

· 论著 · 临床研究 ·

计算机辅助动态导航技术在种植手术中的临床精度影响因素分析

陈泉林 许胜 周文娟 陈琳 柳忠豪

滨州医学院附属烟台市口腔医院 264000

通讯作者：柳忠豪，Email: dentlzh@163.com, 电话：0535-6223128



陈泉林
医师、口腔医学硕士，研究方向：牙列缺损及牙列缺失的种植修复，数字化种植修复及美学修复，天然牙常规固定及活动修复



柳忠豪
主任医师、教授、博士生导师，研究方向：各类牙缺失的综合种植治疗，数字化种植，微创种植，美学种植，即刻种植，各种骨缺损的复杂骨增量种植，全口牙列缺失种植修复等

【摘要】目的 本研究利用计算机辅助动态导航技术引导进行种植外科手术，探索动态导航技术在种植手术中精度的影响因素，为实现精准、微创、高效的种植外科手术提供理论依据。**方法** 选取2018年6月至2020年12月期间在烟台市口腔医院接受计算机辅助动态导航种植外科手术的病例51例，共66颗种植体。在动态导航引导下完成种植体植入，术后拍摄CBCT获取种植体三维位置，测量每颗种植体的颈部距离误差、根方距离误差及轴向角度误差。所得数据应用SPSS 22.0软件进行统计学分析，各组间测量值对比采用独立样本t检验，检验水准 $\alpha=0.05$, $P<0.05$ 被认为有显著性差异。**结果** 上下颌精度对比分析，两组颈部距离误差分别为 (0.59 ± 0.16) mm和 (0.63 ± 0.19) mm，根方距离误差分别为 (0.75 ± 0.14) mm和 (0.70 ± 0.18) mm，轴向角度误差分别为 (3.46 ± 1.80) °和 (3.07 ± 1.12) °，两组数据均无统计学意义($P>0.05$)。前牙区与后牙区精度对比分析，两组颈部距离误差分别为 (0.60 ± 0.21) mm和 (0.60 ± 0.16) mm，根方距离误差分别为 (0.72 ± 0.16) mm和 (0.72 ± 0.15) mm，轴向角度误差分别为 (3.28 ± 1.85) °和 (3.28 ± 1.31) °，两组数据之间均无统计学意义($P>0.05$)。翻瓣和不翻瓣两组结果显示，颈部距离误差分别为 (0.68 ± 0.17) mm和 (0.55 ± 0.15) mm，根方距离误差分别为 (0.81 ± 0.15) mm和 (0.67 ± 0.12) mm，轴向角度误差分别为 (3.29 ± 1.65) °和 (3.35 ± 1.58) °，两组数据之间均无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 不同颌位、不同牙位及是否翻瓣对计算机辅助动态导航手术精度无明显影响。

【关键词】 口腔种植；动态导航系统；计算机辅助种植手术；精度

The study of measuring the accuracy of computer assisted real-time navigation technology in dental implant surgery

Chen Quanlin, Xu Sheng, Zhou Wenjuan, Chen Lin, Liu Zhonghao

Yantai Stomatological Hospital Affiliated to Binzhou Medical College, Yantai 264001, China

Corresponding author: Liu Zhonghao, Email: dentlzh@163.com, Tel:0086-535-6223128

【Abstract】Objective In this prospective study, the accuracy of computer assisted real-time navigation technology in dental implant surgery was calculated, which provided theoretical basis for the further improvement of the accuracy of minimally invasive implant surgery. **Methods** According to the inclusion criteria, we enrolled a sample composed of patients who had computer assisted real-time navigation implants placed between June 2018 through December 2020 in Yantai Stomatological Hospital. The cone beam scan was taken and the intraoral scan was performed. The implants were placed by aid of the computer assisted real-time navigation software and the post-surgical CBCT was taken. The

DOI: 10.12337/zgkqzzxzz.2021.04.002

收稿日期 2021-01-19 本文编辑 石淑芹, 李翠英

引用本文: 陈泉林, 许胜, 周文娟, 等. 计算机辅助动态导航技术在种植手术中的临床精度影响因素分析 [J]. 中国口腔种植学杂志, 2021, 26(2):85-90. DOI: 10.12337/zgkqzzxzz.2021.04.002.

errors between the designed and the actually placed implants were measured to evaluate the accuracy and effectiveness. The pre-op virtual implant and the post-op actual implant were displayed in the same three-dimensional coordinate system. The errors of shoulder distance, root distance and angle of each implant were measured. The data was analysed by SPSS 22.0 software. The data in each group were expressed as mean \pm standard error ($\bar{x} \pm s$). Independent sample t test was used to compare the measurements among the groups. The test level was $\alpha=0.05$, $P<0.05$ was considered to have significant difference. **Results** Comparing the accuracy in maxillary and mandibular, the shoulder distance error was (0.59 ± 0.16) mm and (0.63 ± 0.19) mm, the root distance error was (0.75 ± 0.14) mm and (0.70 ± 0.18) mm, and the angle error was $(3.46 \pm 1.80)^\circ$ and $(3.07 \pm 1.12)^\circ$ respectively. Comparing the accuracy in anterior and posterior regions, the shoulder distance error was (0.60 ± 0.21) mm and (0.60 ± 0.16) mm, the root distance error was (0.72 ± 0.16) mm and (0.72 ± 0.15) mm, and the angle error was $(3.28 \pm 1.85)^\circ$ and $(3.28 \pm 1.31)^\circ$ respectively. Comparing the accuracy in flap and flapless, the shoulder distance error was (0.68 ± 0.17) mm and (0.55 ± 0.15) mm, the root distance error was (0.81 ± 0.15) mm and (0.67 ± 0.12) mm, and the angle error was $(3.29 \pm 1.65)^\circ$ and $(3.35 \pm 1.58)^\circ$ respectively. **Conclusion** The accuracy of computer-aided dynamic navigation system have no obvious deviation in shoulder distance, root distance and angle..

【Key words】 Dental implant; Real-time navigation; Computer assisted surgery; Accuracy

在口腔种植外科手术中，计算机辅助动态导航技术借助 CBCT 影像及术前规划软件，可在种植术前实现头颅三维影像重建，对种植外科手术的整个流程进行高效精准的术前规划。通过配准技术和空间定位系统，使术中患者的临床坐标与术前头颅三维影像重建坐标一一对应，在术中实时跟踪手术器械位置，定位临近解剖结构，从而使医师及时调整手术器械三维位置，按照术前规划的手术路径进行精准安全的手术操作。

资料和方法

1. 一般资料：选取 2018 年 6 月至 2020 年 12 月期间在烟台市口腔医院种植科接受计算机辅助动态导航种植外科手术的牙列缺损患者，进行回顾性研究。共纳入患者 51 例（男 24 名，女 27 名），平均年龄 42.3 岁，共植入 66 颗种植体。术前充分告知患者可行治疗方案、计算机辅助动态导航系统基本原理、优越性及局限性、种植手术费用及相关风险，并签署知情同意书。

(1) 纳入标准^[1]：①18 岁以上牙列缺损患者，欲行种植固定修复；②同颌对侧余留牙数 ≥ 3 颗，且余留牙状况良好；③术前进行完善的牙周治疗；④无需进行骨增量手术或可在种植

体植入同期行骨增量手术。

(2) 排除标准^[1]：①患者存在种植手术局部或全身禁忌证；②患者开口度过小，无法在口内安放 U 型管及参考板固定装置；③患者拒绝利用计算机辅助动态导航系统对种植外科手术进行引导。

2. 研究方法：

(1) 术前风险评估：所有病例术前均用简单、复杂和高度复杂的分类（Simple Advanced Complex, SAC）进行种植外科风险评估，前牙美学区病例进行 SAC 种植外科风险评估和 SAC 种植修复美学风险评估。

(2) 制作配准装置：根据患者牙列缺损位点和缺牙数目选择合适型号的 U 型管。利用硅橡胶对配准装置进行固位，确认就位良好，进行术前 CBCT 拍摄。

(3) 拍摄 CBCT：所有病例均使用同一台 CBCT 机（NewTom Vgi）在同一参数下（电压 110 KV，管电流 3.6 uA，焦点 0.3 cm，体素 300 u）、由同一位医师进行 CBCT 扫描。

(4) 数字化口内扫描：所有病例术前均使用同一台口内扫描仪（3Shape TRIOS）、由同一位医师进行口内数字化印模的制取。

(5) 手术方案设计：所有病例均进行术前虚拟修复基台和修复体的设计、种植体品牌型号

的选择、种植体植入数目、植入位点、三维方向的规划、周围重要解剖结构的规避以及种植外科手术的引导（图1）。

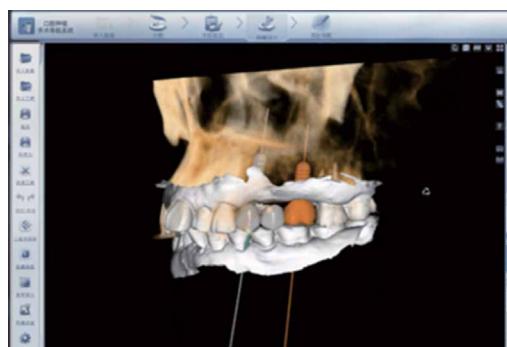


图1 结合数字化口内扫描调整修复体和种植体规划

(6) 患者术前准备：患者于术前30分钟常规口服布洛芬缓释胶囊；于术前10分钟应用0.1%西吡氯氨含漱液漱口。

(7) 手术器械标定校准及配准：患者行常规口外、口内消毒及铺巾，进行手术器械的标定校准及配准（图2）。

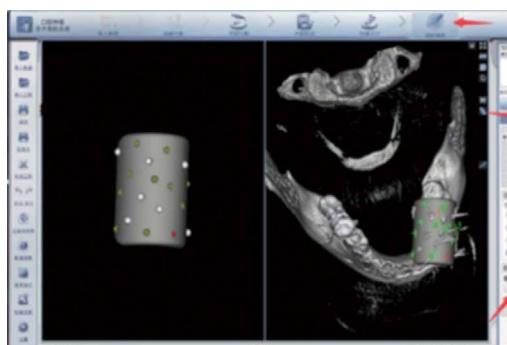


图2 手术器械标定校准及配准

(8) 种植外科手术过程：在计算机辅助动态导航系统指导下，手术医生通过观察显示屏上的动、静态视图，从植入位点、植入方向和剩余距离等方面对手术入路以及术区的参数进行选择性地实时观察，以实现种植体的精准植入（图3）。



图3 计算机辅助动态导航手术

(9) 术后评估：所有病例均进行术后即刻CBCT扫描，获取上下颌骨影像及术中植入种植体的数据信息，进行术前术后CBCT颌骨水平的三维配准。

3. 观察指标及统计分析：根据牙列缺损位点所在颌位不同，分为上颌组和下颌组；根据牙位不同，分为前牙区组和后牙区组；根据手术方式不同，分为翻瓣组和不翻瓣组。对种植体颈部距离a、种植体根方距离b、种植体轴向角度误差 α ^[2-3]进行测量（图4），各测量值组间对比采用独立样本t检验，应用SPSS 22.0软件进行统计学分析。

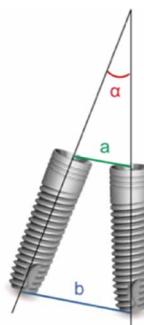


图4 种植体颈部距离(a)，根方距离(b)以及轴向角度(α)

结 果

1. 不同颌位对计算机辅助动态导航手术精度的影响：

上下颌计算机辅助动态导航种植手术精度对比分析可见，两组数据在颈部距离误差、根方距离误差、轴向角度误差之间均无统计学意义($P>0.05$)（表1）。

2. 不同牙位对计算机辅助动态导航手术精度的影响：

前牙区与后牙区计算机辅助动态导航种植手术精度对比分析可见，两组数据在颈部距离误差、根方距离误差、轴向角度误差之间均无统计学意义($P>0.05$)（表2）。

3. 是否翻瓣对计算机辅助动态导航手术精度的影响：

计算机辅助动态导航手术中翻瓣和不翻瓣两组结果显示，两组数据在颈部距离误差、根方距离误差、轴向角度误差之间均无统计学意义($P>0.05$)（表3）。

表 1 不同颌位种植体位置误差的对比

植入种植体数目 n	颈部距离误差 (a) /mm	根部距离误差 (b) /mm	轴向角度误差 (α) /°
上颌	28	0.59±0.16	3.46±1.80
下颌	18	0.63±0.19	3.07±1.12
t值		0.56	0.77
P值		0.58	0.56

表 2 不同牙位种植体位置误差的对比

植入种植体数目 n	颈部距离误差 (a) /mm	根部距离误差 (b) /mm	轴向角度误差 (α) /°
前牙区	12	0.60±0.21	3.28±1.85
后牙区	34	0.60±0.16	3.28±1.31
t值		0.18	0.18
P值		0.99	0.99

表 3 翻瓣组与不翻瓣组手术种植体位置误差比较

植入种植体数目 n	颈部距离误差 (a) /mm	根部距离误差 (b) /mm	轴向角度误差 (α) /°
翻瓣组	21	0.68±0.17	3.29±1.65
不翻瓣组	25	0.56±0.19	3.70±1.35
t值		1.88	1.33
P值		0.70	0.19

讨 论

大量研究表明, 各类计算机辅助动态导航系统在种植手术中具有类似的精确性。Emery RW 等的^[4]模型研究表明, 与术前虚拟设计种植体对比, 计算机辅助实时导航种植手术在牙列缺损病例中应用时, 种植体轴向角度误差为 (0.89±0.35) °, 种植体根方距离误差为 (0.38±0.21) mm; 在牙列缺失病例中应用时, 种植体轴向角度误差为 (1.26±0.66) °, 种植体根方距离误差为 (0.56±0.17) mm。Elian N 等^[5]的临床研究报告显示, 计算机辅助实时导航种植手术的种植体颈部距离误差为 (0.89±0.53) mm, 根方距离误差为 (0.96±0.50) mm, 轴向角度误差为 (3.78±2.76) °。可见, 计算机辅助动态导航种植手术精度与计算机辅助静态导板种植手术精度基本一致, 均优于简易导板种植手术及传统自由手种植手术^[2-6]。

上下颌骨之间的骨密度分布不同。上颌骨中骨质密度多为 III 类骨和 IV 类骨, 而下颌骨中

骨质密度多为 II 类骨, 在种植窝预备和种植体植入的过程中, 扩孔钻和种植体更容易沿阻力较小的骨质发生位移, 从而导致种植体植入精度出现误差。目前国内外关于计算机辅助静态导板上下颌手术精度的对比研究较多见, Cristache^[7]认为, 应用计算机辅助静态导板引导种植外科手术时, 下颌骨在颈部距离误差、根部距离误差以及轴向角度误差三方面的误差都比上颌骨小。Ozan^[8]通过临床研究指出, 数字化外科导板应用于上下颌时的轴向角度偏离值分别为 (4.58±2.40) ° 和 (3.32±1.90) °, 下颌的轴向角度偏离值小于上颌。本研究中对计算机辅助实时导航种植上下颌手术精度对比分析, 两组数据在颈部距离误差、根方距离误差、轴向角度误差之间均无统计学意义 ($P>0.05$)。分析其原因, 在计算机辅助动态导航种植手术过程中, 可以通过观察计算机屏幕中的种植体植入动、静态视图, 从各个方位实时观察手术入路以及手术区域的各种参数, 遵照软件指示实时调整植入的位点、角度和深度, 以确保种植体植入结果符合术前设计方案, 避免因上下颌骨骨密度分布不同导致的手术精度误差。

在传统自由手种植外科手术中，由于手术视野受限，导致后牙区与前牙区种植体的植入成功率和精确度存在明显差异。在计算机辅助静态导板手术中，牙列缺损位点位于后牙区时，由于外科导板在垂直向占用一定的空间，种植窝预备和种植体植入过程中有可能发生轴向角度的偏斜，从而影响种植体植入精确度。Di Giacomo 等^[9]和 Vasak 等^[10]发现，相比后牙区，前牙区种植体植入的轴向角度误差值较低。而本研究中前牙区与后牙区手术精度对比分析，两组数据在颈部距离误差、根方距离误差、轴向角度误差之间均无统计学意义 ($P>0.05$)。分析其原因，计算机辅助动态导航种植手术通过观察计算机屏幕，从颈部距离、根方距离、轴向角度等各个方位实时观察手术入路以及手术区域状况，及时对种植窝预备路径和种植体植入三维方向进行调整。对手术医生有限的视觉范围进行延伸，使种植外科手术的适应证更加广泛。

传统的种植外科手术需要翻开软组织全厚瓣，充分暴露术区，从而在直视下对剩余牙槽嵴骨量进行判断，确保正确的三维植入位点，但手术创伤较大，患者不易接受。岳嵌等^[11]研究发现，不翻瓣种植手术可以缩短种植外科的手术时间；可以减少翻瓣区的骨质吸收，对牙龈解剖外形进行较为完善的保存，且修复后长期效果更稳定，尤其是前牙美学区的种植修复效果较为理想。Fortin^[12]等人通过对两种手术方式术后患者疼痛感受进行调查，发现不翻瓣手术患者普遍认为痛苦较小。本研究中，不翻瓣种植组患者的种植时间明显少于翻瓣种植组患者，并且手术的反应较小，患者满意度更高，这和以往研究报道结果一致。不翻瓣种植手术应用在颌骨条件较好的牙列缺损位点时，能获得比较满意的种植体植入精度，而对于颌骨骨量不足或者骨形态不良的牙列缺损位点而言，不翻瓣种植技术植入的种植体精度欠佳，甚至可能导致并发症。此外，由于术中无法暴露骨面，术者无法在直观状态下进行种植手术，可能导致骨壁被破坏，增加手术的风险。Fortin^[12]等人提及不翻瓣种植技术的并发症，种植体表面在植入过程中接触到有创口的牙龈，牙龈上皮细胞可能会随种植体的旋入污染种植体表面，影响种植体的稳定性，甚至造成种植体失败。本研究中翻瓣和不翻瓣两组结果显示，两组数据在颈部

距离误差、根方距离误差、轴向角度误差之间均无统计学意义 ($P>0.05$)。分析其原因，对于计算机辅助动态导航种植手术在种植窝预备和种植体植入过程中，可以通过观察计算机屏幕中的动、静态视图，实时观察种植窝预备钻针的颈部和根方位点及轴向角度，根据软件指示实时调整种植体植入的位点、角度和深度，以确保种植窝预备和种植体植入的精度，避免不翻瓣手术时因软组织阻力导致的手术精度误差。

综上可见，不同颌位、不同牙位及是否翻瓣对计算机辅助动态导航系统手术精度均无明显影响。现代口腔医学正朝着数字化和微创化发展，种植外科手术的术前设计可视化、术中操作精确化、术中风险可控化已成为其发展趋势。现阶段，计算机辅助动态导航系统已经展示出良好的手术精度和易用性。

利益冲突 本文作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Pyo SW, Lim YJ, Koo KT, et al. methods used to assess the 3D Accuracy of dental implant positions in computer-guided implant placement: a review[J]. J Clin Med, 2019,8(1).DOI: 10.3390/jcm8010054.
- [2] Kim SG, Lee WJ, Lee SS, et al. An advanced navigational surgery system for dental implants completed in a single visit: an in vitro study[J]. J Craniomaxillofac Surg, 2015,43(1):117-125. DOI: 10.1016/j.jcms.2014.10.022.
- [3] Edelmann AR, Hosseini B, Byrd WC, et al. Exploring effectiveness of computer-aided planning in implant positioning for a single immediate implant placement[J]. J Oral Implantol, 2016,42(3):233-239. DOI: 10.1563/aaid-joi-D-15-00056.
- [4] Emery RW, Merritt SA, Lank K, et al. Accuracy of dynamic navigation for dental implant placement-model-based evaluation[J]. J Oral Implantol, 2016,42(5):399-405. DOI: 10.1563/aaid-joi-D-16-00025.
- [5] Elian N, Jalbout ZN, Classen AJ, et al. Precision of flapless implant placement using real-time surgical navigation: a case series[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2008,23(6): 1123-1127. DOI: 10.1348/014466508x334745.
- [6] Michael S Block, Robert W Emery, Kathryn Lank,,et al.Implant placement accuracy using dynamic navigation[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2017;32(1):92-99. DOI: 10.11607/jomi.5004.
- [7] Cristache CM, Gurbanescu S. Accuracy Evaluation of a stereolithographic surgical template for dental implant insertion using 3D superimposition protocol[J]. Int J Dent,

- 2017,2017:4292081. DOI: 10.1155/2017/4292081.
- [8] Ozan O, Turkyilmaz I, Ersoy AE, et al. Clinical accuracy of 3 different types of computed tomography-derived stereolithographic surgical guides in implant placement[J]. J Oral Maxillofac Surg, 2009,67(2):394-401. DOI: 10.1016/j.joms.2008.09.033.
- [9] Di Giacomo GA, Cury PR, de Araujo NS, et al. Clinical application of stereolithographic surgical guides for implant placement: preliminary results[J]. J Periodontol, 2005,76(4):503-507. DOI: 10.1902/jop.2005.76.4.503.
- [10] Vasak C, Watzak G, Gahleitner A, et al. Computed tomography-based evaluation of template (NobelGuideTM)-guided implant positions: a prospective radiological study[J]. Clin Oral Implants Res, 2011,22(10):1157-1163. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2010.02070.x.
- [11] 岳嵌,胡秀莲,林野,等.上颌前牙翻瓣与不翻瓣即刻种植修复临床效果比较研究[J].中国实用口腔科杂志,2015,8(7):410-414. DOI: 10.7504/kq.2015.07.006.
- [12] Fortin T, Bosson JL, Isidori M, et al. Effect of flapless surgery on pain experienced in implant placement using an image-guided system[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2006,21(2):298-304.



· 名词释义 ·

拔牙位点保存

bá yá wèi diǎn bǎo cún

extraction site preservation

在拔牙窝内即刻植入骨增量材料、创口表面覆盖胶原膜或移植的黏膜的外科程序，以期达到减少牙槽窝愈合过程中的牙槽窝骨壁吸收和软组织塌陷的目的。

拔牙窝移植植物

bá yá wō yí zhí wù

extraction socket graft

泛指植入拔牙窝的任何材料，例如自体骨、骨代用品、胶原、可吸收性胶原膜和结缔组织等

白色美学

bái sè měi xué

white esthetic

是指牙及种植修复体的冠部形态和色泽与周围牙列协调一致，通常用视觉量表评价修复体的美学效果。参见：种植修复美学指数、白色美学评分。

白色美学评分

bái sè měi xué píng fēn

white esthetic score(WES)

贝尔瑟 (Belser) 等于 2009 年提出的美学区单颗牙缺失种植修复体的美学评价指数，包括修复体形状、尺寸、颜色、表面纹理和透明度 5 项指标，每项评分为“2-1-0”，最高分为 10 分。