

# T/CHSA

## 团体标准

T/CHSA 026—2020

### 数字化无牙颌种植修复技术专家共识

Experts consensus on full-arch implant rehabilitation with digital technologies

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2022-04-28）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2022 - 04 - 28 发布

2023 - 01 - 01 实施

中华口腔医学会 发布

## 目 次

前言 .....	II
引言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 技术使用所需设备 .....	2
4.1 数据采集设备 .....	2
4.2 数字化外科软件 .....	3
4.3 外科手术导航系统 .....	3
4.4 种植机器人导航定位系统 .....	3
4.5 数字化修复软件 .....	3
5 术前准备 .....	3
6 数字化数据采集 .....	3
6.1 放射导板制作及颌骨的 CBCT 影像采集 .....	3
6.2 数字印模 .....	3
6.3 面部扫描 .....	4
6.4 术前方案设计 .....	4
7 手术实施 .....	4
7.1 导板手术实施 .....	4
7.2 导航手术实施 .....	4
7.3 机器人辅助下的数字化无牙颌种植手术 .....	5
7.4 实时导航较导板植入技术的优势 .....	5
7.5 实时导航较导板植入技术的不足 .....	5
8 上部结构修复 .....	5
8.1 即刻临时修复 .....	5
8.2 永久/终修复制作 .....	5
9 误差及防范措施 .....	6
9.1 基本信息的获取和处理产生的误差 .....	6
9.2 种植体选择和种植区域设计产生的误差 .....	7
9.3 导板设计和制作产生的误差 .....	7
9.4 临床操作产生的误差 .....	7
10 数字化无牙颌种植修复效果评估 .....	7
11 复查维护 .....	7
12 展望 .....	7
参考文献 .....	9

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中华口腔医学会口腔种植专业委员会提出。

本文件由中华口腔医学会归口。

本文件起草单位：浙江大学口腔医学院/浙江大学医学院附属口腔医院、中国医学科学院北京协和医院、空军军医大学口腔医院、上海交通大学医学院附属第九人民医院、福建医科大学附属口腔医院、武汉大学口腔医院、吉林大学口腔医院、重庆医科大学附属口腔医院、浙江大学医学院附属第一医院、中山大学附属口腔医院、四川大学华西口腔医院、南方医科大学口腔医院、南开大学口腔医院（天津市口腔医院）、南京医科大学附属口腔医院、首都医科大学附属北京口腔医院、北京大学口腔医院、浙江省人民医院。

本文件主要起草人：王慧明、宿玉成、李德华、赖红昌、陈江、施斌、周延民、季平、顾新华、邓飞龙、吴轶群、满毅、徐淑兰、张健、汤春波、耿威、张宇、杨帆、杨国利、周益、王心华、王柏翔、俞梦飞、陈肖依、姜治伟。

## 引 言

无牙颌，即牙列缺失，作为一种临床常见病、多发病，多由牙周病引起，常见于老年人。牙列缺失严重损害患者的口腔功能，影响其咀嚼、吞咽和发音，且随着时间推移，可导致牙槽骨、口腔黏膜、颞下颌关节等的损伤。同时，缺少牙列支撑的面容，易显老态，影响患者社交生活与心理健康。

随着种植修复技术的不断进步及人们生活水平的进一步提高，种植修复已成为目前临床上首选的无牙颌修复方式之一。临床医生们在设计种植体植入位置时应当遵循生物学及美学原则，以修复为导向的理念。然而在种植修复过程中，无牙颌种植缺少余留牙的辅助定位和稳定的颌位关系，且无牙颌患者大多伴随中-重度的牙槽骨萎缩，牙槽嵴呈刀刃状，可利用骨量少，增加了术中种植体定位的难度。传统的“自由手”式的植入操作，高度依赖术者的临床经验，在刃状牙槽嵴上钻针可发生滑移偏位，易损伤上颌窦、下颌神经等解剖结构，并且难以保证多颗植体之间获得良好的位置关系。同时，为了在术中取得良好的术区视野，往往采取大面积翻瓣，增加了患者术后的疼痛、肿胀及感染风险。因此，精确地设计并植入种植体，减少种植修复的并发症，是无牙颌种植修复的首要解决问题。

近年来，数字化技术在口腔种植医学领域的应用越来越广泛，除了传统的CBCT成像技术，计算机三维重建颌骨模型、辅助设计种植手术、数控加工、增（减）材制造、实时导航、数字化印模、面部扫描等数字化技术愈发成熟。多项技术的联合应用使得软硬组织体外数字化修复重建成为可能，为获得无牙颌的精准种植修复提供了技术支撑。

但目前我国数字化技术在无牙颌种植修复中的应用仍缺乏共识指导，临床医生在信息采集、数字化设计、外科手术、修复等诊疗过程中存在不规范操作流程。因此，构建标准化、高效化的数字化种植修复诊疗共识，有助于指导临床医生合理选择病例，高效应用数字化技术，减少术中术后并发症，提高无牙颌患者种植修复的美学及功能效果，对于无牙颌种植修复技术的发展具有重要意义。

中华口腔医学会口腔种植专委会组织专家经过充分讨论，制定了“数字化无牙颌种植修复技术”专家共识，以规范该技术的临床操作流程以及适应症，促进其推广应用。

# 数字化无牙颌种植修复技术专家共识

## 1 范围

本标准给出该技术的适应证：

单颌牙列缺失或全口牙列缺失，应用数字化流程进行种植修复。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 无牙颌 Edentulous jaw

无牙颌，即牙列缺失，是指整个牙弓上不留存任何天然牙或牙根<sup>[1]</sup>。

### 3.2

#### 锥形束 CT Cone beam computed tomography, CBCT

锥形束CT采用锥形X线束和面积探测器，围绕受检者旋转360°，获取容积重建所需数据，重建出各向同性的三个维度上的断层影像<sup>[2]</sup>。

### 3.3

#### 数字印模 Digital impression

数字印模是指利用口内扫描或模型扫描获取口腔表面三维数据集的印模技术，通常采用STL格式<sup>[3]</sup>。

### 3.4

#### 三维面部扫描 3D facial scanning

利用光学测量技术，获得颜面部形貌的三维形态信息，通常采用MAP格式<sup>[4]</sup>。

### 3.5

#### 数字化面弓、虚拟 he 架及下颌运动轨迹描记 Digital facebow, virtual articulator and mandibular movement recording

这些相应的数字化设备用于记录患者上颌对颞下颌关节的固有的位置关系以及患者下颌运动的轨迹、方向、角度等数字化信息<sup>[5]</sup>。

### 3.6

#### 三维重建 3D reconstruction

三维重建是指对三维物体建立合适计算机表示和处理的数学模型，是在计算机环境下对其进行处理、操作和分析的基础，也是在计算机中建立表达客观世界的虚拟现实的关键技术。分为体绘制重建和表面绘制重建<sup>[6]</sup>。

### 3.7

#### 增材制造 Additive manufacturing

以三维模型数据为基础，通过材料堆积的方式制造零件或实物的工艺<sup>[7]</sup>。

### 3.8

#### 减材制造 Subtractive manufacturing

以三维模型数据为基础，将材料选择性地从一块坯料中移除的技术<sup>[8]</sup>。

### 3.9

#### 医学数字成像和通信格式 Digital imaging and communications in medicine, DICOM

医学数字成像和通信，是医学图像和相关信息的国际标准（ISO 12052）<sup>[9]</sup>。

### 3.10

#### 全程导板 Full-guided surgical template

在术中通过与导板配套使用的装置引导一系列多级扩孔钻，直至引导至种植体植入完成<sup>[10]</sup>。

### 3.11

#### 半程导板 Half-guided surgical template

与全程导板不同的是，该类型导板在术中仅引导定位钻定位，定位完成后即取下导板<sup>[10]</sup>。

### 3.12

#### 外科手术导航 Surgical navigation

手术导航的概念最早起源于“立体定向神经外科技术”。口腔颌面外科则运用其原理对颅颌面种植和畸形手术矫治、颌面部复杂骨折的复位以及复杂解剖区域的高风险肿瘤切除手术进行立体可视化的术中准确定位操作，能获得传统手术无法比拟的效果，有效的降低手术创伤，最大限度地保留患者的功能和外形<sup>[11]</sup>。

### 3.13

#### 计算机辅助设计和计算机辅助制作技术 Computer aided design and computer aided manufacturing, CAD/CAM

计算机辅助制作技术（Computer aided manufacturing, CAM）是通过 CT、MRI 图像中不同密度的组织，选择不同的窗位，根据体素堆积成像的原理，建立骨骼硬组织或软组织三维图像模型，并通过计算机辅助设计（Computer aided design, CAD）软件驱动计算机数控机床，生产出不同材料的三维实体模型。CAD/CAM 基本过程包括：数据准备、医学图像处理、三维重建、CAD 设计、原型制作、有限元建模<sup>[12]</sup>。

### 3.14

#### 种植支持的固定义齿 Implant-supported fixed denture

上部结构通过粘接剂或专用螺丝固定于种植体基台上，上部结构包括一段式修复或分段式修复，患者不能自行取戴<sup>[13]</sup>。

### 3.15

#### 种植支持的覆盖义齿 Implant-supported complete overdenture

无牙颌种植支持式覆盖义齿是通过固定于种植体上的附着体进行无牙颌义齿的支持、固位，患者可自行取戴，能够较好地恢复面部丰满度<sup>[14]</sup>。

## 4 技术使用所需设备

### 4.1 数据采集设备

4.1.1 锥形束 CT，获取患者口腔颌面部软硬组织的重要信息，包括种植区域的牙槽骨高度厚度、上颌窦底的位置、下颌神经管的位置等，一般要求层厚达到 $\leq 0.25\text{mm}$ ，可满足种植手术精度要求。

4.1.2 口内扫描及模型扫描，获取口腔内组织表面三维图像信息，与 CBCT 的数据配准，能更加全面直观地反映患者软硬组织的情况进而更好地模拟种植体植入过程。

4.1.3 3D 光学扫描设备，获取面部软组织三维图像信息、建立三维影像模型。

4.1.4 数字化面弓、虚拟 he 架及下颌运动轨迹描记，通过这些设备获取患者上颌对颞下颌关节的固有

的位置关系以及患者下颌运动的轨迹、方向、角度等数据。

## 4.2 数字化外科软件

数字化外科软件主要用于外科导板及导航手术前规划和术中辅助，具备以下功能：

- 数据三维重建及测量；
- 采集、分析和标记关键结构部位，实现三维交互设计；
- 导航术中的实时追踪、分析和指示实现最直观的手术过程设计和模拟；
- 同时能够提供虚拟手术培训。

## 4.3 外科手术导航系统

数字化种植导航是辅助种植手术精准化的一种数字化技术。其通过 CT 的影像对于颌骨进行细致的分析和描绘，在术前术中提供最优的手术路径以及一些器械的放置方式。

数字化导航技术在口腔种植领域的应用大大提高了对种植区骨量及形态估算的精确程度，可有效预见术后的牙槽骨受力情况和牙列形态，进而提高种植手术的成功率。

## 4.4 种植机器人导航定位系统

口腔种植机器人通过视觉导航与图像配准技术，实现对机械臂的实时导航，辅助医生完成种植手术，保证手术精准性与一致性。

## 4.5 数字化修复软件

数字化修复软件主要用于快速、准确地完成修复体的设计与制作，实现种植体的精准上部修复、面部外形重建、咬合重建等，主要包括以下部分：

- 数字化印模技术记录种植体及基台的位置；
- 修复体设计软件及 CAD/CAM 技术运用数字化加工设备、数控机床、3D 打印机等高效制作临时修复体及最终修复体。需要满足以下条件：1.层厚 $\leq 0.2\text{mm}$ ；2.打印精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ；3.打印误差（形变率、三维偏移） $\leq 5\%$ ；
- 咬合分析系统指导修复后的调 he 维护；
- 颞下颌关节活动位置记录。

## 5 术前准备

术前准备包括患者基本信息及病史采集、口腔专科检查及常规影像学检查、术前研究模型及正确颌位记录获取、试排牙及放射导板制作。

## 6 数字化数据采集

### 6.1 放射导板制作及颌骨的 CBCT 影像采集

放射导板的制作可以完成颌骨信息与修复体信息的整合，对于无牙颌患者，可在患者首次就诊时取印模和颌位记录，试排牙，通过重新排列义齿内加入阻射剂（二次法）或在原义齿基托上安插多个放射线阻射点（一次法）来制作放射导板。患者佩戴放射导板后拍摄 CBCT。

CBCT 获得的影像数据要求层厚 $\leq 0.25\text{mm}$ ，数据以 DICOM 文件格式输出。通过数据分析可对拟植入区皮质骨的厚度和松质骨的质量，牙槽嵴高度、宽度，以及骨密度进行评价。术前设计时可同时兼顾牙槽骨骨量、修复体的位置、软组织轮廓和牙龈厚度等要素。

### 6.2 数字印模

将口腔表面状况通过光学扫描转换为数字模型。具体方法分为口内扫描（口扫）和模型扫描（仓扫），以 STL 文件格式输出。将数字模型与 CBCT 数据配准，可以全面直观地反映患者软硬组织的情况进而更好地引导种植体植入。

### 6.3 面部扫描

通过3D光学扫描设备获取术前患者在正中关系位、息止颌位、微笑时的面部软组织三维图像信息、建立三维影像模型，以MAP文件格式输出。结合分析软件，以预测最终修复治疗效果，便于患者了解术后面部整体外观的改善情况。

### 6.4 术前方案设计

#### 6.4.1 设计原则

无牙颌种植修复设计需要遵循生物学、种植美学原则，贯彻“以修复为导向”的治疗理念。

#### 6.4.2 方案设计

- 1) 数据融合。利用设计软件，整合 CBCT 信息、口腔数字印模信息及面部三维图像信息，构建正确牙列，he 平面，颌位关系、上下颌骨以及面部信息的三维数字模型。
- 2) 修复设计。获取患者的正中关系位，并参考患者的侧貌及息止颌位确定合适的垂直距离，在该位置下确定修复空间。根据患者软组织的矢状向侧貌、笑线位置、面部中线、下唇曲线、口角线等特征进行数字化微笑设计(DSD)，指导上下前牙的模拟排牙<sup>[13]</sup>。
- 3) 种植设计。根据排牙结果，以修复为导向，参考骨量及重要解剖组织（如血管、神经及上颌窦），在软件上模拟选择最佳的种植体并确定其植入位置、数目、方向和深度，以及基台的穿龈、角度和方向，获得最佳种植修复方案<sup>[13]</sup>。

## 7 手术实施

基于数字化排牙结果及种植修复设计方案，设计3-5枚导板固位针道，打印制作个性化种植导板、数字模型、外科手术导板、咬合导板等成品，灭菌备用。

可选择术前根据已完成数字化排牙，设计即刻修复临时义齿，并行 CAD/CAM完成临时预成修复体制作。

### 7.1 导板手术实施

#### 7.1.1 数字化半程导板种植手术

确认导板位置准确稳定后，局部麻醉，将种植导板用固位钉固定后应用配套种植导板工具按序备洞，依靠导板控制位点、深度和角度，移除导板后可继续扩大孔径至植入种植体。如有必要可行牙槽骨修整。植入适当颗数种植体，根据需要安放复合基台及保护帽（即刻一段式临时牙桥修复）或愈合基台或封闭螺丝（覆盖义齿修复），黏膜复位，严密缝合。术后即刻拍摄CBCT评估种植体植入位置。

#### 7.1.2 数字化全程导板种植手术

与半程导板不同之处在于，全程导板引导的种植手术是在完成种植窝预备后，继续在导板引导下将按照设计的相应型号的种植体精准地植入于种植窝内。在导板指示下先通过先锋钻或球钻确定种植位点。放入指示杆确认位置和方向，进一步使用先锋钻预备至所需深度，再用指示杆确认深度，随后扩孔钻逐级备洞。而在此过程中，易阻塞手术导板水的进入，种植窝内的温度更难控制。一般温度不超过42℃，钻孔时应抽取钻头以保证升温过程不会过快，防止骨灼烧。

如有必要行牙槽骨修整。按预先方案植入种植体，根据需要安放复合基台及保护帽（即刻一段式临时牙桥修复）、愈合基台或封闭螺丝（覆盖义齿修复）。术后拍摄CBCT评估种植体植入位置。

### 7.2 导航手术实施

消毒铺巾局部麻醉后，术区连接放置配准装置，确保固位稳定。红外探测装置对准术区。

#### 7.2.1 配准

开始配准，可由牙槽骨上的骨内标记标定，或是口内口外的无创性配准装置标记。将导航仪的光学追踪设备捕捉手机钻头以及患者颌骨位置，利用标准点将颌骨和三维重建影像匹配。牢固安装参考定位装置，避免术中松动。

## 7.2.2 实时导航引导下的无牙颌种植手术

在动态导航下，导航仪实时展示钻针与术区的位置关系，在误差图标的引导下，精准实施预定设计方案。术者可以根据实际情况调整手术入路以及术区的相关参数，动态调整植入的位点，最大限度地减少创伤以及术后并发症。依次备孔后放置种植体，根据需要安放复合基台及保护帽（即刻一段式临时牙桥修复）或愈合基台（分段式固定义齿修复或覆盖义齿修复），黏骨膜复位，严密缝合。术后即刻拍摄CBCT评估种植体植入位置。

## 7.2.3 实时导航引导下的颧种植体种植手术

安置术中导航定位装置，头顶部安置颅骨参考架后，种植手机安置定位适配器。全麻后沿牙槽嵴切开暴露部分颧骨位置，上颌窦前壁开窗后剥离上颌窦黏膜，预留颧种植体植入空间沿后牙牙槽嵴顶偏腭侧备洞。从开窗处进入颧骨，逐级备洞过程中注意冷却降温，全程由导航仪进行动态调整。

## 7.3 机器人辅助下的数字化无牙颌种植手术

根据术前规划种植机器人机械臂自动确定种植体植入点和三维方向，逐级备洞，植入种植体和安放愈合基台。医生观察手术入路及相关参数可人为控制机械臂停止运动，如遇位置偏离机器人将自动报警并自动校准后达到预定深度停止<sup>[14]</sup>。

## 7.4 实时导航较导板植入技术的优势<sup>[15-16]</sup>：

- 术中实时动态可视；
- 利于深部解剖结构的位置确定；
- 除骨组织外还可标记软组织；
- 导航术中可灵活调整手术方案；
- 对张口度要求较小；
- 节省制作导板时间。

## 7.5 实时导航较导板植入技术的不足<sup>[15-16]</sup>：

- 设备成本较高；
- 术中反复验证可能增加手术时间；
- 精度相对低。

## 8 上部结构修复

### 8.1 即刻临时修复

根据数字化排牙，设计支架并行CAD/CAM制作树脂蜡型、铸造充胶完成预制修复体，或行口内种植体转移杆固定后制取印模、咬合记录并转移颌关系，实行传统的椅旁临时修复。

### 8.2 永久/终修复制作

检查临时修复体适用状态，包括咬合，平面，微笑设计、颌位关系、上下颌骨及面部信息等；完全复制或调整临时牙参数以符合最终修复体要求。

采用面部扫描、口内外扫描，将种植体基台位置、颌位关系以及临时修复体的口外轮廓在设计软件中进行数据信息融合，并与术前设计方案进行比对，在电子he架虚拟模型上进行可视化设计。

对于复杂上下无牙颌病例，切削制作诊断用树脂临时义齿。诊断义齿试戴、调改合适后，以此为模板，CAD/CAM制作金属支架及人工牙，完成修复体制作。诊断义齿及最终修复体戴用时使用咬合分析系统检查咬合关系并调整咬合，同时可联合肌电图仪检测咀嚼肌功能恢复情况。

#### 8.2.1 无牙颌数字化印模

- 1) 口内数字化印模法（口扫）

使用口内扫描仪直接扫描无牙颌牙槽嵴及周围相关软组织形态，记录患者张口状态下无牙颌的黏膜信息，但无法辨别无牙颌的肌静力区边界以及黏膜功能状态下的形态。因此，直接法存在黏膜形变、准确度和精度性差等问题。应采用更加精密的扫描设备和适合的临床操作策略以增加准确度，并应用更小的扫描头或者针对不同区域采取个性化扫描方式来减小印模的误差增加精确性<sup>[17]</sup>。

## 2) 口外数字化印模法（模扫）

应用传统取模方式刚性连接种植体取模杆获取种植体基台位置。通过口外扫描仪对无牙颌的印模或石膏模型进行扫描，常采用激光测量方法，精准度相对较高<sup>[17]</sup>，临床上较为常用。

### 8.2.2 数字化咬合重建

咬合重建参数包括：下颌位置、垂直距离、he 平面、动态引导及静态咬合等。1) 下颌位置：电子面弓显示前伸及侧方运动轨迹数据(水平面)；从水平面、冠状面和左右侧矢状面观察下颌是否处于正中颌位。2) 测定面下 1/3 高度，结合人群垂直距离可信区间，确定个性化垂直距离范围。3) 牙合平面：在虚拟 he 架上进行 Spee 和 Wilson 曲线设计确定 he 平面。4) 动态引导和静态咬合：从电子面弓获取个性化咬合参数，结合虚拟 he 架，数字化重现患者的个性化下颌功能运动轨迹，从而确定动态引导和静态咬合。

### 8.2.3 面扫

采集面部软组织在微笑、大笑、嘴唇闭合和发音状态下的位置信息，结合上述口扫、电子面弓等数字化技术融合，直接制作上部修复体。但动态模拟面部信息存在失真、静态面部数据精度不足等问题。

### 8.2.4 上部结构数字化加工

- 1) CAD/CAM 技术：CAD/CAM 制备数字化修复体快速、稳定、精确，其具体流程包括：① CAD 软件结合前期数字化排牙，设计出上部一体式支架；②数据传输；③切削支架；④后期处理（清洗、抛光等）。目前，包括纯钛、钴铬合金、氧化锆等在内的材料均可通过该技术制作修复支架。
- 2) 增（减）材制造：以数字化、自动化为手段的增（减）材制造，简化加工流程，保证产品的同质性。①选择材料及相应设备；②数字化软件设计支架数字模型；③模型数据传输并调整相关参数，打印或切削出所需支架；④后期处理（清洗、抛光等）。

## 9 误差及防范措施

数字化种植外科误差可分为系统误差（机械误差）和偶然误差（经验误差）。系统误差指由于流程、设备上的不精确而产生的误差。偶然误差由于医生使用经验、知识储备的不足产生的误差。误差会导致并发症的发生，有研究显示与数字化导板相关的无牙颌种植手术并发症的发病率约为2.9%，其中种植体初期稳定性不良约占1.2%，术中导板的折裂约占1.7%。提示数字化无牙颌种植修复从术前设计到术中种植体植入的每个环节都存在误差<sup>[18]</sup>。

利用种植体误差分析软件将术前种植体虚拟植入图像和术后图像进行配准重叠，测量并比较术前设计与术后实际位点的偏差值。评估参数包括：种植体肩部偏差、根尖部偏差、植入深度偏差、角度偏差、颊舌向偏差、近远中向偏差。数字化无牙颌种植修复程序复杂，在实施的不同阶段存在诸多误差因素，将影响最终种植修复的精准度。

### 9.1 基本信息的获取和处理产生的误差

9.1.1 图像获取与数据处理：CBCT 扫描层的厚度、体素尺寸的大小、扫描时患者的稳定性、口内金属修复体造成的伪影等都会影响图像数据的准确性。

9.1.2 印模的制取：口腔内的环境，如湿度、软组织的可动度等会影响数字化印模的精确度。

9.1.3 颌位关系的获得：面部参考标志点的确定、上 he 架时模型的位置、种植体植入的位置和角度等

影响颌位关系确定的准确性。

## 9.2 种植体选择和种植区域设计产生的误差

9.2.1 种植体的长度：长种植体易引起较大的尖端线性偏差。特别是当患者张口度有限或种植位点较靠后时，长钻针难以正确的角度进入引导环，从而形成偏差。

9.2.2 种植区域的骨密度：骨密度较低时，种植器械发生位置、方向偏移的阻力较小，容易产生较大偏差。而当骨密度较高时，不仅难以更正初始预备的误差，甚至可能由于导板无法约束种植体的方向而导致导板的破裂。

9.2.3 种植体植入的位置：上颌种植导板拥有更大的支持组织面积，有利于导板的定位及稳定。

## 9.3 导板设计和制作产生的误差

9.3.1 导板的支持方式：无牙颌中，常用的导板可分为黏膜支持式和骨支持式。其中黏膜支持式导板种植体植入误差较小。

9.3.2 导板的设计和制作：数据的整合与匹配、三维重建、虚拟位置定位等步骤中都有误差的产生。各种加工方法的准确性、打印设备及材料的差异、技术人员对质量的把控等都会影响最终种植导板的精确度。

## 9.4 临床操作产生的误差

9.4.1 种植系统：对于不同的种植系统，其钻针的规格、引导系统存在差异，造成的误差程度也不尽相同。相比于半程引导系统，应用配套钻针和止停环的全程引导种植手术精确度更高。

9.4.2 术者经验：术者对操作过程的熟练程度、手术导板的放置和种植体植入位点、方向和深度等会影响最后修复的精确度。动态导航技术相较静态导板技术而言，技术敏感性更高，操作步骤更多，误差略大，但在临床可接受范围内<sup>[19]</sup>。

## 10 数字化无牙颌种植修复效果评估

数字化技术是降低无牙颌种植手术难度、提高其修复效果的有效手段。术者对操作过程的熟练程度、手术导板的放置和种植体植入位点、方向和深度等都会影响最后修复的精确度，因此精准的术前设计和术中实施是减少手术并发症的重要手段。术后可结合患者满意度及主诉采用工作模型、咬合参数、口扫面扫、CBCT等数据融合，通过咬合分析系统、肌电仪及电子面弓等，评价数字化无牙颌上部修复、咬合重建、面部外形重建的精确性，咀嚼肌收缩力及双侧髁突运动平衡性等。数字化技术的应用并不是简单的以机器替代医生，以电脑替代思维，而是需要医者以更全面、系统的考虑，为患者提供提供更合理的设计和更精准的治疗，以达到集微创、美观、功能、安全于一体的目的<sup>[20]</sup>。

## 11 复查维护

种植义齿的健康维护包括口腔卫生的随访检查、自我维护及洁刮治保健。复诊时建议①检查口腔卫生情况②改良菌斑指数③牙龈指数④探针出血指数⑤牙龈乳头指数⑥种植体松动度⑦探诊深度⑧牙龈退缩⑨上部结构松动⑩吸烟习惯。通过定期的影像学检查观测种植体周围骨组织的稳定性，使用专业器械清除附着在种植体基台及义齿表面的菌斑、软垢，预防种植体周围炎的发生。对于其他并发症做到早发现、早治疗，进而提高数字化无牙颌种植修复的远期临床疗效。

对患者进行口腔卫生宣教，增强患者牙菌斑控制意识，指导患者使用牙刷、间隙刷、桥体线、冲牙器等工具维持义齿的清洁，建议每日清洁不少于2次。

## 12 展望

随着虚拟现实（VR）、人工智能（AI）、大数据、4D扫描、增强现实（AR）、种植机器人等高科技技术的蓬勃发展，展现了数字化技术应用于口腔种植的广阔前景<sup>[21]</sup>。VR通过创建和增强虚拟场景，

将患者的真实3D环境叠加到手术中，以提高植入的准确性<sup>[22]</sup>。AI系统也可以通过评估CBCT影像<sup>[23]</sup>，对种植方案的设计起到改良作用。也有研究显示通过4D扫描技术可更精准的进行超声成像和重建动态口腔颌面部形态。口腔种植机器人系统能够实现手术区域解剖结构的判读重现、术前种植精确设计、手术实时导航校准、种植手术自动实施和即刻种植修复等功能，但上述技术目前多处于研究阶段，离临床应用仍有一定的差距。但有理由相信，随着这些技术不断的发展与完善，终将达到精准、高效、微创、舒适的种植技术要求并应用于临床。

## 参 考 文 献

- [1].赵钦民, 周永胜, 陈吉华. 口腔修复学.第8版 [M]. 人民卫生出版社, 2020:190.
- [2].张祖燕, 王虎. 口腔颌面医学影像诊断学.第7版 [M]. 人民卫生出版社, 2019:33-34.
- [3].Dentistry - Digital impression devices - Part 1: Methods for assessing accuracy. UNE-EN ISO 20896-1: 2019.
- [4].满毅. 面部三维扫描在口腔种植修复中的应用[J]. 中华口腔医学杂志, 2021, 56(12):1179-1184.
- [5].孙方方, 张丽仙, 吴国锋. 下颌运动轨迹记录的数字化技术[J]. 实用口腔医学杂志, 2020, 36(6):980-984.
- [6].张震康, 俞光岩. 口腔颌面外科学.第2版[M]. 北京大学医学出版社, 2013.
- [7].中华人民共和国国家标准. 增材制造 术语. GB/T 35351-2017.
- [8].R. van Noort. The future of dental devices is digital. *Dental Materials*. 2012;28:3-12.
- [9].Health informatics-Digital imaging and communication in medicine (DICOM) including workflow and data management. UNE-EN ISO 12052: 2017.
- [10].宫萍. 口腔种植学.第8版[M]. 人民卫生出版社, 2020:149.
- [11].张志愿, 石冰, 张陈平. 口腔颌面外科学.第8版[M]. 人民卫生出版社, 2020: 356.
- [12].张志愿, 石冰, 张陈平. 口腔颌面外科学.第8版[M]. 人民卫生出版社, 2020: 357.
- [13].宫萍. 口腔种植学.第8版[M]. 人民卫生出版社, 2020:46.
- [14].Morton D, Gallucci G, Lin WS, Pjetursson B, Polido W, Roehling S, Sailer I, Aghaloo T, Albera H, Bohner L, Braut V, Buser D, Chen S, Dawson A, Eckert S, Gahlert M, Hamilton A, Jaffin R, Jarry C, Karayazgan B, Laine J, Martin W, Rahman L, Schlegel A, Shiota M, Stilwell C, Vorster C, Zembic A, Zhou W. Group 2 ITI Consensus Report: Prosthodontics and implant dentistry. *Clin Oral Implants Res*. 2018 Oct;29 Suppl 16:215-223.
- [15].Kan TS, Cheng KJ, Liu YF, Wang R, Zhu WD, Zhu FD, Jiang XF, Dong XT. Evaluation of a custom-designed human-robot collaboration control system for dental implant robot. *Int J Med Robot*. 2022 Feb;18(1):e2346.
- [16].Panchal N, Mahmood L, Retana A, Emery R 3rd. Dynamic Navigation for Dental Implant Surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*. 2019 Nov;31(4):539-547.
- [17].Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Salomó-Coll O, Wang HL. Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review. *Ann Anat*. 2019 Sep;225:1-10.
- [18].Hack G, Liberman L, Vach K, Tchorz JP, Kohal RJ, Patzelt SBM. Computerized optical impression making of edentulous jaws - An in vivo feasibility study. *J Prosthodont Res*. 2020 Oct;64(4):444-453.
- [19].Joda T, Derksen W, Wittneben JG, Kuehl S. Static computer-aided implant surgery (s-CAIS) analysing patient-reported outcome measures (PROMs), economics and surgical complications: A systematic review. *Clin Oral Implants Res*. 2018 Oct;29 Suppl 16:359-373.
- [20].Aydemir, C.A. and V. Arisan, Accuracy of dental implant placement via dynamic navigation or the freehand method: A split-mouth randomized controlled clinical trial. *Clinical Oral Implants Research*, 2020. 31(3): p. 255-263.
- [21].Komiyama, A., B. Klinge, and M. Hultin, Treatment outcome of immediately loaded implants installed in edentulous jaws following computer-assisted virtual treatment planning and flapless surgery. *Clin Oral Implants Res*, 2008. 19(7): p. 677-85.
- [22].Kurt Bayrakdar S, Orhan K, Bayrakdar IS, Bilgir E, Ezhov M, Gusarev M, Shumilov E. A deep learning approach for dental implant planning in cone-beam computed tomography images. *BMC Med Imaging*. 2021 May 19;21(1):86.
- [23].Ayoub, A. and Y. Pulijala, The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery. *Bmc Oral Health*, 2019. 19(1).
- [24].Putra RH, Doi C, Yoda N, Astuti ER, Sasaki K. Current applications and development of artificial intelligence for digital dental radiography. *Dentomaxillofac Radiol*. 2022 Jan 1;51(1):2021019.