

下牙槽神经移位术中神经损伤的 机制及预防策略：超声骨刀 与种植机器人的应用展望

张艺久, 刘雁鸣*

浙江大学医学院附属第二医院, 口腔颌面外科, 浙江 杭州

收稿日期: 2026年3月9日; 录用日期: 2026年4月3日; 发布日期: 2026年4月13日

摘要

下颌后牙区骨高度不足, 下牙槽神经位置限制种植体植入, 下牙槽神经再定位术虽有效方法, 但操作精度要求高, 常引发不同并发症。其中, 神经损伤尤为常见, 其给患者生活质量带来较大影响。本文主要讨论下牙槽神经移位术后神经受损的主要原因及目前常用的解决方法, 即超声骨刀技术的应用。并结合种植机器人的最新应用, 以期该新兴技术在下牙槽神经再定位术中的结合应用, 为临床医生提供参考。

关键词

下牙槽神经移位术, 下牙槽神经侧化术, 超声骨刀技术, 种植机器人, 神经损伤

Mechanisms and Prevention Strategies of Nerve Injury in Inferior Alveolar Nerve Transposition: Prospects for the Application of Piezoelectric Surgery and Dental Implant Robots

Yijiu Zhang, Yanming Liu*

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, The Second Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou Zhejiang

Received: March 9, 2026; accepted: April 3, 2026; published: April 13, 2026

*通讯作者。

文章引用: 张艺久, 刘雁鸣. 下牙槽神经移位术中神经损伤的机制及预防策略: 超声骨刀与种植机器人的应用展望[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 2548-2554. DOI: 10.12677/acm.2026.1641506

Abstract

Insufficient bone height in the posterior mandibular area restricts the position of the inferior alveolar nerve for implant placement. Although inferior alveolar nerve repositioning is an effective method, it requires high operational precision and often leads to various complications. Among them, nerve injury is particularly common, which has a significant impact on the quality of life of patients. This article mainly discusses the main causes of nerve damage after inferior alveolar nerve displacement surgery and the commonly used solutions at present, namely the application of ultrasonic bone knife technology. Combined with the latest application of dental implant robots, this emerging technology is expected to be integrated with inferior alveolar nerve repositioning procedures, providing a reference for clinicians.

Keywords

Inferior Alveolar Nerve Transposition, Inferior Alveolar Nerve Lateralization, Piezosurgery, Dental Implant Robots, Nerve Injury

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

下颌后牙区因长期缺牙、牙周炎或外伤常导致牙槽骨严重萎缩(Cawood-Howell 分类的 V 类和 VI 类 [1]), 骨高度不足成为种植修复的主要障碍。下牙槽神经(Inferior Alveolar Nerve, IAN)位置限制了种植体的植入深度。传统解决方法包括使用短种植体、垂直骨增量、夹层截骨术和牵张成骨术。但是在下颌骨严重萎缩, 垂直骨高度小于 4 mm 的病例中, 短种植体也很难实现。因此, 下牙槽神经再定位技术[2], 如下牙槽神经侧化(inferior alveolar nerve lateralization, IANL)、下牙槽神经移位术(inferior alveolar nerve transposition, IANT), 通过暂时移位神经血管束, 为种植体提供骨空间, 成为了目前较为合适的方法。然而, 该手术对解剖操作精度要求极高, 技术敏感性高, 操作不当可能导致神经损伤, 且术后并发症发生率较高。

近年来, 口腔种植机器人的应用为下牙槽神经移位术带来了技术突破。机器人系统集成三维成像、机械臂控制、人工智能算法和实时反馈技术, 可实现精准操作, 显著降低手术风险并提升治疗效果。

本文从下牙槽神经移位术的原理与常见并发症、超声骨刀的应用、口腔种植机器人的技术优势、两者结合的临床实践及未来发展方向等方面展开综述, 旨在为复杂口腔种植病例的精准治疗提供理论依据。

2. 下牙槽神经再定位术的定义、优势与局限

下牙槽神经侧化术(IANL)和移位术(IANT)是通过重新定位下牙槽神经(IAN)实现种植体植入、无需骨增量的手术方式。两者均需去除下颌管周围颊侧骨皮质, 但神经移位方式不同: IANL 仅将下牙槽神经血管束向颈孔后方侧方移位, 保留颈神经; IANT 则需离断颈神经, 实现颈孔与下牙槽神经的同步后移[3]-[6]。

该术式的主要优势在于: ① 单次手术完成种植, 减少手术次数、费用及治疗周期[7]; ② 种植于天然骨, 避免垂直骨增量后的吸收风险[8] [9]; ③ 当下牙槽神经处于下颌骨体部上部位置时, 此技术较为适用。在此情形下, 即便无牙颌牙槽嵴仅有轻度萎缩, 牙槽嵴也会与神经血管束极为接近, 进而导致下牙槽神经管上方可用的垂直骨高度欠缺。据统计, 下牙槽神经“高位”位置的出现概率在 14.6%到 30.7%

之间[10] [11]。然而, 该技术也存在明显局限: ① 技术敏感性高, 需外科医生具备神经处理及并发症处理能力[12]; ② 存在下颌骨骨折、神经损伤等特殊并发症风险[12] [13]; ③ 受骨质萎缩横向模式影响, 下颌弓变宽, 后期修复需在反牙合位进行以维持种植体应力分布[14]。

3. 下牙槽神经再定位术并发症

下牙槽神经再定位术中, 最常见的并发症之一是神经感觉障碍。

下牙槽神经(IAN)为下颌磨牙及前磨牙提供神经支配, 同时支配邻近的牙龈组织[15] [16]。值得注意的是, 下牙槽神经是口腔颌面部最易受损的神经(占 64.4%), 其次为舌神经(占 28.8%) [17]。

研究数据表明, 下牙槽神经移位术(IANT)与侧化术(IANL)的即刻神经障碍发生率均高达 93%。但在远期预后上, IANT 的持续性神经感觉障碍比例(15%)显著高于 IANL (6%), 这反映出移位术对神经功能的潜在损伤风险更深[18]。除此之外, 还包括感染、下颌骨髓炎、下颌骨骨折、术中出血等。术后神经感觉障碍是该手术最常见的并发症之一, 严重影响患者的生活质量。

根据发生时间的不同, 下牙槽神经(IAN)损伤的病因可分为术中和术后[19]。根据创伤机制的不同, 术中病因可进一步分为机械性、热性、化学性损伤, 术后则可能因间接热刺激、种植体周围感染或血肿继发瘢痕和缺血导致损伤。

3.1. 机械性损伤

机械性损伤是下牙槽神经损伤的常见原因, 其机制包括直接压迫、切割、撕裂或异物侵入神经管。具体因素如下: ① 注射针刺伤[20]: 局部麻醉注射时, 针头直接刺入下牙槽神经或其血管束, 导致神经传导阻滞或轴突断裂。一项研究显示, 无论斜面朝向如何, 用于传统下牙槽神经阻滞麻醉的长斜面针头在操作结束后, 其针尖处有 78%会出现倒刺[20]。其中, 超过三分之二的针头呈现更为危险的向外侧突出的倒刺。这些倒刺可能撕裂神经束膜、使神经内膜疝出, 并在针头拔出时导致多根神经纤维甚至整个神经束的横断。② 种植体钻头: 为了提高备洞效率, 许多扩孔钻比相应的种植体稍长一些。扩孔钻头前端尖锐, 存在 0.4~0.5 mm 的前端突起, 引导备洞时旋转压迫挤压或者锥形种植体旋入时压迫, 导致下牙槽神经管上壁骨质压缩破裂, 同时合并备洞出现的热学化学损伤。过去认为需保留种植体距离下牙槽神经管壁 2 mm 的安全距离。因为当种植体与神经管距离 <2 mm, 使用器械时, 热传导可能直接灼伤神经血管束, 导致术后下唇持续麻木。王国云[21]等通过测量认为考虑种植体末端同下牙槽神经管之间的安全距离可小于 2 mm。③ 种植体本身或种植体下方的骨碎屑: 种植体植入时位置偏差, 或骨碎屑被推入下颌管, 形成异物压迫, 导致神经缺血或慢性炎症。Khawaja [22]报道两例种植时洞穿下牙槽神经管上壁情况, 术后出现持续加重麻木, 术后 1~4 d 内拔除种植体后神经功能均恢复正常。Khawaja 的研究中认为, 为安全考虑, 种植体的末端的安全间距应大于 1 mm。容明灯等[23]报道了 1 例因为种植体植入后挤压骨片入下牙槽神经管病例, 但术后不伴发神经异常。④ 错误的手术操作: 如手术刀的直接神经损伤或切断, 或缝合材料直接压迫神经[24]。剥离子引起的粘骨膜瓣牵引, 严重炎症或神经干周围液体滞留造成的压力, 随后发展为过性缺血。10%~17%的牵引力足以让纤维暂时失去传导能力。粘骨膜瓣上的刮刀牵引可能会导致神经扭曲, 即使在远离熟悉的神经的区域也是如此。因此, 更严重的牵张损伤可能会导致轴突及其髓鞘的部分损害。这可能会由于神经的伸展而导致感觉丧失[25]。功能恢复取决于神经纤维的再生能力和速度, 每天的再生能力和速度可能在 1 到 3 毫米之间[25]。

3.2. 热损伤

热刺激可引发种植体周围骨坏死及术后下牙槽神经(Inferior Alveolar Nerve, IAN)继发性损伤。由于神

经组织对热损伤的敏感性高于骨组织, 热刺激还可能导致下牙槽神经原发性损伤[26]。手术过程中, 钻头转速过高导致温度升高, 可引发骨坏死、纤维化、骨溶解性退变以及破骨细胞活性增强。坏死区域的厚度与手术过程中产生的热量呈正相关[27]。

3.3. 化学性损伤

化学性损伤, 一部分机制来自于局麻药物的神经毒性[28]。还有一部分, 可能来自术中直接化学性损伤——即在种植窝预备过程中, 使用次氯酸钠冲洗种植床时导致的碱性神经损伤。该溶液在临床实践中已不推荐使用, 应予以避免[23]。

3.4. 术后因素

术后热刺激可诱发骨组织与神经的炎症反应, 进而导致继发性缺血; 种植体周围感染亦可引发骨与神经的炎症, 造成继发性缺血; 血肿形成后可能进展为组织瘢痕化, 引发继发性缺血并损害神经功能。

综上, 下牙槽神经损伤可能是多种因素综合导致的结果。其临床表现可分类为麻木(anaesthesias)、感觉异常(paresthesias)或感觉障碍(dysesthesias)。麻木代表完全没有感觉, 包括疼痛。感觉异常包括更广泛的异常感觉, 如“针刺感”, 也有感觉减退, 代表对刺激的敏感度降低, 不包括特殊感官和感觉过敏——一种涉及感官对刺激的敏感度异常增加的情况。感觉障碍是一种自发性或机械性痛性神经病。这一类别可包括痛觉过敏(对非疼痛刺激的快速且夸大的疼痛反应)、过敏(延迟且延长的疼痛反应)、交感调节疼痛(因增加交感神经张力而恶化的疼痛)和疼痛(麻醉区域的疼痛)、超敏疼痛(由于通常不会引起疼痛的刺激而引起的疼痛)[29]。

4. 超声骨刀技术在下牙槽神经移位术中的应用

超声骨刀的骨切割技术, 利用的是特定超声频率下产生的微振动。设备将声波调制为 25~30 kHz 的超声频率, 通过机械冲击波产生线性振动。切割头的工作振幅很小, 水平方向 20~200 μm , 垂直方向 20~60 μm [30]。

这种设计带来了几个关键优势: 切割精确、能选择性切割骨组织、避免热损伤, 并且安全性更高。之所以能实现选择性切割, 是因为振幅有限, 矿化组织刚好能被切割, 而软组织则需要 50 kHz 以上的频率才能被损伤, 因此使用超声骨刀可以降低神经损伤的风险。同时, 在 25~30 kHz 的频率下, 机械微运动会在冲洗液中产生空化效应, 既减少了产热, 也减轻了术中出血, 让术野更清晰, 操作更安全[30]。

高精度切割的优势和降低神经损伤的风险是使用超声骨刀技术的有力理由。超声骨刀的另一个优点是, 由于其产生的噪音较小, 患者承受的压力和恐惧感较少。与传统钻头相比, 超声骨刀的微振动对患者来说似乎压力更小[30]。

5. 种植种植机器人辅助神经移位术的技术原理与临床适配

5.1. 种植机器人及应用优势

① 高精度降低神经损伤风险: 种植机器人术前基于 CBCT 与数字化口扫数据, 通过种植设计软件生成三维模型, 规划种植体植入位置、角度与深度, 避开神经、血管等关键解剖结构。术中通过机械臂配备高精度视觉追踪系统, 实时捕捉口内细微变化, 动态补偿受力形变, 避免手部震颤影响。同时, 将种植误差控制在 0.1~0.5 mm 之间, 较传统自由手种植有更高的精度[31]。② 微创优势缩短恢复时间: 天疱疮患者的口腔环境脆弱, 组织愈合能力差, 传统手术创伤易引发伤口不愈合。吉林大学口腔医院采用自主种植机器人系统, 通过小切口微创手术成功为一名 35 岁女性天疱疮患者实施双侧下颌后牙区种植修

复。术后 CBCT 数据拟合显示, 种植体平均角偏差仅 0.47° , 硬软组织愈合良好, 证明了种植机器人在特殊疾病患者中的安全性与有效性[32]。③ 热损伤的控制: 机器人系统集成智能冷却模块, 根据骨密度自动调整冷却液流量和钻削参数, 有效降低钻孔过程中的温度升高, 减少热损伤。

5.2. 机器人触觉反馈的技术实现与临床价值

针对口腔种植机器人触觉反馈缺失的问题, 现有解决方案主要围绕力传感器实时采集与智能反馈控制展开。传统种植手术中, 经验丰富的医生依赖手部感觉判断骨质变化并调控钻速与力度; 而机器人系统通过集成高灵敏度力传感器, 可实时采集钻头-骨界面的轴向力、扭矩等多维力学参数, 并基于反馈信息自动控制机械臂进给速度, 实现触觉反馈。例如, 白石柱等[33]及 Wang WX 等[34]的研究显示, 机器人系统通过集成高灵敏度力传感器与自适应算法, 能在微米级推进中维持恒定的切削扭矩。其基于力反馈信息的辅助种牙系统及方法, 即通过力传感器实时监测钻孔力变化, 结合骨密质与骨松质的力学差异, 动态调整机械臂运动参数, 从而在安全阈值内完成自动钻孔, 有效规避因触觉缺失导致的钻穿、过热等风险。

5.3. 机器人辅助种植中的术野暴露与软组织管理

针对动态导航在软组织避让中的应用, 现有解决方案通过术前影像规划与专用器械设计实现软组织的安全隔离与重要结构保护。动态导航系统可在术前通过导入 CBCT 及口扫数据, 提前在影像上标识下牙槽神经管、颧孔、上颌窦等重要解剖结构及其内的神经血管, 建立三维安全边界以指导术中避让。然而, 传统翻瓣手术中黏骨膜牵拉需术者-助手协同操作, 器械长柄及手部易阻挡钻针路径、遮挡机器人摄像头对标定板的识别, 且长时间牵拉增加患者不适甚至软组织撕裂风险。西安交通大学口腔医院[35]等人研发的辅助机器人口腔种植牵拉器, 通过多点撑开式结构设计优化了这一流程: 该牵拉器主体配置至少两个牵拉部, 可分别插入种植位点近中、远中的骨膜与骨面之间, 将两侧软组织瓣向远离术位的方向同步撑开, 形成稳定的机械性暴露空间。此设计使动态导航系统能够在无手部干扰的条件下持续追踪标定板信息点, 保障机械臂运动精度; 同时消除传统牵拉方式对助手依赖, 减少软组织动态形变对导航配准的影响, 结合术前规划的安全边界, 有效规避牙龈卷入、神经血管损伤等风险, 为动态导航引导下的精准种植提供清晰的术野与稳定的操作环境。

5.4. 联合应用的未来展望

成都市龙泉驿区第一人民医院[36]等人提出了一种下牙槽神经移位手术导板, 通过该导板能在实际操作中引导骨壁的切割, 开窗和神经移位, 降低手术的难度, 节约临床手术时间, 提高手术的精度, 降低手术创伤。但导板可能阻碍冷却液的流动, 导致局部冷却不足, 从而造成骨热损伤, 或神经损伤。未来可考虑将种植机器人应用于下牙槽神经移位术的术前规划、术中开窗定位中, 定位完成后由超声骨刀接续完成骨组织的精细切割。既能实现精准定位, 也可降低骨热损伤, 从而最大程度地降低术中及术后的神经损伤。

6. 总结

下牙槽神经移位术(Inferior Alveolar Nerve Transposition, IANT)和下牙槽神经侧化术(Inferior Alveolar Nerve Lateralization, IANL)是解决下颌骨萎缩和神经高位问题的有效方法, 但这些手术对解剖操作精度要求极高, 稍有不慎即可能导致神经损伤和术后并发症。近年来, 种植机器人技术的发展为这些复杂手术提供了新的解决方案。种植机器人通过术前的三维成像和数字化规划, 能够精确地避开神经和血管等关键解剖结构, 将种植误差控制精准, 显著提高了手术的安全性和精确性。此外, 机器人系统集成的智能

冷却模块能够有效控制钻孔过程中的温度, 减少热损伤, 进一步保障患者的神经功能。在临床实践中, 种植机器人的微创优势尤为显著。

在临床实践中, 超声骨刀技术已被广泛应用于下牙槽神经移位术中, 其高精度切割和选择性骨组织切割能力显著降低了神经损伤的风险。超声骨刀的微振动技术在切割骨组织时产生的热量较少, 有效避免了热损伤, 同时其空化效应减少了术中出血, 提高了手术视野的清晰度。这些优势使得超声骨刀成为当前下牙槽神经移位术中的重要工具。

综上所述, 种植机器人技术在下牙槽神经移位术中的应用具有显著的优势, 特别是在高精度切割、降低神经损伤风险、减少热损伤和微创手术方面。随着技术的不断进步, 种植机器人有望在复杂口腔种植病例中发挥更大的作用, 为患者提供更安全、更有效的治疗方案。未来的研究应集中在进一步提高机器人的智能化水平和多模态成像技术的应用, 以实现更精准的手术操作和更好的临床效果。

参考文献

- [1] Cawood, J.I. and Howell, R.A. (1991) Reconstructive Preprosthetic Surgery. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **20**, 75-82. [https://doi.org/10.1016/s0901-5027\(05\)80711-8](https://doi.org/10.1016/s0901-5027(05)80711-8)
- [2] Rosenquist, B. (1992) Fixture Placement Posterior to the Mental Foramen with Transpositioning of the Inferior Alveolar Nerve. *Implant Dentistry*, **1**, 304. <https://doi.org/10.1097/00008505-199200140-00017>
- [3] Peleg, M., Mazor, Z., Chaushu, G., et al. (2002) Lateralization of the Inferior Alveolar Nerve with Simultaneous Implant Placement: A Modified Technique. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, **17**, 101-106.
- [4] Khajehahmadi, S., Rahpeyma, A., Bidar, M. and Jafarzadeh, H. (2013) Vitality of Intact Teeth Anterior to the Mental Foramen after Inferior Alveolar Nerve Repositioning: Nerve Transpositioning versus Nerve Lateralization. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **42**, 1073-1078. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2013.04.012>
- [5] Kan, J.Y., Lozada, J.L., Goodacre, C.J., Davis, W.H. and Hanisch, O. (1997) Endosseous Implant Placement in Conjunction with Inferior Alveolar Nerve Transposition: An Evaluation of Neurosensory Disturbance. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, **12**, 463-471.
- [6] Morrison, A., Chiarot, M. and Kirby, S. (2002) Mental Nerve Function After Inferior Alveolar Nerve Transposition for Placement of Dental Implants. *Journal of the Canadian Dental Association*, **68**, 46-50.
- [7] Vetromilla, B.M., Moura, L.B., Sonego, C.L., Torriani, M.A. and Chagas, O.L. (2014) Complications Associated with Inferior Alveolar Nerve Repositioning for Dental Implant Placement: A Systematic Review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **43**, 1360-1366. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2014.07.010>
- [8] Rocchietta, I., Fontana, F. and Simion, M. (2008) Clinical Outcomes of Vertical Bone Augmentation to Enable Dental Implant Placement: A Systematic Review. *Journal of Clinical Periodontology*, **35**, 203-215. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.2008.01271.x>
- [9] Esposito, M., Grusovin, M.G., Felice, P., Karatzopoulos, G., Worthington, H.V. and Coulthard, P. (2010) The Efficacy of Horizontal and Vertical Bone Augmentation Procedures for Dental Implants: A Cochrane Systematic Review. In: Chiappelli, F., Ed., *Evidence-Based Practice: Toward Optimizing Clinical Outcomes*, Springer, 195-218. https://doi.org/10.1007/978-3-642-05025-1_13
- [10] Kieser, J.A., Paulin, M. and Law, B. (2004) Intrabony Course of the Inferior Alveolar Nerve in the Edentulous Mandible. *Clinical Anatomy*, **17**, 107-111. <https://doi.org/10.1002/ca.10196>
- [11] Heasman, P.A. (1988) Variation in the Position of the Inferior Dental Canal and Its Significance to Restorative Dentistry. *Journal of Dentistry*, **16**, 36-39. [https://doi.org/10.1016/0300-5712\(88\)90102-9](https://doi.org/10.1016/0300-5712(88)90102-9)
- [12] Babbush, C.A. (1998) Transpositioning and Repositioning the Inferior Alveolar and Mental Nerves in Conjunction with Endosteal Implant Reconstruction. *Periodontology 2000*, **17**, 183-190. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.1998.tb00134.x>
- [13] Deryabin, G. and Grybauskas, S. (2020) Inferior Alveolar Nerve Repositioning and Securing in Conjunction with Dental Implant Placement: A Technical Note. *International Journal of Implant Dentistry*, **6**, Article No. 68. <https://doi.org/10.1186/s40729-020-00268-w>
- [14] Weinberg, L.A. (1993) The Biomechanics of Force Distribution in Implant-Supported Prostheses. *he International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, **8**, 19-31.
- [15] Abarca, M., van Steenberghe, D., Malevez, C., De Ridder, J. and Jacobs, R. (2006) Neurosensory Disturbances after Immediate Loading of Implants in the Anterior Mandible: An Initial Questionnaire Approach Followed by a Psychophysical

- Assessment. *Clinical Oral Investigations*, **10**, 269-277. <https://doi.org/10.1007/s00784-006-0065-0>
- [16] Ziccardi, V.B. and Assael, L.A. (2001) Mechanisms of Trigeminal Nerve Injuries. *Atlas of the Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*, **9**, 1-11. [https://doi.org/10.1016/s1061-3315\(18\)30013-1](https://doi.org/10.1016/s1061-3315(18)30013-1)
- [17] Tay, A.B.G. and Zuniga, J.R. (2007) Clinical Characteristics of Trigeminal Nerve Injury Referrals to a University Centre. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **36**, 922-927. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2007.03.012>
- [18] Allavéna, J., Nicot, R., Majoufre, C. and Schlund, M. (2024) Inferior Alveolar Nerve Repositioning Surgical Techniques and Outcomes—A Systematic Review. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, **125**, Article ID: 101631. <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2023.101631>
- [19] Juodzbaly, G., Wang, H. and Sabalys, G. (2011) Injury of the Inferior Alveolar Nerve during Implant Placement: A Literature Review. *Journal of Oral and Maxillofacial Research*, **2**, e1. <https://doi.org/10.5037/jomr.2011.2101>
- [20] Stacy, G.C. and Hajjar, G. (1994) Barbed Needle and Inexplicable Paresthesias and Trismus after Dental Regional Anesthesia. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, **77**, 585-588. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(94\)90315-8](https://doi.org/10.1016/0030-4220(94)90315-8)
- [21] 王国云, 杨煦, 徐天舒. 下颌磨牙区种植体同下颌神经管间距的临床分析[J]. 口腔医学, 2015, 35(12): 1056-1059.
- [22] Khawaja, N. and Renton, T. (2009) Case Studies on Implant Removal Influencing the Resolution of Inferior Alveolar Nerve Injury. *British Dental Journal*, **206**, 365-370. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2009.258>
- [23] 容明灯, 郭泽鸿, 黄羽, 等. 种植体挤压致骨折片突入下牙槽神经管内后无不适 1 例[J]. 国际口腔医学杂志, 2012, 39(6): 739-741.
- [24] Smith, M.H. and Lung, K.E. (2006) Nerve Injuries after Dental Injection: A Review of the Literature. *Journal of the Canadian Dental Association*, **72**, 559-564.
- [25] Chrcanovic, B.R. and Custódio, A.L.N. (2009) Inferior Alveolar Nerve Lateral Transposition. *Oral and Maxillofacial Surgery*, **13**, 213-219. <https://doi.org/10.1007/s10006-009-0175-3>
- [26] Fanibunda, K., Whitworth, J. and Steele, J. (1998) The Management of Thermomechanically Compacted Gutta Percha Extrusion in the Inferior Dental Canal. *British Dental Journal*, **184**, 330-332. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4809618>
- [27] Tehemar, S.H. (1999) Factors Affecting Heat Generation During Implant Site Preparation: A Review of Biologic Observations and Future Considerations. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, **14**, 127-136.
- [28] Pogrel, M.A., Bryan, J. and Regezi, J. (1995) Nerve Damage Associated: With Inferior Alveolar Nerve Blocks. *The Journal of the American Dental Association*, **126**, 1150-1155. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1995.0336>
- [29] Colin, W. and Donoff, R.B. (1992) Restoring Sensation after Trigeminal Nerve Injury: A Review of Current Management. *The Journal of the American Dental Association*, **123**, 80-85. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1992.0322>
- [30] Stübinger, S., Landes, C., Seitz, O., Zeilhofer, H. and Sader, R. (2008) Ultraschallbasiertes Knochenschneiden in der Oralchirurgie: eine Übersicht anhand von 60 Patientenfällen. *Ultraschall in der Medizin—European Journal of Ultrasound*, **29**, 66-71. <https://doi.org/10.1055/s-2007-963507>
- [31] Khaohoen, A., Powcharoen, W., Yoda, N., Rungsiyakull, C. and Rungsiyakull, P. (2025) Accuracy in Dental Implant Placement: A Systematic Review and Meta-Analysis Comparing Computer-Assisted (Static, Dynamic, Robotics) and Noncomputer-Assisted (Freehand, Conventional Guide) Approaches. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **134**, 91.e1-91.e25. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2025.03.038>
- [32] Li, M., Lv, H., Zhang, Y., Liu, X., Jia, K., You, J., et al. (2025) Autonomous Robotic System-Assisted Trans-Inferior Alveolar Nerve Implantation for Patient Diagnosed with Pemphigoid: A Case Report. *BMC Oral Health*, **25**, Article No. 1343. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06705-9>
- [33] 白石柱, 任楠, 冯志宏, 等. 自主式口腔种植机器人手术系统动物体内种植精度的研究[J]. 中华口腔医学杂志, 2021, 56(2): 170-174.
- [34] Wang, W., Xu, H., Mei, D., Zhou, C., Li, X., Han, Z., et al. (2023) Accuracy of the Yakebot Dental Implant Robotic System versus Fully Guided Static Computer-Assisted Implant Surgery Template in Edentulous Jaw Implantation: A Preliminary Clinical Study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, **26**, 309-316. <https://doi.org/10.1111/cid.13278>
- [35] 西安交通大学口腔医院. 一种用于辅助机器人口腔种植的牵拉器[P]. 中国专利, CN202420915162.7. 2024-12-27.
- [36] 成都市龙泉驿区第一人民医院. 一种下牙槽神经移位手术导板制作、使用方法及手术导板[P]. 中国专利, CN202210379291.4. 2022-08-02.