周期长;(3)制作过程环节多,打印效果无法确保等^[21]。

参考文献

- [1] Geoffrey J, 李晓光. Jefferson 骨折 [J]. 中国矫形外科杂志, 2011, 19 (10): 807.
- [2] Landells CD, Van Peteghem PK. Fractures of the atlas: classification, treatment and morbidity [J]. Spine, 1988, 13 (5): 450-452.
- [3] Kakarla UK, Chang SW, Theodore N, et al. Atlas fractures [J]. Neurosurgery, 2010, 66 (3 Suppl): 60-67.
- [4] Kesterson L, Benzel E, Orrison W, et al. Evaluation and treatment of atlas burst fractures (Jefferson fractures) [J]. J Neurosurg, 1991, 75 (2): 213-220.
- [5] Dettling SD, Morscher MA, Masin JS, et al. Cranial nerve IX and X impairment after a sports-related Jefferson (C₁) fracture in a 16-year-old male: a case report [J]. J Pediatr Orthop, 2013, 33 (3): e23-27.
- [6] 郝定均. 成人急性寰椎骨折循证临床诊疗指南 [J]. 中华创伤杂志, 2016, 32 (7): 595-601.
- [7] Hein C, Richter HP, Rath SA. Atlantoaxial screw fixation for the treatment of isolated and combined unstable Jefferson fractures - experiences with 8 patients [J]. Acta Neurochirurgica, 2002, 144 (11): 1187-1192.
- [8] 陈诚, 顾庆国, 王占超, 等. 后路板-棒内固定系统治疗不稳定性寰椎骨折的生物力学研究 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25 (4): 349-354.
- [9] 黄大耿, 郝定均, 贺宝荣. 单椎节固定术治疗不稳定性寰椎骨折的研究进展 [J]. 中华创伤杂志, 2017, 33 (4): 368-370.
- [10] Ruf M, Melcher R, Harms J. Transoral reduction and osteosynthesis C₁ as a function-preserving option in the treatment of unstable Jefferson fractures [J]. Spine, 2004, 29 (7): 823-827.
- [11] Tekkis NP, Richmond-Smith R, Pellino G, et al. Facilitating the adoption and evolution of digital technologies through re-conceptualization [J]. Front Surg, 2022, 9: 840595.
- [12] Tack P, Victor J, Gemmel P, et al. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review [J]. Bio Med Engin, 2016, 15 (1): 115.
- [13] Wurm G, Tomancok B, Pogady P, et al. Cerebrovascular stereolithographic biomodeling for aneurysm surgery. Technical note [J]. J Neurosurg, 2004, 100 (1): 139-145.
- [14] 米发禄, 杨如意, 赵天宝, 等. 3D打印技术在骨科临床与基础研究应用的现状 [J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30 (9): 810-814.
- [15] 李宝杰, 段丽萍, 李晓光. 3D打印技术在脊柱外科中的应用现状 [J]. 中国矫形外科杂志, 2017, 25 (15): 1405-1408.
- [16] Shi G, Liu W, Shen Y, et al. 3D printing-assisted extended lateral approach for displaced intra-articular calcaneal fractures: a systematic review and meta-analysis [J]. J Orthop Surg Res, 2021, 16 (1): 682.
- [17] 刘永征, 陈国平, 朱文虎, 等. 3D打印技术在复杂髋部疾病全髋关节置换术中的应用 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2020, 35 (4): 346-349.
- [18] Hung CC, Li YT, Chou YC, et al. Conventional plate fixation method versus pre-operative virtual simulation and three-dimensional printing-assisted contoured plate fixation method in the treatment of anterior pelvic ring fracture [J]. Int Orthop, 2019, 43 (2): 425-431.
- [19] Cecchinato R, Berjano P, Zerbi A, et al. Pedicle screw insertion with patient-specific 3D-printed guides based on low-dose CT scan is more accurate than free-hand technique in spine deformity patients: a prospective, randomized clinical trial [J]. Eur Spine J, 2019, 28 (7): 1712-1723.
- [20] Li Y, Zheng G, Liu T, et al. Surgical resection of solitary bone plasmacytoma of atlas and reconstruction with 3-dimensional-printed titanium patient-specific implant [J]. World Neurosurg, 2020, 139: 322-329.
- [21] 魏志远, 李浩, 熊旭, 等. 3D打印个性化接骨板内固定治疗严重胫骨平台骨折 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36 (10): 1087-1089.
- [22] 张彦超, 李建军, 侯文韬, 等. 3D打印多孔钛钢板一体化植入体修复髋臼后壁粉碎性骨折合并骨缺损的初步研究 [J]. 中国骨伤, 2019, 32 (5): 469-474.

(收稿:2022-11-15 修回:2023-03-02)
(同行评议专家:孙永生 钱列)
(本文编辑:闫承杰)