

· 综述 ·

动态导航系统在口腔种植应用中精度的研究进展

王庆福^{1,2} 王非凡¹ 张健¹

¹天津市口腔医院口腔种植科 南开大学医学院 天津市口腔功能重建重点实验室 300041; ²中国医科大学口腔医学院, 沈阳 110001

通讯作者: 张健, Email: tjskqyzzzx@163.com, 电话: 022-27119191

【摘要】 动态导航系统在口腔种植中应用越来越普及, 导航精度是衡量该系统的关键指标。本文通过回顾总结, 将动态导航系统的临床应用精度与自由手、静态导板系统进行对比分析, 对其误差的影响因素进行总结, 并对未来的发展趋势进行展望。在常规种植中, 动态导航系统辅助种植能够获得比自由手更好的临床精度, 达到与静态导板系统相似的临床效果, 同时在颧种植等复杂术式中显示出明显的技术优势。

【关键词】 动态导航; 静态导板; 自由手; 精准度; 术者经验

基金项目: 天津市临床医学重点学科(口腔医学-口腔颌面外科学)专项基金(HWZX013), 天津市口腔医院博硕士重点项目(2017BSZD09)

Research and development of clinical application accuracy of dynamic navigation system in implant surgery

Wang Qingfu^{1,2}, Wang Feifan¹, Zhang Jian¹

¹Department of Oral Implantology, Tianjin Stomatological Hospital, School of medicine, Nankai University & Tianjin Key Laboratory of Oral and Maxillofacial Function Reconstruction, Tianjin 300041, China; ²School of Stomatology, China Medical University, Shenyang 110001, China

Corresponding author: Zhang Jian, Email: tjskqyzzzx@163.com, Tel: 0086-22-27119191

【Abstract】 Dynamic navigation system is more and more widely used in implant surgery. The accuracy is the key index to measure the system. In this study, the clinical application accuracy of the dynamic navigation system was compared with that of the free hand and static surgical guide system, and the influencing factors of error are summarized, and the future development trend is prospected. In regular implant surgery, the dynamic navigation system can achieve better clinical effect than the free hand operation, and is similar to that of the static guide system, and shows obvious technical advantages in complex operations such as zygomatic implant surgery.

【Key words】 Dynamic navigation; Static surgical guide; Free hand; Accuracy; Surgeon experience

Fund program: Tianjin Key Discipline Foundation of Clinical Medicine (HWZX013); Key Project of Tianjin Stomatological Hospital (2017BSZD09)

准确的种植体三维位置是实现理想种植修复的关键。计算机辅助种植手术(computer-aided implant surgery,

CAIS)是提高种植体植入精准度、降低手术风险的有效手段。CAIS分为静态导板系统和动态导航系统^[1], 后者



王庆福
医学硕士、博士在读、主治医师, 研究方向: 口腔种植数字化导航、骨移植材料改良、医用金属材料微生物腐蚀等相关研究



张健
医学博士、教授、主任医师、硕士生导师, 研究方向: 数字化口腔种植修复、骨量不足的种植外科手术等相关研究

DOI: 10.12337/zgkqzzzx.2021.04.009

收稿日期 2021-02-01 本文编辑 石淑芹, 宋宇

引用本文: 王庆福, 王非凡, 张健. 动态导航系统在口腔种植应用中精度的研究进展 [J]. 中国口腔种植学杂志, 2021, 26(2): 124-128.

DOI: 10.12337/zgkqzzzx.2021.04.009.

从2000年开始逐渐在口腔种植领域展开应用^[2]。随着动态导航系统软硬件的改进及精度的提高,越来越多的医生开始采用该技术辅助种植体植入。本文将回顾和总结动态导航系统的临床应用精度,并与自由手、静态导航系统进行对比分析,以期为临床决策提供参考。

一、动态导航系统的组成及工作流程

动态导航系统分为硬件和软件两部分。硬件包括导航仪、专用的导航手机、配准定位装置等^[3]。软件为具备术前方案设计、术中实时引导等功能的专用软件。动态导航系统的关键技术是配准技术和空间定位技术。临床上配准方式主要分为标记点配准(marker-based)和无标记点配准(marker-free)^[4]。基于标记点配准方式主要利用个性化殆垫、钛钉等标志实现空间三维定位。无标记点配准方式主要利用患者颌骨等自身解剖结构作为标志完成配准^[5]。空间定位技术主要基于光学定位原理,常用光源为红外线,根据光源位置可分为主动式导航和被动式导航。

目前已有多种动态导航系统应用于临床,其工作流程和原理基本相同^[6]。首先需要获取患者的颌骨信息和修复信息。颌骨信息通常利用锥形束CT(cone beam computed tomography,CBCT)获取,修复信息则通过虚拟排牙或放射导板获得。然后,将上述数据导入导航软件中进行种植方案设计。设计完成后,进行标定和配准,这一步是影响导航系统精度的关键环节,应严格按照操作手册的指导完成。该环节实质是在导航仪和参考板指引下,将手机、患者实际颌骨、患者虚拟颌骨(显示器中)三者的空间关系连接起来,实现可视化实时导航。在手术过程中,医生可根据屏幕显示的术前规划引导手术,并根据实时误差信息及时修正手术方案,最终完成种植体植入。

二、动态导航系统的精度分析

大量研究表明,动态导航在简单种植、无牙颌种植、翼上颌及颧骨种植等手术中均可取得良好的临床效果,并最大程度的减小手术创伤,展现出明显的技术优势,比如极大的改善了口腔手术的操作视野、可直观显示钻头与解剖结构的空关系、手术过程中可实时调整手术方案等^[7-12]。目前,口腔种植手术可分为三种类型:自由手种植、静态导航板辅助种植及动态导航辅助种植。三种术式的临床流程有很大不同(图1),大量研究表明它们均能取得良好的口腔种植修复效果^[13-15]。临床应用精度是临床医生评价某一术式的重要参考标准。因此,本文将对动态导航系统的临床应用精度进行对比分析和总结。

1. 动态导航系统与自由手种植精度的对比:

在临床工作中,大多数种植体是通过自由手操作完成的。临床医生在术中主要参照邻牙、对颌牙等解剖标志,

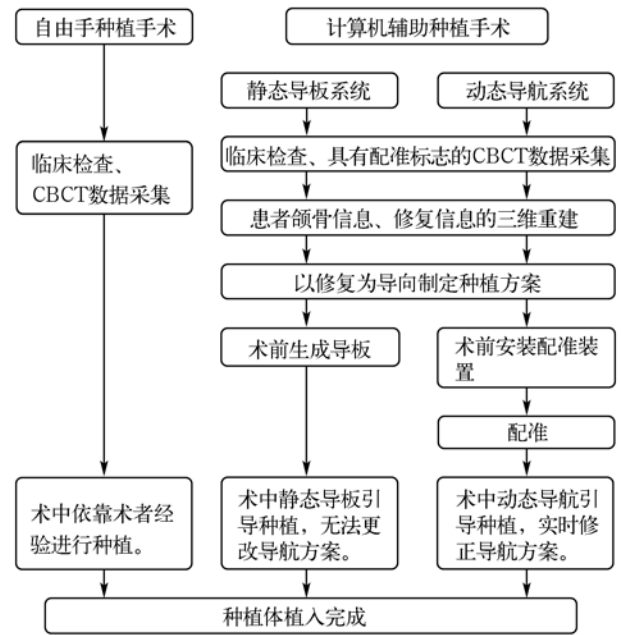


图1 三种种植技术的临床流程图

进行种植窝洞预备并完成植入。当需要进行连续多牙或牙列缺失的种植手术时,术者通常依靠测量尺及方向杆等辅助工具来确保种植体三维位置的准确。自由手种植的安全性及最终修复效果几乎完全取决于医生的手术经验。因此,动态导航系统辅助医生进行种植手术十分必要。

Block等学者采用自由手和不同动态导航系统(X-Guide, X-Nav Technologies)对100位牙列缺损患者进行种植手术,结果显示动态导航组种植体的颈部偏差、尖端3D偏差、角度偏差分别为 (0.87 ± 0.42) mm、 (1.56 ± 0.69) mm、 (3.62 ± 2.73) 度,其结果均优于自由手操作组的 (1.15 ± 0.59) mm、 (2.51 ± 0.86) mm、 (7.69 ± 4.92) 度^[16]。不同术者应用动态导航辅助种植的精准度无差异,同时上、下颌对比也未见统计学差异^[16-17]。在一项包含了28例无牙颌(125颗种植体)的临床研究中,同样发现动态导航精度明显高于自由手,尤其是角度偏差和尖端偏差^[17]。这主要是由于无牙颌自由手种植可参考的解剖标志更少,且种植体尖端为术者的操作盲区。在一项选取Kennedy I类牙列缺损患者为对象的研究中,自由手组种植体尖端的最大偏差值超过9 mm,角度最大偏差可达20度,而动态导航组的种植体尖端最大偏差小于5 mm,角度最大偏差约10度^[18]。因此,相比于自由手,动态导航可以明显提高种植体的三维精度,降低外科和修复并发症的严重程度^[19]。

随着种植技术的发展,翼上颌种植越来越普及。该技术是将种植体放置于翼上颌区域,充分利用上颌结节、腭骨锥突和蝶骨翼突的皮质骨,实现避免上颌窦底

提升和使用骨移植、避免修复体悬臂等目的。翼上颌种植所需种植体长度多为 15~20 mm, 临床操作属于半盲手术, 且种植体周围涉及的解剖结构复杂, 故技术敏感性高。研究表明, 翼上颌种植采用动态导航技术时, 种植体的颈部偏差、尖端 3D 偏差、尖端深度偏差、角度偏差分别为 (0.66 ± 0.02) mm、 (1.13 ± 0.06) mm、 (0.67 ± 0.03) mm、 (2.64 ± 0.17) 度, 而自由手对应的误差分别为 (1.54 ± 0.09) mm、 (2.73 ± 0.07) mm、 (1.17 ± 0.07) mm、 (12.49 ± 0.33) 度, 动态导航精度明显优于自由手^[8]。相比于自由手, 动态导航技术还将翼上颌种植的手术时间明显缩短。因此, 动态导航系统辅助翼上颌种植尤为必要。

2. 动态导航系统与静态导板系统精度的对比:

研究表明, 静态导板系统辅助种植可以获得比自由手更高的精密度^[20-21], 同时降低手术难度, 提高修复效果^[22-25]。但静态导板依然存在诸多缺陷: ①需要专门的导板工具箱, 且不同系统无法通用; ②术中无法更改导板方案, 一旦发现较大误差, 只能停止使用静态导板; ③静态导板对手术视野影响较大, 且后牙区应用受患者开口度限制; ④加工周期长、制作环节复杂; ⑤导板的遮挡会影响种植窝洞预备中术区的冷却等。相对而言, 动态导航技术的优势则十分明显^[26-27]: ①可以更快速、直观的制定手术方案; ②手术中实时导航, 增加了手术的安全性和可预测性; ③手术中可以随时调整和更改手术计划; ④极大的降低了工序成本; ⑤比静态导板的冷却更充分, 降低了热损伤的可能; ⑥不需要额外的导航工具箱; ⑦减小了对开口度的要求; ⑧可避免因导板就位不良而导致的整体偏差。

在一项单牙种植的临床研究中, 静态导板组种植体的颈部偏差、尖端 3D 偏差、角度偏差分别为 (0.97 ± 0.44) mm、 (1.28 ± 0.46) mm、 (2.84 ± 1.71) 度, 动态导航组相应的偏差分别为 (1.05 ± 0.44) mm、 (1.29 ± 0.50) mm、 (3.06 ± 1.37) 度, 两组数据对比均无显著性差异^[28]。该研究中动态导航组手术平均时间略长。在一项涉及不同术者、不同缺牙类型患者的临床研究中, 动态导航精度与静态导板精度同样相似^[29]。该研究还比较了动态导航系统在前牙、前磨牙和磨牙位点的种植精密度, 结果显示种植位点对精密度没有显著影响。当将动态导航组与静态导板组在相同种植位点进行比较时, 前磨牙区差异无统计学意义。动态导航组前牙区的尖端偏差略高于静态导板组, 而磨牙区的角度偏差小于静态导板组。这可能是由于磨牙区应用静态导板需要较大开口度, 静态导板的位置会因大张口而偏移^[13]。尽管多数临床研究显示两种导航精度无差异, 但体外模型研究结果显示动态导航系统比静态导板系统存在更大误差, 包括牙列缺损模型研究^[30]和无牙颌模型研究^[31]。虽然体外

研究无法模拟真实的临床情况, 可能会放大或缩小实际的偏差值^[28-29], 但体外研究结果依然可以为临床提供一定参考。综上, 多数研究表明动态导航系统的临床使用精度与静态导板系统相似, 能够满足临床常规口腔种植的需求^[9,12]。

静态导板是由树脂基托和金属套环两部分组成。套环的高度及距离牙槽嵴的距离都会明显影响静态导板的精度^[32-33]。静态导板不适用于颧种植等特殊种植手术, 因为种植体末端会产生不可接受的临床偏差^[34]。在颧种植手术中, 动态导航系统可以减小手术的翻瓣范围和手术创伤, 缩短手术时间, 提高种植体精密度, 减小严重并发症发生的概率^[9,11-12]。因此, 在颧种植等特殊种植手术中, 动态导航系统有着明显的技术优势。

三、动态导航系统精度的影响因素

影响动态导航系统临床应用精度的因素很多, 比如 CBCT 的获取、标定与配准、术者的操作等均会对最终植入精度产生影响^[10,16,19]。导航系统软件、硬件本身的固有误差以及 CBCT 成像设备的固有误差可归类为系统误差, 在实际应用中很难降低。对导航精度影响最大的是配准误差和应用误差, 比如配准标记点分布是否合理、配准与定位装置是否稳固、配准影像是否清晰等。

术者的操作经验也会对动态导航精度产生明显影响^[16-17]。动态导航系统虽然可以帮助经验不足的种植医生更准确地植入种植体, 达到与经验丰富临床医生相似的结果^[35], 但操作经验仍然会明显影响该系统的应用精度。研究发现, 同一名术者利用动态导航技术植入 100 颗种植体, 后 50 颗种植体颈部、尖端、角度的平均偏差(分别为 0.59 mm、0.85 mm、1.98 度)明显小于前 50 颗种植体(分别为 0.94 mm、1.19 mm、3.48 度)^[17]。因此, 动态导航技术虽然会缩短临床医生的学习周期^[29,35-36], 但依然需要术者反复练习并积累使用经验。

四、动态导航系统的展望

虽然动态导航系统在临床中的应用越来越普及, 但依然存在一定的局限性, 比如需要患者佩戴额外的定位装置, 需要进行复杂的术前标定和配准等。因此, 动态导航系统应继续简化流程, 提高人机交互的友好性, 具体可从以下几方面进行优化: ①简化标定步骤; ②导航手机定位器及参考板的设计应更加轻巧, 以利于不同角度信号的捕捉, 方便术者的操作; ③操作视窗的用户友好应更加贴近医生实际操作习惯, 以缩短医生的学习曲线; ④应继续改进追踪方式, 实现全方位捕捉种植手机和牙列位置信息, 避免术中因为手机角度的变化而需重新标定; ⑤将混合现实或者增强现实技术应用于导航并替代显示屏, 实现更加直观化的效果。

综上, 动态导航系统辅助种植比自由手具有更好的应用精度, 在常规种植手术中与静态导板系统具有相似

的应用精度, 同时在颧骨种植等复杂术式中技术优势突出, 因此具有广阔的应用前景。但其设备的复杂和操作流程的繁琐限制了该系统的推广普及。因此, 进一步简化流程和增强用户友好设计将是动态导航系统未来的发展方向。

利益冲突 本文作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, et al. Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2014,29 Suppl:25-42. DOI: 10.11607/jomi.2014suppl.g1.2.
- [2] Raico Gallardo YN, da Silva-Olivio I, Mukai E, et al. Accuracy comparison of guided surgery for dental implants according to the tissue of support: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2017,28(5):602-612. DOI: 10.1111/clr.12841.
- [3] 满毅, 周楠, 杨醒眉. 动态实时导航在口腔种植领域中的临床应用及新进展 [J]. *口腔疾病防治*, 2020,28(6):341-348. DOI: 10.12016/j.issn.2096-1456.2020.06.001.
- [4] 王跃平, 樊圣祈, 吴秩群. 动态导航系统在口腔种植领域的发展和应用 [J]. *口腔疾病防治*, 2017,25(10):613-619. DOI: 10.12016/j.issn.2096-1456.2017.10.001.
- [5] Luebbbers HT, Messmer P, Obwegeser JA, et al. Comparison of different registration methods for surgical navigation in craniomaxillofacial surgery[J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2008,36(2):109-116. DOI: 10.1016/j.jcms.2007.09.002.
- [6] 葛严军, 刘晓强, 王勇. 动态导航系统在口腔种植中的临床应用及展望 [J]. *中国实用口腔科杂志*, 2020,13(8):449-455. DOI: 10.19538/j.kq.2020.08.001.
- [7] Yimarj P, Subbalekha K, Dhaneuan K, et al. Comparison of the accuracy of implant position for two-implants supported fixed dental prosthesis using static and dynamic computer-assisted implant surgery: A randomized controlled clinical trial[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2020,22(6):672-678. DOI: 10.1111/cid.12949.
- [8] Stefanelli LV, Graziani U, Pranno N, et al. Accuracy of Dynamic Navigation Surgery in the Placement of Pterygoid Implants[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2020,40(6):825-834. DOI: 10.11607/prd.4605.
- [9] Lopes A, de Araújo Nobre M, Santos D. The Workflow of a New Dynamic Navigation System for the Insertion of Dental Implants in the Rehabilitation of Edentulous Jaws: Report of Two Cases[J]. *J Clin Med*, 2020,9(2). DOI: 10.3390/jcm9020421.
- [10] Panchal N, Mahmood L, Retana A, et al. Dynamic navigation for dental implant surgery[J]. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2019,31(4):539-547. DOI: 10.1016/j.coms.2019.08.001.
- [11] Ramezanzade S, Keyhan SO, Tuminelli FJ, et al. Dynamic-assisted navigational system in zygomatic implant surgery: a qualitative and quantitative systematic Review of current clinical and cadaver studies[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2021,79(4):799-812. DOI: 10.1016/j.joms.2020.10.009.
- [12] Pellegrino G, Lizio G, Basile F, et al. Dynamic Navigation for zygomatic implants: a case report about a protocol with intraoral anchored reference tool and an up-To-date review of the available protocols[J]. *Methods Protoc*, 2020,3(4). DOI: 10.3390/mps3040075.
- [13] Block MS. Static and Dynamic Navigation for Dental Implant Placement[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2016,74(2):231-233. DOI: 10.1016/j.joms.2015.12.002.
- [14] Greenberg AM. Digital technologies for dental implant treatment planning and guided surgery[J]. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2015,27(2):319-340. DOI: 10.1016/j.coms.2015.01.010.
- [15] 刘梦佳, 周文娟. 计算机辅助引导种植手术的应用进展 [J]. *中国口腔种植学杂志*, 2020,25(1):35-40. DOI: 10.3969/j.issn.1007-3957.2020.01.010.
- [16] Block MS, Emery RW, Lank K, et al. Implant placement accuracy using dynamic navigation[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2017,32(1):92-99. DOI: 10.11607/jomi.5004.
- [17] Stefanelli LV, DeGroot BS, Lipton DI, et al. Accuracy of a dynamic dental implant navigation system in a private practice[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2019,34(1):205-213. DOI: 10.11607/jomi.6966.
- [18] Aydemir CA, Arısan V. Accuracy of dental implant placement via dynamic navigation or the freehand method: A split-mouth randomized controlled clinical trial[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2020,31(3):255-263. DOI: 10.1111/clr.13563.
- [19] Block MS, Emery RW, Cullum DR, et al. Implant placement is more accurate using dynamic navigation[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2017,75(7):1377-1386. DOI: 10.1016/j.joms.2017.02.026.
- [20] Raico Gallardo YN, da Silva-Olivio I, Mukai E, et al. Accuracy comparison of guided surgery for dental implants according to the tissue of support: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2017,28(5):602-612. DOI: 10.1111/clr.12841.
- [21] Moon SY, Lee KR, Kim SG, et al. Clinical problems of computer-guided implant surgery[J]. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*, 2016,38(1):15. DOI: 10.1186/s40902-016-0063-3.
- [22] Vinci R, Manacorda M, Abundo R, et al. Accuracy of edentulous computer-aided implant surgery as compared to virtual planning: a retrospective multicenter study[J]. *J Clin Med*, 2020,9(3). DOI: 10.3390/jcm9030774.
- [23] Lin CC, Wu CZ, Huang MS, et al. Fully digital workflow for planning static guided implant surgery: a prospective accuracy study[J]. *J Clin Med*, 2020,9(4). DOI: 10.3390/

- jcm9040980.
- [24] Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, et al. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2018,29 Suppl 16:416-435. DOI: 10.1111/clr.13346.
- [25] Bover-Ramos F, Viña-Almunia J, Cervera-Ballester J, et al. Accuracy of Implant Placement with Computer-Guided Surgery: a systematic review and meta-analysis comparing cadaver, clinical, and in vitro studies[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2018,33(1):101-115. DOI: 10.11607/jomi.5556.
- [26] Deeb GR, Tran DQ, Deeb JG. Computer-aided planning and placement in implant surgery[J]. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2020,28(2):53-58. DOI: 10.1016/j.cxom.2020.05.001.
- [27] Sun TM, Lee HE, Lan TH. Comparing accuracy of implant installation with a navigation system (NS), a laboratory guide (LG), NS with LG and freehand drilling[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020,17(6). DOI: 10.3390/ijerph17062107.
- [28] Kaewsiri D, Panmekiate S, Subbalekha K, et al. The accuracy of static vs. dynamic computer-assisted implant surgery in single tooth space: A randomized controlled trial[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2019,30(6):505-514. DOI: 10.1111/clr.13435.
- [29] Wu D, Zhou L, Yang J, et al. Accuracy of dynamic navigation compared to static surgical guide for dental implant placement[J]. *Int J Implant Dent*, 2020,6(1):78. DOI: 10.1186/s40729-020-00272-0.
- [30] Mediavilla Guzmán A, Riad Deglow E, Zubizarreta-Macho Á, et al. Accuracy of computer-aided dynamic navigation compared to computer-aided static navigation for dental implant placement: an in vitro study[J]. *J Clin Med*, 2019,8(12). DOI: 10.3390/jcm8122123.
- [31] Kang SH, Lee JW, Lim SH, et al. Verification of the usability of a navigation method in dental implant surgery: in vitro comparison with the stereolithographic surgical guide template method[J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2014,42(7):1530-1535. DOI: 10.1016/j.jcms.2014.04.025.
- [32] El Kholy K, Janner S, Schimmel M, et al. The influence of guided sleeve height, drilling distance, and drilling key length on the accuracy of static computer-assisted implant Surgery[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2019,21(1):101-107. DOI: 10.1111/cid.12705.
- [33] El Kholy K, Lazarin R, Janner S, et al. Influence of surgical guide support and implant site location on accuracy of static Computer-Assisted Implant Surgery[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2019,30(11):1067-1075. DOI: 10.1111/clr.13520.
- [34] 王庆福, 何正娣, 于海洋, 等. 套筒高度和种植体长度对静态导板精度影响的研究 [J]. *中华口腔医学杂志*, 2020, 55(11): 902-907. DOI: 10.3760/cma.j.cn112144-20200621-00357.
- [35] Jorba-García A, Figueiredo R, González-Barnadas A, et al. Accuracy and the role of experience in dynamic computer guided dental implant surgery: An in-vitro study[J]. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2019,24(1):e76-76e83. DOI: 10.4317/medoral.22785.
- [36] Pellegrino G, Bellini P, Cavallini P F, et al. Dynamic navigation in dental implantology: the influence of surgical experience on implant placement accuracy and operating time. an in vitro study[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(6):2153.

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊开始为每篇刊出文章标注中文 DOI 号

《中国口腔种植学杂志》从2021年第1期开始，为每篇刊出文章标注中文 DOI 号。

DOI是 Digital Object Identifier 的英文缩写，是国际通用的数字对象标识符。它被誉为“互联网上的条形码”，是互联网数字资源的身份证及唯一编码。同时 DOI系统是一套完整的国际服务体系，提供 DOI的注册、解析及增值服务。

DOI能够唯一性地标识一个单独的数字资源，并且可以保证在网络上永久链接。比如一个在线的电子文档，关于该电子文档的元数据存储在 DOI服务系统。在其元数据中包括一个与它的 DOI对应的 URL(Uniform Resource Locator)，通过 URL可以在网络上找到该电子文档。通过 DOI系统，用户点击 DOI即可链接到该电子文档的 URL(此过程称为 DOI解析)。URL发生变化时，只需要在 DOI系统中进行更新，就可以通过 DOI永久链接到这篇电子文档了。