As a library, NLM provides access to scientific literature. Inclusion in an NLM database does not imply endorsement of, or agreement with, the contents by NLM or the National Institutes of Health.
Learn more: PMC Disclaimer | PMC Copyright Notice

WEST CHINA JOURNAL OF STOMATOLOGY
华西口腔医学杂志
HUAXI KOUQIANG YIXUE ZAZHI

Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi. 2025 Dec 1;43(6):881–887. [Article in Chinese] doi: 10.7518/hxkq.2025.2024469
Show available content in: Chinese | English

Case of tooth autotransplantation with robotic surgery assistance

Liu Yunkun [1,1], Song Jia [2], Chen Xiaoyu [2], Zhang Chuyang [2], Chen Shang [1], Zhang Jian [1,✉,✉], Gu Zhiyu [1,✉,✉]

Editor: 杜 冰

Author information Article notes Copyright and License information
PMCID: PMC12680122 PMID: 41332412

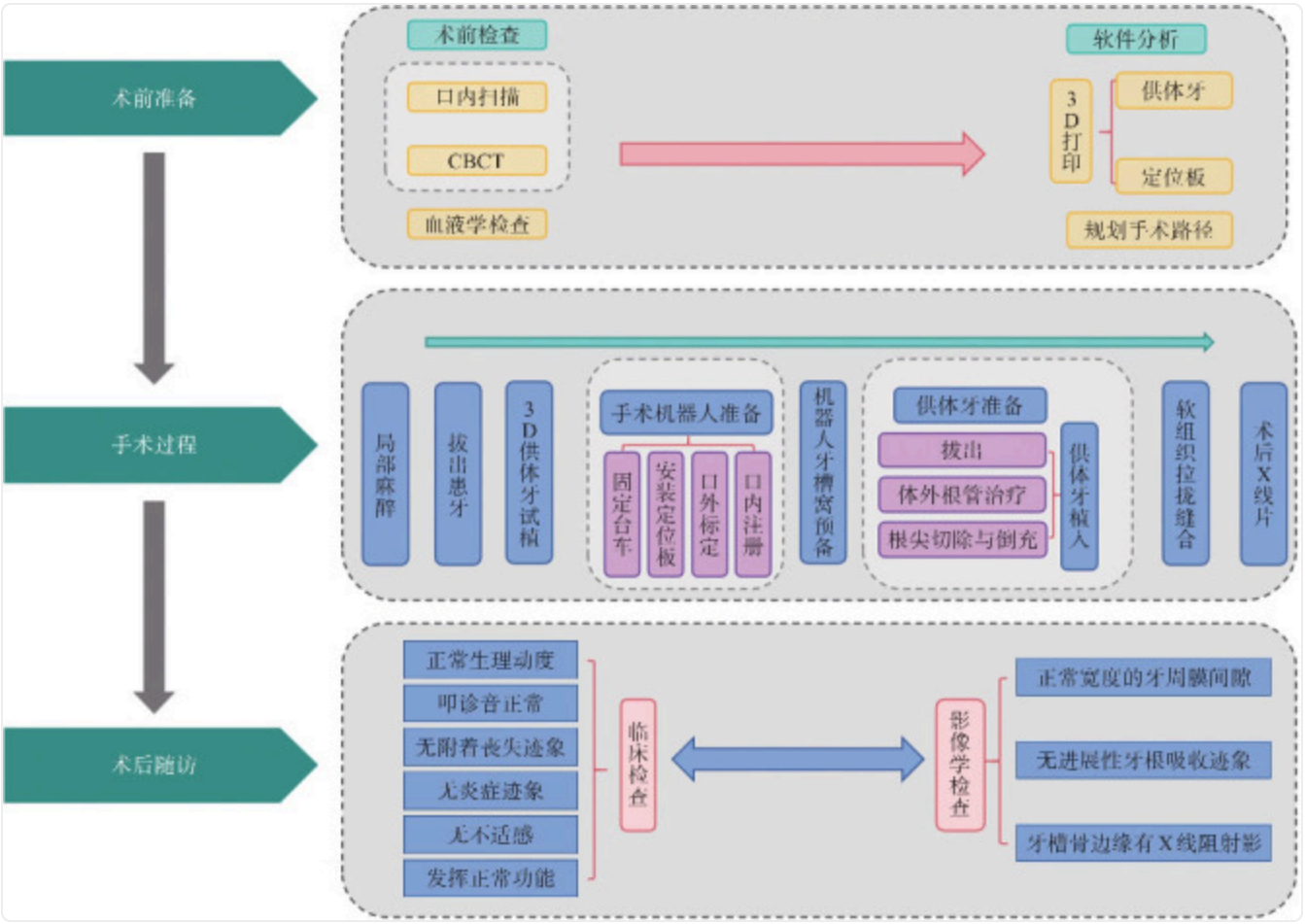
Abstract

Tooth autotransplantation is a restoration technology that grafts the patient's own teeth to the missing tooth area, usually by using the third molar to replace a nonnormally functioning molar for the purpose of "turning waste into treasure". Robotic surgical assistance has been widely used in the fields of breast cancer, liver cancer, and orthopedics; however, its application in the dental field, particularly in tooth autotransplantation, remains relatively rare. This paper reports a case of tooth autotransplantation with the assistance of a domestic autonomous oral surgery robot, providing a reference for the application of robotic surgery assistance in tooth autotransplantation.

Keywords: tooth autotransplantation, robotic surgery, robotic surgery assistance technology, precision medicine

自体牙移植术是一种将患者自身牙齿以手术方式移植到患者缺牙区的牙列缺损修复技术，通常采用第三磨牙来替换其他不能行使正常功能的磨牙，以达到“变废为宝”的目的[1-2]。机器人手术辅助技术是指利用机器人系统及相关技术来辅助或执行外科手术过程的技术，它结合了机器人学、计算机科学、传感技术和医学知识，简化复杂的手术过程，增强医生的操作能力，以提高手术的精确度、减少患者创伤、加速恢复，有效减少患者的痛苦[3-4]。近年来，机器人手术辅助技术已广泛应用于儿科、泌尿外科、胃癌、肝癌、乳腺癌等领域，并取得了稳定的临床进展[5-7]。自体牙移植术通常采用传统的自由手、数字化导板或动态导航等技术，这些传统技术存在精度不高、缺乏稳定性、运动控制能力差等问题，限制了其在精细操作中的应用[8]。文献报道，采用数字化技术辅助的自体牙移植，其远期留存率高于传统自由手植入，但数字化所采用的导板，其树脂材料在消毒加工后容易导致形变，影响精度带来误差，使得手术结果与预期不符。另外，数字化导板术式单一，灵活性差，难以应对术中突发情况[9]。因此，精准、微创、高效、安全的机器人手术辅助技术有望为自体牙移植术带来创新性变革，本文报道了1例基于国产自主式口腔手术机器人辅助下的自体牙移植术，通过该技术的应用，能够显著提高手术精度、操作可视化水平及手术效率，为自体牙移植术的临床实践提供新的思路和解决方案（图1）。

图 1.



Open in a new tab

手术机器人辅助下自体牙移植术流程图

Fig 1 Flow chart of auto transplantation of teeth with the robotic surgery assistance

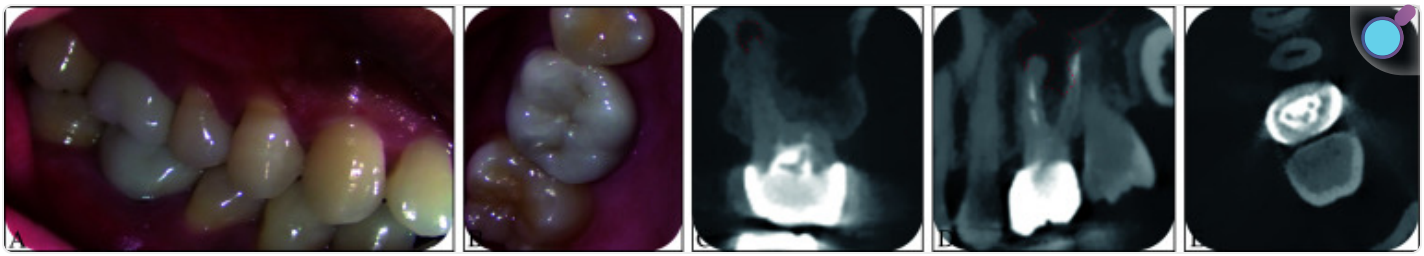
1. 病例报告

1.1. 基本资料

患者，男，29岁，以“左上后牙疼痛1 d”就诊于遵义医科大学附属口腔医院，患者述2年前于外院先后2次行根管治疗，1 d前出现疼痛，未行特殊处理，否认全身系统性疾病及药物过敏史。口腔体格检查：患者面型基本对

称，张口型正常，张口度约三横指，颞下颌关节未见明显异常。口内见：左侧磨牙中性关系（图2A），26牙全瓷冠修复（图2B），叩（+），牙无松动，牙龈无红肿。口内未见28牙萌出。锥形束CT（cone beam computed tomography，CBCT）检查见：26牙腭根根尖见1.5 mm×2.7 mm大小类圆形低密度影（图2C），近颊根、远颊根根尖见6.9 mm×6.3 mm大小类圆形低密度影，上颌窦窦底不连续（图2D），施耐德膜增厚；26牙根管内均见高密度影、不致密，牙颈部横断面低密度影像似纤维桩影像（图2E）。测量受牙区和28牙相关数据，说明28牙满足自体牙移植候选牙（图3）。临床诊断：26牙慢性根尖周炎（根管治疗后）；28牙阻生。

图 2.



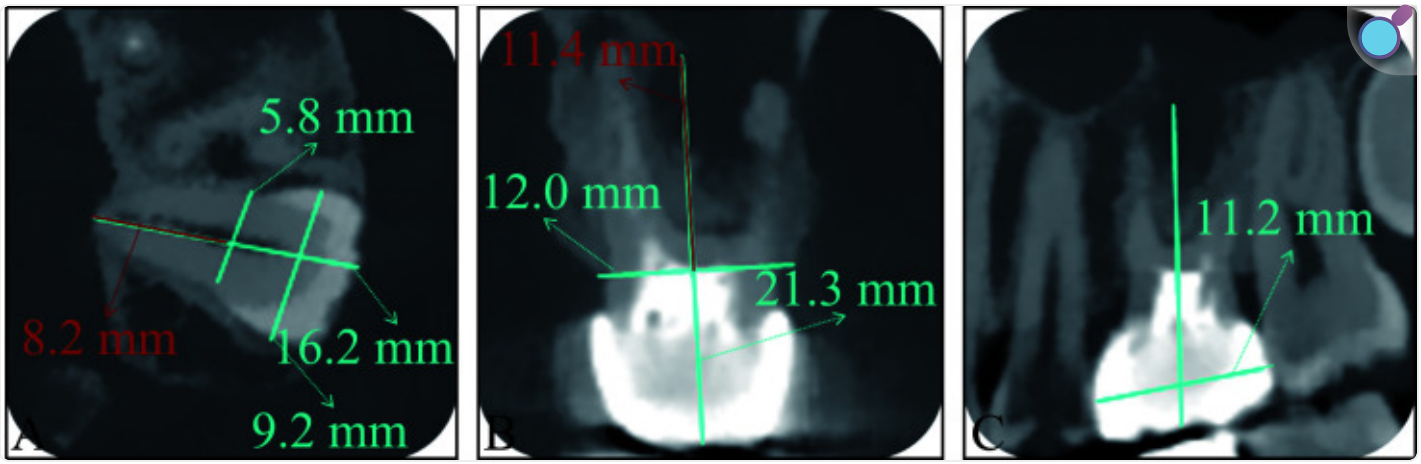
Open in a new tab

术前口内照和影像学检查

Fig 2 Preoperative oral photographs and radiographic examination

A：侧面观；B：26牙[illegible]面；C：26牙冠状位；D：26牙矢状位；E：纤维桩影像。

图 3.



Open in a new tab

CBCT影像学评估

Fig 3 CBCT radiographic assessment

A：28牙牙体测量；B：26牙及牙槽骨测量；C：26牙近远中向测量。

1.2. 治疗计划

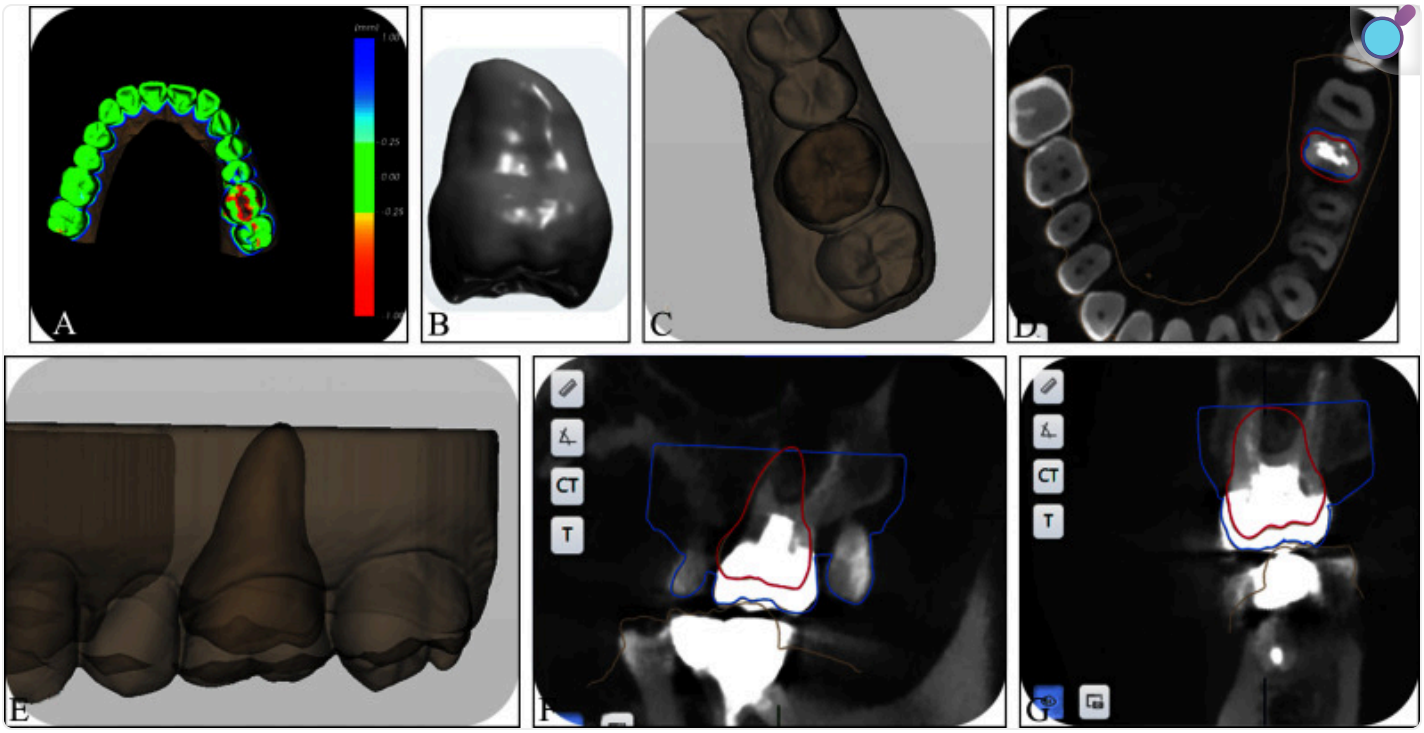
考虑患者26牙曾行根管再治疗术及纤维桩修复，颊根、腭根根间距离和病变范围均较大，无法行26牙显微根尖外科手术。为患者提供3种治疗方案，方案一：26牙意向性牙再植术；方案二：26牙拔除术+28牙移植术；方案三：26牙拔除术+延期种植修复或局部义齿修复。告知患者方案一有失败风险，患者知情了解并选择先行方案一，方案二为备选方案，完善血常规、凝血、感染标志等血液学术前检查。

1.3. 术前计算机设计

将患者CBCT数据与口腔扫描数据导入DentalNavi软件，进行点配准，以彩虹图显示配准误差（图4A）；软件AI自动分割，获得28牙单个STL数据（图4B），根据所选28供体牙外形数据，规划受牙区移植位置及深度（图4C~G）。使用自主式口腔手术机器人［雅客智慧口腔种植手术机器人，DRS0605-FT250，雅客智慧（北京）

科技有限公司，器械获国家药品监督管理局批准（国械注准：20213010713）］进行移植步骤及顺序的规划，确定受牙区牙槽窝钻针预备的路径、深度及手机姿态（图5）；3D打印上颌定位板及28牙，消毒以备术中应用。

图 4.



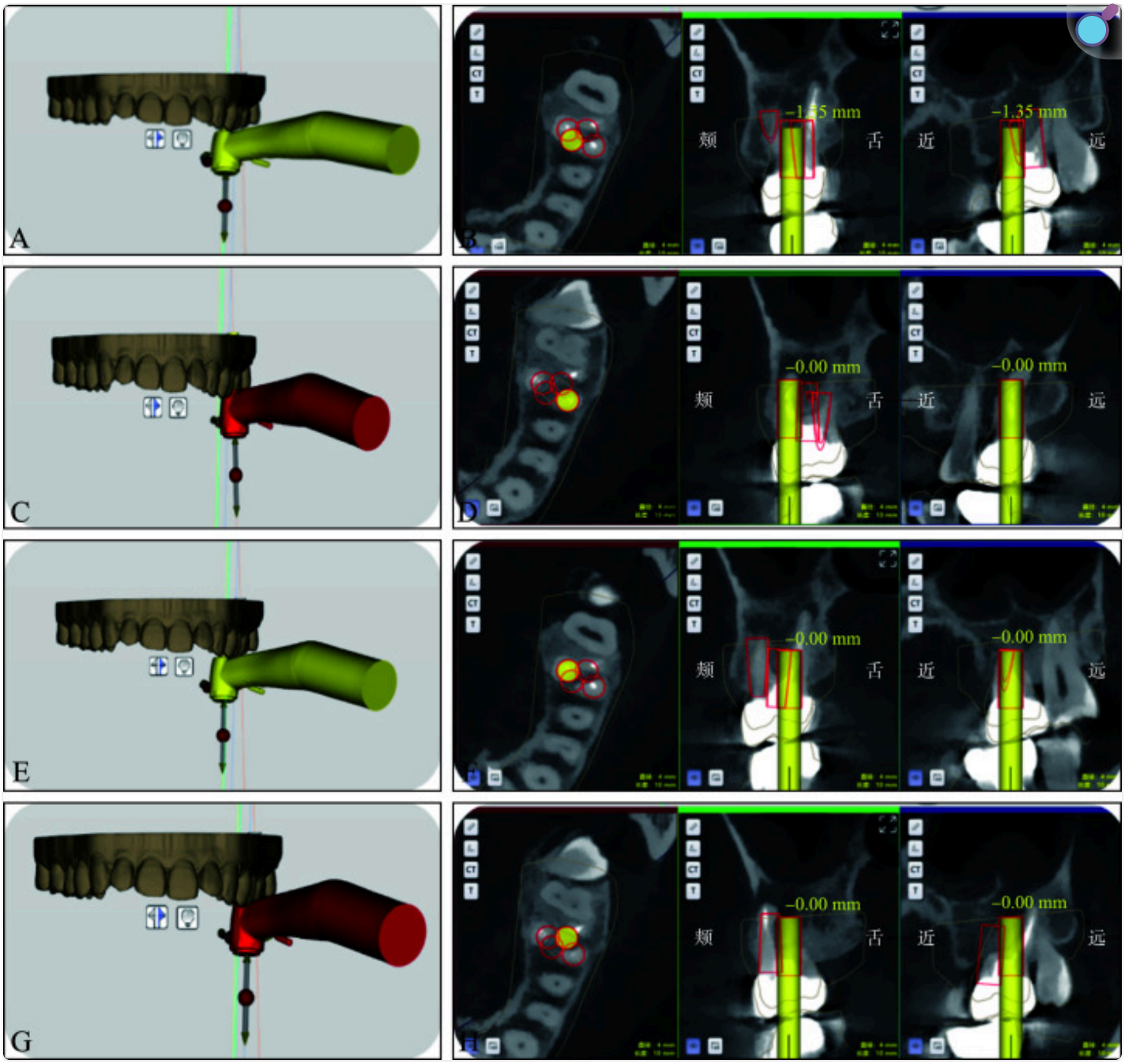
Open in a new tab

术前计算机设计

Fig 4 Preoperative computer design

A：CBCT与数字化取模数据差异配准；B：28牙AI模拟图；C：3D图模拟28牙植入（牙[illegible]面观）；D：28牙模拟试植的CBCT横断面图；E：3D图模拟28牙植入（颊面观）；F：28牙模拟试植的CBCT矢状位图；G：28牙模拟试植的CBCT冠状位图。

图 5.



Open in a new tab

计算机设计与3D模拟牙槽窝预备钻针路径

Fig 5 Computer design and 3D simulation of the drill path for alveolar socket preparation

A、B：近中腭侧钻针预备路径；C、D：近中颊侧钻针预备路径；E、F：远中腭侧钻针预备路径；G、H：远中颊侧钻针预备路径。

1.4. 诊疗经过

患者术前血液学检查结果显示无异常，签署知情同意书。常规消毒铺巾，氯己定含漱，1.7 mL阿替卡因肾上腺素行左侧上牙槽后神经+上牙槽中神经+腭前神经阻滞麻醉术，麻醉起效后，行26牙拔除术，术中全瓷冠脱落（图6A），钳拔过程中纤维桩及核脱落（图6B、C），告知患者病情及其他治疗方案，患者知情同意后，立即行方案二：26牙拔除术＋同期28牙自体牙移植，技术获遵义医科大学附属口腔医院伦理委员会审核批准（批件号：2024第25号）。随后拔除26牙牙根，搔刮牙槽窝内炎症肉芽组织，手术机器人进入患者口内并进行受牙区窝洞预备（图7A）。26牙槽窝试植3D打印28牙合适后（图7B），自27牙颊侧翻开牙龈，拔出28牙（图7C），置于生理盐水保持湿度，生理盐水纱布包绕下行体外28牙根管治疗（图7D、E），根尖修整，超声工作尖逆向预备根管3 mm深（图7F），干燥倒预备窝洞，C-Root BP（赛濡特）倒充填（图7G）；大量生理盐水冲洗保持根尖部湿度，移植28牙至26牙牙槽窝内，流动树脂+金属丝颊侧固定25-27牙位（图7H），28牙牙龈3-0缝线对位间断缝合。术后X线片示：根管内及根尖区高密度影（图7I）。

图 6.



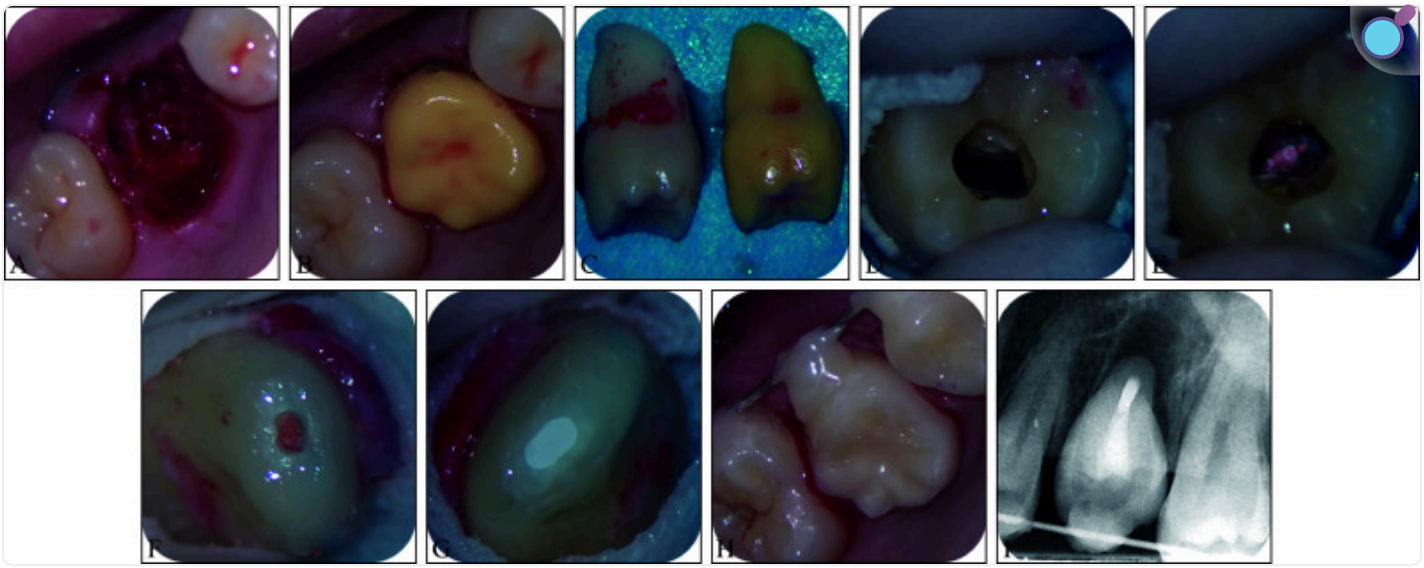
Open in a new tab

拔除26牙

Fig 6 Tooth 26 extraction

A：26牙全瓷冠脱落；B、C：26牙桩核与牙体分离。

图 7.



Open in a new tab

机器人辅助28牙移植术中操作

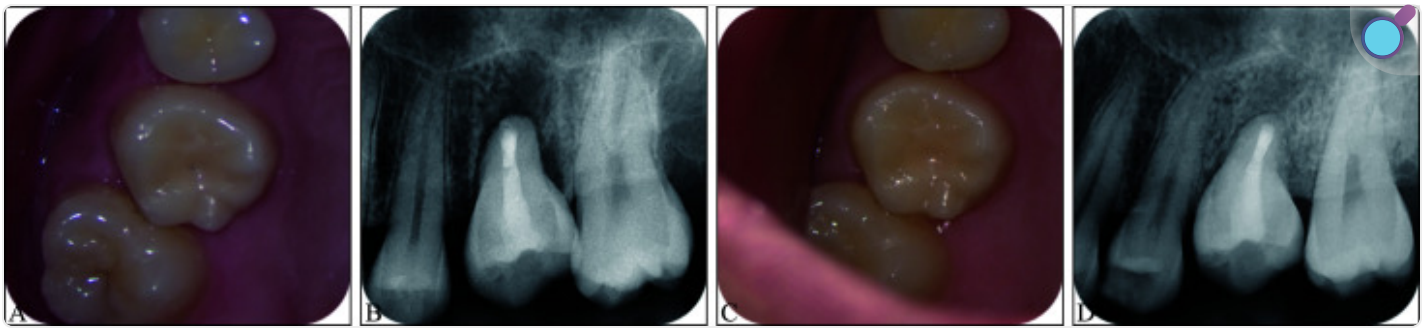
Fig 7 Operations in the robot-assisted transplantation of tooth 28

A：26牙牙槽窝预备；B：3D打印28牙试植；C：28离体牙与3D打印牙对比；D：28牙开髓；E：28牙根管充填；F：28牙根尖修整；G：C-Root BP根尖倒充填28牙；H：28牙植入受牙区并固定；I：术后即刻X线片。

1.5. 术后随访

术后1个月复诊，拆除金属丝固定装置。术后4个月复诊，受牙区牙龈愈合良好，供体牙无松动，叩诊阴性，与对颌牙咬合接触良好，双侧咬合一致。与术前X线片相比，供体牙根尖区未见暗影（图8）。

图 8.



Open in a new tab

术后口内照和X线片检查

Fig 8 Postoperative oral photograph and X-ray examination

A、B：术后1个月口内照和X线片；C、D：术后4个月口内照和X线片。

2. 讨论

临床上自体牙移植术通常选择第三磨牙作为供体牙，其成功率为95%[10-11]。自体牙移植的常规手术过程包括受植区窝洞的预备，拔出供体牙齿，并将供体牙精准植入至预备好的牙槽窝内，通过纤维带或金属丝固定和稳定，并严密缝合牙龈组织，最终供体牙能够逐步与周围的牙槽骨及软组织重新结合，恢复其正常的咀嚼和支持功能[12]。如何提高自体牙移植后留存率成为手术的一大挑战，其中手术方式的选择、供体牙与受区牙槽窝的匹配度、供体牙离体的保存方式及植入初期稳定性等都成为影响自体牙移植远期留存率的因素。此外，对供体牙拔牙方式的选择、供体牙的处理及在术中是否使用生物辅助措施等，均可不同程度的提高供体牙远期的留存率[13-14]。

2000年由美国研发生产的达芬奇手术机器人运用于临床手术，因其带来极高的操作精度、较低的风险、更快的恢复和更好的患者体验得以在全球内迅速推广，并在泌尿外科和胸腹部手术等广泛运用[15]。近年来，国内手术机器人如雨后春笋般出现。在口腔领域，2017年赵铱民院士团队研发了可独立完成操作的自主式种植手术机器人系统Yakebot，此款机器人成功自主完成36牙根尖手术，然而，仍缺少大量临床数据来验证机器人行根尖手术的安全性及可行性[16]。2023年，朱桂全等[17]首次验证了康多手术机器人（KD-SR-1500型号）辅助下腮腺手术的安全性和有效性，在机器人辅助下完成了经耳后发际线入路行腮腺肿瘤及腺体浅叶切除术。随后，Ma

等[18]通过在猪模型的头颈部手术中对比使用康多机器人（KD-SR-01型号）和内镜系统，验证了康多机器人（KD-SR-01型号）在头颈部手术中可行性，也表明了国产机器正在迅速追赶国际水平，甚至在某些领域实现了超越。

口腔手术机器人是一种专为口腔治疗与手术设计的高精度医疗技术设备，口腔外科医生能够借助机器人技术，以更高的精准度执行复杂的手术操作，提升手术的精确性、效率及患者的安全性。目前，口腔手术机器人较多应用于种植手术，其手术机器人划分为被动式、半自主式、自主式。Yang等[19]通过系统综述与Meta分析评估了种植机器人辅助手术的精确性，验证了种植机器人辅助技术降低了角度偏差。口腔手术机器人在牙体牙髓领域的应用逐渐展开，涉及根管清理、成形及手术操作等方面。Isufi等[20]采用被动式牙科种植机器人系统Yomi辅助完成左上前磨牙显微根尖手术，但此系统仍需要医师协同操作，无法做到自主完成手术。尽管机器人在牙体牙髓治疗领域展现出显著的潜力，并在精度与效率上取得了显著提升，但其实际推广仍面临诸如高成本、技术局限及触觉反馈缺失等诸多挑战。因此，建议加强长期临床研究及研发投入，以推动机器人技术在牙体牙髓领域的更广泛临床应用[21]。

数字化导航技术近年来在口腔领域广泛应用，Zhang等[22]使用虚拟仿真技术与3D打印辅助自体牙移植术，通过计算机虚拟模拟手术过程，能够提前预判术中可能发生的问题，降低风险，但术中依然由医生自由手进行牙槽窝的预备，仍有位点偏移的风险。Liu等[23]通过体外实验对比手术机器人和静态导板在颌骨切削精确性上的表现，验证了手术机器人在精确性方面优于静态导板。此外，患者的个体差异、患牙的状况及操作者的经验等因素也会对手术结果产生不同影响。Riad Deglow等[24]在自体牙移植术中采用静态导航和自由手两种不同的手术方式，通过CBCT影像测量单根自体牙在移植后3个不同水平角度方向上的变化，比较术前计划移植角度与实际移植角度的差值，其研究结果表明，精确的窝洞预备有助于提升自体牙移植的成功率，为自体牙移植手术的精准化提供理论依据和临床支持。与自由手、静态导板、动态导航技术相比，手术机器人系统能够提高精确度，避免术中医师因手部晃动导致的侧穿、误伤重要解剖结构（如上颌窦、下牙槽神经、翼腭窝）等。借助机器人技术的高精度操作及其安全性能，空军军医大学口腔医院通过多学科联合，使用赵铱民院士团队研发的自主式口腔颌面多功能手术机器人，成功实施自体牙移植手术和完全骨埋伏多生牙拔除术，为患者带来更高的术后满意度和更优化的治疗效果，推动该领域的治疗标准进一步提升。这款机器人突破了口腔种植机器人只能沿单一直线路径预备与钻针形状相匹配的圆形窝洞的限制，能够在颌骨表面沿水平和垂直方向进行个性化、复杂形态的颌骨磨除，口腔手术机器人的应用正不断扩展，为精准医疗和微创治疗的发展提供了重要支持[25]。本病例为机器人技术在自体牙移植中的应用提供了重要参考和指导意义。

目前，口腔手术机器人仍处于发展和应用的初期阶段，其广泛普及面临一些挑战。首先，术前调整机械臂位置往往需要较长时间，增加了手术准备的复杂性；临床医师对机器人系统的操作尚不够熟练，学习曲线较为陡峭。其次，机器人机械臂在摆放位置时受角度限制，特别是在狭小的口腔空间内，如何优化机械臂的摆放是一个技术难题。此外，手术机器人的软件设计中牙槽窝预备路径规划与CAD/CAM对比，其路径单一、无法做到精确去除钻针铣削牙槽骨时产生的锐利骨边。同时市面上尚未推出专门用于自体牙移植手术的钻针等配套设备，这在一定程度上限制了机器人在该领域的应用潜力。然而，随着机器人技术的不断进步，这些问题有望逐步得到解决。

综上所述，口腔手术机器人是口腔医学领域的一项前沿创新，尽管目前面临技术与应用层面的挑战，但其发展依旧前景广阔。未来，口腔手术机器人可能成为常规牙科治疗和手术的重要工具，在多个方面带来显著影响。比如，机器人技术凭借其卓越的精确度和稳定性，尤其是在种植牙、自体牙移植和颌面外科等精细手术中展现出无可替代的优势，显著降低手术误差，提高复杂操作的成功率，从而提升手术质量；对于解剖结构复杂或操作空间受限的病例，机器人能够提供更高的操作灵活性和精确性，从而提高这些病例的治疗成功率；借助机器人，手术过程更加微创、快速，术后恢复时间缩短，患者的治疗舒适度和满意度将显著提升；随着技术的成熟与成本的降低，机器人可能从高端专科医疗设备转变为更为普及的临床工具，推动精准医疗在牙科领域的广泛应用。随着技术的不断突破与完善，机器人有望大幅提升口腔治疗的精确性、安全性和患者体验感，为口腔医疗行业的未来发展注入新的活力。

基金资助

贵州省教育厅自然科学研究项目（黔教技[2024]128号）；贵州省科技计划项目（黔科合基础-[2024]青年331）；贵州省科技计划项目（黔科合基础MS[2025]416）

Natural Science Research Project of Guizhou Department of Education ([2024]128); Guizhou Science and Technology Plan (Basic of Guizhou Science and Technology-[2024] Youth 331); Guizhou Provincial Science and Technology Program Project (Qiankehe Basic MS [2025] 416)

利益冲突声明

作者声明本文无利益冲突。

参考文献

1. Boschini L, Melillo M, Berton F. Long term survival of mature autotransplanted teeth: a retrospective single center analysis[J]. J Dent, 2020, 98: 103371. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

2. Dokova AF, Lee JY, Mason M, et al. Advancements in tooth autotransplantation[J]. J Am Dent Assoc, 2024, 155(6): 475-483. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

3. Bhandari M, Zeffiro T, Reddiboina M. Artificial intelligence and robotic surgery: current perspective and future directions[J]. Curr Opin Urol, 2020, 30(1): 48-54. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

4. Wong SW, Crowe P. Visualisation ergonomics and robotic surgery[J]. J Robot Surg, 2023, 17(5): 1873-1878. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

5. Baral S, Arawker MH, Sun Q, et al. Robotic versus laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a mega meta-analysis[J]. Front Surg, 2022, 28(9): 895976. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

6. Denning NL, Kallis MP, Prince JM. Pediatric robotic surgery[J]. Surg Clin North Am, 2020, 100(2): 431-443. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

7. Osman NI, Mangir N, Mironska E, et al. Robotic surgery as applied to functional and reconstructive urology[J]. Eur Urol Focus, 2019, 5(3): 322-328. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

8. Plotino G, Abella Sans F, Duggal MS, et al. Present status and future directions: surgical extrusion, intentional replantation and tooth autotransplantation[J]. Int Endod J, 2022, 55(Suppl 3): 827-842. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

9. Lin HH, Lonic D, Lo LJ. 3D printing in orthognathic surgery—A literature review[J]. J Formos Med Assoc, 2018, 117(7): 547-558. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

10. Al-Khanati NM, Kara Beit Z. Reconsidering some standards in immediate autotransplantation of teeth: case report with 2-year follow-up[J]. Ann Med Surg (Lond), 2022, 75: 103470. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

11. Tsukiboshi M, Tsukiboshi C, Levin L. A step-by step guide for autotransplantation of teeth[J]. Dent Traumatol, 2023, 39 (Suppl 1): 70-80. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

12. 中华口腔医学会牙及牙槽外科专业委员会 . 自体牙移植术规范化操作流程中国专家共识[J]. 中国口腔颌面外科杂志, 2020, 18(5): 390-394. [Google Scholar]; Professional Committee of Teeth and Alveolar Surgery, Chinese Stomatological Association . Chinese expert consensus on standardized operation process of autotransplantation of teeth[J]. Chin J Oral Maxillofac Surg, 2020, 18(5): 390-394. [Google Scholar]

13. Albalooshy A, Duggal M, Vinall-Collier K, et al. The outcomes of auto-transplanted premolars in the anterior maxilla following traumatic dental injuries[J]. Dent Trau-matol, 2023, 39(Suppl 1): 40-49. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

14. Keranmu D, Ainiwaer A, Nuermuhanmode N, et al. Application of concentrated growth factor to autotransplantation with inflammation in recipient area[J]. BMC Oral Health, 2021, 21(1): 556. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

15. Kawka M, Fong Y, Gall TMH. Laparoscopic versus robotic abdominal and pelvic surgery: a systematic review of randomised controlled trials[J]. Surg Endosc, 2023, 37(9): 6672-6681. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

16. Ahmad P, Alam MK, Aldajani A, et al. Dental robotics: a disruptive technology[J]. Sensors (Basel), 2021, 21(10): 3308. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

17. 朱桂全, 马中凯, 曹昶, 等. 国产手术机器人辅助下腮腺肿瘤切除1例[J]. 华西口腔医学杂志, 2024, 42(2): 262-267. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]; Zhu GH, Ma ZK, Cao C, et al. Chinese surgical robot-assisted surgery for parotid tumor: a case report[J]. West China J Stomatol, 2024, 42(2): 262-267. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

18. Ma Z, Guo Z, Ding Z, et al. Evaluation of a newly deve-loped oral and maxillofacial surgical robotic platform (KD-SR-01) in head and neck surgery: a preclinical trial in porcine models[J]. Int J Oral Sci, 2024, 16(1): 51. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

19. Yang J, Li H. Accuracy assessment of robot-assisted implant surgery in dentistry: a systematic review and meta-analysis[J]. J Prosthet Dent, 2024, 132(4): 747.e1-747.e15. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

20. Isufi A, Hsu TY, Chogle S. Robot-assisted and haptic-guided endodontic surgery: a case report[J]. J Endod, 2024, 50(4): 533-539.e1. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

21. Alqutaibi AY, Hamadallah HH, Aloufi AM, et al. Contemporary applications and future perspectives of robots in endodontics: a scoping review[J]. Int J Med Robot, 2024, 20(5): e70001. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

22. Zhang H, Cai M, Liu Z, et al. Combined application of virtual simulation technology and 3-dimensional-printed computer-aided rapid prototyping in autotransplantation of a mature third molar[J]. Medicina (Kaunas), 2022, 58(7): 953. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

23. Liu C, Li Y, Wang F, et al. Development and validation of a robotic system for milling individualized jawbone cavities in oral and maxillofacial surgery[J]. J Dent, 2024, 150: 105380. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]

24. Riad Deglow E, Lazo Torres NZ, Gutiérrez Muñoz D, et al. Influence of Static navigation technique on the accuracy of autotransplanted teeth in surgically created sockets[J]. J Clin

Med, 2022, 11(4): 1012. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

25. 空军军医大学口腔医院在新型自主式口腔颌面多功能手术机器人辅助下成功实施两台国际首例手术[J]. 空军军医大学学报, 2024, 45(9): 956. [Google Scholar]; The Stomatological Hospital of the Fourth Military Medical University has successfully performed two international first operations with the assistance of a new autonomous oral and maxillofacial multi-functional surgical robot[J]. J Fourth Mil Med Univ, 2024, 45(9): 956. [Google Scholar]

Articles from West China Journal of Stomatology are provided here courtesy of **Editorial Department of West China Journal of Stomatology**