

ICS 11.060.15

CCS 0841

# 团 体 标 准

T/NAHIEM XXX-2025

---

## 头颈肿瘤外科-种植数字化联合疗 临床规范

**Clinical Protocol for Combined therapy of Head and  
Neck Oncologic Surgery and Digital Implant  
Rehabilitation**

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

---

全国卫生产业企业管理协会发布

## 前 言

本规范按照 GB/T1.1—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。

本规范由全国卫生产业企业管理协会数字化口腔产业分会提出。

本规范由全国卫生产业企业管理协会归口。

本规范的某些内容可能涉及专利。本规范的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规范起草单位:四川大学华西口腔医院、北京大学口腔医院、上海交通大学医学院附属第九人民医院、空军军医大学口腔医院、中山大学附属口腔医院、武汉大学口腔医院、西安交通大学口腔医院、中南大学湘雅医院、中南大学湘雅二医院、南京医科大学附属口腔医院。

本规范主要起草人:满毅、彭歆、伍颖颖、刘峰、白石柱、吴轶群、李春洁、单小峰、郭峰、魏建华、龚朝建、朱桂全、杜良智、贾俊、陈泽涛、曲行舟、王婧、王妙贞、王敏、姚倩倩、汤春波。

## 引言

头颈肿瘤患者常因手术或放化疗导致上颌和（或）下颌骨缺损（失）或破坏，包括游离骨组织瓣移植在内的显微外科技术及牙种植技术发展，为颌骨缺损美学与功能重建提供了有效解决方案。然而，在协调天然颌骨与移植骨在三维方向上的高度和轮廓差异方面仍然存在挑战。随着数字化成像、数字化诊断与虚拟设计、计算机辅助设计与制造和三维打印等技术的不断进步，数字化技术在头颈肿瘤外科及口腔种植领域中的应用逐渐成熟，为二者的联合治疗提供了强有力支持。头颈肿瘤外科-种植数字化联合治疗，不仅能简化复杂的外科操作、提高手术的精确度和效率，还能在肿瘤切除后的修复与重建手术中发挥重要作用，为重建患者美学与功能提供更多可能性。

本规范旨在对头颈肿瘤外科中应用数字化技术联合种植治疗的流程进行初步规定，明确操作方法和标准流程，实现以下目标：①建立头颈肿瘤外科-种植数字化联合治疗的标准化流程，涵盖术前数据采集、影像数据处理、术前设计，以及术中导航与术后修复等环节；②助力临床医生更为全面地为患者制定精准的治疗方案，通过标准化数字化流程实现个性化治疗，进一步提高颌骨重建的精度与牙种植修复治疗效果；③推动数字化技术在头颈肿瘤外科种植联合治疗中的应用，促进医生在临床中运用数字化工具实现更加精准的设计与实施，提升治疗安全性和可预测性；④提升患者术后恢复效果和满意度，推动头颈肿瘤外科-种植领域数字化的进步。

# 头颈肿瘤外科-种植数字化联合治疗临床规范

## 1. 范围

本规范明确了头颈肿瘤外科-种植数字化联合治疗的术前资料采集、数据拟合、数字化引导下的外科及种植手术的设计和临床实施流程。

本规范供口腔医学（技术）从业人员借鉴与参考。

## 2. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款：

《口内数字印模技术》、《口腔种植机器人临床应用的专家共识（第一版）》、《口腔种植数字化取骨植骨临床规范》（T/NAHIEM 143——2025）、《口腔颌面修复中三维面部扫描临床应用指南》（T/CHSA 088—2024）、《数字化技术在颌骨缺损修复重建中应用的专家共识》（T/CHSA 002—2023）、《上颌骨缺损手术功能修复重建的专家共识》（T/ CHSA 068—2023）、《增材制造（3D 打印）正颌外科手术骀板与导板设计流程的专家共识》（T/CHSA 022—2023）、《下颌骨缺损功能重建的专家共识》（T/CHSA 005—2019）、《国际口腔种植学会（ITI）口腔种植临床指南（第1卷）》。

## 3. 术语及定义

**口内扫描：**用口内扫描仪扫描和捕获口腔内部结构表面并转换成数字文件格式的过程。

**虚拟患者：**口腔修复诊疗中的虚拟患者是指通过数字化扫描技术，获取包含牙列、颌骨、面容、颞下颌关节的信息，并进行数据配准整合、三维重建构建的虚拟形象。

**数据拟合：**也称数据配准，将两个或两个以上坐标系中的三维数据点集转换到统一坐标系中的数学计算过程。它是计算机辅助设计中不可或缺的技术环节，数据拟合决定了数字化口腔种植治疗的精度和安全性。

**数字化种植导板：**根据患者颌骨解剖信息和修复体信息，利用计算机辅助设计与制作技术完成的引导种植窝轴向和/或深度预备以及种植体植入的外科导板。

**数字化种植导航：**口腔种植动态导航技术是一种利用机器视觉技术辅助口腔

种植手术的方法，主要由光学跟踪定位仪和手术导航软件组成。光学跟踪定位仪可实时捕捉手术器械在三维空间中的位置和运动轨迹，与之配套的手术导航软件，可整合患者的三维数据、虚拟手术方案、实时手术路径可视化及术后精度分析等功能模块。医师可通过导航系统实时了解钻针在颌骨内的位置，按照预定的路径进行种植。

**口腔种植机器人：**用于种植体植入的外科机器人，通过对钻的精确定位及计算机运动控制，实现种植体的精准植入。

**血管化游离骨移植：**应用显微外科技术行血管吻合，血液循环重建的一种新的骨游离移植技术。临床上目前应用最广泛的是腓动脉供血的腓骨移植和旋髂深动脉供血的髂骨移植。

**颌面赈复体：**应用口腔修复学的原理和方法，人工材料制作用以修复患者颌面部缺损的修复体。

## 4. 信息的采集与处理

### 4.1 数据采集

头颈肿瘤外科-种植数字化联合治疗之前需要对患者进行数据采集，确定患者的咬合关系；随后以修复设计为指导，在软件中进行肿瘤手术切除范围的模拟、颌骨重建及修复方案的设计；并在此基础上进行肿瘤外科-种植联合治疗方案的确认，包括数字化引导下的颌骨重建手术以及与种植体植入手术；术后完成精度验证与治疗效果的评估。

#### 4.1.1 常规临床数据资料采集

通过详细询问病史、进行体格检查与其他各项辅助检查，了解患者全身健康状况，评估患者重要脏器功能；了解患者供区是否存在各类发育畸形(包括血管变异)、炎症、创伤等疾病，能否接受软硬组织移植；了解受区周围软组织是否有缺损或瘢痕挛缩、局部组织是否接受过放化疗等；了解患者口内软硬组织条件、张口度的情况、余留牙牙体及牙周情况等，以确定适应证与排除禁忌证（表1）。具体内容可参考《数字化技术在颌骨缺损修复重建中应用的专家共识》、《下颌骨缺损功能重建的专家共识》和《上颌骨缺损手术功能修复重建的专家共识》。

表 1. 常规临床数据资料采集

评估维度	具体采集内容	评估目的
全身健康状况	病史 体格检查 辅助检查 重要脏器功能 用药史	明确患者手术耐受能力
供区评估	发育畸形（含血管变异） 炎症 创伤	排除供区禁忌证
受区评估	缺损或瘢痕挛缩 局部组织放化疗史	受区条件对手术的影响
口内条件评估	口内软硬组织条件 张口度 余留牙牙体及牙周状况	种植修复可行性

#### 4.1.2 口内数据化信息采集

(1) 采集设备：分为口内光学扫描仪、台式光学扫描仪两类。

(2) 采集方式：口内光学扫描仪直接在口内进行扫描；台式光学扫描仪需先取模并灌制工作模型，再对模型进行扫描。

(3) 数据格式：口内数据化信息的通用格式类型有.STL、.OBJ 和.PLY 等。立体光刻（Stereolithography, STL）格式是常用的三维图像格式，但该格式只描述三维物体的表面几何形状，不含颜色相关信息。若需要描述和存储口内软硬组织的颜色信息可选择使用几何体文件格式（Wavefront Object File Format, OBJ）和多边形文件格（Polygon File Format, PLY）格式。

(4) 采集要求：

①口内光学扫描仪采集患者口内数据时，应尽可能完整扫描未受肿瘤波及的上下颌牙列及牙龈形态信息，避免出现变形或者错层。此外，需要记录患者最大牙尖交错位的咬合信息，注意避免上下颌扫描模型之间存在穿模或离空。

②台式光学扫描仪采集工作模型数据，需要应用咬合记录硅橡胶记录患者咬合信息，为扫描模型时提供稳定的模型咬合信息。

#### 4.1.3 影像学数据采集

(1) 颌面部影像学材料的采集：对患者进行颌面部锥形束 CT (Cone-beam CT, CBCT) 扫描 (体素 $<0.4$ )，CBCT 显示视野上界应超过眶上缘，下界应超过下颌颈部，具体参数根据不同厂家的设置进行调整。进行 CBCT 扫描时，需要固定患者头部，上下牙列应处于最大咬合状态，下颌骨位于最大牙尖交错位。所得 CBCT 图像视野清晰，无运动伪影和放射伪影。

(2) 供区影像学材料的采集：对患者供区进行螺旋 CT 扫描 (层厚 $<1\text{mm}$  或者体素 $<0.4$ )，以全面评估骨瓣的骨量、骨质与形貌。此外，建议对患者进行多普勒超声、CT 血管造影或磁共振血管造影等影像学检查以评估供区血管情况。

(3) 数据格式：CBCT 及螺旋 CT 扫描的数据均使用未压缩的医学数字成像和通信 (Digital Imaging and Communications in Medicine, DICOM) 格式保存。

#### 4.1.4 面部数据化信息采集

(1) 采集设备：临床常用面部三维扫描仪 (立体摄影设备) 进行患者的面部数据化信息采集，还可使用激光扫描或结构光扫描等其他光学三维图像重建设备进行采集。

(2) 采集方式：按照所使用设备说明进行采集即可。

(3) 采集要求：在采集之前患者应①去除头颈颌面部的饰品；②整理发型并充分暴露面部五官；③采用激光扫描或强白光作为采集光源时，需让患者闭眼或者戴上护目镜对患者眼睛；④根据后续不同数据化信息的配准方式，戴入配准中介物或者使用牵拉口唇以充分暴露口内牙列。

(4) 数据格式：同口内数据化信息采集的数据格式。

### 4.2 虚拟患者的构建与供区骨瓣三维模型的构建

#### 4.2.1 牙颌面虚拟患者的构建

(1) 面部和口内数据化信息的配准拟合：分为中介物媒介配准和暴露前牙配准两种方法；前者配准精度更佳但临床操作流程更加复杂，临床医师可根据实

际情况选择。

①以中介物为媒介进行配准：需先单独扫描中介物，构建其三维模型。然后将中介物戴入口内并固定在牙列上后完成面部三维扫描，以及佩戴中介物的三维面扫模型。再以中介物的三维模型和佩戴中介物的面扫模型作为媒介，将口内牙列三维模型和面部三维模型进行配准。

②以暴露前牙的三维面部图像为媒介配准：面部扫描时，需牵拉患者口唇，充分暴露前牙区，以暴露前牙的三维图像为媒介，将口内牙列三维模型和面部三维模型配准。

配准患者口内牙列三维模型与面部三维模型后，可构建牙面虚拟患者。

(2) 颌骨和牙面数据化信息的配准：将颌面部的 CBCT 图像分别根据牙体组织阈值和骨组织阈值重建 CBCT 来源的三维牙列模型和三维骨组织模型，这二者的相对空间位置关系是准确的。然后通过牙列作为共同区域将 CBCT 来源的三维骨组织模型配准到牙面虚拟患者上，从而构建出牙颌面虚拟患者。

#### 4.2.2 供区骨瓣三维模型的构建

将供区高分辨率的 CT 图像根据骨组织阈值重建出三维骨组织模型，以 STL 格式导出与保存，为后续颌骨三维重建与同期种植方案制定、手术导板制作、动态导航手术等做准备。

### 5. 肿瘤-种植数字化联合治疗术前方案的考量与设计

#### 5.1 颌骨缺损的三维评估及重建设计考量

将患者头颈部螺旋 CT 的 DICOM 数据导入手术计划软件中，根据患者的疾病类型和大小确定颌骨缺损的范围。如果需要切除颌骨，则在 CT 上逐层确定颌骨的切除范围，并在软件内模拟手术过程进行虚拟截骨，获得切除后的颌骨缺损模型。

依据患者缺损区域三维模型，结合面部对称性、美学及咬合重建需求，在虚拟环境中进行颌骨的重建设计。通过与颌面部软组织的协调分析，确定修复体的空间形态、解剖轮廓及固定方式，设计个性化修复体。

将采集的供区 CT 数据以 DICOM 格式输入软件中，分割出供区数据。将颌

骨缺损模型中的牙列替换为三维扫描的牙列模型。当颌骨缺损未及中线或上颌骨缺损伴眶底缺损时，可使用镜像技术根据健侧颌骨形态，模拟重建患侧骨缺损；并根据牙弓形态及咬合关系对移植骨进行分段并调整至理想位置。当颌骨缺损累及中线或全上/下颌骨缺损等无法使用镜像技术时，宜遵循以咬合为导向的颌骨重建原则。还可以使用正常人颌骨数据库进行数据匹配，获得最相似的上/下颌骨作为缺损区域重建的参考。

## 5.2 种植体植入时机的考量

在头颈肿瘤手术进行颌骨重建与种植修复时，应根据患者的一般状况、肿瘤切除范围、肿瘤性质及复发概率等因素综合考量，确定手术时机。颌骨重建同期联合种植体植入适用于肿瘤边界明确、术中切除范围可控，且术后无需放化疗计划的低风险病例。在骨重建手术同时植入种植体，有利于缩短整体治疗周期，提高修复效率。但应确保种植体能够获得良好的初期稳定性及软组织封闭。

外科重建手术完成后、二期手术再进行种植体的植入为当前常用治疗流程。建议完成外科切除及颌骨重建术，待口内软组织及骨断端完全愈合（一般建议6个月以上），且局部病变控制稳定后，再进行种植体植入。该方案适应性强，稳定性相对较高，术前可通过充分评估颌骨缺损重建的恢复情况，结合数字化手段精准实现种植体植入。

## 5.3 以修复为导向的种植体植入手术设计考量

在颌骨缺损重建病例中实施种植修复，同样应遵循以修复为导向的原则。根据最终正式修复体的设计，模拟种植体植入位置，为后期义齿修复提供理想的生物学基础与美学支撑。

种植体应尽量处于修复体设计的中心，种植体与相邻天然牙外形高点 $\geq 1.5\text{mm}$ ，且距离骨愈合断端一般 $\geq 3\text{mm}$ 。同时应避免避开邻牙牙根、颌骨重建板的钛钉等重要结构。骀面观察，种植体位于近远中邻牙中央窝连线；颊舌向观察，种植体长轴的轴向对准对颌牙中央窝和功能尖连线中点；种植体植入深度需综合考虑修复方式及重建骨高度。连续缺失种植时，应尽量保证两颗种植体间距 $\geq 3\text{mm}$ 。

## 6. 肿瘤-种植数字化联合治疗的外科临床程序

借助前述患者临床资料、影像学资料与所构建的牙颌面虚拟患者，可完成术中所需的肿瘤切除导板与颌骨缺损重建导板的设计，指导数字化外科手术方案的实施，使整个肿瘤外科-种植联合治疗过程更精确。具体步骤如下：

### 6.1 数字化引导下的颌骨切除的设计与实施

#### 6.1.1 肿瘤范围的评估

将牙颌面虚拟患者数据输入规划软件，获取肿瘤与周围组织关系的三维影像，再结合术前临床检查及影像学资料，即可较为准确地判断肿瘤范围。

#### 6.1.2 数字化导板下肿瘤切除手术

利用软件分割功能模块进行上下颌骨分割，再根据肿瘤性质、范围或三维标记的肿瘤边界确定截骨位置，通过截骨功能模块设定截骨线，完成虚拟颌骨切除，得到颌骨缺损虚拟模型。根据截骨线的设计，综合考虑患者手术切口、颌骨及牙列等情况，进行肿瘤切除导板设计。肿瘤切除导板主要包括定位导板和截骨导板。肿瘤切除导板的设计应根据术区余留牙咬合关系选择支持方式（牙-骨混合支持式或单纯骨支持式），设计时需要注意导板位置的唯一性，通过选择清晰、稳定的支持结构，结合固位钉等特殊导板结构以确保导板的唯一位置。并应充分考虑患者具体情况与术中所用器械，合理选择导板的材料以及导板大小、截骨凹槽、定位钉孔的位置与直径等。

### 6.2 数字化引导下的颌骨缺损重建手术

将供区骨瓣的三维模型输入规划软件中，利用不同数字化重建技术（如人工虚拟外科重建、计算机辅助计算重建、人工智能自动规划重建等）获得理想的颌骨重建模型。设计时应充分考虑患者余留牙的咬合关系，可通过咬合复位板、颌间结扎、下颌骨定位支架恢复患者上下颌骨间位置关系，据此重建颌骨形态；或借助数字化方式（如计算机辅助计算重建、人工智能自动规划重建等）辅助设计颌骨重建方案，根据重建方案进行相应数字化导板的设计。

#### 6.2.1 上颌骨缺损的功能重建

（1）上颌骨缺损重建的供区选择：血管化自体骨移植是目前上颌骨重建的主要治疗方案，可行即刻牙种植的移植，供区通常选择髂骨、腓骨、肩胛骨。腓

骨应用最广泛,可提供最长达 25 cm 的移植骨长度,血管蒂恒定,其携带的小腿外侧穿支皮岛软组织量薄,可适用于上唇挛缩或眶下区软组织缺损的上颌骨修复;髂骨的骨量最丰富,利于种植牙植入,同时携带由旋髂深动脉供血的腹内斜肌岛状瓣或皮瓣,可作为骨-肌复合组织瓣进行修复,但仅能提供 9 cm ~ 10 cm 的长度,不宜用于双侧上颌骨缺损或伴面部皮肤缺损患者;肩胛骨瓣的优势在于可携带组织量充足的软组织皮岛,可修复伴有大面积皮肤或复合组织缺损的上颌骨缺损病例,但肩胛骨菲薄,须严格掌握适应征。

(2) 上颌骨塑形要点: 由于上颌骨的特殊形态,移植骨必须经过塑形才能与之匹配。对于低位、高位及伴眶底缺失眼球下陷的上颌骨缺损,塑形要点有所不同,具体可参考《上颌骨缺损手术功能修复重建的专家共识》。

(3) 导板引导下上颌骨缺损重建: 术前 3D 打印受区模型与肿瘤切除导板、骨移植截骨导板及预弯重建板。检查模型与导板贴合度及导板槽位/钉孔位置,无误后送消毒。术中显露术区后置切除导板于上颌骨表面,沿导板槽位或孔位用往复锯/钻套精准截骨;按相同流程于供区使用截骨导板获得血管化骨移植物,切除后更换重建导板,将预塑骨段(或钛板)连同导板一并置入缺损区,确认就位后钛钉固定,完成颌骨缺损重建。

(4) 导航引导下上颌骨缺损重建: 术者先在颅骨前部安装导航参考架并完成点对点或面部轮廓配准(配准误差 $<1.5$  mm),然后手持导航探针沿术前虚拟设计的截骨路径实时定位,精准切除缺损骨段;重建时再利用导航探针动态校对术前设计的个性化钛网或血管化骨瓣在缺损区的三维位置与角度,确保与残留颌骨位置吻合后进行钛钉或钛板固定,最后通过导航复核重建骨段的位置,实现切除与重建全过程的可视化、精准化控制。

### 6.2.2 下颌骨缺损的功能重建

(1) 下颌骨缺损重建的供区选择: 参见本共识 6.2.1 部分。

(2) 下颌骨的成形策略: 下颌骨体部推荐采用“体部-颏部-颏部-体部”四段式塑形方式(骨段间角度均为  $135^{\circ}$ ),符合东方人的外形审美与后期牙列种植;体部与恢复升支垂直骨段间角度为  $125^{\circ}$ 。下颌骨“四段式”简化成形技术较传统的成形技术操作更简洁明了、移植骨塑形就位精确,且不受下颌骨破坏程度和形变的影响,但余留颌骨位置的准确记录与复位是该技术应用的关键,同时

下颌骨与其它颅颌面骨骼的空间定位关系对手术实施至关重要。对于余留牙无法维持稳定咬合关系或原始位置丧失的下颌骨缺损重建，提倡模型外科和计算机辅助设计，制备下颌骨外形导板指导余留下颌骨复位、重建板与移植骨的塑形固位；或通过数据库优化匹配，寻找最优下颌骨的外形及位置，指导颌骨重建。具体参照《下颌骨缺损功能重建的专家共识》。

(3) 数字化引导下的下颌骨缺损重建：数字化引导下的下颌骨缺损重建流程与上颌骨缺损的重建流程类似，术中精准实施可通过导板手术和导航手术两种主要方式完成。手术辅助导板与手术导航是将虚拟设计准确转化到实际手术中的不同方式，可以根据实际情况选择使用。利用数字化技术，可以实现在术前治疗方案模拟，根据上颌牙列的位置，确定下颌骨种植位点，设计移植骨段的位置，制作导板/规划导航方案，缩短手术时间，提高下颌骨重建精确性和牙列恢复率。

### **6.3 肿瘤切除同期/分期种植体植入的数字化设计及实施**

对于不同范围的颌骨缺损，数字化导板/导航/机器人技术辅助下的种植修复均实现了不同程度的应用，目前导板技术的应用最为广泛。

#### **6.3.1 肿瘤切除同期/分期导板辅助种植体植入的方案设计及手术**

对于肿瘤切除同期种植的患者，可在外科手术前确认患者咬合关系，依据天然牙列进行修复为导向种植体三维位置的设计；数字化的设计中可将截骨导板与种植导板整合为一体化模板。例如设计腓骨截骨导板时，集成种植体钻孔引导功能，通过导板上的套筒准确定位拟植入种植体的位置，并利用余留牙/理想修复设计引导种植体及上层腓骨瓣就位。

对于肿瘤切除术后分期种植患者，可在外科手术前通过数字化手段记录天然牙列咬合关系，供后期指导种植体位置；或于外科手术后行虚拟排牙指导种植体位置。在颌骨重建愈合后，依据设计好的修复体及新骨解剖形态再次进行数字化取模和种植规划，制作对应的种植手术导板。

肿瘤切除术后颌骨缺损的患者，牙列缺损范围常较大，导板设计需注意以下要点：

- (1) 游离端缺失通常采用牙-黏膜共同支持式导板，边缘应充分伸展。
- (2) 可选择增加固位针辅助导板固位，最大程度地避免导板下沉与撬动。

(3) 固位钉、种植体位置应避让血管化骨瓣断端。

导板引导下种植手术的临床操作程序主要包括导板试戴、导板消毒、术中导板就位和固定、导板引导下种植窝洞预备与种植体植入。在使用导板引导种植手术时，应注意以下要点：

(1) 确保导板与余留牙列/基底导板贴合，无翘动。

(2) 确保压板与导环贴合。

(3) 确保钻针与导环贴合，钻孔时注意钻针刻度。

(4) 对于腓骨等表面骨皮质较硬的植入位点，备孔时应注意冷却降温，避免骨灼伤。

### 6.3.2 肿瘤切除同期/分期导航辅助种植体植入的方案设计及手术

种植体植入的方案设计与导板辅助相似，不同的是，利用数字化导航系统的追踪功能，医生可在显示器上监视种植钻针在患者颌骨内的实时位置，从而指导种植体的精准备孔及植入。导航引导下种植体植入的临床程序主要包括：术前调整追踪定位系统方向、标定、配准、导航引导下种植窝洞预备及植入、术后验证等。

(1) 种植手术前导航准备：手术开始前需对导航设备进行标定和配准。标定是将种植手机上的定位器与颌骨追踪装置上的参考器建立坐标系，使跟踪定位系统可实时追踪患者的颌骨位置和种植钻针的空间位置，获得定位；配准是将影像学资料信息和患者种植术区的颌骨实际三维空间建立联系。配准的精确与否关系着能否正确转移术前计划进而指导种植体的精准植入。配准设计时，单侧颌骨缺损患者若有足够多的牙齿稳定配准装置，可利用前牙及对侧牙佩戴配准装置拍片，使配准装置尽量靠近术区以提高准确性；肿瘤切除后无余留牙或余留牙过少无法支持配准装置患者，可在颌骨内植入配准钉，术前带配准钉拍摄 CBCT，配准钉应均匀分布于全牙弓，确保术区附近有配准钉覆盖且避开拟行种植区。

(2) 导航引导下种植体植入：当坐标系建立完成，实现颌骨和术前 CBCT 的影像配准后，开始实时导航引导下的种植手术。导航的界面一般均由定点、轴向、深度三方面构成，可显示钻针尖端在颌骨内的位置及实时偏差，该偏差报警范围可以进行人为设定。此时医生需要改变操作习惯，由看术区改为看导航界面，依据导航仪的提示，调整钻针定点、轴向、控制力度，直至扩孔轨迹与设定轨迹一致。

进行较长时间颅颌面种植手术（如穿颧手术）时，固定追踪装置可能在术中松动，一旦参考板松动则意味着整个坐标系破坏，需重新固定参考板并配准。因此在手术过程中需要时刻注意观察术区，若发现明显偏差，则需重新进行准确性验证。固定装置设计时，对于肿瘤切除后无余留牙或余留牙过少无法满足固定参考板的患者，可用一颗颌骨内种植体将参考板固定在上颌骨切牙管处，也可用头戴式追踪装置固定在口外，或选择颅骨内固位钉固定；如果患者为单侧颌骨缺损，另一侧牙列存在且稳定，则可用常规固位装置固定。

### 6.3.3 肿瘤切除同期/分期机器人辅助种植手术的方案设计

机器人辅助下的种植手术流程主要包括：术前种植机器人注册和配准、机械臂路径录入、机器人辅助种植体备孔及植入、术后评估等。

（1）种植手术前机器人准备：机器人辅助种植手术的术前设计与导航引导种植类似，关键在于将术前规划坐标系与患者口内的实际解剖坐标精确配准。为实现机器人系统与患者实际坐标系之间的精准匹配，术前应设计定位标志物的类型与安装位置。对于有余留牙，牙列缺失数目较少的患者，可采用牙支持式注册板；对于无牙颌或大范围牙列缺损的患者，可采用骨钉固位的定位配件进行配准。与动态导航不同，机器人辅助种植还需要规划机械臂的路径，确保其在执行过程中不受阻挡，能在有限的空间中完成备孔及植入操作。机械臂路径的规划可在术中由主刀医生引导机械臂在患者口内移动录入，规划路径时需考虑患者的张口度、软组织阻挡及对颌牙阻挡等因素。接受颌骨重建术后的患者，术前应识别钛板、螺钉、骨瓣断端等结构，设定为路径禁区并进行避让设计。同时应根据 CBCT 影像分析重建骨段的骨密度及体积，选择适宜直径和长度的种植体，控制预备深度及机械臂的移动速度，避免穿孔及骨灼伤。

（2）机器人引导下种植体植入：术中调整好视觉定位系统的位置与姿态后，可进行注册步骤。完成注册后，需评估系统测算出的注册误差，若超出限定值，需重新注册。注册完成且系统注册误差在限定范围内时，需操作机械臂种植手机工作端在指定位置（如术区附近牙尖/钛钉）停靠，检验其实际定位精度。完成上述术前准备工作后，术者便可在种植机器人的辅助下进行种植手术。术者根据种植机器人人机交互模式操纵种植机器人系统。机械臂按照术前所规划的种植方案确定种植位点和轴向、预备种植窝洞和植入种植体。若术中出现了不同于术前

设计的情况，术者可根据实际情况在种植手术导航软件中实时更改手术方案。术者可通过脚踏随时停止机械臂的运动，手术中若患者口腔位置偏移，机械臂可自动重新定位。完成种植体植入后，可将术后拍摄 CBCT 的 DICOM 数据导入软件进行术后精度分析。

### 6.3.4 肿瘤切除同期/分期颧种植体植入的方案设计

颧种植体常用于上颌骨大范围缺损或颌骨肿瘤切除后重建失败的病例，属周围解剖复杂、精度要求极高的手术。因颧种植体较长（通常 30~55mm），钻针预备路径也相应较长且视野受限，故在上颌骨缺损行颧种植体植入的病例中，导航在数字化手术实施的路径控制上更具优势。颧种植体植入的设计要点包括：

- (1) 避让重要解剖结构：种植体设计的位置距离眼眶、眶下沟、眶下孔至少 5mm；避免进入颧下窝和颧窝，以防感染。
- (2) 种植体平台位置：遵循“以修复为导向”原则，通常在尖牙至第一磨牙的区域穿出，穿出点的延长线在未来修复的牙冠上，远中尽量不留悬臂，需兼顾考虑生物学、力学、口腔卫生维护和患者舒适度。
- (3) 种植体根尖位置：颧骨种植体的根尖需恰穿出颧骨以获得良好的初期稳定性；同时尽量使种植体在颧骨内与颧骨有最大的骨结合率(BIC)。调整颧骨种植体根尖穿出颧骨的最佳位置，在保证安全距离的前提下获得颧种植体最大的种植体-骨结合率。一般颧种植体在颧骨内的长度 $\geq 10\text{mm}$ 。
- (4) 垂直修复空间：上颌骨切除患者行穿颧种植时，因缺乏殆平面的参考，种植体可能植入过深或过浅。植入过深种植体颈部被黏膜包绕，患者难清洁，易致长期慢性疼痛；植入过浅则后期无法修复。故设计时需规划未来修复体形式，并保证恰当、足够的垂直修复空间。

## 7. 肿瘤-种植数字化联合治疗的修复临床程序

### 7.1 修复前软组织成形

颌骨重建患者牙槽嵴表面常有皮瓣或松软肥厚的软组织覆盖，不利于维持健康的种植体周围组织。去除重建牙槽嵴表面的皮瓣或松软的软组织，诱导健康的

附着角化黏膜十分重要。前庭沟成形术有利于形成正常的牙槽嵴形态，松解唇颊软组织不足，使种植义齿获得足够的修复空间，同时有利于后期维护种植体周围组织的健康。常用方法为：在牙槽嵴偏舌侧设计切口，向唇颊侧翻瓣显露牙槽嵴顶，松解唇颊侧前庭沟，将翻起的软组织瓣边缘缝合于前庭沟底（一般要求半厚瓣根向复位约 6-10mm），裸露的牙槽嵴顶采用相应的软组织诱导成形术。软组织成形术一般在修复取模之前、上层固定板取出之后（若固定板影响软组织成形术）完成。可根据患者的不同情况，选择与种植体植入手术同期进行或分期完成。

常用的软组织诱导成形技术包括：

（1）自行黏膜化：小面积缺损，可直接在保留骨膜的牙槽嵴表面覆盖碘仿纱包，刺激骨膜表面肉芽组织生长，二期上皮化，形成较薄的口腔黏膜覆盖在牙槽嵴顶。

（2）人工补片：将人工补片剪裁后平铺于牙槽嵴骨膜上，打包加压，待正常口腔上皮细胞长入支架，形成健康的附着上皮。

（3）自体角化组织移植：自体角化组织移植主要包括自体薄层皮片移植及角化黏膜移植。对于自体皮片移植，供皮区应尽量选择与植皮区色泽、质地相似，较隐蔽的部位，且以不影响供区的功能和外形为原则。面颈部创面修复取乳头以上的皮肤最为匹配。对于角化黏膜移植，硬腭黏膜移植是获得附着上皮的最理想方法，对于较大缺损，建议分次完成手术。

## 7.2 颌骨缺损患者重建后种植体支持式修复体的设计与考量

### 7.2.1 种植体支持式固定义齿修复

当余留牙槽嵴或移植骨块形态良好，患者咬合关系基本正常，牙槽嵴黏膜具备较好种植条件，且预计种植固定修复后可以满足修复体自洁要求时，可行种植体支持的固定义齿修复。种植上部修复体建议采用螺丝固位，便于后期维护。移植骨块近远中边缘处不宜植入种植体，修复体可在固定义齿的近远中设计不大于 1cm 的悬臂。

### 7.2.2 种植体支持式覆盖义齿修复

患者有条件在余留下颌骨或移植骨块植入种植体，但种植体数目或下颌骨形态不具备固定修复条件时，可行种植体辅助固位的覆盖义齿修复。种植体上部结

构可设计为各类附着体，但单颌颌间距离至少为 10-15mm。

### 7.2.3 种植体辅助固位的赈复体修复

赈复体修复是上颌骨缺损常见的修复方式。以余留牙为基牙,通过设计卡环等固位体佩戴阻塞器,义齿修复可同阻塞器一体也可分段来完成。当余留牙数量较少或无基牙时,可利用软组织倒凹为阻塞器提供固位力。在余留牙槽骨上或重建后的移植骨上,可植入牙种植体来共同参与活动义齿阻塞器修复,提供可靠的固位力与一定的支持力,此时种植体与修复体之间多通过精密附着体形式进行连接,颌间距离要求与种植体支持的覆盖义齿类似。

### 参考文献

- [1] 宿玉成. 口腔种植学词典 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2021.
- [2] 郭传瑛, 张益. 口腔颌面外科学:第 3 版 [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2021.
- [3] 刘峰, 满毅, 陈亚明, 等. 中国口腔数字化——从临床技术到病例精选[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2023.
- [4] 赵铤民. 口腔修复学:第 8 版 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2020.
- [5] 陈江,宿玉成,沈国芳,等. 口腔种植机器人临床应用的专家共识(第一版)[J]. 中国口腔种植学杂志 ,2023,28(3):133-139. DOI:10.12337/zgkqzzxzz.2023.06.002.
- [6] 数字化技术在颌骨缺损修复重建中应用的专家共识:T/CHSA 002-2023[S].
- [7] 下颌骨缺损功能重建的专家共识:T/CHSA 005-2019[S].
- [8] 上颌骨缺损手术功能修复重建的专家共识:T/CHSA 020-2023[S].
- [9] 口腔种植数字化取骨植骨临床规范:T/NAHIEM 143-2025[S].
- [10] 口腔颌面修复中三维面部扫描临床应用指南:T/CHSA 088-2024[S].
- [11] 口腔修复数字化美学设计流程指南:T/NAHIEM 127-2024[S].
- [12] 增材制造(3D 打印)正颌外科手术牙合板与导板设计流程的专家共识:T/CHSA 022-2023[S].
- [13] 张志,魏在荣,刘琰,等.自体皮片游离移植技术临床操作专家共识[J].中国美容

整形外科杂志,2024,35(11):629-640.

- [14] 黄翠,刘峰,满毅,等. 口内数字印模技术[J]. 实用口腔医学杂志,2023,39(6):689-695. DOI:10.3969/j.issn.1001-3733.2023.06.001.
- [15] 柳忠豪,刘峰,陈江,等. 口腔修复数字化美学设计流程专家共识[J]. 实用口腔医学杂志,2024,40(2):156-163. DOI:10.3969/j.issn.1001-3733.2024.02.002.
- [16] 满毅,杨幕童. 种植机器人、动态导航及全程导板在口腔种植领域的临床应用进展[J]. 中国口腔种植学杂志,2023,28(3):146-151. DOI:10.12337/zgkqzzxzz.2023.06.004.
- [17] Illand C, Destruhaut F, Porporatti AL, Wulfman C, Naveau A, Rignon-Bret C. Implant Survival Rate in Mandible Reconstructed with Free Fibula Flaps After Oral Tumors: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2023 Oct 17;38(5):976-985. doi: 10.11607/jomi.10373.
- [18] Liu YB, Wu D, Wang JY, Lun XH, Dai W. Meta-analysis of the survival rate and postoperative infection rate of primary and secondary implants after vascularized fibula transplantation for reconstruction of jaw defects. *Int J Implant Dent*. 2023 Dec 18;9(1):51. doi: 10.1186/s40729-023-00514-x.
- [19] Salinero L, Boczar D, Barrow B, Berman ZP, Diep GK, Trilles J, Howard R, Chaya BF, Rodriguez Colon R, Rodriguez ED. Patient-centred outcomes and dental implant placement in computer-aided free flap mandibular reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2022 Dec;60(10):1283-1291. doi: 10.1016/j.bjoms.2022.09.006.
- [20] Okcu Y, Rustemeyer J. Continuity defects of the mandible: Comparison of three techniques for osseous reconstruction and their impact on implant loading. *J Craniomaxillofac Surg*. 2018 May;46(5):858-867. doi: 10.1016/j.jcms.2018.03.001. Epub 2018 Mar 9.
- [21] Seyssens L, De Lat L, Cosyn J. Immediate implant placement with or without connective tissue graft: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol*. 2021 Feb;48(2):284-301. doi: 10.1111/jcpe.13397. Epub 2020 Nov 20.

- [22] Cabbar F, Durmus FN, Saçak B, Çapar GD, Çelebiler Ö. Implant Stability Outcomes After Immediate and Delayed Revascularized Free Fibula Flaps: A Preliminary Comparative Study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2018 Nov/Dec;33(6):1368-1373. doi: 10.11607/jomi.6725.
- [23] Li X, Al-Wesabi SN, Wu Y, et al. Innovative principle of implant-oriented fibula placement in mandibular reconstruction using double-barrel fibula and simultaneous implants: A technical note. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. 2024;125(2):101682. doi:10.1016/j.jormas.2023.101682.
- [24] Li X, Al-Wesabi SN, Hu C, et al. Vascularized fascial flap for reconstruction of combined oral mucosa-mandibular defects: The multi-modal biological assessment. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. 2024;125(3S):101860. doi:10.1016/j.jormas.2024.101860.
- [25] Schepers RH, Raghoobar GM, Vissink A, Stenekes MW, Kraeima J, Roodenburg JL, Reintsema H, Witjes MJ. Accuracy of fibula reconstruction using patient-specific CAD/CAM reconstruction plates and dental implants: A new modality for functional reconstruction of mandibular defects. *J Craniomaxillofac Surg*. 2015 Jun;43(5):649-57. doi: 10.1016/j.jcms.2015.03.015.
- [26] Guo Y, Li C, Yang R, Tu P, Zeng B, Liu J, Ji T, Zhang C, Chen X. Automated planning of mandible reconstruction with fibula free flap based on shape completion and morphometric descriptors. *Med Image Anal*. 2025 May;102:103544. doi: 10.1016/j.media.2025.103544.