

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2022.04.007

· 临床研究 ·

数字化设计与3D打印在自体牙移植术的应用

汪玲¹, 蔡立宏², 练其武¹, 肖海清³, 徐红¹, 柳志文⁴, 周中苏¹

1. 长沙市第三医院口腔科, 湖南 长沙(410014); 2. 长沙市第三医院3D打印研究所, 湖南 长沙(410014);
3. 长沙市第三医院放射科, 湖南 长沙(410014); 4. 中南大学湘雅二医院口腔医学中心, 湖南 长沙(410000)

【摘要】 目的 探讨术前数字化设计结合3D打印供体牙模型及受区牙槽窝模型辅助自体牙移植术的效果。方法 收集12例因牙折或牙槽骨广泛吸收而无法保留的第一或第二磨牙, 将其锥形束CT数据导入Mimics数字化设计软件中, 选取匹配度最高的第三磨牙作为供体牙, 3D打印出供体牙及受区牙槽窝模型进行术前模拟移植术。术中在供体牙模型引导下进行受区牙槽窝及供体牙的预备, 将供体牙移植于受区。术后3、6、12个月复查锥形束CT评估骨重建及牙周膜状况。结果 12例患者均选择根尖孔已完全闭合的第三磨牙作为供体牙即刻移植于磨牙区。7例受区牙槽窝术前存在感染, 其中1例因受区患牙感染致牙槽骨广泛吸收。12例手术短期恢复良好, 均完成12个月以上随访, 其中11例移植牙成功, 能正常行使咀嚼功能, 1例在术后14个月时出现牙根吸收。结论 数字化设计结合3D打印技术能够辅助匹配最合适的供体牙, 术前完成受区牙槽窝精准预备, 减少供体牙在体外的暴露时间和移植到牙槽窝内的试放次数, 有助于自体牙移植成功。

【关键词】 3D打印; 自体牙移植; 牙折; 磨牙; 供体牙; 第三磨牙; 受区牙槽窝; 锥形束CT; 牙周膜; 数字化设计

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2022)04-0272-06

【引用著录格式】 汪玲, 蔡立宏, 练其武, 等. 数字化设计与3D打印在自体牙移植术的应用[J]. 口腔疾病防治, 2022, 30(4): 272-277. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2022.04.007.

Application of digital design combined with 3D-printing technologies in dental autotransplantation WANG

Ling¹, CAI Lihong², LIAN Qiwu¹, XIAO Haiqing³, XU Hong¹, LIU Zhiwen⁴, ZHOU Zhongsu¹. 1. Department of Stomatology, the Third Hospital of Changsha, Changsha 410014, China; 2. 3D printing Research Institute, the Third Hospital of Changsha, Changsha 410014, China; 3. Radiation Department, the Third Hospital of Changsha, Changsha 410014, China; 4. Stomatology Center, Second Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410000, China

Corresponding author: ZHOU Zhongsu, Email: 907152971@qq.com, Tel: 86-13786109911

【Abstract】 Objective To evaluate the therapeutic effect of dental autotransplantation with the application of digital design combined with 3D printing of donor tooth models and recipient alveolar fossa model preoperatively. **Methods** Twelve cases that could not be retained due to tooth fracture or extensive absorption of alveolar bone were recruited in the study. Cone-beam computed tomography (CBCT) data were imported into Mimics software for digital design, and the best-matched third molar was selected as the donor tooth. Replicas of the donor teeth and the recipient socket were printed out with three-dimensional (3D) printing technologies as a simulation model for recipient tooth socket preparation. During tooth autotransplantation, preparation of the recipient tooth socket and the donor tooth were guided by the 3D-printed replicas sequentially. Then, the donor tooth was implanted into the recipient tooth pocket. Patients were followed up at 3, 6 and 12 months after the operation, with CBCT examination to evaluate the status of bone reconstruction and periodontal ligaments at each time point. **Results** Twelve patients were transplanted with an autogenous third molar with the apical foramen completely closed. Among them, 7 patients had alveolar fossa infection before the operation,

【收稿日期】 2021-07-11; **【修回日期】** 2021-12-19

【基金项目】 湖南省自然科学基金项目(2021JJ70122); 湖南省卫生计生委科研计划课题(B2017198); 长沙市自然科学基金项目(kq2014010)

【作者简介】 汪玲, 主治医师, 硕士, Email: drwangdds@163.com

【通信作者】 周中苏, 主任医师, 博士, Email: 907152971@qq.com, Tel: 86-13786109911



微信公众号

of which 1 had extensive resorption of the alveolar bone due to the infection. All 12 patients recovered well after the operation and were followed up for at least 12 months. In total, 11 cases were successful in tooth autotransplantation with normal mastication, and 1 case had root resorption 14 months postoperation. **Conclusion** Digital design combined with 3D printing technology can assist in the selection of the best-matched donor tooth and preparation of the recipient socket before tooth transplantation procedures and reduce the extra-alveolar exposure time of the donor tooth and number of trial placements into the alveolar fossa. Thus, this combined strategy can effectively improve the outcome of dental autotransplantation.

【Key words】 3D-printing; autogenous tooth transplantation; tooth fracture; molar; donor tooth; third molar; the recipient socket; cone-beam computed tomography; periodontal ligaments; digital designing

J Prev Treat Stomatol Dis, 2022, 30(4): 272-277.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from Natural Science Foundation of Hunan Province (No.2021JJ70122); Programs of Hunan Provincial Health Commission (No. B2017198); Natural Science Foundation of Changsha (No. kq2014010).

自体牙移植术是指将某一个体牙移植于同一个体内另外的位置,临床以第三磨牙移植于磨牙区较为常见^[1]。与种植牙相比,自体牙移植术费用低廉,手术操作时间短,患者痛苦较少,更容易被接受,因而具有广泛的临床应用前景^[2]。自体牙移植历史悠久,但因供体牙的选择、术中牙周膜医源性损伤、供体牙在体外停留时间过久等技术因素的制约,总体预后效果较差,目前并不是临床上广泛接受的修复方式,推广应用也较困难^[3]。近年来数字化设计和3D打印技术的兴起,可以提供较为精密的供体牙复制体和受区牙槽骨复制体,从而为体外模拟牙槽窝的预备、供体牙与受区牙槽窝进行试匹配提供可能,而这一方法的应用在理论上可大大减少供体牙暴露在体外的时间,而且可减少供体牙在受区牙槽窝的试放次数,从而减少牙周膜的损伤,这为提高自体牙移植的成功率提供了重要保障^[4-6]。本研究尝试在临床实践中运用这一理念,通过数字化设计选择匹配度最佳的第三磨牙作为供体牙,利用3D打印技术制成供体牙和受区牙槽窝模型,术中进行受区牙槽窝模型的预备和模拟移植,以期达到最佳的移植效果。

1 资料和方法

1.1 一般资料

选取2017年10月至2020年3月就诊于长沙市第三医院口腔科,因牙折、牙体缺损或广泛性牙槽骨吸收需要拔除磨牙且口内存在智齿的患者12例,所有患者均充分告知本项治疗技术的内容及风险,在患者理解并签署知情同意后,予以实施

数字化设计结合3D打印技术辅助下自体牙移植术治疗。本临床研究经过长沙市第三医院伦理委员会批准(审批号:2017-KL-001)。12例患者中,男性5例,女性7例, ≤ 45 岁7例, >45 岁5例,平均年龄 (46.1 ± 4.5) 岁;修复第一磨牙的患者6例,修复第二磨牙的患者6例。

纳入标准:①术前被详细介绍牙列缺损的所有修复方法,且患者自愿选择自体牙移植;②口腔卫生状况良好或已经系统牙周治疗,牙周状态稳定;③拟做供体牙的第三磨牙无牙体病变,且患者锥形束CT(cone-beam computed tomography, CBCT)示其均为双根或融合根,冠根比例小于或等于1:1;④不伴有严重变态反应性疾病、自身免疫性疾病、高血压或糖尿病等系统性疾病者,符合拔牙指征者。

1.2 软硬件环境

数字化3D图形编辑软件(Mimics,比利时);3D打印机(上海联泰,中国)。由长沙市第三医院3D打印研究所提供并协助完成。

1.3 自体牙移植术操作步骤

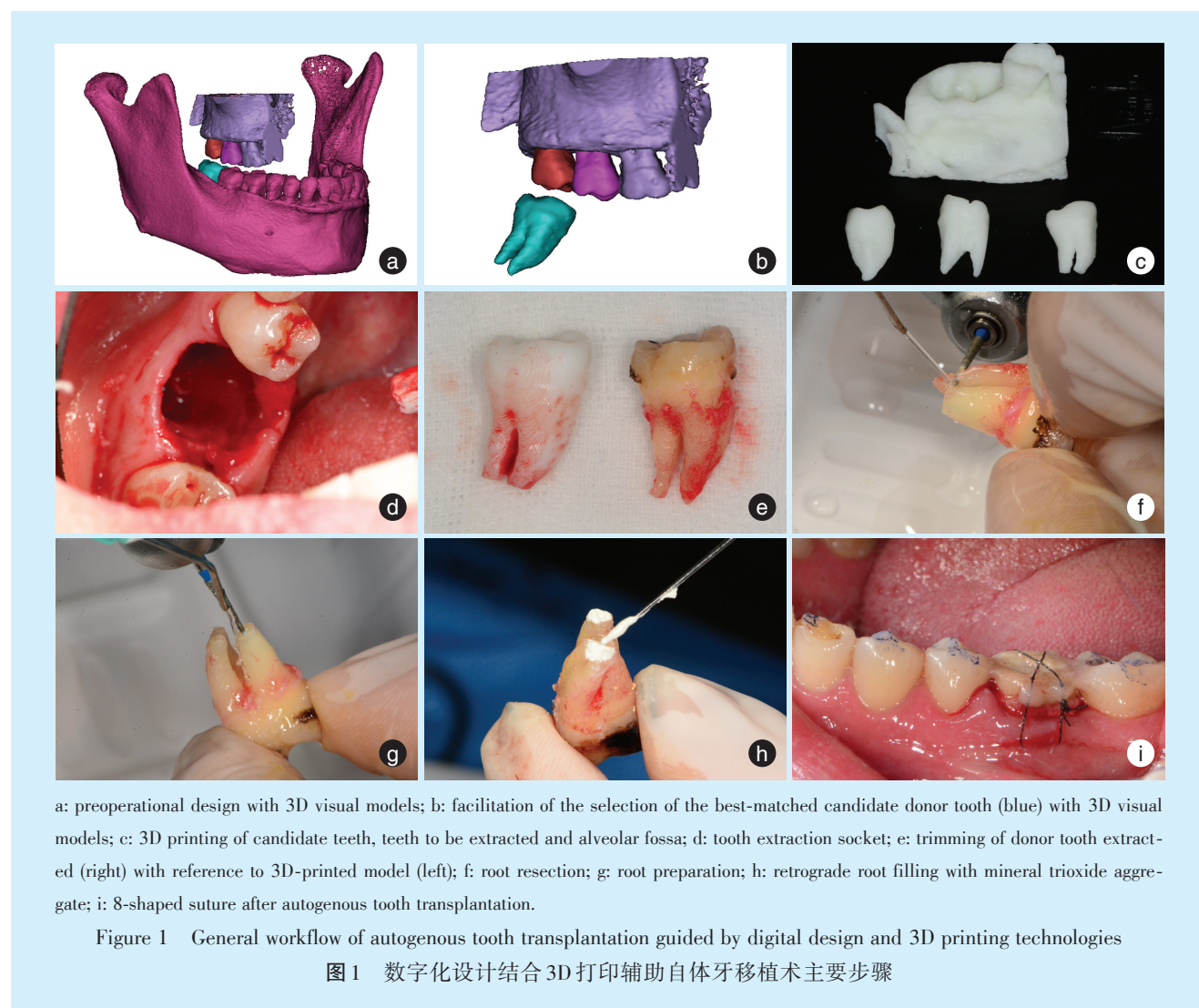
1.3.1 数字化设计,匹配出最佳供体牙 术前使用卡瓦牙科中视野CBCT体层摄影系统KaVo 3D eXami采集患者的颌面部数据后导入交互式图形图像编辑软件Mimics 15.0,数据为DICOM格式的0.13~0.25 mm等间距薄层重建数据,调整thresholds为216~2 831 HU并使Mask刚好覆盖兴趣区的牙齿及牙槽骨的边界后开始图像的分割,使用Region Growing及Edit Masks工具逐步多层分离出患牙以及多个可供选择的供体第三磨牙,重建后

使用 Point Registration 工具将第三磨牙与受区牙槽窝进行基于解剖标记点的匹配,交替使用 Move 和 Rotate 使其重叠差距最小,逐个比对后选择与受区牙槽窝匹配后解剖测量差距最小的第三磨牙作为供体牙(图 1a ~ 1c)。

1.3.2 术前模拟移植手术 利用 3D 打印技术打印出供体牙和受区牙槽窝仿真模型,将供体牙模型试放在受区牙槽窝模型内,适当截除供体牙模型根尖部分,进行受区牙槽窝模型预备直至供体牙模型在牙槽窝模型内固位良好,根长合适(图 1c)。3D 模型消毒备用。

1.3.3 口内移植手术 拔除患牙,在 3D 打印供体

牙模型引导下使用超声骨刀(赛特力,法国)对受区牙槽窝预备(图 1d)。拔除口内供体牙(术前 1 ~ 2 周完成一次性根管治疗),根据术前已做预备处理的 3D 打印供体牙模型对拔出的供体牙进行预备(图 1e),根尖截除(图 1f),矿物三氧化物凝聚体(mineral trioxide aggregate, MTA)倒充填(图 1g、1h),所有操作均保证牙周膜在生理盐水湿润中且不可触碰牙周膜,保障供体牙牙周膜的生物活性。最后,将供体牙移植入受区牙槽窝,“8”字缝合固定(图 1i),受区在游离端时采用高强度石英纤维夹板(RTD,法国)固定。术后患者口服罗红霉素 0.15 g/次,2 次/d,甲硝唑 0.2 g,3 次/d,连服 5 d。



1.4 随访评估

术后 1、2 个月复诊检查口内情况。术后 3、6、12 个月随访并复查 CBCT,评估骨重建及牙周膜状况。

术后 12 个月评估自体移植牙的疗效,评估结果包括以下三种可能的类型。①移植牙成功:没有因为根骨粘连或牙根吸收影响到咀嚼功能的症状(如水平松动度超过 2 mm 或者有垂直松动);轻

度到中度的骨吸收,仅有有限的牙根吸收或根骨粘连可认为移植牙成功;②炎性牙根吸收:进展性的牙根吸收伴随牙槽骨的丧失;③根骨粘连:叩诊有金属音且牙周膜丧失。

2 结果

接受数字化设计结合3D打印技术辅助下自体牙移植术治疗的12例患者,均选择根尖孔已完全闭合的第三磨牙作为供体牙即刻移植于磨牙区,其中供体牙为上颌牙的6例,下颌牙6例;供体牙为单根牙5例,多根牙7例;受区牙为上颌牙3例,下颌牙9例;7例受区牙槽窝术前存在感染,其中1例受区患牙因感染致牙槽骨广泛吸收。供体牙暴露于口外的时间均 ≤ 5 min。

术后移植成功11例,占91.7%;无根骨粘连发生;有1例发生炎性牙根吸收,该病例存活时间为14个月。截止到投稿日期,移植成功病例中,7例观察时间为12~27个月;4例观察时间为 >24 个月。

12例患者术后短期内均恢复良好,并进行了12个月以上的随访观察,其中11例骨重建良好,牙周膜愈合,未出现牙根的进展性吸收,牙龈健康,无牙周袋形成,移植牙无松动,叩诊无疼痛,能正常行使咀嚼功能;仅有1例在完成自体牙移植术12个月后出现牙根吸收,该患者自述曾长时间咀嚼过硬质食物,不排除与之有关。

3 典型病例

女,45岁。数年前行右下后牙“根管治疗术”,后因个人原因未行冠修复。现因食物嵌塞、进食时疼痛、牙龈出血,来笔者所在科室就诊。口腔检查:46残冠,大面积龋坏,大量腐质,颊舌侧缺损至龈下约3 mm,牙龈红肿,探诊出血(+),叩(+). 28/38/48存,垂直向生长。X线显示46根周大范围低密度影。诊断:46慢性根尖周炎。治疗:拔除46,数字化设计选择48作为供体牙,结合3D打印技术指导下完成自体牙移植术。术后3、6、12、18个月时CBCT示移植牙骨重建良好,牙周膜愈合,根尖未见吸收,牙龈健康,无探诊后出血,移植牙无松动,叩(-)(图2)。

4 讨论

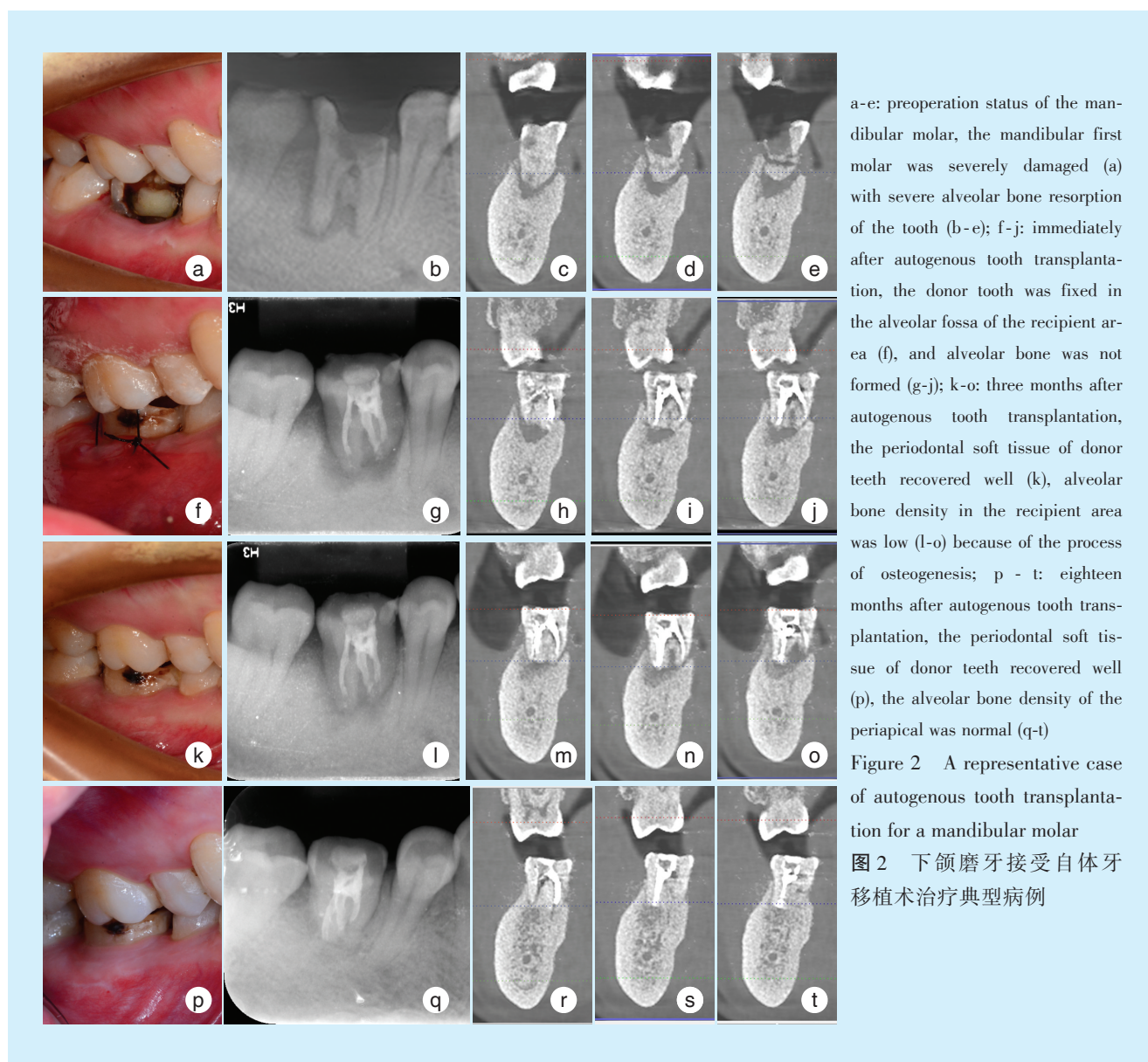
在3D打印技术应用于本领域之前,自体牙移植在临床的推广应用长期受到限制,其成功率在各文献报道中不同。2014年Nagori等^[7]报道了57

例第三磨牙自体移植,包括牙根发育完全和牙根未发育完全的牙齿,移植后的成功率均较高,分别为83.3%和86.7%。有研究对105颗牙根完全形成的自体牙移植进行了长达12年的评估,移植牙的术后3年累积生存率为88.1%,12年累积生存率为68.2%^[8]。近年来,3D打印技术应用于口腔领域^[9],对自体牙移植尤其是已经发育完全的供体牙进行移植提供了技术辅助,大大提高了自体牙移植的成功率。

自体牙移植的成功率受多种因素影响,已报道的影响因素包括年龄、牙根发育情况、根管治疗的时机和质量、手术创伤、口外操作时间、受区与供体牙的匹配、固定方式等^[1,10],这些因素直接或间接影响牙周膜愈合的程度。移植牙的预后有三种结果:移植成功、牙根炎性吸收、根骨粘连^[8],结果在很大程度上取决于手术过程中牙周膜损害的程度^[11-12]。牙周膜损伤的移植牙会发生根骨黏连或牙根炎性吸收,导致移植手术的失败^[13]。本研究中,移植成功的占比为91.7%(11/12),牙根炎性吸收的占比为8.3%(1/12)。发生牙根炎性吸收的病例移植术后约8个月时发生牙根外吸收,14个月时因咀嚼硬物后出现根尖脓肿,最终拔除了移植牙。

本研究纳入的患者年龄大于45岁的占41.7%(5/12),且供体牙牙根发育完全,在3D打印和数字化设计之下12例移植牙病例恢复良好,仅有1例在术后14个月时失败拔除,其余移植牙在术后3个月复诊时软组织愈合好,无牙龈红肿,牙周袋探诊深度 <2 mm且移植牙无松动,无炎性牙根吸,能够较好行使咀嚼功能。提示本项目所采用的数字化设计结合3D打印技术辅助下自体牙移植术,相较于上述报道的传统模式下自体牙移植术,在自体牙移植后存活方面具有更显著的优势。由于本研究例数有限,尚需更大样本的临床案例积累以提供更为确切的疗效评价。

牙周膜的保存是牙移植成功的关键^[12]。研究表明,保存牙周膜主要通过两种途径:一是术中操作时减少对牙周膜医源性的损伤,二是操作中减少移植牙在体外的停留时间,从而保存牙周膜的活性^[12,14-15]。3D打印技术的应用,可以将供体牙等比例打印出来,将3D打印的供体牙在受区牙槽窝进行试戴直至受区牙槽窝预备完毕后再行供体牙的拔除,有效减短了供体牙在体外的停留时间,3D打印供体牙模型进行试戴减少了对牙周膜的机械



a-e: preoperation status of the mandibular molar, the mandibular first molar was severely damaged (a) with severe alveolar bone resorption of the tooth (b-e); f-j: immediately after autogenous tooth transplantation, the donor tooth was fixed in the alveolar fossa of the recipient area (f), and alveolar bone was not formed (g-j); k-o: three months after autogenous tooth transplantation, the periodontal soft tissue of donor teeth recovered well (k), alveolar bone density in the recipient area was low (l-o) because of the process of osteogenesis; p - t: eighteen months after autogenous tooth transplantation, the periodontal soft tissue of donor teeth recovered well (p), the alveolar bone density of the periapical was normal (q-t)

Figure 2 A representative case of autogenous tooth transplantation for a mandibular molar
图2 下颌磨牙接受自体牙移植术治疗典型病例

损伤,保存了牙周膜的活性^[14-15]。本研究中,术前1~2周对供体牙完成了根管治疗,且进行了术前的模拟手术,术中供体牙体外存留时间均不超过5 min。3D打印技术在自体牙移植中的应用为解决这一技术瓶颈提供了可靠保障。

另一方面,受区牙槽窝与供体牙匹配度越高,其牙周组织、牙髓和血管的再生能力越强,有助于形成牙周膜愈合,从而提高自体牙移植成功率^[12,16]。将第三磨牙即刻移植于磨牙区在临床上有很广阔的应用前景,患者需求较大。患者往往保留不止一个第三磨牙,为供体牙提供了选择的余地。本次研究中,12例病例均采用第三磨牙修复受损磨牙,利用CBCT数据进行虚拟成像和术前数字化设计较为精准地选取匹配度最高的第三磨

牙作为供体牙。数字化设计最大程度预估了供体牙和受区的情况,避免在受区进行大范围的牙槽骨修正,减少了手术创伤^[6]。通过术前对3D打印受区进行模拟预备,充分了解受区的牙槽骨状况,有利于减少手术时间,提高了手术精度。通过随访,术后并发症较少,移植牙的存活率较高,手术效果得到肯定。而且,与人工种植牙技术相比,该方法具有创伤更小、成本更低、无金属植入物等优点,对于磨牙缺失的修复具有独特的优势。

当今,数字医学已进入飞速发展阶段,数字化设计和3D打印技术的应用与自体牙移植的技术方法必然日臻完善,其稳定性、可控性等方面也将日益进步,从而推动自体牙移植术的成功率不断提升。随着临床实践经验以及相关循证医学证据的

不断积累,数字化设计结合3D打印技术辅助下的自体牙移植术将有望成为临床实践中磨牙缺失修复的重要选择和常用技术之一。

【Author contributions】 Wang L analyzed the data and wrote the article. Cai LH, Lian QW, Xiao HQ assisted the treatment of the patients and collected the data. Xu H, Liu ZW, Zhou ZS designed the study and revised the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

参考文献

- [1] Cui X, Cui N, Li X, et al. Effect of root canal therapy on the success rate of teeth with complete roots in autogenous tooth transplantation[J]. *Scanning*, 2021: 6675604. doi: 10.1155/2021/6675604.
- [2] Kumar S, Jain M, Sogi S, et al. Third molar autotransplantation: an alternative to dental implant-9 years follow up of a case[J]. *Ann Maxillofac Surg*, 2020, 10(2): 529 - 532. doi: 10.4103/ams.ams_237_19.
- [3] Wu Y, Chen J, Xie F, et al. Autotransplantation of mature impacted tooth to a fresh molar socket using a 3D replica and guided bone regeneration: two years retrospective case series[J]. *BMC Oral Health*, 2019, 19(1): 248. doi: 10.1186/s12903-019-0945-8.
- [4] 张凯, 刘小元, 李蕾, 等. 细胞膜片复合3D打印马鹿角粉/丝素蛋白/聚乙醇醇支架对羊下颌骨缺损的修复效果[J]. *口腔疾病防治*, 2021, 29(10): 669 - 676. doi: 10.12016/j.issn.2096 - 1456.2021.10.004.
Zhang K, Liu XY, Li L, et al. Effect of cell sheet combined with 3D printing an antler powder/silk fibroin/polyvinyl alcohol scaffold on the repair of mandibular defects in sheep[J]. *J Prev Treat Stomatol Dis*, 2021, 29(10): 669 - 676. doi: 10.12016/j.issn.2096 - 1456.2021.10.004.
- [5] Cahuana-Bartra P, Cahuana-Cárdenas A, Brunet-Llobet L, et al. The use of 3D additive manufacturing technology in autogenous dental transplantation[J]. *3D Print Med*, 2020, 6(1): 16. doi: 10.1186/s41205-020-00070-9.
- [6] Verweij JP, Anssari MD, Wismeijer D, et al. Replacing heavily damaged teeth by third molar autotransplantation with the use of cone-beam computed tomography and rapid prototyping[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2017, 75(9): 1809 - 1816. doi: 10.1016/j.joms.2017.03.045.
- [7] Nagori SA, Bhutia O, Roychoudhury A, et al. Immediate autotransplantation of third molars: an experience of 57 cases[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2014, 118(4): 400 - 407. doi: 10.1016/j.oooo.2014.05.011.
- [8] Jang Y, Choi YJ, Lee SJ, et al. Prognostic factors for clinical outcomes in autotransplantation of teeth with complete root formation: survival analysis for up to 12 years[J]. *J Endod*, 2016, 42(2): 198 - 205. doi: 10.1016/j.joen.2015.10.021.
- [9] 刘燕菲, 李运峰, 祝颂松. 虚拟手术设计在双颌正颌手术中的精准性研究[J]. *口腔疾病防治*, 2020, 28(1): 30 - 35. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2020.01.005.
Liu YF, Li YF, Zhu SS. Research on the precision of virtual surgical planning in two jaw orthognathic surgery[J]. *J Prev Treat Stomatol Dis*, 2020, 28(1): 30 - 35. doi: 10.12016/j.issn.2096 - 1456.2020.01.005.
- [10] Zakershahrok M, Moshari A, Vatanpour M, et al. Autogenous transplantation for replacing a hopeless tooth[J]. *Iran Endod J*, 2017, 12(1): 124-127. doi: 10.22037/iej.2017.22.
- [11] 张尽忠, 阚存辉, 李頌. 17例牙根发育完成的自体恒牙移植的回顾性分析[J]. *临床口腔医学杂志*, 2021, 37(3): 148-152. doi: cnki: sun: lcky.0.2021-03-006.
Zhang JZ, Que CH, Li S. A retrospective analysis on 17 cases of permanent tooth autotransplantation with complete root formation [J]. *J Clin Stomatol*, 2021, 37(3): 148 - 152. doi: cnki: sun: lcky.0.2021-03-006.
- [12] Raabe C, Bornstein MM, Ducommun J, et al. A retrospective analysis of autotransplanted teeth including an evaluation of a novel surgical technique[J]. *Clin Oral Investig*, 2021, 25(6): 3513-3525. doi: 10.1007/s00784-020-03673-y.
- [13] 侯锐, 周宏志. 自体牙移植[M]. 北京:人民军医出版社, 2013.
Hou R, Zhou HZ. *Autogenous tooth transplantation*[M]. Beijing: People's Military Medical Press, 2013.
- [14] Shahbazian M, Jacobs R, Wyatt J, et al. Validation of the cone beam computed tomography - based stereolithographic surgical guide aiding autotransplantation of teeth: clinical case - control study[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2013, 115(5): 667-675. doi: 10.1016/j.oooo.2013.01.025.
- [15] Verweij JP, Jongkees FA, Anssari MD, et al. Autotransplantation of teeth using computer-aided rapid prototyping of a three-dimensional replica of the donor tooth: a systematic literature review[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2017, 46(11): 1466-1474. doi: 10.1016/j.ijom.2017.04.008.
- [16] Hariri R, Alzoubi E. Autotransplantation in combination with orthodontic treatment[J]. *J Orthod Sci*, 2019, 8: 11. doi: 10.4103/jos.JOS_62_18.

(编辑 张琳,管东华)



官网