

团 体 标 准

T/CHSA 117—2026

口腔修复中虚拟患者的构建及应用指南

Guidelines for the construction and application of virtual patients in prosthodontics



2026 - 10 - 10 发布

2026 - 11 - 01 实施

中华口腔医学会 发 布

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华口腔医学会口腔颌面修复学分会及口腔修复学分会提出。

本文件由中华口腔医学会归口。

本文件起草单位：北京大学口腔医院负责起草，中山大学附属口腔医院、四川大学华西口腔医院、上海交通大学医学院附属第九人民医院、空军军医大学第三附属医院、武汉大学口腔医院、首都医科大学附属北京口腔医院、天津医科大学口腔医院、南京大学医学院附属口腔医院、解放军总医院、中国医科大学附属口腔医院、浙江大学医学院附属第二医院参与起草。

本文件主要起草人：周永胜、叶红强、刘云松、孙玉春、张磊、潘韶霞、吕珑薇、蔡志刚、王勇、张晓、赵一姣、王时敏、王浩。

本文件参与起草人：李彦、于海洋、蒋欣泉、张陈平、佟岱、白石柱、黄翠、江青松、李长义、吴国锋、焦婷、冯志宏、李亚男、伊哲、金磊。



引 言

近年来,随着数字化技术的迅速发展,虚拟患者在口腔修复中的应用日益广泛,其在治疗效果的预测、治疗方案的设计、医患沟通,以及教育教学等方面均有广阔的应用前景。然而,参与构建口腔虚拟患者的多模态数据来源和精度不同,构建的配准方式和方法尚不统一,临床可应用的场景和方式也亟待规范。

本文件旨在就虚拟患者在口腔修复中应用的相关问题形成共识,规范其应用场景,形成严谨的应用范式,提高虚拟患者在口腔修复临床诊疗中的应用效果和效率,进一步推动数字化口腔修复的规范发展。



口腔修复中虚拟患者的构建及应用指南

1 范围

本文件给出了口腔修复中构建虚拟患者的多模态数据及其获取方法、虚拟患者的构建及虚拟患者在口腔修复中的应用。

本文件适用于虚拟患者在口腔修复中的临床和教学应用，包括固定修复、可摘局部义齿修复、全口义齿修复的数字化设计和修复效果预测、以修复为导向的种植修复术前设计、颜面部赈复体的数字化设计和颌颌面部的测量分析等。

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

口内扫描 intraoral scanning

利用可置于口腔内的光学扫描设备对口腔软硬组织的表面形貌进行三维采集，并将其转换成计算机中的三维可视化数字模型（该模型包含口内软硬组织的形态、大小、位置关系、颜色和纹理等信息）^[1]。

3.2

模型扫描 model scanning

利用光学或其他类型的扫描设备对模型（牙颌模型）表面形貌进行三维采集，并将其转换成计算机中的三维可视化数字模型。

3.3

印模扫描 impression scanning

利用光学或其他类型的扫描设备对印模表面进行三维采集，获得印模的三维可视化数字模型，再通过翻转法线获得印模对应的口腔软硬组织的三维可视化数字模型。

3.4

三维面部扫描 three-dimensional facial scanning

通过非接触式扫描技术捕获面部的三维表面形态信息，以生成患者面部的三维图像^[2]。

3.5

虚拟患者 virtual patient

通过三维扫描技术或其他捕获技术获取患者的多模态图像或数据，如颜面部软组织图像、牙列图像、计算机断层扫描（computed tomography, CT）来源的骨组织或面部软组织图像以及下颌运动轨迹等，构成能同时展现上述图像或数据及患者病例信息的三维或四维颌颌面复合虚拟图像^[3]。

注：本文件所述的应用于口腔修复的虚拟患者，均包含三维或四维的面部图像。

3.6

牙面虚拟患者 virtual dentofacial patient

同时包含颜面部及牙列数据的三维或四维复合图像。

3.7

牙颌面虚拟患者 virtual dentomaxillofacial patient

同时包含颜面部、牙列或牙槽嵴、颌骨数据的三维或四维复合图像。

3.8

配准 registration

将不同来源、不同坐标系的多模态数据转换于同一坐标系的过程^[2]。

3.9

下颌运动 mandibular movement

下颌骨一系列复杂的三维转动和滑动运动。

注：下颌运动形式复杂，通常可归纳为开闭口运动、前后运动以及侧方运动。

4 适应证的选择

虚拟患者在口腔修复中的应用包括：

- a) 涉及颜面部美学和动态功能的数字化修复设计，包括固定修复（尤其是前牙美学修复）、可摘局部义齿修复、全口义齿修复、种植修复、多学科联合修复和颜面部赈复体修复等；
- b) 颅颌面部的三维测量分析和评价；
- c) 口腔修复教学。

5 构建虚拟患者的多模态数据及其获取方法

5.1 三维牙列图像

5.1.1 概述

构成口腔虚拟患者的多种图像或数据中，数字化三维牙列图像是口腔医学中最重要的数据。三维牙列图像主要由数字化印模技术获取。数字化印模技术包括模型扫描技术、口内扫描技术和印模扫描技术。此外，CT数据通过阈值分割和三维重建技术也可获得数字化三维牙列图像，但其精度较差。

5.1.2 模型扫描技术

该技术通过扫描患者牙列的石膏模型、蜡型等获取牙列三维图像，目前主要采用光学扫描技术。

光学扫描技术可以细分为点光扫描、线光扫描和面光扫描（光栅扫描）。线光扫描和面光扫描是口腔医学领域的主流扫描技术，其精度高（ $5\ \mu\text{m}\sim 10\ \mu\text{m}$ ），扫描速度快，细节表现力好，能够较好表现牙齿尖、窝、沟、嵴的形态；二者的不足之处在于扫描过程中会产生冗余数据。

5.1.3 口内扫描技术

口内扫描技术的特点在于不制取印模，直接获得牙列外表面的三维形态数据和颜色纹理等信息。口内扫描具有精度较高、灵活性高、环保、舒适性和安全性高等优势。然而，口内扫描的应用也具有一定的局限性：其扫描精度受到扫描策略、环境温度、光线、口内唾液等影响；对于几何特征不足（如无牙颌）的表面形貌扫描和全牙列扫描，三维图像的拼接准确性较模型扫描和印模扫描低。

5.1.4 印模扫描技术

印模扫描技术即临床制取印模后，不灌注石膏模型，直接将牙列印模用口内扫描仪或模型扫描仪扫描，获得牙列印模的数字化三维图像，再将其法线翻转（部分扫描仪可以自动翻转法线），即可获得数字化的三维牙列图像。其局限性在于：应用场景受限于扫描设备的景深，倒凹较大的部位扫描困难。

5.1.5 仿真彩色牙列图像的构建

目前主流的牙颌模型扫描技术和口内扫描技术已能获得彩色牙列图像，但其色彩与真实颜色仍有差距，而且仅能在配套软件中显示，在通用软件中无法显示或显示效果不佳。可拍摄牙列二维数码照片，在通用软件中将二维数码照片的颜色信息投影到数字化三维牙列图像上，从而构建出通用仿真色彩的三维牙列图像^[4]。

5.2 三维或四维面部图像

5.2.1 概述

三维或四维面部图像可通过三维、四维面部扫描技术获取，构建口腔修复虚拟患者以带有颜色纹理信息的三维、四维面部图像为佳。依据原理不同，三维面部扫描技术包括激光扫描技术、结构光扫描技

术、立体摄影技术、计算机断层扫描（computed tomography, CT）技术和磁共振（magnetic resonance imaging, MRI）扫描技术等。

5.2.2 激光扫描技术

激光扫描技术利用激光器向物体表面发射高精度激光束，并通过传感器检测反射激光的飞行时间和相位变化等，来计算物体表面到扫描仪的距离，从而生成高精度的三维点云数据。其优势在于扫描精度高（ $1\ \mu\text{m}\sim 50\ \mu\text{m}$ ）、不受环境光干扰。其劣势在于：扫描速度慢（ $10\ \text{s}\sim 30\ \text{s}$ ），其精度易受面部表情变化的影响；激光束有损伤视网膜等风险；倒凹大的器官的部分区域激光束无法直射到达；设备成本较高。

5.2.3 结构光扫描技术

结构光扫描的光源为普通白光光源或发光二极管，可向物体表面投射预先设计的光学图案，再利用多个摄像机同时在多个角度接收畸变的反射图案，结合图案的变形和已知的光源位置，计算物体的三维形状。该技术可一次获得不同角度的图像，扫描和测量效率较激光扫描明显提高。其体积小，价格低，较激光扫描有更高的生物安全性。结构光扫描的劣势在于对环境光敏感，强光下精度降低；对颌面部特定结构如头发、眼睛等成像困难。

5.2.4 立体摄影技术

基于双目视觉原理，立体摄影技术利用双目或多目相机拍摄同一物体的多个角度图像，通过视差计算物体的深度信息，以生成三维图像。其扫描时间很短（小于 $0.01\ \text{s}$ ），可以避免扫描时面部运动产生的误差；还可同时获得较为精确的皮肤表面颜色和纹理信息^[5]。但其精度低于激光扫描技术和结构光扫描技术。

5.2.5 计算机断层扫描技术

计算机断层扫描（computed tomography, CT）是扫描物体一定厚度断面的断层图像，扫描获得的断层图像可以通过阈值分割和三维重建技术获得三维面部图像。CT扫描耗时稍长，重建精度易受扫描时头部动度的影响。减小层厚或层间距可以提高CT扫描的分辨率，但患者受到X射线辐射剂量亦会提高，且患者颌面部的金属物（种植体、金属冠、银汞充填体等）易产生伪影从而影响三维重建精度。螺旋CT空间分辨率通常在 $0.5\ \text{mm}\sim 1.5\ \text{mm}$ ，扫描时间较长，患者接受的射线量较大；锥形束CT（cone beam computed tomography, CBCT）一次旋转（通常为 360° ）即可获取整个扫描区域的三维数据，再通过计算机重建出不同平面（轴位、冠状位、矢状位）的断层图像。其空间分辨率较高，能达到 $0.1\ \text{mm}\sim 0.2\ \text{mm}$ ，且放射剂量较小，但对软组织的成像能力较差^[6]。

5.2.6 磁共振扫描技术

MRI也为断层图像扫描，其对软组织和血管成像较为灵敏。与CT扫描相比，MRI具有无辐射、不损害人体的优点，且对软组织细微特征具有很强的分辨能力。MRI的三维重建精度受到断层厚度的影响，且设备成本高，临床主要用于颞下颌关节、软组织、肌肉等影像的获取和重建。

5.2.7 四维面部图像

四维面部图像是在三维面部图像的基础上增加时间序列后形成的动态三维面部图像，可通过专用设备进行四维面部扫描获得，也可用多张连续动态表情下的三维面部图像按顺序整合获得。四维面部扫描通过高速摄像头或同步多台扫描设备，连续捕捉不同时间点的三维面部图像，可记录表情变化和面部功能运动，从而辅助面部动态美学分析。

5.3 三维骨组织图像

三维骨组织图像可以通过CT扫描结合阈值分割和三维重建技术获得。CT扫描的设备主要包括CBCT、螺旋CT和显微CT（micro-computed tomography, Micro-CT），其中前二者临床应用较多。三维重建的骨组织图像精度受CT的空间分辨率影响，因此设法提高CT扫描的空间分辨率有助于提高骨组织三维重建的精度。

对于螺旋CT,临床上可以通过减小层厚和层间距等方法增大其空间分辨率。对于CBCT,可以通过增加视场角(field of view, FOV)等提高其空间分辨率,进而提高骨组织图像三维重建的精度;值得注意的是,减小CBCT体素大小并不能提高三维重建精度^[7]。此外,可以通过优化CT去噪算法及图像重建算法来提高骨组织三维重建精度。

5.4 下颌运动数据

5.4.1 概述

下颌运动轨迹分为切点运动轨迹和髁点运动轨迹,可以在水平面、冠状面、矢状面三个角度观察。目前,下颌运动轨迹主要通过下颌运动记录系统和口内扫描仪(小范围运动)获取。下颌运动记录系统记录的是标记点在三维空间的线性轨迹,需进一步整合三维骨组织图像和三维牙列图像才能实现患者个性化下颌运动的可视化模拟。

5.4.2 下颌运动记录系统来源的下颌运动数据

根据记录原理不同,下颌运动记录系统可以分为光学记录系统、超声波记录系统、电磁式记录系统。

光学记录系统通过在患者上下颌或头部安装标志点,利用摄像头拍摄标志点的运动轨迹,通过计算标志点的相对位置变化重建三维下颌运动轨迹。

超声波记录系统将超声波接收器和发射器固定在上下牙列,通过超声波接收发射器发出的超声波信号,结合多普勒效应和刚体运动原理计算出下颌标记点的运动轨迹。

电磁式记录系统通过在口腔内外安装电磁感应元件,当下颌运动时,元件间磁场变化被转化为电信号,进而记录下颌运动轨迹。

5.4.3 口内扫描仪来源的下颌运动数据

口内扫描仪通过连续扫描患者下颌功能运动中不同时间点的颌位关系数据,将上下三维牙列图像与其配准,从而获得小范围的下颌功能运动数据。其便携性高,临床应用方便,但获取的下颌运动幅度有限,准确度有待进一步研究。

6 虚拟患者的构建

6.1 概述

因为不同来源三维图像的预设坐标系不同,临床上需利用配准技术统一各三维图像的坐标系,最终构建虚拟患者。基于迭代最近点算法,配准技术可寻找两点云数据集间的最优匹配位置,从而实现坐标系的统一。配准的准确性可直接影响虚拟患者的构建精度。三维牙列图像与三维/四维面部图像配准可构建牙面虚拟患者;三维牙列图像、三维/四维面部图像及三维骨组织图像三者配准可构建牙颌面虚拟患者。

6.2 三维牙面虚拟患者的构建

6.2.1 中介物配准法

即通过额外的中介物为共同区域,辅助三维牙列图像与三维面部图像的配准。该方法的配准精度与中介物的设计关系密切。需选择不易变形、反光度小的材料制作中介物。中介物须有口内端和口外端两部分。口内端能将中介物与牙列稳定连接,并可体现牙列形态;口外端为配准的共同区域,需有足够的标记配准点或三维结构特征,同时设计需足够精巧,不能影响三维面部图像的配准。临床常用的中介物有外接配准块的硅橡胶印模和个性化的扫描殆叉等^[8]。

配准方法为:在三维面部扫描时,需将中介物固定在患者牙列上一次面部扫描,以戴中介物的三维面部扫描图像和中介物的三维图像作为媒介,配准自然状态(或其他需要的状态)下的三维面部图像和三维牙列图像。

6.2.2 前牙暴露配准法

该方法以露齿状态的三维面部图像为媒介,将三维牙列图像与所需状态的三维面部图像配准。

此方法需要在牵拉口唇充分暴露前牙区时进行一次三维面部扫描,以该三维图像为媒介,配准自然状态(或其他需要的状态)下的三维面部图像和三维牙列图像。

与中介物配准法相比,该方法的优势为操作简单;不足之处为精度稍低:前牙暴露配准法精度低于中介物配准法,且对于前牙区牙齿缺失的患者,该方法精度更低。临床操作需注意以下几点以增加前牙暴露配准法的精度:

- a) 面部扫描时宜尽可能多地暴露牙面,最好完全暴露至第一前磨牙,可辅助使用唇颊牵开器;
- b) 扫描时保持前牙区牙面干燥,避免唾液反光对扫描精度的影响;
- c) 使用更高精度的面部扫描仪。

6.2.3 CT重建法

分为直接重建和作为媒介重建。

直接重建即仅利用CT扫描所包含的牙列和面部数据构建牙面虚拟患者。基于阈值分割技术,选择软组织灰度值和牙体硬组织灰度值,分别选择并重建三维面部图像及牙列图像,因为CT扫描中各组分在同一坐标系中,无需额外配准,即可获得牙面虚拟患者。该构建方法易受放射伪影影响,精度较低,且缺少面部及牙列的颜色信息,可用于辅助诊断,不建议直接用于修复体设计。

CT扫描图像也可作为三维牙列图像与三维面部图像的配准媒介。基于阈值分割技术,选择软组织灰度值,将CT扫描的软组织部分三维重建,获得CT来源的三维面部图像;选择牙体硬组织灰度值分割并三维重建获得CT来源的三维牙列图像;将CT来源的图像设为固定对象;在CT来源的三维面部图像和面部扫描来源的三维面部图像上选择共同标志点将面部扫描来源的三维面部图像与CT来源的三维面部图像配准;在CT来源的三维牙列图像和扫描来源的三维牙列图像上选择共同标志点将扫描来源的三维牙列图像与CT来源的三维牙列图像配准;最终实现牙面虚拟患者的构建。这种方法获得的牙面虚拟患者精度也低于中介物配准法。

6.3 有牙列患者的三维牙颌面虚拟患者的构建

6.3.1 CT直接重建法

选取CT扫描的上下牙列、面部软组织及骨组织三维数据,并分别选取牙体硬组织、软组织、骨组织灰度值进行阈值分割和三维重建,即可获得同一坐标系下的上下牙列、面部软组织和骨组织的三维图像。此即利用CT直接重建法构建牙颌面虚拟患者。同样,受限于CT扫描的空间分辨率,该方法构建的牙颌面患者精度较低,且缺少颜色信息。

6.3.2 软组织配准法

所需数据为CT直接重建法来源的牙颌面虚拟患者及6.2中构建的牙面虚拟患者,构建步骤为:

- a) 分别在两组数据的面部三维图像上标记鼻根点、鼻底点、内外眦点等面中上部的软组织特征点;
- b) 将牙面虚拟患者设置为固定对象,基于上述参考点将两组数据配准;
- c) 隐藏CT来源的上下牙列及三维面部图像。

通过上述三步即可获得具有高精度三维牙列图像、带颜色的三维面部图像和CT来源的三维骨组织图像的三维复合图像,即为软组织配准法构建的牙颌面虚拟患者。

6.3.3 牙列配准法

所需数据为CT直接重建法来源的牙颌面虚拟患者及6.2中构建的牙面虚拟患者,构建步骤为:

- a) 分别在两组数据的三维牙列图像上标记上中切牙近中切角点、尖牙牙尖点、第一磨牙近中颊尖点等牙列特征点;
- b) 将牙面虚拟患者设置为固定对象,基于上述参考点将两组数据配准;
- c) 隐藏CT来源的上下牙列及面部三维图像。

通过上述三步即可获得具有高精度三维牙列图像、带颜色的三维面部图像和CT来源的三维骨组织图像的三维复合图像,即为牙列配准法构建的牙颌面虚拟患者。

6.4 无牙颌患者的三维牙颌面虚拟患者的构建

无牙颌患者的三维牙颌面虚拟患者，指同时包含剩余牙槽嵴、三维骨组织图像和三维面部图像的虚拟患者，常用于种植修复的治疗设计。无牙颌患者缺少上下颌牙列，需要额外佩戴带有阻射标记物的放射显影义齿（或殆托）等中介物才能实现牙颌面虚拟患者的构建。构建步骤为：

- a) 采用双扫描技术，患者佩戴放射显影义齿进行第一次 CT 扫描；使用模型扫描仪单独对放射显影义齿进行第二次扫描，获得放射显影义齿的三维图像；
- b) 使用面部扫描仪获取患者佩戴放射显影义齿时的三维面部图像。在 CT 扫描数据中分别选择软组织、骨组织和放射显影义齿灰度值进行阈值分割和三维重建，获得带有 CT 来源的面部软组织、骨组织及放射显影义齿三维图像的牙颌面虚拟患者；
- c) 将 CT 来源的三维图像设置为固定对象；
- d) 以阻射标记物为参考点，将模型扫描获得的放射显影义齿的三维图像与 CT 来源的牙颌面虚拟患者配准；
- e) 分别在三维面部扫描来源的面部图像和 CT 来源的牙颌面虚拟患者的三维面部图像上标记组织参考点，根据上述参考点将三维面部扫描来源的面部图像和 CT 来源的牙颌面虚拟患者配准；
- f) 选择和复制放射显影义齿组织面，翻转法线后作为剩余牙槽嵴表面软组织（牙槽嵴黏膜）数据；隐藏 CT 来源的三维面部图像和放射显影义齿三维图像。

通过上述步骤即可获得带有剩余牙槽嵴三维图像、彩色三维面部图像及 CT 来源的三维骨组织图像的三维复合图像，完成无牙颌患者三维牙颌面虚拟患者的构建。

6.5 动态虚拟患者（四维虚拟患者）的构建

6.5.1 概述

动态虚拟患者指整合了下颌运动和（或）面部软组织运动（如从休息位到最大微笑位的面部软组织运动过程）的牙面或牙颌面虚拟患者。

6.5.2 基于下颌运动数据的动态虚拟患者

下颌运动轨迹的记录由专业的下颌运动记录仪完成。记录仪对应的软件可以实现下颌运动轨迹与上下颌牙列三维图像的配准，使得虚拟患者牙列的运动可视化。若原有虚拟患者为牙颌面虚拟患者，则可实现下颌骨（髁突）运动的可视化。

6.5.3 基于四维面部图像的动态虚拟患者

四维面部数据可以通过四维面部扫描设备或不同时间点的多次三维面部扫描获得。再利用额中部到鼻根和鼻骨两侧动度较小的软组织作为媒介，将其与原有虚拟患者的面部软组织配准并替代原有虚拟患者的面部图像，即可获得整合四维面部图像的动态虚拟患者。

6.6 多模态数据的后处理和整合

6.6.1 删除冗余图像

不同来源图像的配准主要基于共同标志点或选择的共同区域，采用多点配准或基于共同区域的最佳拟合配准进行，因此冗余图像并不影响虚拟患者的构建精度。但冗余图像，特别是碎片化的冗余图像的视觉效果不佳，影响后续基于虚拟患者的数字化诊疗设计，因此需在配准前或配准后删除冗余图像，维持虚拟患者的整洁度。但明显无关的大量碎片化冗余图像，宜尽量在图像获取之后、配准之前删除，配准后仅进行少量的修整和删除^[9]。

6.6.2 删除重复图像

构建虚拟患者时，将不同来源的图像配准之后，部分组织位置可存在两种或两种以上不同来源图像的重叠。此时需保留精度高的图像，删除重复的低精度图像。在上下牙列区域，需保留精度最高的模型扫描或口内扫描来源的牙列数据，删除 CT 扫描来源的牙列数据及露齿状态下面部扫描来源的前牙图像。在面部软组织区域，需保留扫描来源的三维面部图像，删除低精度的缺少颜色纹理信息的 CT 扫描来源的三维面部图像。在腭部黏膜区域，需保留模型扫描或口内扫描来源的数据，删除 CT 扫描来源的数据。

6.6.3 合并需要的图像

在虚拟患者中,有时候需要将不同模态来源的图像进行合并,生成新的图像。以牙冠牙根图像的合并为例:模型扫描或口内扫描来源的三维牙列图像仅包含临床冠及牙龈等软组织的数据,不含有牙根数据。若治疗设计中需要牙根数据,则可利用CT扫描选择牙体硬组织灰度值进行阈值分割及三维重建,获取牙冠及牙根图像。先将模型扫描或口内扫描来源的牙列图像与CT扫描来源的牙列图像进行配准,然后删除CT扫描来源的牙冠图像,实现模型扫描或口内扫描来源的临床冠及牙龈等软组织的图像与CT扫描来源的牙根图像的合并^[9]。

7 虚拟患者在口腔修复中的应用

7.1 基于虚拟患者的数字化修复设计

7.1.1 固定修复

虚拟患者具有准确的形态预测效果,结合计算机辅助设计/计算机辅助制造(computer-aided design/computer-aided manufacturing, CAD/CAM)技术,可实现固定修复体形态效果的虚拟仿真预测及预测效果的精确转移。虚拟患者在固定修复中多应用于前牙美学修复以及修复体骀面形态的个性化设计。

在前牙美学修复中,相较于用诊断蜡型进行修复效果预测的传统方法,整合有面部三维图像和颜色信息的虚拟患者包含面部软组织形态和颜色纹理,可以更好地展现唇齿关系等美学预测效果。医师可以结合面部信息和唇齿美学关系,进行美学区修复体的多方案设计,将设计好的修复体形态整合到虚拟患者中,就可以直观预测和展现不同方案呈现出的形态美学效果^[10, 11]。基于虚拟患者的数字化修复设计具有直观性和可重复性,且历史数据可以回溯,可实现更加高效和充分的医患沟通,增强患者治疗的信心和依从性。此外,整合有面部四维图像的动态虚拟患者可以模拟各类面部软组织的动态过程^[12],如从口唇闭合到最大微笑的整个动态微笑过程以及说话时的动态唇齿关系,提供了更加仿真的修复效果预测,有利于修复体的设计和医技患三者之间的沟通。

整合有下颌运动数据的动态虚拟患者常用于动态咬合分析^[13],下颌前伸运动和侧方运动的模拟使得修复体设计过程中的咬合分析和虚拟调骀更加精准,可以更好地消除修复体的早接触和骀干扰,获得更加个性化的修复体。它也可以辅助咬合重建过程中的治疗性颌位的确定以及在治疗性颌位的基础上设计适合患者功能运动的最终修复体。

7.1.2 可摘义齿修复

可摘义齿包含可摘局部义齿和全口义齿。

在全口义齿数字化修复流程中,虚拟患者可以用于个别托盘和基托设计、骀平面确定、虚拟排牙及修复效果预测等方面,可以简化临床操作流程,提高全口义齿修复效果。

在无牙颌患者的虚拟患者构建中,因口内扫描对于无牙颌牙槽嵴及前庭沟、系带、口底黏膜反折等软组织的扫描精度不佳,须采用模型扫描或印模扫描的方法获取无牙颌患者口内的数字化三维图像。

基于虚拟患者的无牙颌牙槽嵴及周围软组织形态,可以进行个别托盘和基托的设计。根据虚拟患者的瞳孔连线和鼻翼耳屏线,可以进行全口义齿骀平面的确定,也可以参考既往全口义齿的骀平面、拔牙前余留牙的骀平面、无牙颌牙槽嵴形态和唇齿关系来确定。在虚拟排牙中,可以根据静息状态下构建的虚拟患者的上唇下缘位置,确定上颌中切牙的切端暴露量;根据虚拟骀架的咬合分析,可以在虚拟排牙中实现平衡骀。

前牙缺失的可摘局部义齿修复中,如涉及颜面部的美观效果,也可参照全口义齿流程应用虚拟患者。

7.1.3 种植修复

骨量是种植修复方案设计的重要参数,因此需构建牙颌面虚拟患者。在牙颌面虚拟患者的辅助下,医师可进行修复体的数字化设计;对涉及美学区的种植修复,医师还可以参考面部进行数字化美学设计、种植义齿的虚拟排牙等。在取得患者满意的修复预测效果后,以修复为导向,结合CBCT获得牙槽骨的体积数据,精确设计种植体的三维位置。进一步结合导板技术、导航技术和修复体数字化复制技术,实现种植体三维位置和修复体形态的精确转移。

7.1.4 颜面部赈复体的数字化修复

颜面部缺损数字化修复中，虚拟患者的构建需要满足特定要求：针对眼和眼眶缺损的患者，需获取睁眼状态下的面部三维图像；针对耳缺损的患者，要精确获取健侧耳廓形态；若患者颜面部缺损处存在较大倒凹，则需精确获取倒凹腔的形态。

基于虚拟患者，可进行颜面部赈复体固位方式设计与形态设计。对于赈复体固位方式设计，若组织倒凹可满足赈复体固位力需求，则可设计组织倒凹固位；若需种植体等其他方式辅助固位，则可进一步设计种植体植入的精确三维位置。对于赈复体形态设计，若缺损处为对称性器官，可采用镜像对称的方法，在虚拟患者中将健侧完好的器官复制后三维镜像翻转至患侧；若缺损处为非对称性器官，可通过数据库、患者既往照片、扫描健康人相似器官获取数据，将其置于患部后进一步调整，实现最终赈复体形态的数字化设计。

7.1.5 颜面部缺损伴颌骨缺损的赈复体数字化修复

牙颌面虚拟患者也可辅助颜面部缺损伴颌骨缺损的赈复体数字化设计。以上颌骨缺损为例，可利用CT扫描获取缺损腔及牙列的三维图像，利用口内扫描获取牙列及腭部黏膜的三维图像。将上述数据配准即可获得上颌骨缺损三维数字化模型，即可基于该模型进行上颌骨缺损赈复体的数字化设计。可额外获取并配准患者面部三维图像，基于面部和唇齿美学进行颜面部赈复体和颌骨赈复体可摘义齿部分的虚拟排牙设计，预测修复效果，并可进一步分析赈复体戴入前后的面部三维形态变化。

7.1.6 多学科联合修复

对于正畸-修复或正颌-正畸-修复联合治疗，虚拟患者可以在治疗方案的设计、正畸效果的预测等方面实现可视化，为修复医师、正畸医师以及患者之间的沟通提供媒介，进行修复体数字化设计并以此为导向进行正畸虚拟排牙，确定正畸治疗方案。

对于牙周-修复联合治疗，虚拟患者可用于确定理想的龈缘形态与位置，预测修复体戴入后的粉-白美学效果，并以此为导向设计牙周手术导板，进行精准、可预测的牙冠延长术，实现术前设计效果的精确转移^[14]。

7.2 颅颌面部测量分析

虚拟患者也可以实现修复体戴入前后面部各指标的测量分析，如面部垂直距离、侧面突度、口周软组织丰满度以及微笑时唇齿美学关系等。结合人工智能技术，它也可以进行修复体带入后的面型预测分析^[15]。牙颌面虚拟患者亦可实现颅颌面部硬组织以及软硬组织结合的测量分析，为种植修复以及多学科联合修复提供便利。

7.3 口腔修复教学中的应用

整合有多模态数据的虚拟患者可以实现对上下牙列、面部软组织、骨组织及下颌功能运动的可视化模拟。在此基础上：

- 它可以多方位地直观地展示上下牙列、唇齿美学和功能运动等口颌系统不同部分的正常或异常的表现，有助于医学生及青年医师根据上述信息进行综合的诊疗设计，加深对所学知识的融会贯通，有助于培养临床思维的系统性与全面性；
- 虚拟患者参与的口腔修复数字化设计具有无创性和便捷性的优势，医学生及青年医师可以自主设计多种不同的修复方案，并通过模拟的下颌功能运动及唇齿美学，分析并比较不同方案的优劣；
- 虚拟患者也可参与虚拟仿真实训流程的构建，通过与虚拟患者的对话问诊，医学生及青年医师可以锻炼个人的病例信息采集能力；
- 虚拟患者结合触觉反馈技术可以构建虚拟现实或混合现实教学模拟器的个性化病例^[16]，在这种虚拟环境中，医学生及青年医师可以进行虚拟仿真牙体预备训练，以及熟悉不同类型修复体从初诊到复查的全操作流程，从而提升个人的技术水平。

虚拟患者可以搭起理论与临床之间的桥梁，有助于医学生及青年医师锻炼临床思维与操作技术，有助于推动口腔修复教学质量的提高。

参 考 文 献

- [1] LAYTON DM (Ed.), MORGANO SM, MULLER F, et al. Glossary of prosthodontic terms 2023: 10th edition[J]. J Prosthet Dent, 2023, 130(4 Suppl 1):e1-e126.
- [2] RAMI A, HEBA E, EDWARD C, et al. Glossary of digital dental terms, 2nd edition: American College of Prosthodontists and ACP Education Foundation[J]. J Prosthodont, 2021, 30(S3):172-181.
- [3] JODA T, GALLUCCI G O. The virtual patient in dental medicine[J]. Clinical Oral Implants Res, 2015, 26(6), 725-726.
- [4] 叶红强, 柳玉树, 刘云松, 等. 口内数码摄影辅助构建三维彩色数字牙列模型[J]. 北京大学学报(医学版), 2016, 48(1):138-142.
- [5] PEÑARROCHA-DIAGO M, BALAGUER-MARTI J C, PEÑARROCHA-OLTRA D, et al. A combined digital and stereophotogrammetric technique for rehabilitation with immediate loading of complete-arch, implant-supported prostheses: a randomized controlled pilot clinical trial[J]. J Prosthet Dent, 2017, 118(5):596-603.
- [6] 宋跃帅, 刘良发. 锥形束CT与螺旋CT测量茎突长度的对比分析[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(23):1841-1843.
- [7] SANG Y H, HU H C, LU S H, et al. Accuracy assessment of three-dimensional surface reconstructions of in vivo teeth from cone-beam computed tomography[J]. Chin Med J(Engl), 2016, 129(12):1464-1470.
- [8] YE H, YE J, WANG S, et al. Comparison of the accuracy (trueness and precision) of virtual dentofacial patients digitized by three different methods based on 3D facial and dental images[J]. J Prosthet Dent, 2024, 131(4):726-734.
- [9] 周永胜, 叶红强. 口腔修复中虚拟患者的构建和应用[J]. 中华口腔医学杂志, 2022, 57(10):997-1002.
- [10] 王思维, 叶嘉慧, 刘云松, 等. 数字化虚拟仿真设计在口腔美学修复中应用的研究进展[J]. 中华口腔医学杂志, 2022, 57(1):101-106.
- [11] 刘云松, 叶红强, 谷明, 等. 患者参与的数字化设计在前牙美学修复中的应用[J]. 北京大学学报(医学版), 2014, 46(1):90-94.
- [12] YE H, WANG K P, LIU Y, et al. Four-dimensional digital prediction of the esthetic outcome and digital implementation for rehabilitation in the esthetic zone[J]. J Prosthet Dent, 2020, 123(4):557-563.
- [13] WANG J, WU Y L, MA J, et al. A novel technique for implant-supported fixed complete rehabilitation based on a dynamic virtual patient[J]. J Dent, 2023, 137:104649.
- [14] 李峥, 柳玉树, 叶红强, 等. 数字化修复结合牙周手术解决复杂前牙美学缺陷[J]. 北京大学学报(医学版), 2017, 49(1):71-75.
- [15] ZHANG T, CAI X. Visual treatment objective-based lateral esthetics preview for implant-supported reconstruction in terminal dentition with proclined maxillary incisors[J]. J Prosthodont Res, 2024, 68(1):186-190.
- [16] LI Y, YE H, WU S, et al. Mixed reality and haptic-based dental simulator for tooth preparation: research, development, and preliminary evaluation (preprint)[J]. 2021.DOI:10.2196/preprints.30653.