

一种通用型牙种植导板在牙模上模拟后牙区种植的精度评价

王瑞斌 胥铭章 王兰 郑紫阳 邓云艺 曾茂云 袁玲玲 彭培钊 刘奇奇 余科
西南医科大学附属口腔医院种植科, 泸州 646000

[摘要] **目的** 比较自主研发的通用型牙种植导板、3D打印数字化导板和自由手在牙模后牙区模拟种植的精度。**方法** 选择10位初级种植医生分别以通用型自研导板、数字化导板和自由手3种方式在下颌模型(35、36、37及46牙缺失)的35、37和46牙位植入3枚种植体,操作2次取平均值。利用锥形束CT评价种植体的实际位置与术前规划位置之间的顶端距离差、根尖距离差、深度差及角度差。**结果** 自研导板组3个种植位点的顶端距离差、根尖距离差和其余两组无差异($P>0.05$),深度差小于数字化导板组($P<0.05$),角度差小于自由手组($P<0.05$)。自研导板组37位点的所有偏差均和35位点无差异($P>0.05$),而数字化导板组37位点的深度差和角度差大于35位点($P<0.05$)。**结论** 自研的通用型牙种植导板的精度能满足临床后牙区种植的要求。

[关键词] 种植导板; 3D打印; 偏差; 通用型导板; 数字化导板

[中图分类号] R783.6 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2024.2023379



本文链接 开放科学标识码

Accuracy evaluation of a universal dental implant guide for simulating implantation in posterior area on dental molds

Wang Ruibin, Xu Mingzhang, Wang Lan, Zheng Ziyang, Deng Yunyi, Zeng Maoyun, Yuan Lingling, Peng Peizhao, Liu Qiqi, Yu Ke

Dept. of Oral Implantology, The Affiliated Stomatological Hospital, Southwest Medical University, Luzhou 646000, China

Supported by: Sichuan Provincial Science and Technology Programme (2022YFS0634)

Correspondence: Yu Ke, E-mail: 65968999@qq.com

[Abstract] **Objective** This study aims to compare the accuracy of self-developed universal implant guide (SDG), 3D printed digital guide (DG), and free hand (FH) simulated implantation in the posterior tooth area of dental models. **Methods** Ten junior dentists were selected to place three implants in the 35, 37, and 46 tooth sites of the mandibular models (35, 36, 37, and 46 missing teeth) by using SDG, DG, and FH, and the process was repeated again to take the average value. Cone beam computed tomography (CBCT) was used to evaluate the global coronal deviation, global apical deviation, depth deviation, and angular deviation between the actual position and preoperative planned position. **Results** The coronal deviation and apical deviation of the three implant sites in the SDG group were not significantly different from those in the two other groups ($P>0.05$). The depth deviation and angular deviation in the SDG group were smaller than those in the DG group ($P<0.05$) and FH group ($P<0.05$), respectively. All deviations at site 37 in the SDG group were not different from those at site 35 ($P>0.05$), while the depth and angular deviation at site 37 in the DG group

were higher than those at site 35 ($P<0.05$). **Conclusion**

The precision of the self-developed universal dental implant guide can meet the requirements of clinical posterior implantation.

[Key words] implant guide; 3D printing; devia-

[收稿日期] 2023-11-10; **[修回日期]** 2024-03-18

[基金项目] 四川省科技计划项目(2022YFS0634)

[作者简介] 王瑞斌, 医师, 硕士, E-mail: wang738656228@fox-mail.com

[通信作者] 余科, 副教授, 博士, E-mail: 65968999@qq.com

tion; universal guide; digital guide

随着材料和技术的进步,种植牙已经成为牙列缺损或缺失的主要修复方法。种植体三维位置的准确性是保障种植义齿获得良好美学效果和长久稳定性的重要前提,如何实现种植体的精准植入越来越受到口腔医生的关注^[1]。目前,引导种植体准确植入的方式主要有2种,即动态导航技术与静态导板技术^[2]。动态导航是在专门的仪器指引下,医生利用追踪系统实时定位来引导种植的一种动态技术,其仪器设备价格昂贵,操作过程繁琐,临床推广仍需较长时间。静态导板技术主要有两种方式,即传统的基于石膏模型的打孔、压膜技术和基于计算机辅助设计(computer aided design, CAD)/计算机辅助制造(computer aided manufacturing, CAM)的数字化快速成型导板技术。传统技术虽然制作简便,但缺乏患者骨量的数字化分析,准确率不高,已逐渐被淘汰^[3]。数字化导板随着计算机成像技术的不断进步,极大地提升了种植手术的精确度,并能在术前以修复为导向指导手术的规划^[4],现已经成为目前临床种植的常用导板技术。然而数字化导板需要专门的数字化设备和3D打印机,存在制作成本高、耗时长、不利于医生和技师间的沟通、术中无法调改等诸多问题^[5-6]。

为了克服数字化导板的以上缺点,笔者研制了一种可组装和重复使用的种植手术导板,其最大特点在于医生可根据患者的口腔情况和锥形束CT(cone beam CT, CBCT)的数据预先设计种植体的三维位置,再选择对应的导板部件进行组装。为评估该自研导板的精准确度,本研究招募了10位种植初期医生分别采用自研导板、数字化导板和自由手在标准的种植牙模型上进行种植,然后比较效果,为该自研导板的设计改进和临床应用提供依据。

1 材料和方法

1.1 设备和材料

1.1.1 一般材料

直径4.1 mm、长度10 mm的SLActive骨水平种植体、Straumann手术外科基础工具箱、导板手术器械盒(Straumann公司,瑞士),Surgic Pro OPT种植机(NSK公司,日本),Ez3D Plus型CBCT(iyou公司,韩国),牙种植标准树脂模型(下

颌种植模型2029,安阳市瓦岗寨牙科材料公司),数字化手术导板(成都登特牙科技术开发有限公司)。

1.1.2 自研导板各部件的命名及使用说明

图1A为固位夹,用于夹住缺牙位置近中基牙,其顶端有开孔;图1B、C为限位器,其长杆垂直于固位夹长轴,可调节近远中向的位置,近中长杆可穿过固位夹顶端开孔并通过树脂固定,远中长杆可通过树脂固定支撑在远中基牙或牙槽嵴上,可设计为三孔、两孔或单孔限位器,其中两孔和三孔限位器的孔间距可优选3、4、5 mm 3种情况制作多个限位器以备临床选用,具体数据可在临床实用时进一步优化;图1D为种植套筒,其长杆可穿过限位器凹槽获得固位并可调节颊舌向位置,套筒可设计多种倾斜角度以备临床选用,其中近远中向均为垂直,颊舌向可优选倾斜0°、5°、10°、15° 4种型号;图1E为放射滑块,其长杆与限位器长杆相同,可穿过固位夹顶端开孔使滑块正方体与基牙远中面接触,用于放射数据的矫正和种植体三维位置的设计。图1F为自研导板组装完成后的整体观。固位夹由树脂3D打印(Dentlab-one,成都先临三维科技股份有限公司),限位器和种植套筒由不锈钢3D打印(316L不锈钢,成都恒和鑫义齿加工公司)。

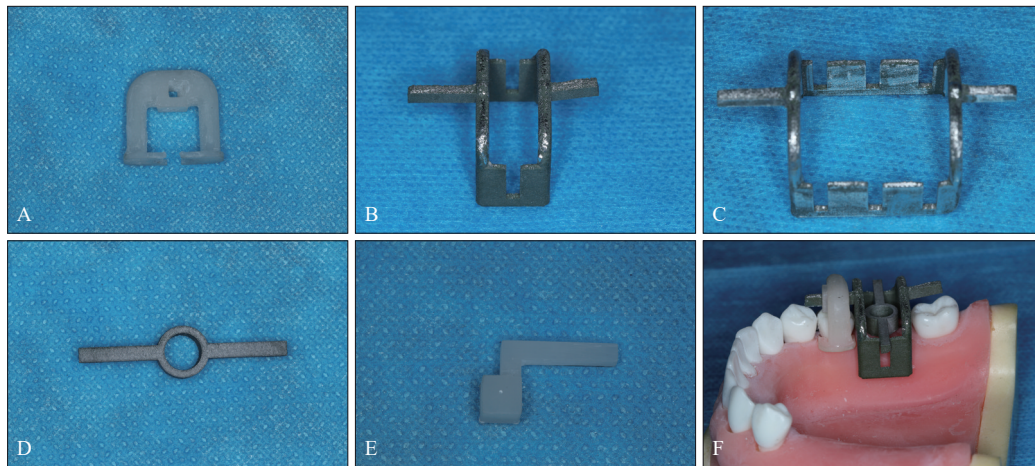
1.2 方法

1.2.1 标准种植牙模的术前CBCT扫描与种植体植入位置的设计

准备60个下颌牙种植标准树脂模型,缺失牙位为35、36、37、46牙。随机选择其中一个牙模将固位夹夹紧在缺牙区近中的天然牙34牙和45牙上,将放射滑块穿过固位夹顶端开孔,使滑块正方体与34牙和45牙的远中面接触,滑块长杆平行于咬合平面,固定滑块(图2A)。然后行牙模的CBCT扫描(图2B),利用放射滑块的CBCT测量数据和放射滑块的实际数值算出CBCT的缩放比例,经过误差校准后,利用SolidWorks软件进行种植体植入位置的设计。为了模拟临床单颗后牙非游离缺失和连续多颗后牙游离缺失这两种常见缺牙类型,选择在46、35、37牙位植入种植体。在CBCT图像的种植体数据库中选择Straumann骨水平种植体(直径4.1 mm,长度10.0 mm),根据临床中种植体植入要求,结合颊舌侧、近远中骨量及咬合高度,在46、35、37牙位设计3枚种植

体的植入位置(图2C~F)。测量出35牙位种植体中心距离34牙远中平面为4.25 mm,37牙位距离34牙远中平面为19.24 mm(图2C),46牙位距离45牙远中平面为5.66 mm(图2E)。测量种植体长轴投射到滑块远中平面上分别距离颊舌平面的长度,并计算比值,作为调整种植套筒长杆颊舌向

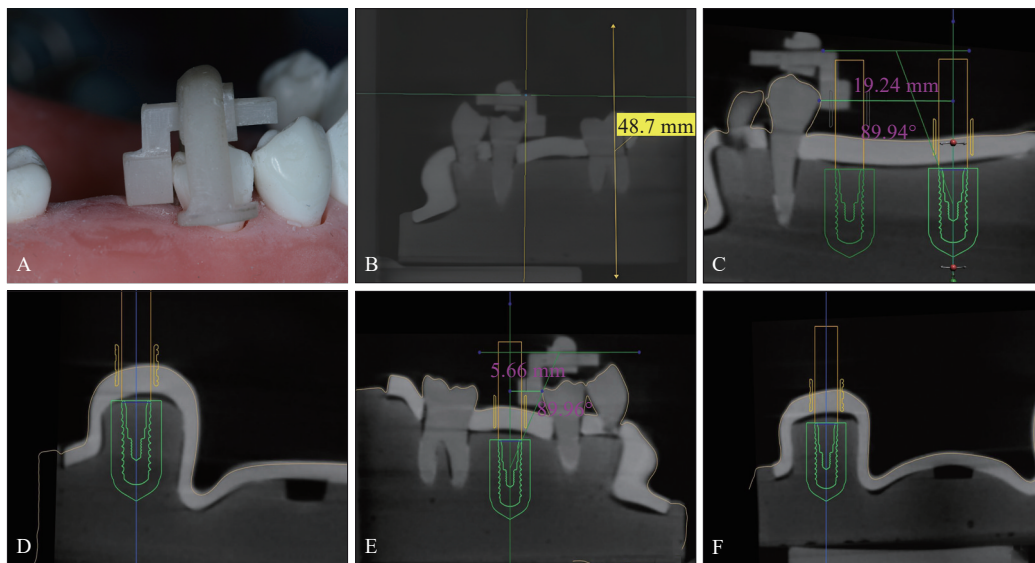
位置的依据(图2D~F)。为了方便本实验精度的测量,3枚种植体长轴均与放射滑块正方体的近远中面的中线和颊舌面的中线平行,方便模拟实验时选择0°套筒。数字化导板组、自研导板组和自由手组均按该位点方案进行种植。



A: 固定夹; B: 单孔限位器; C: 三孔限位器; D: 种植套筒; E: 放射滑块; F: 组装后导板。

图1 自主研制的通用可组装手术导板

Fig 1 Self-developed universal prefabricated surgical guide



A: 组装后的放射导板; B: 放射导板CBCT图像; C: 35、37牙位种植体近远中植入位置; D: 35、37牙位种植体颊舌向植入位置; E: 46牙位种植体近远中植入位置; F: 46牙位种植体颊舌向植入位置。

图2 放射导板及种植体设计

Fig 2 Radiographic guides and implant design

临床应用时先根据实际情况个性化设计种植体的位置,再按以下步骤进行自研导板的选择和组装:1)测量种植体中心距离近中邻牙远中平面的长度,作为调整限位器长杆近远中向位置的依据;2)测量种植体长轴投射到滑块远中平面上分别距离颊舌平面的长度,并计算比值,作为调整

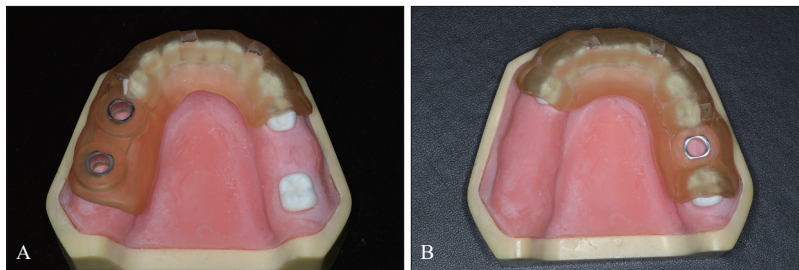
种植套筒长杆颊舌向位置的依据;3)测量种植体长轴投射到滑块远中平面上与其中线所成的角度,作为选择种植套筒颊舌向倾斜度数的依据;由于种植套筒预制了倾斜0°、5°、10°、15°4种型号,实际选择套筒与测量值间的最大误差为2.5°,满足临床允许的范围;4)测量种植体长轴投射到滑块

颊舌平面上与其中线所成的角度，作为选择种植套筒近远中向倾斜度数的依据；由于临床上种植体近远中向通常要求垂直，因此预制套筒近远中向倾斜为0°，特殊倾斜植入时可以定制套筒。

1.2.2 数字化导板组种植体植入

首先导板制作技师根据设计好种植体植入位

点的CBCT数据和标准模型，制作数字化导板（图3）。选择10名口腔种植年轻医生，将数字化导板就位于标准模型，按照导板预设的操作流程，使用Straumann导板工具箱在模型的35、37和46位点植入3枚种植体，重复操作1次。术后对20副标准模型进行CBCT扫描分析。



A: 35、37牙位数字化导板；B: 46牙位数字化导板。

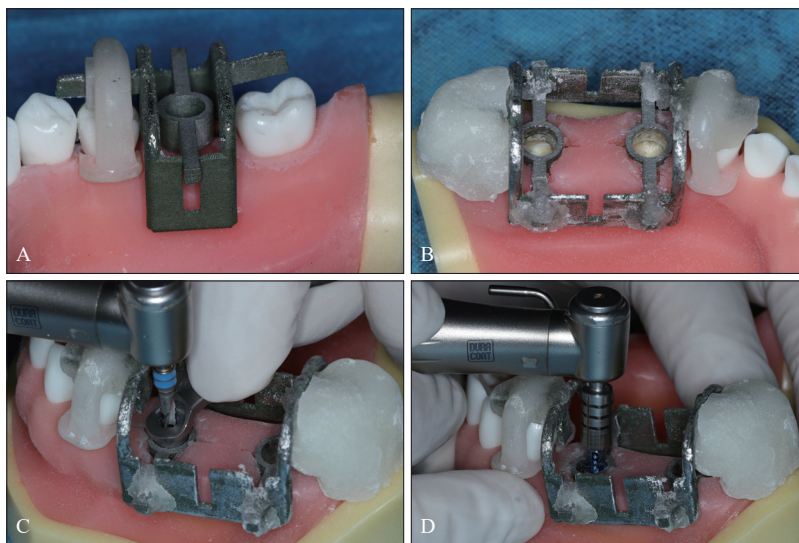
图3 常规数字化导板

Fig 3 Conventional digital guides

1.2.3 自研导板组种植体植入

对上述10名种植初级医生进行自研导板的组装培训，所有实际数据均使用CBCT测量数据通过放射导板计算的缩放比例进行换算。先确定限位器近远中向的位置，移动限位器长杆使限位器凹槽中心点距离近中基牙远中面的长度相当于CBCT上种植体中心点距离近中基牙远中面的数据，实际操作使用游标卡尺测量，位置确定后在固位夹的开孔里用自凝塑料将限位器长杆固定。再确定种植套筒颊舌向的位置，移动种植套筒长杆使套

筒中心点在颊舌向距离限位器长杆的长度相当于CBCT上种植体中心点在颊舌向距离放射滑块长杆的数据。切开翻起种植区域的塑胶牙龈，将套筒下降与骨面接触，再次测量并矫正套筒的三维位置，用自凝树脂固定套筒的长杆在限位器的凹槽内（图4）。导板组装完成后，将Straumann导板工具箱中的手持套环放入套筒并通过左手支点保持稳定，预备种植窝洞，最后植入3枚种植体。然后每位医生重新组装导板，重复操作1次。术后对20副模型进行CBCT扫描分析。



A: 组装后的自研导板；B: 自凝塑料固定自研导板的部件；C: 手持套环插入套筒引导洞形预备；D: 种植体植入。

图4 自主研发导板引导种植体植入过程

Fig 4 Self-developed guide for guiding the placement of implant

1.2.4 自由手种植体植入

医生首先按照CBCT上设计的种植体的位置，

测定种植体中心点距离近中基牙近远中向和颊舌向的数据，然后在模型上通过游标卡尺确定种植

体植入位点,按照 Straumann 种植体植入的标准流程,自由手完成3枚种植体植入,重复操作1次。术后对20副模型进行CBCT扫描分析。

1.2.5 术后CBCT测量与分析

将3组共60个模型的种植术后CBCT数据(图

5)与术前设计的种植体位置数据进行配准,根据 Tahmaseb 提出种植体偏差测量方法^[7],在软件中测量每枚种植体顶端距离偏差、根尖距离偏差、深度偏差和角度偏差(图6)。

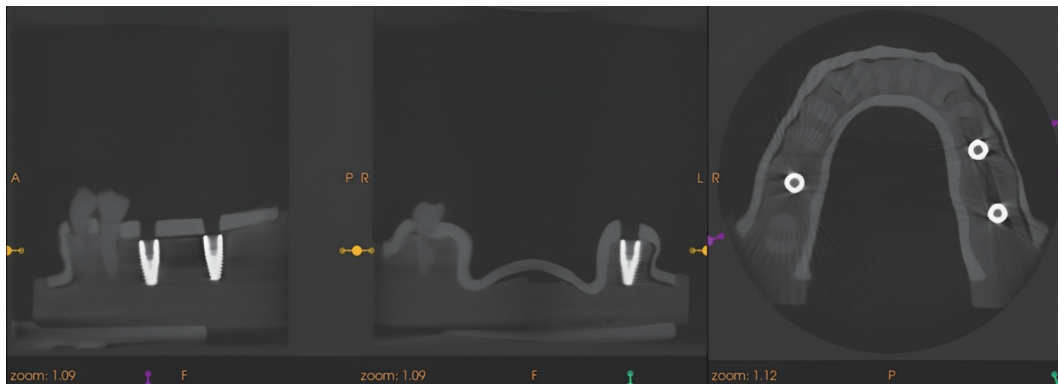
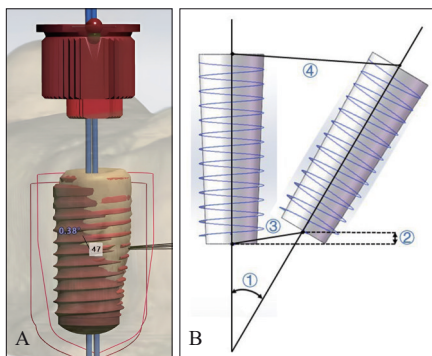


图5 种植体植入后的CBCT影像

Fig 5 CBCT images after implant placement



A: 术后种植体偏差测量; B: 偏差测量示意图, ①角度偏差, ②深度偏差, ③根尖距离偏差, ④顶端距离偏差。

图6 术后与术前影像配准及误差测量

Fig 6 Postoperative and preoperative image alignment and deviations measurement

1.3 统计分析

将每位医生2次操作的结果求平均值作为统计分析数据,采用 SPSS 26.0 统计软件进行数据分析,顶端距离偏差、根尖距离偏差、深度偏差和角度偏差为计量资料,采用均值±标准差表示。正态性检验采用SW 检验,方差齐性检验采用 Levene

方差齐性检验。若数据方差齐,则多组间比较采用单因素方差分析(组间两两比较采取 SNK-*q* 检验),两组间比较采用 *t* 检验。若数据方差不齐,多组间比较采取 Welch 检验(组间两两比较采取 Tamhane's T2 检验),两组间比较采取校正后的 *t'* 检验。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 3种方式种植体植入偏差的比较

在46、35、37牙位,种植体植入的顶端距离偏差和根尖距离偏差在3种植入方式间比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);而深度偏差3组间比较差异有统计学意义($P < 0.05$),数字化导板组较自研导板组与自由手组有更大的深度偏差,而自研导板组与自由手组间差异无统计学意义;角度偏差3组间比较差异有统计学意义($P < 0.05$),自由手组角度偏差值最大,自研导板组与数字化导板组间差异无统计学意义(表1~3)。

表1 46牙位种植体植入的偏差

Tab 1 The deviation of the placement of implants at 46 area

测量项目	数字化导板组	自研导板组	自由手组	F值	P值	两两比较差异
顶端距离偏差/mm	1.54±0.29	1.63±0.32	1.43±0.24	2.55	>0.05	-
根尖距离偏差/mm	1.25±0.29	1.32±0.28	1.49±0.34	3.14	>0.05	-
深度偏差/mm	0.64±0.19	0.41±0.21	0.26±0.11	30.71	<0.05	*#
角度偏差/°	1.97±0.29	2.13±0.44	4.77±0.64	216.07	<0.05	#&

注: *数字化导板组与自研导板组比较, $P < 0.05$; #数字化导板组与自由手组比较, $P < 0.05$; &自研导板组与自由手组比较, $P < 0.05$ 。

表 2 35牙位种植体植入的偏差

Tab 2 The deviation of the placement of implants at 35 area

测量项目	数字化导板组	自研导板组	自由手组	F值	P值	两两比较差异
顶端距离偏差/mm	1.72±0.23	1.68±0.31	1.75±0.46	0.31	>0.05	-
根尖距离偏差/mm	1.45±0.43	1.49±0.21	1.24±0.44	2.48	>0.05	-
深度偏差/mm	0.96±0.24	0.44±0.21	0.29±0.11	65.24	<0.05	*#
角度偏差/°	2.25±0.47	2.45±0.40	4.70±0.53	168.38	<0.05	#&

注：*数字化导板组与自研导板组比较，P<0.05；#数字化导板组与自由手组比较，P<0.05；&自研导板组与自由手组比较，P<0.05。

表 3 37牙位种植体植入的偏差

Tab 3 The deviation of the placement of implants at 37 area

测量项目	数字化导板组	自研导板组	自由手组	F值	P值	两两比较差异
顶端距离偏差/mm	1.59±0.24	1.77±0.40	1.81±0.29	2.79	>0.05	-
根尖距离偏差/mm	1.44±0.41	1.52±0.19	1.33±0.32	2.78	>0.05	-
深度偏差/mm	1.25±0.30	0.45±0.16	0.27±0.10	90.87	<0.05	*#
角度偏差/°	2.64±0.42	2.59±0.52	4.56±0.54	102.92	<0.05	#&

注：*数字化导板组与自研导板组比较，P<0.05；#数字化导板组与自由手组比较，P<0.05；&自研导板组与自由手组比较，P<0.05。

2.2 35和37位点种植体植入偏差的比较

在自研导板组和自由手组中，种植体植入的顶端距离偏差、根尖距离偏差、深度偏差和角度偏差在35和37位点之间的差异没有统计学意义

(P>0.05)，而在数字化导板组中，深度偏差和角度偏差在两个位点间比较，差异存在统计学意义(P<0.05)，37牙位的偏差更大(表4)。

表 4 35和37牙位种植体植入偏差的比较

Tab 4 Comparison of the deviation of the placement of implants between the 35 area and the 37 area

种植方式	位点	顶端距离偏差/mm	根尖距离偏差/mm	深度偏差/mm	角度偏差/°	两牙位比较
数字化导板组	35	1.72±0.23	1.45±0.43	0.96±0.24	2.25±0.47	*#
	37	1.59±0.24	1.44±0.41	1.25±0.30	2.64±0.42	
自研导板组	35	1.68±0.31	1.49±0.21	0.44±0.21	2.45±0.40	-
	37	1.77±0.40	1.52±0.19	0.45±0.16	2.59±0.52	
自由手组	35	1.76±0.44	1.24±0.44	0.29±0.11	4.70±0.53	-
	37	1.81±0.29	1.33±0.32	0.27±0.10	4.56±0.54	

注：*35和37位点深度偏差比较，P<0.05；#35和37位点角度偏差比较，P<0.05。

3 讨论

种植体三维位置的精准性是口腔种植修复成功的关键，“以终为始”的理念越来越被口腔种植医生所接受，数字化导板的应用使这一理念变为现实。种植体在临床植入前需先进行数字化虚拟设计，制定修复方案和设计种植体的三维位置，然后通过3D打印或CAD/CAM技术制作导板把种植体的三维位置从虚拟变为临床现实^[7]。在数字化导板从现实到虚拟再回到现实的过程，每个环节的误差都会累加到最终种植的误差中。其中CBCT影像误差、3D打印的精确度和操作者的经验是误差的主要原因^[8]。因此数字化导板的发展方向主要集中在提高导板的精度和缩短制作时间，如软件的改进，3D打印技术的应用等^[5,9]。常规数字化导

板常由加工厂技师根据CBCT影像设计，缺乏临床判断和认识，种植医师在种植过程中即使发现导板与患者口内情况存在偏差，也不能修改只能弃用^[2]。因此本研究旨在设计一种通用型可组装的种植导板，在满足种植精确度的前提下，解决目前常规数字化导板存在的一些问题。

研究结果显示：1) 自研导板组在46、35、37牙位的深度偏差均低于数字化导板组，这得益于自研导板的套筒在操作时可降低到牙槽骨面，从而降低了常规数字化导板无法直视骨面带来的预备深度误差；2) 自研导板组在46、35、37牙位的角度偏差均小于自由手组，是因为导板对于角度和方向的引导优于人眼；3) 常规数字化导板37牙位的深度偏差和角度偏差高于35牙位，而自研导板组无差异，这是由于自研导板通过游离端的固定和套环降低到骨面获得了支撑，解决了数字化

导板游离端摆动的问题。自研导板相较于常规数字化导板和自由手种植^[10],其精度能满足临床后牙区种植的要求。

该自研导板主要针对后牙区牙弓的直线部分进行设计,特别适合前磨牙和磨牙缺失。在双侧尖牙存在的前牙缺失时也可以使用该自研导板,但需要根据前牙大小调整限位器孔洞之间的间距,并制作适合尖牙的固位夹。对于尖牙缺失、多颗牙缺失跨越牙弓转折和全牙弓缺失的病例,则不适用于该自研导板。另外基牙牙周条件差,松动度大,易增大误差,应谨慎使用该自研导板。当缺牙间隙小于6 mm时,则不能使用该导板。在临床应用时,为了减少术中组装导板的时间,可在术前患者模型上组装完成后再使用。

综上所述,该自主研发导板结合了数字化和简单实用两方面的优势,可帮助医生根据患者的口腔情况和数字化CBCT数据预先设计种植体的三维位置,再选择对应的导板部件进行组装,具有快捷、简单、术中可调改的优点,在满足临床种植精度的前提下,减少了患者的就医次数和就诊花费。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

[参考文献]

- [1] 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): 980.
- [2] Colombo M, Mangano C, Mijiritsky E, et al. Clinical applications and effectiveness of guided implant surgery: a critical review based on randomized controlled trials[J]. *BMC Oral Health*, 2017, 17(1): 150.
- [3] 汪烈,陈智渊,刘融,等.个体化3D打印种植导板在多牙种植中的临床应用[J]. *上海口腔医学*, 2017, 26(4): 453-457.
Wang L, Chen ZY, Liu R, et al. Clinical application of individualized three-dimensional printing implant template in multi-tooth dental implantation[J]. *Shanghai J Stomatol*, 2017, 26(4): 453-457.
- [4] 宋梓维,胡明,张磊,等.以咬合为导向的CAD/CAM技术辅助腓骨肌皮瓣修复下颌骨缺损[J]. *西南医科大学学报*, 2019, 42(6): 537-541.
Song ZW, Hu M, Zhang L, et al. CAD/CAM-assisted occlusion-oriented repair of mandibular defects with fibular musculocutaneous flaps[J]. *J Southwest Med Univ*, 2019, 42(6): 537-541.
- [5] 张婷婷,胡建.数字化导板与动态导航在口腔种植应用中的研究进展[J]. *国际口腔医学杂志*, 2019, 46(1): 99-104.
Zhang TT, Hu J. Research progress on the application of surgical template and dynamic navigation system in implant dentistry[J]. *Int J Stomatol*, 2019, 46(1): 99-104.
- [6] Pettersson A, Kero T, Gillot L, et al. Accuracy of CAD/CAM-guided surgical template implant surgery on human cadavers: part I[J]. *J Prosthet Dent*, 2010, 103(6): 334-342.
- [7] 丁晓军,邱憬,汤春波.自主研发CAD/CAM种植导板制作系统在无牙颌种植修复中的临床应用研究[J]. *口腔医学*, 2016, 36(5): 421-424, 466.
Ding XJ, Qiu J, Tang CB. The clinical study of a self-developed CAD/CAM implant guide template system applied in implant restorations for edentulous jaws[J]. *Stomatology*, 2016, 36(5): 421-424, 466.
- [8] 吴麒.以修复为导向的CAD/CAM牙支持式种植导板指导临床种植(附病例报告)[J]. *中国口腔种植学杂志*, 2017, 22(4): 185-188.
Wu Q. Restoration-oriented CAD/CAM tooth-supported implant guides for clinical implantology (attached case report)[J]. *Chin J Oral Implantol*, 2017, 22(4): 185-188.
- [9] George E, Liacouras P, Rybicki FJ, et al. Measuring and establishing the accuracy and reproducibility of 3d printed medical models[J]. *Radiographics*, 2017, 37(5): 1424-1450.
- [10] Huang L, Liu L, Yang S, et al. Evaluation of the accuracy of implant placement by using implant positional guide versus freehand: a prospective clinical study[J]. *Int J Implant Dent*, 2023, 9(1): 45.

(本文编辑 张玉楠)