

T/CHSA

中华口腔医学会团体标准

T/CHSA XXXX—2025

口腔种植机器人规范化临床应用专家共识

Expert consensus on standardized clinical application of dental implant robots

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2025 年 4 月 20 日）

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。

2025 – XX – XX 发布

2025 – XX – XX 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 适用范围 2

5 基本要求 2

 5.1 人员资质（建议） 2

 5.2 设备管理 2

 5.3 环境要求 2

6 基本操作流程（以牙列缺损种植为例） 2

 6.1 术前准备 2

 6.2 术中操作 3

 6.3 术后处置 4

 6.4 术后评价 5

7 牙列缺失种植操作技术特点 5

 7.1 与牙列缺损机器人种植的差别 5

 7.2 术前检查 5

 7.3 数据采集 5

 7.4 模型构建与种植规划 5

 7.5 即刻全口义齿的设计制作 5

 7.6 基本手术流程 5

 7.7 颌骨空间注册方法 6

 7.8 即刻全口义齿修复 6

8 机器人的安全控制 6

 8.1 医生对手术安全的掌控 6

 8.2 机器人的应急控制 6

 8.3 随动校准 6

9 术中常见问题的预防和处理 6

 9.1 机器人系统的常见问题 6

 9.2 手术操作的常见问题 6

10 术中并发症的预防与处理 7

参考文献 8

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颌面修复专业委员会、口腔种植专业委员会提出。

本文件中华口腔医学会归口。

本文件起草单位：空军军医大学第三附属医院负责起草，上海交通大学附属第九人民医院、北京大学口腔医院、四川大学华西口腔医院、武汉大学口腔医院、福建医科大学附属口腔医院、中山大学附属口腔医院、浙江大学附属口腔医院、浙江大学附属第二医院口腔中心、吉林大学口腔医院、首都医科大学附属北京口腔医院、南京医科大学附属口腔医院、中国医科大学附属口腔医院、重庆医科大学附属口腔医院、南京市口腔医院、中国人民解放军总医院、空军军医大学空军特色医学中心参加起草。

本文件主要起草人：（以下按拼音排序）白石柱、陈江、陈卓凡、董岩、冯志宏、韩正学、黄元丁、金磊、赖红昌、李德华、李鸿波、李彦、李志文、刘琛、刘峰、刘佳妮、马楚凡、满毅、施斌、汤春波、王慧明、魏洪波、吴国锋、吴秦、吴淑仪、夏海斌、谢瑞、叶红强、伊哲、赵钦民、周炜、周延民、周永胜。

引 言

随着数字化技术与机器人技术的迅猛发展，口腔种植机器人凭借其高精度和高稳定性的优势，逐渐应用于临床实践^[1-3]。作为一种结合机器人技术、计算机视觉和导航系统的高精度医疗设备^[4-5]，口腔种植机器人能够通过自动化与智能化手段，实现精准、微创、高效且安全的种植手术^[6-7]。近年来，种植机器人的临床应用逐步推广，但其操作流程与技术标准仍未统一。本专家共识的制定联合国内多家知名口腔医学院校，并结合国内外研究成果与临床实践，旨在为口腔种植机器人的临床应用提供标准化指导，提升手术安全性与治疗效果，其中涵盖了空间配置、术前规划、术中操作、常见问题等关键环节。通过这一共识的制定与实施，使该技术得到规范应用，从而确保手术的高效、安全与精准，降低并发症风险，加快该技术的推广与普及，降低种植医师的操作难度，从而更好地服务广大患者。

口腔种植机器人规范化临床应用专家共识

1 范围

本文件给出了口腔种植机器人（以下简称“种植机器人”）的临床适用范围、基本要求、操作流程、常见问题与解决方案等。

本文件适用于各级医疗机构开展种植机器人手术，涵盖牙列缺损、牙列缺失种植的临床操作规范。

注：本文件不适用于骨科手术机器人等其他医疗机器人系统。

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

口腔种植机器人系统 dental implant robot system

口腔种植机器人系统是由硬件（视觉相机、机械臂、末端执行器、力传感器、种植马达与手机）和软件系统（规划软件、力/视觉伺服控制、机械臂控制软件）以及人机交互界面（实时导航显示、医生控制终端如脚踏控制开关等）组成，具有种植手术的精准规划、辅助/自主执行手术操作、动态偏差修正等功能，完成种植窝洞预备及种植体植入的智能化手术系统。其核心目标是利用高精度的人工视觉与机械臂，实现亚毫米级手术精度，同时减少手术创伤和并发症风险^[8]。

3.2

空间注册 spatial registration

空间注册是指通过算法或技术手段，将不同坐标系下的空间数据（如位置、方向、物体形状等）进行精确对齐和匹配的过程。其核心目标是建立不同空间数据坐标系之间的映射关系，通常由一个4×4齐次变换矩阵表示，确保机器人能准确理解、操作或交互物理世界中的对象。

3.3

种植机器人空间注册 implant robotic spatial registration

种植机器人空间注册是指获取机械臂末端与机器人末端定位器之间的空间映射关系，进而得到机器人操作空间和视觉空间之间的映射关系。

3.4

颌骨空间注册 jaw spatial registration

种植机器人手术中，颌骨空间注册是指建立颌骨定位器与颌骨CBCT图像空间之间的空间映射关系。

3.5

机器人末端定位器 robot registration marker

3.6

颌骨定位器 jaw registration marker

颌骨定位器是用于完成颌骨空间注册的手术配件，一端与口内定位配件相连，另一端位于口外并设置有视觉标记点，在视觉相机可见区域内即可探测颌骨定位器在视觉相机空间下的实际位置和姿态。

3.7

视觉伺服 visual servo

视觉伺服是指将颌骨定位器和机器人末端定位器的实时位置和姿态加入到机器人的控制环，使得机器人末端轨迹实时更新以应对患者头部移动的能力。

3.8

力伺服 force servo

指通过力传感器获取种植手术中钻针/植体受到的力和力矩的方向和大小，反馈到机器人的控制环路中，使得机器人实时调整控制策略，具备安全精准操作的能力。

4 适用范围

术前医生需要对患者进行适应证选择，以确保患者适合接受机器人种植手术。种植机器人的适应证与传统种植手术范围一致，同时也需满足机器人临床操作的要求。目前种植机器人适用（但不限）于单颗/多颗牙缺失种植、全牙弓种植、即刻种植，以及颧种植等复杂病例。

5 基本要求

5.1 人员资质（建议）

表1 人员准入条件

岗位	准入条件
手术医师	经过规范的口腔种植技术管理规范培训 完成种植机器人专项培训（含理论及实操）
护士	掌握种植机器人护理流程及应急处理培训
助手	熟悉种植机器人的操作、维护等内容

5.2 设备管理

明确种植机器人系统的安装、使用、维护与保养要求，确保设备运行安全。

5.3 环境要求

种植机器人手术的环境条件主要是指种植治疗室的硬件设施条件，除了必备的种植机器人、手术椅（床）之外，还包括了清洁消毒设备、手术照明设备、负压吸引设备、监护急救设备等种植治疗室必备的硬件设施。

若机器人系统采用可见光视觉相机，则应避免强光光源干扰。手术室应避免强电磁场干扰，确保种植机器人通讯和功能不受影响。

6 基本操作流程（以牙列缺损种植为例）

种植机器人诊疗流程主要包括以下阶段：术前准备、术中操作和术后评价等。术前阶段主要由医生进行患者数据获取、种植手术规划及相关配件设计与打印。术中阶段，机器人辅助完成种植窝洞预备与种植体植入等关键步骤，手术指令的下达、钻针更换及部分外科操作由医生完成。术后可通过精度分析评价手术效果优化手术流程。手术需要医生、护士和（或）助手配合完成。

6.1 术前准备

6.1.1 术前检查

评价患者全身情况：包括但不限于手术史，心脏疾病、血液疾病、传染性疾病病史及治疗史，用药史，过敏史，精神状况，以及家族遗传病史等。评价患者的口腔健康情况，包括缺牙区软、硬组织条件，修复空间，开口度等，需满足种植要求^[9]。对于终末期牙列、口内余留牙条件较差者，无法保证定位配件稳定固位或不能满足颌骨空间注册需求的情况，则需参照本共识第7章。

- a) CBCT 扫描获取颌骨三维数据，评估骨质骨量和重要解剖结构关系；扫描参数要求层厚≤0.25 mm，需清晰显示下颌神经管、上颌窦等解剖结构；使用成品定位配件的还需选择合适型号，利用硅橡胶重体将其固定在缺牙区邻牙上，再进行扫描；扫描结果应导出为 DICOM 格式数据。
- b) 光学扫描仪获取牙列及软组织三维数据：所采集的数字化印模要求为双颌所有余留牙和缺牙区牙槽嵴，模型无缺损、分层；咬合关系记录准确；唇颊侧边缘距龈缘>3 mm，舌侧边缘应延伸至口底，腭侧边缘延伸范围≥8 mm~10 mm，获取光学扫描数据数字化印模保存为 STL 格式。

6.1.2 模型构建与种植规划

- a) 数据配准：将 CBCT 数据和光学扫描数据导入规划软件，将数据修整后进行配准。
- b) 重要解剖结构标记：包括下颌神经管、上颌窦等重要解剖结构^[10]。
- c) 设计目标修复体：参照缺牙间隙、龈缘位置、牙弓弧度、颌位与咬合关系等设计目标修复体。
- d) 种植体数量、型号、位置、角度规划：综合考虑种植区骨质骨量、邻近重要解剖结构（上颌窦、下颌神经管、邻牙）、目标修复体、咬合关系、美学要求等因素进行规划。
- e) 规划机器人种植参数：规划种植窝洞预备时钻针的使用顺序，并设置每钻的起点和终点位置；若机器人系统内置有种植机，则还需规划马达转速等。

6.1.3 定位配件准备

定位配件需术前在软件中选择或进行个性化设计，还可设计吸唾和开口装置；个性化定位配件一般由固定板、连接配件、注册孔、观察窗等结构组成，通过3D打印制作。

6.2 术中操作

6.2.1 人员分工和职责

种植机器人手术所需人员的分工和职责：

表2 种植机器人手术所需人员的分工和职责^[11-13]

	医生	护士	助手
手术分工	操作机械臂 控制脚踏 更换钻针	手术准备 病人接待安抚 器械物品管理	设备准备 控制触控屏 监督设备运行状态 解决软、硬件故障
主要职责	术中操作与决策 下达机器人指令 监督手术过程	配合医生完成手术 全程对患者的人文关怀（尤其是 由于机器人可能会引起的特殊恐 惧心理）	辅助医生完成手术 根据医生指令调整手术方案 通过触控屏调整参数

6.2.2 术前准备

6.2.2.1 物品准备

种植器械、种植手机、马达、紧固扳手等进行灭菌；标定配件（标定盘）、注册配件（机器人末端定位器、颌骨定位器与注册针）、定位配件等物品进行消毒；一次性灭菌物品包括机械臂无菌罩、冷却盐水管、吸唾管等；其他常规种植手术物品。

6.2.2.2 患者准备

- a) 患者签署机器人种植手术知情同意书。医生术前需向患者充分阐释机器人手术的技术优势、潜在风险及传统手术替代方案等。
- b) 核对患者信息后进行常规消毒、铺单、麻醉。根据种植手术区域调整患者体位。
- c) 口内戴入定位配件，连接颌骨定位器，确保准确就位且不会松动。

6.2.2.3 设备准备

- a) 连接机器人设备硬件，连接机器人电源线。
- b) 机器人开机，检查视觉相机、机械臂工作状态，确保各模块数据传输正常。
- c) 通过马达套筒，使用紧固扳手将种植手机马达与机械臂末端连接。安装机器人末端定位器，连接冷却盐水管，套机械臂无菌罩。
- d) 将患者手术工程文件导入机器人，校对软件版本，打开手术模块，再次核对患者信息与手术方案。

6.2.2.4 设备摆位

- a) 根据牙椅类型和患者种植手术部位进行机器人台车和视觉台车的摆位。
- b) 根据医生习惯、患者手术身体姿态调整牙椅或手术床角度和高度。
- c) 调整视觉相机的高度和角度，确保定位器位于视觉相机工作区域中央。

6.2.3 基本手术流程

6.2.3.1 机器人空间注册

机器人空间注册需要首先确定视觉相机与机械臂末端的位置关系，然后再获取种植钻针与机械臂末端的位置关系^[14]。口腔种植机器人的空间注册过程分为两个步骤：

- a) 机械臂的空间注册：在视觉范围内，机械臂围绕末端执行器的 X、Y、Z 轴进行预设运动，过程中视觉相机捕获机器人末端定位器的运动轨迹，通过软件较准从而完成机械臂在视觉空间的注册；
- b) 机器人的针尖标定：将标定盘安装于种植手机上，视觉系统通过识别机器人末端定位器和标定盘，获取种植手机针尖相对于机械臂末端的位置。

6.2.3.2 颌骨空间注册

常用颌骨空间注册目前有三种方法，分别是成品定位配件注册、个性化定位配件注册和牙面注册。这三种方式都需要利用注册针逐个获取成品定位配件或余留牙上的系列特定标志点在视觉空间下的位置，进一步通过计算获得患者颌骨与颌骨定位器的位置关系。所以首先需要对注册针进行校准，确保不会造成偏差。

- a) 注册针的校准：将注册针针尖按顺序依次垂直置于标定盘的各个注册孔内，视觉依次采集标定盘与注册针的相对空间位置，从而完成注册针的校准；
- b) 颌骨的空间注册：将注册针针尖依次垂直置于定位配件上各个注册孔内，逐个采集注册针与颌骨定位器之间的相对位置关系，即可完成颌骨的空间注册，即确定颌骨在视觉空间下的实际位置；
- c) 颌骨空间注册的验证：完成颌骨空间注册后应使用注册针的针尖紧贴邻牙的牙面并进行滑动，结合导航界面中显示的针尖位置，验证颌骨空间注册的精度。

6.2.3.3 进出口路径录制（自主式种植机器人适用）

自主口腔种植机器人的末端执行器可自主进出口腔，路径为个性化曲线，需医生手动引导机械臂确定，并通过相机录制。医生引导机械臂避开软硬组织，建议使用最长钻，张口度不足时可用短钻。录制后检查是否触碰软硬组织或运动不稳，若有问题需重新录制，需注意：

- a) 机器人定位器要全程位于视觉范围内；
- b) 口外终点位置不宜离患者过远，同时不影响口外换钻操作。

6.2.4 逐级预备种植窝洞

术中切开翻瓣、平整骨面、更换钻针、骨增量术等操作由医生执行，种植窝洞预备、种植体植入等操作由机器人辅助完成，医生下达指令同时监督手术安全顺利的进行。

根据规划的顺序先更换为首钻，机器人从口外位置运动至口内种植起点位置附近，医生在这个过程中需避免种植手机与钻针碰撞患者牙齿，也要注意不能损伤软组织。精调后到达准确位置，就可以开始预备种植窝洞，预备到达终点位置机器人自动退至种植起点。医生可参照导航界面实时显示的预备深度和角度偏差对手术进行监控，如通过反复点踩脚踏，可实现钻针的提拉运动。种植窝洞预备完成后，机器人运动至口外位置；医生按顺序更换钻针，逐级扩大种植窝洞，直至预备完成。

6.2.5 植入种植体

种植手机上安装种植体携带器和种植体，机器人进入口内，按照预定参数植入种植体。种植体植入到达预定终点或扭矩超过预设值，马达停止工作，机器人自动返回种植起点。在植入过程中，医生可通过导航界面实时观察种植体植入时的阻力和扭矩。

6.3 术后处置

常规种植术后医嘱，口服抗生素。根据种植体的初期稳定性以及是否处在美学区决定即刻修复或常规修复。建议患者在永久修复后1周~2周、3个月、6个月、1年进行复查。

6.4 术后评价

6.4.1 种植精度评价^[15-18]

口腔种植机器人系统的种植体实际植入偏差主要包括冠方偏差、根尖偏差和角度偏差^[19-21]。其中冠方偏差和根尖偏差又可细分为颊向偏差、舌向偏差、近中向偏差、远中向偏差以及深度方向偏差，角度偏差可细分为颊舌向偏差和近远中向偏差^[22-25]。可采取以下评价方法：

- a) CBCT 配准法：种植体植入后进行 CBCT 扫描，将术后 CBCT 数据导入软件，通过阈值分割算法重建术后颌骨三维模型和种植体三维模型。CBCT 扫描与分割重建参数应与术前规划时一致。将术后颌骨模型加种植体模型导入手术规划文件中，和术前颌骨模型配准后，即可进行种植精度的评价^[26]；
- b) 口内扫描配准法：术后在种植体上安装扫描杆并确保完全就位，使用口内扫描仪采集含扫描杆的牙列三维数据。将该数据导入手术规划文件中，与术前扫描模型配准后，通过扫描杆可计算出实际种植体植入位置，进行种植精度的评价。

6.4.2 其他评价指标

- a) 种植体的初期稳定性：可采用共振频率分析法或定量超声法等进行评价；
- b) 种植体周围软硬组织健康状态：观察伤口愈合情况、种植体周围边缘骨高度、角化黏膜宽度、探诊深度等指标。

7 牙列缺失种植操作技术特点^[27]

7.1 与牙列缺损机器人种植的差别

牙列缺失机器人种植与牙列缺损机器人种植在术前检查、数据采集、种植方案规划、手术流程中存在一些差异，但最重要的差别是颌骨定位器的固定方式及颌骨空间注册方法完全不同。

7.2 术前检查

牙列缺失种植需拍摄大视野CBCT以满足种植手术设计需求。其他评估要求与本共识6.1.1中的内容一致。

7.3 数据采集

牙列缺失患者术前须确定适合的颌位关系。可通过原义齿的重衬与调改或必要时重新制作诊断义齿恢复正确的颌位关系。随后在调整好的原义齿或诊断义齿基托的舌腭侧及颊侧表面粘接阻射材料，形成放射诊断义齿。随后患者佩戴放射诊断义齿进行CBCT扫描。扫描过程中患者需保持稳定的咬合状态。随后，通过CBCT扫描或模型扫描仪获取放射诊断义齿的三维模型数据。

7.4 模型构建与种植规划

在设计软件中根据阻射点将放射诊断义齿的重建模型配准至患者颌骨CBCT数据中，即可结合修复体信息与颌骨信息完成种植方案的规划。

7.5 即刻全口义齿的设计制作

在软件中根据种植规划，结合选定的修复基台数据，对放射诊断义齿进行编辑，生成预留有孔洞的即刻义齿；利用3D打印或切削制作即刻全口义齿。

7.6 基本手术流程

牙列缺失机器人种植的手术流程包括机器人空间注册、进出口路径录制、逐级预备种植窝洞、植入种植体等都与牙列缺损机器人种植基本相同，最大的区别在于需要将颌骨定位器通过自攻钉固定在上颌或下颌前牙区唇侧皮质骨内，且需利用注册钉或标准注册件进行颌骨空间注册^[28]。

7.7 颌骨空间注册方法

7.7.1 基于“注册钉+定位器固位钉”的方法

- 在对应颌骨的非手术区域植入注册钉和固位钉，确保能够提供 ≥ 3 个注册孔，注册钉应尽量分散植入，有助于提升空间注册的精度。同时在前牙唇侧或牙槽嵴顶应植入直径更大的自攻钉用于固定颌骨定位器。建议在术前软件设计中，确定注册钉和定位器固位钉的设计位置，以避免干扰种植体的窝洞预备和植入过程。注册钉和固位钉的植入扭矩应 $\geq 25 \text{ N} \cdot \text{cm}$ ， $\leq 35 \text{ N} \cdot \text{cm}$ ；
- 患者拍摄术中 CBCT。软件中完成术前 CBCT 与术中 CBCT 的数据融合，将术前设计规划数据与术中注册钉的空间位置进行统一；术中依次将注册针针尖插入注册钉上的锥形注册孔完成颌骨的空间注册。

7.7.2 基于标准注册配件的方法

用于牙列缺失机器人种植的标准注册配件由3颗以上的自攻钉固定于前牙唇侧皮质骨内，配件的注册孔和连接件等主体部分位于口外。该配件能够固定颌骨定位器，用于颌骨的空间注册。其余手术流程与基于“注册钉+定位器固位钉”手术流程一致。由于注册配件的主体位于口腔外，在拍摄术中CBCT时，需要注意确保口外部分也包含在CBCT的扫描范围内。

7.8 即刻全口义齿修复

种植机器人能够实现亚毫米级种植精度，因此在严格按照规范操作流程完成种植体植入后，能够通过Pickup方法完成即刻全口义齿修复。

8 机器人的安全控制

8.1 医生对手术安全的掌控

机器人的安全控制中最重要的是不能离开医生的监控，每个重要的节点都需要医生进行确认然后发出指令，机器人才开始工作。在手术过程中，医生需实时观察软硬组织和机器人之间的阻挡和碰撞，牵拉软组织进行保护。医生可以根据需要对术前规划的方案做出实时调整，改变机器人的手术路径，也可以随时松开脚踏控制器或按下急停按钮终止机械臂的运动，再由医生手动拖出至口外位置。

8.2 机器人的应急控制

急停功能是保障术中安全的核心机制，系统应具备急停功能，通过物理按钮或脚踏等触发，在紧急情况下立即切断动力、锁定机械关节并终止程序指令。急停后，需先紧急评估患者状况与停机原因，再由技术人员排查修复故障；对机器人测试正常后，手术团队根据情况决定是否重启机器人继续完成手术。

8.3 随动校准

为了提高机器人辅助手术的安全性，口腔种植机器人集成了视觉随动控制系统，在手术过程中，会控制机器人跟随患者运动，保证患者局麻状态下的手术精度与安全。

9 术中常见问题的预防和处理

9.1 机器人系统的常见问题

- 机械臂定位异常：立即停止手术，使用注册针验证颌骨空间注册位置及机器人的注册位置是否准确，必要时重新标定；
- 机械臂关节到达极限后制锁：调整并重新固定机器人摆放位置与方向，恢复设备；
- 视觉追踪丢失：立即停止手术，移除视觉相机与标记物间障碍物或调整患者头位后继续手术；
- 电源开关误触或遇断电：术前准备好备用电源，断电后立即重启机器人，仍可保证机器人正常运作。

9.2 手术操作的常见问题

- 定位器松动，脱落：需重新固定后再次进行颌骨空间注册并验证；

- b) 手术过程中卡顿：结合手动干预，由主刀医师手动引导机械臂拖出患者口外；
- c) 种植体未就位：重新预备后再次植入种植体。

10 术中并发症的预防与处理^[29]

- a) 骨灼伤：术前判断术区骨质，增加备洞时提拉次数，加大水量充分冷却术区；
- b) 邻牙损伤：植入种植体等操作时仔细观察末端是否会碰撞邻牙及对颌牙，术后出现牙髓症状应及时对症处置；
- c) 术中出血、神经损伤：处理方式同常规种植术中并发症。

参 考 文 献

- [1] 刘洪臣. 人工智能口腔医学[J]. 中华口腔医学杂志, 2020, 56(12):915-919.
- [2] TOPOL E J. High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence[J]. Nat Med, 2019, 25(1):44-56.
- [3] 田英楠, 李伯休, 张浩, 等. 口腔机器人种植技术的进展[J]. 中华口腔医学杂志, 2023, 58(12):1300-1306.
- [4] ZHANG Y, QU P, JI Y, et al. A system hierarchy for brain-inspired computing[J]. Nature, 2020, 586(7829):378-384.
- [5] HWANG J J, JUNG Y H, CHO B H, et al. An overview of deep learning in the field of dentistry[J]. Imaging Sci Dent, 2019, 49(1):1-7.
- [6] 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.
- [7] 耿威, 满毅. 数字化口腔种植学[M]. 人民卫生出版社, 2023.
- [8] LIU C, LIU Y, XIE R, et al. The evolution of robotics: research and application progress of dental implant robotic systems[J]. Int J Oral Sci, 2024, 16(1):28.
- [9] LI Z, XIE R, BAI S, et al. Implant placement with an autonomous dental implant robot: A clinical report[J]. J Prosthet Dent, 2025, 133(2):340-345.
- [10] LIU Y, XIE R, WANG L, et al. Fully automatic AI segmentation of oral surgery-related tissues based on cone beam computed tomography images[J]. Int J Oral Sci, 2024, 16(1):34.
- [11] 何丽, 曾玉, 喻晓芬, 等. 机器人手术护理配合中国专家共识[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2024, 5(2):288-298.
- [12] 赵体玉, 王维, 龚仁蓉, 等. 达芬奇机器人手术系统安全使用与维护专家共识[J]. 护理学杂志, 2023, 38(15):50-55.
- [13] 魏玮, 王红玲. 现代机器人手术护理学[M]. 北京:清华大学出版社, 2021.
- [14] FU X J, SHI J Y, LAI H C. Application of machine vision image processing technology in dental implant surgery[J]. Chinese Journal of Stomatology, 2024;59(6):640-645.
- [15] 白石柱, 任楠, 冯志宏. 自主式口腔种植机器人手术系统动物体内种植精度的研究[J]. 中华口腔医学杂志, 2021, 56(2):170-174.
- [16] DING Y, ZHENG Y, CHEN R, et al. Accuracy of a novel semi-autonomous robotic-assisted surgery system for single implant placement: A case series[J]. J Dent, 2023, 139:104766.
- [17] YANG T, XU W, XING X, et al. Accuracy of robotic-assisted surgery for immediate implant placement in posterior teeth: a retrospective case series[J]. BMC Oral Health, 2024, 24(1):1263.
- [18] WU X Y, SHI J Y, QIAO S C, et al. Accuracy of robotic surgery for dental implant placement: A systematic review and meta-analysis[J]. Clin Oral Implants Res, 2024, 35(6):598-608.
- [19] QIAO S C, WU X Y, SHI J Y, et al. Accuracy and safety of a haptic operated and machine vision controlled collaborative robot for dental implant placement: A translational study[J]. Clin Oral Implants Res, 2023, 34(8):839-849.
- [20] XU Z, ZHOU L, HAN B, et al. Accuracy of dental implant placement using different dynamic navigation and robotic systems: an in vitro study[J]. NPJ digital medicine, 2024, 7(1):182.
- [21] JIA S, WANG G, ZHAO Y, et al. Accuracy of an autonomous dental implant robotic system versus static guide-assisted implant surgery: A retrospective clinical study[J]. J Prosthet Dent, 133(3):771-779.

- [22] BOLDING S L, REEBYE U N. Accuracy of haptic robotic guidance of dental implant surgery for completely edentulous arches[J]. J Prosthet Dent, 2022, 128(4):639-647.
- [23] POZZI A, CAROSI P, LORENZI C, et al. In-vivo accuracy of autonomous dental implant robotic surgery: systematic review and meta-analysis[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2025, 0(0):1-22.
- [24] NEUGARTEN J M. Accuracy and Precision of Haptic Robotic-Guided Implant Surgery in a Large Consecutive Series[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2024, 39(1):99-106.
- [25] 谢瑞, 白石柱, 赵铤民. 自主式口腔种植机器人牙列缺损种植修复的临床回顾性研究[J]. 实用口腔医学杂志, 2024, 40(1):58-63.
- [26] WANG W, XU H, MEI D, et al. Accuracy of the Yakebot dental implant robotic system versus fully guided static computer-assisted implant surgery template in edentulous jaw implantation: A preliminary clinical study[J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2024, 26(2):309-316.
- [27] 中华口腔医学会口腔种植专业委员会. 数字化无牙颌种植修复技术专家共识[J]. 中华口腔医学杂志, 2022, 57(8):768-775.
- [28] XIE R, LIU Y, WEI H, et al. Clinical evaluation of autonomous robotic-assisted full-arch implant surgery: A 1-year prospective clinical study[J]. Clin Oral Implants Res, 2024, 35(4):443-453.
- [29] HEITZ-MAYFIELD L J, AABOE M, ARAUJO M, et al. Group 4 ITI Consensus Report: Risks and biologic complications associated with implant dentistry[J]. Clin Oral Implants Res, 2018, 29 Suppl 16:351-358.
-