

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2022.04.005
文章编号: 1005-8982 (2022) 04-0024-06

口腔疾病专题·论著

计算机导航辅助3D打印技术在颧骨颧弓骨折复位钛板固定修复中的应用*

赵琼, 高小平, 王艳红

(天水市中西医结合医院 口腔颌面外科, 甘肃 天水 741020)

摘要: **目的** 探讨计算机导航辅助3D打印技术在颧骨颧弓骨折复位钛板固定修复中的应用效果。**方法** 选取2018年4月—2021年4月天水市中西医结合医院收治的82例颧骨颧弓骨折患者为研究对象,按照随机分组法分为研究组、对照组,各41例。对照组行常规3D打印颧骨颧弓骨折复位钛板固定修复,研究组在对照组基础上予以计算机导航辅助技术。对比两组手术时间、骨愈合时间及骨折复位效果。对比两组骨愈合相关因子、骨痂骨密度及颧骨颧弓复位精确度,统计术后并发症发生情况。**结果** 两组手术时间、术中出血量比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),研究组骨折愈合时间均短于对照组($P < 0.05$)。两组骨折复位优良率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。研究组手术前后骨形态生成蛋白2、转化生长因子- β 的差值均大于对照组($P < 0.05$)。研究组术后1个月和3个月的骨痂骨密度均高于对照组($P < 0.05$)。研究组术后3个月的双侧颧弓宽度差值、颧骨突度差值均小于对照组($P < 0.05$)。两组总并发症发生率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 在颧骨颧弓骨折复位钛板固定修复中应用计算机导航辅助3D打印技术、3D打印技术均可获取满意手术复位效果,但应用计算机导航辅助3D打印技术可提高骨折复位精确度,促进骨折愈合。

关键词: 颧骨颧弓骨折;计算机辅助;3D打印;骨折复位钛板固定修复术

中图分类号: R782.4

文献标识码: A

Application of computer-assisted navigation and 3D printing technology in the reduction and titanium plate fixation of zygomatic arch fractures*

Qiong Zhao, Xiao-ping Gao, Yan-hong Wang

(Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Tianshui Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Tianshui, Gansu 741020, China)

Abstract: Objective To explore the application effect of computer-assisted navigation and 3D printing technology in the reduction and titanium plate fixation of zygomatic arch fractures. **Methods** A total of 82 patients with zygomatic arch fractures admitted to our hospital from April 2018 to April 2021 were selected and randomly divided into the study group and the control group, with 41 cases in each group. The control group was given conventional reduction and titanium plate fixation with the aid of 3D printing technology, and the computer-assisted navigation was additionally applied in the study group on the basis of the control group. The operative duration, intraoperative blood loss, fracture healing time, the outcome of reduction, molecules associated with bone healing, the density of the callus, the accuracy of reduction, and postoperative complications were compared between the two groups. **Results** There was no difference in the operative duration and intraoperative blood loss between the two groups ($P > 0.05$). The fracture healing time of the study group was shorter than that of the control group ($P < 0.05$).

收稿日期: 2021-11-24

* 基金项目: 甘肃省科技计划项目(重点研发计划)(No: 18YF1FE146)

No difference in the excellent and good rate of the fracture reduction was revealed between the two groups ($P > 0.05$). The differences of the levels of bone morphogenetic protein 2 (BMP-2) and transforming growth factor- β_1 (TGF- β_1) before and after the operation in the study group were higher than those in the control group ($P < 0.05$). The density of the callus at 1 month and 3 months after the operation was higher in the study group compared with the control group ($P < 0.05$). The difference between the width of the bilateral zygomatic arches and that between the protrusion of bilateral zygomatic bones were lower in the study group relative to the control group 3 months after the operation ($P < 0.05$). There was no difference in the overall incidence of postoperative complications between the two groups ($P > 0.05$). **Conclusions** The application of 3D printing technology could achieve satisfying clinical outcomes with or without computer-assisted navigation in the reduction and titanium plate fixation of zygomatic arch fractures. However, the aid of the computer-assisted navigation may improve the accuracy of the reduction and promote the fracture healing.

Keywords: zygomatic arch fracture; computer-assisted navigation; 3D printing technology; titanium plate fixation of zygomatic arch fractures

颧骨颧弓骨折是临床常见的面部骨折类型,居颌面部骨折发病率的第2位^[1-2]。颧骨颧弓骨折可破坏患者颌面形态,影响口腔咬合关系及咀嚼功能,骨折复位固定是目前较为理想的治疗方法^[3]。颧骨颧弓解剖结构特殊,患者有较高的颌面形态恢复需求,只有精准定位骨折位置、骨折线走行等方可实现精确复位,获得满意的手术效果。随着科技不断进步,3D打印技术、计算机导航逐步应用于临床骨折手术中。3D打印技术通过在3D打印模具上模拟骨折复位手术,有助于提升颧骨颧弓骨折复位精准度,但术中无法实时引导手术者具体操作^[4]。计算机导航辅助颧骨颧弓骨折复位钛板固定手术可精确定位骨折部位,引导手术实施,在复杂颌面部骨折复位手术中具有优势^[5]。基于相关研究,笔者推测计算机导航辅助3D打印技术应用于颧骨颧弓骨折复位钛板固定修复,可进一步提升骨折复位精准度,获得满意的手术效果,但

目前国内报道多见计算机导航技术^[6]、3D打印技术^[7]在颧骨颧弓骨折复位钛板固定中的应用,尚未见两种技术联合应用的报道。鉴于此,本研究将82例颧骨颧弓骨折患者纳入研究,通过前瞻性研究探讨上述问题,以便进一步了解上述治疗方案的效果及安全性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2018年4月—2021年4月天水市中西医结合医院收治的82例颧骨颧弓骨折患者为研究对象,按照随机分组法分为研究组、对照组,各41例。本研究经医院医学伦理委员会批准,所有患者签署知情同意书。两组患者的性别构成、年龄、致伤原因、Knight和North分型^[8]及受伤侧比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性。见表1。

表1 两组患者临床资料比较 ($n=41$)

组别	男/女/例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	致伤原因/例		Knight和North分型/例		受伤侧/例	
			交通事故	跌打伤	III型	IV型	左侧	右侧
对照组	23/18	42.04 \pm 6.21	29	12	24	17	20	21
研究组	24/17	40.53 \pm 6.18	32	9	22	19	18	23
χ^2/t 值	0.050	1.104	0.576		0.198		0.196	
P 值	0.823	0.273	0.448		0.656		0.658	

1.2 纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准 ①年龄 > 18 岁; ②首次行颧骨颧弓骨折复位钛板固定修复; ③单侧颧骨颧弓骨折; ④术前颌面部基本对称。

1.2.2 排除标准 ①合并吸毒史、药物滥用史、面部整形史、双侧骨折、陈旧性骨折者; ②重要脏器功能障碍者; ③伴有免疫缺陷性疾病、传染性疾病、血液系统疾病、全身系统性疾病者;

④伴有严重心律失常、肝肾疾病、恶性肿瘤疾病者；⑤伴有精神性疾病或认知功能异常者；⑥合并控制不佳的基础病者；⑦颌面部发育异常，甚至畸形者；⑧依从性差者；⑨妊娠或哺乳期女性。

1.3 方法

两组患者术前均应用3D打印技术制作3D骨折模型，在模型的基础上设计、实施手术方案。所有患者术前行Brilliance 64层螺旋CT扫描(荷兰飞利浦公司)，层厚0.625 mm，扫描结果用DICOM格式储存，导入Mimics 10.01软件，通过阈值分割等进行三维重建。利用Edit Mask in 3D软件设计颧骨颧弓骨折患者3D骨折模型，完成3D模型后，Mimics 10.01软件导出数据，用STL格式储存。用3D快速成型机打印出1:1比例的骨折模型、镜像反求的理想“复位”正常颧骨颧弓模型^[9]。参照骨折模型分析颧骨颧弓骨折患者骨折移位、骨折线走形等情况，选择合适的钛板并进行个体化钛板塑型^[10]。根据颧骨颧弓骨折模型分析骨折块、血管、神经等位置关系，设计个体化最佳复位方案、内固定方案。所有术前设计由同一手术者进行。术后常规抗感染治疗。

对照组行常规3D打印颧骨颧弓骨折复位钛板固定修复治疗。患者全身麻醉，取耳屏前为手术切口，手术者依次切开皮肤、筋膜，充分暴露颞浅动脉、静脉，然后依次切开颞浅筋膜、颞深筋膜，将深筋膜分离至颧弓表面，向前剥离，进入内镜，分离骨表面软组织，充分暴露骨折部位，行解剖复位后在患者颧弓中份面部投影位置做一切口，建立至颧弓骨折表面通道，经该通道运送个体化预成型钛板，内固定钛板后，清洗、缝合、包扎切口。

研究组在对照组基础上予以计算机导航辅助技术。将患者CT扫描数据导入术前计划软件iPlan CMF 3.0行三维重建，再导入STL格式文件(3D骨折模型数据)，整理数据，分割健侧颧骨颧弓，利用镜像工具(以中线为轴)将健侧颧骨颧弓翻转至患侧作为导板，指导、模拟患侧颧骨颧弓骨折块复位，导出数据形成导航手术计划，并将导航手术计划导入Vector Vision™导航工作站。患者全身麻醉后固定颅骨，采用激光表面轮廓配准法完成患者实际解剖结构与导航影像的对应联系^[11]，配准

误差<1.5 mm。骨折复位钛板内固定修复方法同对照组一致，但需在手术导航系统的实时引导下进行。

1.4 观察指标

1.4.1 手术及骨愈合情况 统计两组患者手术时间、术中出血量、骨折愈合时间(无局部压痛、叩击痛；X射线检查显示骨折线模糊，有连续性骨痂通过骨折线)

1.4.2 骨折复位效果 所有患者术后3个月评价骨折复位效果。评价标准^[12]：①患者术后I期愈合、无感染事件发生、颌面形态协调、咬合及咀嚼功能正常，影像学检查显示骨折段解剖复位为优；②患者术后I期愈合、无感染事件发生、颌面形态基本对称、咬合及咀嚼功能基本正常，影像学检查显示骨折段解剖复位，但有轻微错位为良；③患者术后出现伤口感染，颌面形态、咬合关系、咀嚼功能不佳，影像学检查发现骨折段明显错位为差。优良率=(优+良)例数/总例数×100%。

1.4.3 骨愈合相关因子 所有患者分别于术前、术后1个月抽取静脉血液3 mL，离心分离血清，采用酶联免疫吸附试验测定血清骨形态生成蛋白2(bone morphogenetic protein-2, BMP-2)、转化生长因子 β_1 (transforming growth factor- β_1 , TGF- β_1)。

1.4.4 骨痂骨密度 所有患者分别于术后1个月和3个月用双能X射线骨密度仪(美国HOLOGIC公司Discovery Ci型)测定骨痂骨密度值。

1.4.5 颧骨颧弓复位精确度 术后3个月参照文献[13]的方法，在Mimics软件三维重建的颌骨上测量健、患双侧颧弓宽度差值、颧骨突度差值。

1.4.6 术后并发症 统计患者术后3个月内感染、面神经损伤、钛板排异、内固定物松动、内固定物移位等并发症发生情况。

1.5 统计学方法

数据分析采用SPSS 18.0统计软件。计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示，比较用 t 检验；计数资料以构成比或率(%)表示，比较用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组手术时间、出血量及骨愈合时间比较

两组手术时间、术中出血量比较，经 t 检验，

差异均无统计学意义($P>0.05$)。两组骨折愈合时间比较,差异有统计学意义($P<0.05$),研究组短于对照组。见表2。

表2 两组患者手术及骨愈合时间比较 ($n=41, \bar{x} \pm s$)

组别	手术时间/min	术中出血量/mL	骨折愈合时间/周
对照组	140.51 ± 21.48	75.44 ± 13.28	5.71 ± 1.10
研究组	148.29 ± 23.01	79.85 ± 15.02	5.18 ± 0.89
t值	1.583	1.408	2.398
P值	0.117	0.163	0.019

2.2 两组患者骨折复位效果相同

两组患者骨折复位优良率比较,经 χ^2 检验,差异无统计学意义($\chi^2=0.719, P=0.396$)。见表3。

表3 两组患者骨折复位效果比较 [$n=41$, 例(%)]

组别	优	良	差	优良率
对照组	26(63.41)	11(26.83)	4(9.76)	37(90.24)
研究组	30(73.17)	9(21.95)	2(4.88)	39(95.12)

2.3 两组患者手术前后骨愈合相关因子差值比较

两组患者手术前后BMP-2、TGF- β_1 的差值比较,经t检验,差异有统计学意义($P<0.05$),研究组大于对照组($P<0.05$)。见表4。

表4 两组患者手术前后骨愈合相关因子的差值比较 ($n=41, \bar{x} \pm s$)

组别	BMP-2/(ng/L)	TGF- β_1 /(ng/mL)
对照组	17.50 ± 3.02	8.51 ± 1.26
研究组	21.22 ± 3.48	13.20 ± 1.84
t值	5.170	13.466
P值	0.000	0.000

2.4 两组患者术后骨痂骨密度比较

术后1个月和3个月时,两组患者的骨痂骨密度比较,经t检验,差异有统计学意义($P<0.05$),研究组均高于对照组。见表5。

2.5 两组患者颧骨颧弓复位精确度比较

两组患者术后双侧颧弓宽度差值、颧骨突度差值比较,经t检验,差异有统计学意义($P<0.05$),研究组小低于对照组。见表6。

表5 两组患者术后骨痂骨密度比较

($n=41, g/cm^2, \bar{x} \pm s$)

组别	术后1个月	术后3个月
对照组	0.39 ± 0.05	0.48 ± 0.08
研究组	0.42 ± 0.08	0.52 ± 0.09
t值	2.036	2.127
P值	0.045	0.037

表6 两组患者术后颧骨颧弓复位精确度比较

($n=41, mm, \bar{x} \pm s$)

组别	双侧颧弓宽度差值	双侧颧骨突度差值
对照组	0.93 ± 0.17	0.95 ± 0.13
研究组	0.82 ± 0.14	0.89 ± 0.11
t值	3.198	2.256
P值	0.002	0.027

2.6 术后并发症

对照组术后2例感染、1例面神经损伤,总并发症发生率为7.32%;研究组术后1例感染,总并发症发生率为2.44%;经 χ^2 检验,差异无统计学意义($\chi^2=0.263, P=0.608$)。

2.7 典型病例

31岁女性患者,因面部撞击伤6h入院。入院后三维重建CT提示左侧颧骨颧弓、眼眶外侧壁粉碎性骨折(见图1A)。术前3D打印骨折模拟(见图1B、C)。术后3D三维重建CT提示颧骨、颧弓、眶外侧缘、眶下缘复位良好(见图2)。

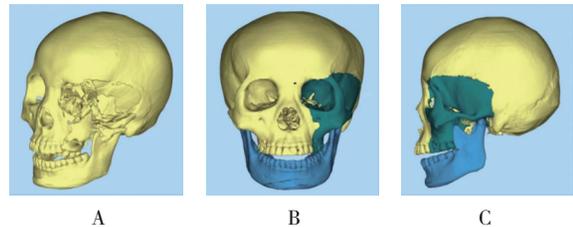


图1 患者术前影像
A:术前3D图像;B:模拟术后3D正面图像;C:模拟术后3D侧面图像。

图1 患者术前影像

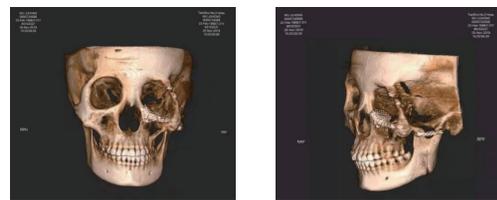


图2 患者术后影像

3 讨论

颌面部的骨骼、软组织特点决定了个体颌面形态特征，颧骨颧弓骨折复位效果影响患者颌面形态，目前骨折复位内固定是治疗该类骨折的首选。颧骨颧弓骨折精准复位要保障颧牙槽嵴、眶外缘、眶下缘、颧弓4点中至少3点达到解剖复位^[14]。3D打印技术是三维重建技术、虚拟模拟技术等多种技术相互融合的产物，实现了虚拟手术方案向现实手术实施的转化，是提高骨折复位手术效果的有效途径之一。计算机导航技术可精确定位骨折部位，引导手术实施，提升手术精度。

本研究结果显示，研究组骨折愈合时间短于对照组，两组骨折复位优良率无差异，研究组术后3个月的双侧颧弓宽度差值、颧骨突度差值均小于对照组（两组差值的绝对值均 $< 2\text{ mm}$ ），说明在颧骨颧弓骨折复位钛板固定修复中应用计算机导航辅助3D打印技术、3D打印技术均可获取满意手术复位效果，但应用计算机导航辅助3D打印技术可提高骨折复位精确度、促进骨折愈合。研究组手术前后BMP-2、TGF- β_1 的差值均大于对照组，研究组术后1个月和3个月的骨痂骨密度均高于对照组，再次提示在颧骨颧弓骨折复位钛板固定修复中应用计算机导航辅助3D打印技术可促进骨折愈合。3D打印技术利用术前资料虽然可帮助手术者精确定位颧骨颧弓骨折位置、了解骨折端周围解剖关系，但是术中也很难做到迅速、精确复位颧骨颧弓骨折。计算机导航技术用于颧骨颧弓骨折复位钛板固定中，不仅可通过术前手术复位模拟计划简化手术流程，缩短手术时间，保证患者手术安全性，而且可在术中将手术骨折复位过程投射到导航工作站，工作站显示屏实时显示手术器械、骨折解剖结构等相对空间的情况，在可视下开展手术。计算机导航技术用于颧骨颧弓骨折复位钛板固定中，不仅提高了手术视野清晰度，而且实时精确显示与术前颧骨颧弓骨折手术复位计划有差异的三维图像，实时引导、验证颧骨颧弓骨折复位情况，降低手术区的解剖结构损伤风险，有利于提升颧骨颧弓骨折复位的精确度，促进骨折愈合。颧骨颧弓骨折复位后，可通过计算机导航即刻查看骨折复位情况，便于精准调整骨折端位置，实现颧骨颧弓骨折精准复位，促进骨

折愈合。计算机导航技术的临床应用主要涉及对称平面、注册配准、术中导航3个方面，其中注册配准可直接影响术中导航的精确度。注册配准是将颧骨颧弓骨折患者颌面部三维空间坐标与术前导航系统生成的三维模型互相匹配，进一步精准对应颌面部解剖结构与导航系统影像，便于术中导航实时探查颧骨颧弓骨折复位情况，可根据差异情况精确、微调整骨折复位位置。对照组术后4例患者发生并发症，研究组有2例，两组总并发症发生率无差异，安全性良好。董骥源等^[15]的研究也印证了3D打印及导航技术在骨科手术中的安全性。

综上所述，在颧骨颧弓骨折复位钛板固定修复中应用计算机导航辅助3D打印技术、3D打印技术均可获取满意手术复位效果，但应用计算机导航辅助3D打印技术可提高骨折复位精确度、促进骨折愈合。后期研究可开展多中心、大样本量研究，并延长随访时间进一步验证本研究结论。

参考文献：

- [1] GIUDICE A, CRISTOFARO M G, de CICCIO D, et al. Percutaneous reduction of isolated zygomatic arch fractures: a 5-year experience[J]. J Oral Maxillofac Surg, 2020, 78(6): 973-978.
- [2] COHN J E, OTHMAN S, BOSCO S, et al. Management of isolated zygomatic arch fractures and a review of external fixation techniques[J]. Craniomaxillofac Trauma Reconstr, 2020, 13(1): 38-44.
- [3] PARK JA, LEE SH, HA TJ, et al. Location of the split line of the deep temporal fascia when reducing a zygomatic arch fracture[J]. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2020, 73(6): 1130-1134.
- [4] MULLOY C, GUIDRY R F, SHARMA S, et al. Experimental model of zygomatic and mandibular defects to support the development of custom three-dimensional-printed bone scaffolds[J]. J Craniofac Surg, 2020, 31(5): 1488-1491.
- [5] DAI J H, XU D D, YANG C Y, et al. Treatment of sagittal fracture of the zygomatic Aarch root Assisted by surgical navigation technology[J]. J Craniofac Surg, 2018, 29(4): 1031-1033.
- [6] 李智, 程谷, 杨荣涛, 等. 计算机辅助手术导航在单侧复杂颧骨复合体骨折复位与固定中的应用[J]. 中华整形外科杂志, 2021, 37(1): 29-34.
- [7] 李立峰, 屠军波, 侯成群, 等. 3D打印技术在单侧粉碎性颧骨颧弓骨折治疗中的应用[J]. 上海口腔医学, 2019, 28(2): 52-55.
- [8] JI S Y, KIM S S, KIM M H, et al. Surgical methods of zygomaticomaxillary complex fracture[J]. Arch Craniofac Surg, 2016, 17(4): 206-210.
- [9] MAHBOUBI A, YLITERVO P, DOYEN W, et al. Reverse

- membrane bioreactor: Introduction to a new technology for biofuel production[J]. *Biotechnol Adv*, 2016, 34(5): 954-975.
- [10] LUO J, MORRISON D A, HAYES A J, et al. Single-piece titanium plate cranioplasty reconstruction of complex defects[J]. *J Craniofac Surg*, 2018, 29(4): 839-842.
- [11] 高兴媛. 基于三维激光虚拟成像的数字多媒体动态图像重建[J]. *激光杂志*, 2019, 40(2): 132-136.
- [12] 刘炯, 禹政钰, 杨光, 等. 计算机导航技术在复合性眼眶骨折复位术中的应用[J]. *国际眼科杂志*, 2020, 20(1): 177-180.
- [13] BULLER J, ZIRK E, KREPPPEL M, et al. Radiomorphometric analysis of isolated zygomatic arch fractures: a comparison of classifications and reduction outcomes[J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2018, 46(8): 1252-1257.
- [14] 中华口腔医学会口腔颌面外科专业委员会. 导航引导单侧陈旧性颧骨骨折复位术技术流程及操作的专家共识[J]. *中华口腔医学杂志*, 2019, 54(6): 363-367.
- [15] 董骐源, 曾岩, 陈仲强, 等. 脊柱侧凸手术中徒手置钉、3D打印导板和导航技术辅助置钉的准确性对比[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2021, 31(8): 683-692.
- (童颖丹 编辑)

本文引用格式: 赵琼, 高小平, 王艳红. 计算机导航辅助3D打印技术在颧骨颧弓骨折复位钛板固定修复中的应用[J]. *中国现代医学杂志*, 2022, 32(4): 24-29.

Cite this article as: ZHAO Q, GAO X P, WANG Y H. Application of computer navigation-aided 3D printing technology in the restoration of zygomatic arch fracture with titanium plate fixation[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2022, 32(04): 24-29.