

口腔修复临床诊疗中口颌系统功能评估的数字化实现

蓝凯文 孙玥 江柳霖 阎英

中山大学附属口腔医院, 光华口腔医学院, 广东省口腔医学重点实验室, 广州 510055

通信作者: 阎英, Email: yanying2@mail.sysu.edu.cn

【摘要】 数字化技术已广泛应用于口腔临床实践。口腔修复临床诊疗离不开对患者口颌系统功能的评估, 而以往对于患者殆、咀嚼肌和颞下颌关节的评估存在难以直观分析和客观量化等问题。口腔数字化技术为解决这些难题提供了新途径。本文将以咀嚼肌功能状态评估、殆力与咬合接触评估及下颌运动功能评估三方面为切入点, 探讨数字化技术在口颌系统功能评估中的应用与研究进展, 以期对口腔修复临床诊疗的数字化应用提供参考。

【关键词】 口腔修复; 数字化技术; 口颌系统; 牙殆; 下颌运动; 肌电

引用著录格式: 蓝凯文, 孙玥, 江柳霖, 等. 口腔修复临床诊疗中口颌系统功能评估的数字化实现[JOL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2023, 17(4): 265-271.

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2023.04.006

Digital implementation of functional assessment of the stomatognathic system in prosthodontics

Lan Kaiwen, Sun Yue, Jiang Liulin, Yan Ying

Hospital of Stomatology, Guanghua School of Stomatology, Sun Yat-sen University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Stomatology, Guangzhou 510055, China

Corresponding author: Yan Ying, Email: yanying2@mail.sysu.edu.cn

【Abstract】 Digital technology has been widely used in dental clinical practice. The clinical treatment of prosthodontics is inseparable from the function assessment of the patients' stomatognathic system. However, the evaluation of occlusion, masticatory muscles, and temporomandibular joints has been difficult to be analyzed in a visualized, objective and quantitative way. Dental digital technology provides new ways to address these challenges. In this article, the digital assessment of masticatory muscle functional status, occlusal force and occlusal contact, and mandibular movement function was taken as the starting point to discuss its application and research progress in stomatognathic system function, so as to provide reference for its application in the clinical prosthodontic treatment.

【Key words】 Prosthodontics; Digital technology; Stomatognathic system; Dental occlusion; Mandibular

movement; Electromyography

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2023.04.006

数字化技术(digital technology)是指通过硬件设备将外界图像、电信号等信息转化为二进制数据, 然后在计算机中对信息进行运算、加工等处理。数字化技术具有数据分析直观、可控性好和精度高等优势, 已广泛应用于口腔临床诊疗实践。目前, 数字化口腔诊疗模式的普及程度正在不断提高^[1]。

口腔修复临床诊疗离不开对患者口颌系统功能的评估。(1)修复前的评估有助于修复方案与修复时机的选择;(2)修复过程中的评估有助于指导诊疗方案的动态调整与把控;(3)修复后的评估有助于观察口颌系统功能的恢复情况并追踪长期效果。殆、咀嚼肌和颞下颌关节是口颌系统的重要组成部分^[1], 既往临床诊疗中对这三部分的评价存在难以直观分析及客观量化等问题。此外, 殆、咀嚼肌和颞下颌关节关系密切且相互影响, 进一步加大了对患者口颌系统功能评价的难度。

口腔数字化技术为解决这些难题提供了新途径。近年来, 针对口颌系统功能评价的数字化技术已从实验研究阶段转化为可在临床实践广泛应用的技术设备^[2-3]。其中的代表性技术包括咀嚼肌表面肌电检测技术^[4]、殆力与咬合接触检测技术^[5]及下颌运动轨迹检测技术^[6-7]。本文将以咀嚼肌功能状态评估、殆力与咬合接触评估及下颌运动功能评估三方面为切入点, 探讨数字化技术在口颌系统功能评估中的应用与研究进展, 以期对口腔修复临床诊疗的数字化应用提供参考。

一、咀嚼肌功能状态评估的数字化实现

1. 咀嚼肌功能状态评估的数字化技术: 咀嚼肌活动是评价患者口颌系统功能恢复情况的重要指标。传统的咀嚼肌活动评估依赖于患者的主观感受, 缺乏客观量化的技术手段。数字化技术在咀嚼肌肌电活动评估中起到了“化无形为有形”的作用, 目前最常用的是表面肌电图(surface-electromyogram, sEMG)检测技术^[8]。

在咀嚼肌收缩过程中, 肌细胞将产生生物电活动。使用肌电图仪可以检测肌纤维动作电位的活动并形成肌电图, 其主要原理是肌肉收缩产生的微弱电信号经引导电极传导, 并由放大器放大后传入示波器或计算机, 从而实现了对数据的处理和分析。肌电图常用于分析被测肌肉的活动状况、不同肌

肉间的协调性及肌肉活动在一段时间内的变化情况,其中肌电图的振幅与肌收缩招募的运动单位数量及运动单位放电率呈正相关^[9-11]。肌电仪的引导电极主要包括表面电极和针电极。表面电极适用于检测皮肤浅表部位的肌电活动,如颞肌、咬肌浅层等,针电极适用于较深部位的肌电检测,如翼内肌和翼外肌^[1]。

由于患者对非侵入性的检测方式接受度更高,且通常不愿因接受肌电测试而剔除颞肌中份、后份表面的毛发,在临床实践和研究中最常评估的是颞肌前束和咬肌浅层的表面肌电信号^[12-13]。从口腔解剖生理的角度看,咬肌和颞肌是咀嚼肌的主要构成成分,下颌运动方式与颞肌前束和咬肌浅层直接相关。颞肌前束的主要作用是上提下颌,维持下颌姿势位的稳定性,在侧向移动中控制下颌运动^[14]。咬肌浅层是紧咬时产生咬合力(尤其在磨牙区)的主要肌肉,主要作用是使下颌向前上运动,其收缩可产生接近牙体长轴方向的最大咬合力^[14]。因此,颞肌前束和咬肌浅层的表面肌电信号对于评价咀嚼肌功能状态具有重要价值。

2. sEMG检测技术的临床应用价值:sEMG可以获取关于颞肌前束和咬肌浅层的肌电活动数据(图1),主要包括静态测试(如下颌姿势位、牙尖交错位最大自主紧咬等)和动态测试(如咀嚼、吞咽等)状态下的肌电峰值、平均肌电值及双侧肌电活动对称性等数据^[15-16]。从生物力学角度分析,临床中需要重点关注的是动态测试(如咀嚼)和两种静态测试(下颌姿势位和牙尖交错位最大自主紧咬)时的肌电活动特征^[17]。

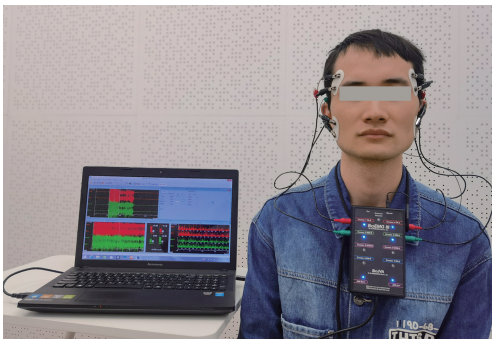


图1 颞肌前束和咬肌浅层的表面肌电仪检查

目前,sEMG检测技术已被应用于一般肌肉疾病、神经-肌肉疾病和影响神经-肌肉功能疾病的评估^[10]。sEMG在口腔医学领域中有多种应用,包括在磨牙症、颞下颌关节紊乱病和错颌畸形等患者中评估肌肉的功能活动和收缩效能^[10,17-18],同时还可以达到辅助诊断^[19-20]和辅助生物反馈治疗^[17]的目的。

在修复临床实践与研究中,sEMG可应用于以下情况:(1)检测患者肌电活动特征,客观定量地评估受试者在特定颌位和功能状态下的咀嚼肌状态。相关研究结果可以扩展对于患者口颌系统病理生理状态的认识,也可为临床诊疗决策提供参考信息。(2)检测患者过渡修复阶段的肌电信号特征,为调改修复体提供参考。(3)检测患者在修复治疗前

后的肌电信号特征,以评估患者咀嚼肌收缩功能的恢复情况。

3. sEMG检测技术的优势与不足:sEMG检测具有安全无创、操作简易和患者接受程度高等优点^[17]。然而,sEMG检测技术也存在一定的局限性。sEMG仅可评估肌肉的整体活动,即不同肌肉之间的协调性以及大量肌纤维叠加运动单位的动作电位随时间的变化,而不能检测肌肉内单个运动单位的动作电位;sEMG对阻抗不平衡的敏感性可能会降低评估的准确性和再现性,为此通过固定表面电极中双电极之间的距离,采用标准的电极放置方法及数据标准化处理等方式有助于克服这一局限性^[10,17,20];肌电结果易受多种因素干扰,如受试者个体差异(解剖差异、生理和心理状态等)及检测技术差异(电极位置、皮肤阻抗和电极阻抗等),这可以通过对原始肌电数据进行标准化处理来解决,即在相同检测条件下以受测肌肉完成一种高度重复性活动(如牙尖交错位最大自主紧咬)的平均肌电幅值为参考值,计算其他活动状态下肌电值相对于参考值的百分比,这有助于减小受试者个体差异和检测者操作差异的影响,提高不同研究之间数据的可比性^[21-23]。sEMG用于咀嚼肌功能状态评估存在一个重要的缺陷,即无法检测翼外肌和翼内肌肌电活动,从而不能完全地反映下颌运动状态,故对于咀嚼肌肌电的全面评价需配合其他技术手段共同完成。

二、殆力与咬合接触评估的数字化实现

1. 殆力与咬合接触评估的数字化技术:患者的咬合力、咬合接触面特征一直是临床医生关注的重点。传统的咬合分析工具咬合纸可提供的咬合特征信息有限,且易受口内唾液等多种因素干扰。采用数字化咬合分析技术可以实现对患者的静态咬合接触特征(咬合接触面积、咬合力分布、咬合力中心点位置),以及动态咬合接触特征(咬合接触时间、咬合分离时间)等多种信息的实时定量分析,这种分析方式将“看不见”的咬合信息转化为直观具体的数据与图像,进而指导临床诊疗。其中的代表性技术是T-Scan咬合分析技术^[2,24]和光学三维扫描咬合分析技术^[25-26]。

2. T-Scan咬合分析技术

(1)T-Scan咬合分析技术的应用方向:T-Scan咬合分析仪检测的准确性和可重复性较好,可为咬合关系的定量研究提供直观、清晰的结果^[27-28](图2)。数字化咬合分析技术已成为咬合重建中个性化咬合设计的有效辅助手段^[29]。在种植修复病例中,借助T-Scan咬合分析仪可识别天然牙与种植体支持修复体的咬合差异并指导调殆,以期达到维持种植修复长期稳定的目的^[28,30-31]。此外,咬合分析的实时结果能够以数据的形式长期存储,为直观评估患者修复后长期效果及咬合变化提供可能^[32]。

有研究者指出,T-Scan咬合分析仪不能直接检测出不同牙位的咬合力绝对值,其主要通过检测牙弓中不同部位(左/右侧、前牙/后牙区)的力量分布百分比来评价咬合力特征,因此其只能用于比较同一患者的咬合变化,而不可用于不同患者之间的比较^[24]。然而,不同个体、不同性别之间咬合力

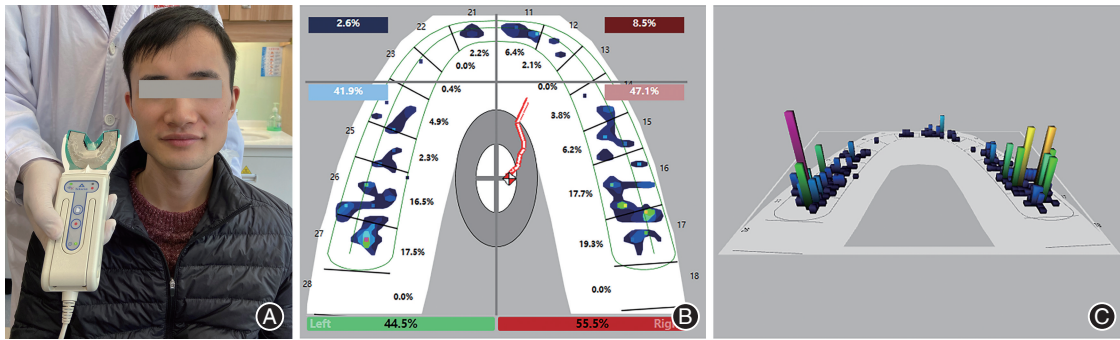


图2 T-Scan咬合分析技术的临床应用 A:T-Scan咬合分析仪检查;B~C:咬合分析软件中咬合接触的二维、三维图像。

大小的差异较大,直接比较不同患者咬合力大小的绝对值可能无法避免个体差异带来的混杂因素影响。T-Scan咬合分析仪对于牙列中咬合力分布的百分比评估可能更有利于不同患者之间的比较分析,这与前文所述将机电原始数据进行标准化处理后再进行比较的分析思路类似^[21-23]。

(2)T-Scan咬合分析技术的优势与不足:殆力与咬合接触的数字化评估为临床医生及研究者们提供了传统评估方法不可比拟的便利,而其仍在不断进步以满足更多方面和更加精细化的评估需求。Canullo等^[33]将T-Scan咬合分析仪应用于探究咬合过载与种植体边缘骨吸收的关系。有系统性综述建议发挥数字化咬合评价技术可量化、结果重复性高的优势,采用统一的评价指标来探究咬合过载与种植体边缘骨吸收的关系^[34]。

以往的研究者采用了一系列的措施来提高T-Scan咬合分析仪采集的咬合数据与口内实际牙位的对应性。例如,选用适合患者牙弓大小的咬合感应薄片,根据患者牙列每一颗牙近远中径的测量数据设置个性化的牙弓分析模型,在咬合测试过程中将咬合分析仪的支架中央顶点与上颌牙列中线对齐^[28,35]。在测量前校准咬合分析仪的感应灵敏度有助于减小不同患者之间咬合力个体差异对分析数据的影响,提高数据之间的可比性^[35]。然而,当前的T-Scan咬合分析仪可在二维平面上显示咬合分布特征,尚不能在三维层面分析咬合接触面形态与局部受力方向、大小的关系。当需要确定修复体的调改位置时,临床医生在应用T-Scan分析后仍然需要应用咬合纸来进行辅助定位。近年来,有研究者将数字化三维牙列模型数据与二维咬合接触数据结合,实现了在牙列三维模型上定量分析咬合接触面积,以及各咬合接触点的咬合力大小、方向,该技术可以为临床医生提供更真实、全面的咬合接触信息,以辅助修复体调改,达到更好的咬合平衡状态^[36]。

(3)T-Scan咬合分析技术的常用指标及注意事项:①咬合力中心点:T-Scan咬合分析仪检测的咬合力中心点代表咬合重心,即各个咬合接触点力矩之和得到的咬合力平衡点。牙尖交错殆状态下的咬合力中心点位置可用于评价患者戴用修复体后是否恢复至咬合力平衡状态。在具体病例分析中,临床医生应注意其他混杂因素也可能对咬合力中心点的分布产生影响,包括咀嚼偏好侧习惯、殆力线方向和咀嚼肌

收缩能力等^[14]。减少混杂因素影响的方式如在分析测试前对患者的咀嚼偏好侧进行区分,具体分析颌面部骨骼形态异常、错殆畸形及牙体磨耗等对咬合接触面形态及殆力线的影响。②咬合接触面积:临床医生常常关注患者不同牙位的咬合紧密程度,而咬合接触面积是其量化评价的重要指标。不同咬合分析工具对此的评估方式存在差异,T-Scan咬合分析仪通过咬合接触像素点数量间接反映咬合接触面积情况^[14,37],其检测精度受到单位像素点大小的限制^[25]。Dental Prescale咬合分析仪可用于检测咬合接触面积的具体数值^[25,38]。咬合接触面积是多种因素综合影响的结果,包括牙齿排列情况、颌面部骨骼形态、咀嚼肌收缩能力和颞下颌关节形态等^[39]。因此,未来需要进一步探究各种因素对咬合接触面积的影响程度,以及各种因素之间互相影响的关系。③咬合接触时间与咬合分离时间:早接触与殆干扰是患者在动态咬合过程中可能出现的不良咬合情况。由于动态咬合过程中患者下颌运动速度较快,临床医生通常难以通过肉眼直接观察到不良咬合的存在,使用咬合纸进行反复检查则十分依赖于医生的经验判断。咬合接触时间^[40]与咬合分离时间^[41-42]是T-Scan咬合分析仪评价动态咬合接触模式的重要指标。咬合接触时间与受试者的咬合接触模式直接相关,其反映受试者牙尖交错位咬合的稳定性和健康程度^[43]。有研究显示,咬合接触时间的延长反映受试者咬合稳定性下降,受试者出现早接触、颞下颌关节紊乱病的可能性增加^[40]。咬合分离时间反映受试者前伸咬合和侧方咬合的稳定性,其小于0.4 s属于正常范围。一般认为咬合分离时间的延长与殆干扰、咀嚼肌疼痛等不良临床后果有关。咬合分离时间延长会导致咀嚼肌收缩时间增加和过度活跃,肌肉中乳酸积累,进而出现缺血性疼痛和功能障碍^[41]。

数字化技术提升了临床医生识别咬合异常情况的能力,然而在临床实践中不可完全将咬合接触时间、咬合分离时间的延长与早接触、殆干扰直接关联,因为T-Scan咬合分析仪的咬合检测膜片厚度也可能影响检测结果——口内实际上牙之间非接触的牙面也可能在咬合膜片的感应中显示为接触状态。因此,对于咬合分析仪的动态咬合检测结果需应用咬合纸进行口内的检查验证。

3. 光学三维扫描咬合分析技术

(1)光学三维扫描咬合分析技术的应用方向:近年来,随

随着光学三维扫描技术的发展及配套软件功能的完善,基于数字化牙列模型的三维咬合分析方法逐渐受到大家的重视。该技术由数字化牙列模型数据采集和软件算法分析组成。其中,牙列模型数据包括牙齿咬合面形态和上、下颌空间位置关系^[25],获取方式包括口内直接扫描途径,扫描印模或石膏模型途径^[44]。在软件中通过不同的咬合分析算法可以模拟患者的咬合接触情况,实现在牙列三维模型上量化分析咬合接触分布及咬合接触面积,进而为修复体咬合面设计、临床调改修复体及咬合分析研究提供参考^[25-26,44]。目前,相关技术已应用于正常受试者、修复或正畸治疗患者等人群的咬合分析研究^[26,45]。

(2)光学三维扫描咬合分析技术的优势与不足:目前,临床常用的咬合分析方法包括咬合纸法、软蜡片法、硅橡胶印模法及骀架法等,这些方法的局限性在于结果无法量化分析、重复性不高。传统检测工具的材料性质、医生的使用方法和主观经验以及患者的口内情况(如唾液分泌量)和配合程度等多种因素都可能影响咬合分析结果^[25,45]。数字化咬合分析工具(如T-Scan咬合分析仪、Dental Prescale咬合分析仪)在临床的应用已越来越广泛,然而这些工具的使用都无法避免将压力感应薄膜介质置于上下牙之间,介质的物理性质(如厚度、形变能力及形状等)对于原有咬合关系的影响是不可忽视的^[5,25]。另外,上述各种测量介质均无法与咬合面尖窝形态充分贴合,只能显示咬合接触区域在二维平面上的投影面积,这导致检测结果无法反映真实的三维咬合接触面积^[25,36]。相比上述方法,光学三维扫描咬合分析技术具有操作简便、不依赖检测介质、患者接受程度高、分析直观、检测精度高以及结果重复性良好等优点,其可以较为真实地对三维咬合接触面积进行量化分析^[25-26,44-45]。

影响光学三维扫描咬合分析准确性的因素包括牙列模型数据的获取方式和软件分析算法^[25,45]。有学者对比口内直接扫描与口外石膏模型扫描的数字化咬合数据发现,口内直接扫描的咬合接触更紧密,其结果更接近实际咬合状态,同时还可避免印模制取、石膏模型翻制等操作误差对印模精度的影响^[25,44]。程明轩等^[44]指出,口内直接扫描的精度可能因三维数据拼接次数增加,牙齿表面血液、唾液等污染物增多,患者配合度降低等原因而下降,进而影响三维数字化咬合分析的准确性,因此扫描仪器在口内停留时间不宜过长,扫描范围不宜超过3个牙位。另有研究者发现,在受试者进行最大咬合力咬合时,T-Scan咬合分析技术测量咬合接触面积的信度优于口内扫描咬合分析技术,其原因在于口内扫描可能出现牙齿的扫描形态缺陷,而配套软件的模型优化校正无法准确还原口内牙齿的形态,另外天然牙在咬合时存在各向动度,但咬合分析算法未考虑牙周膜动度对咬合关系的影响^[5]。因此,采用咬合状态的口内直接扫描的数据,改进扫描技术的精度以及设计牙周膜动度相关的咬合分析算法将有助于进一步提高光学三维扫描咬合分析的准确性。

目前的数字化咬合分析算法仅可分析静态咬合接触情况。未来若要实现动态咬合分析,则需要对咬合分析算法中

补充下颌运动轨迹数据,在三维层面模拟功能状态的咬合接触情况。该技术将为患者-医生-技师间沟通,修复体形态设计与调改等方面带来更大便利,具有良好的临床应用前景。

三、下颌运动功能评估的数字化实现

1. 下颌运动功能评估的数字化技术:下颌运动形式复杂,利用仪器描记观测标志点(切点、髁点)的运动轨迹是评估下颌运动功能的重要方法^[14]。目前,下颌运动轨迹的检查方法包括机械描记法、电子描记法、视频运动分析法和X线跟踪法^[7,14]。

(1)机械描记法(又称运动面弓法):通过机械式描记仪的描记针在描记板上记录髁突运动轨迹,可以直观地分析髁突运动特征。机械描记法同样可以记录切点的运动轨迹图。该方法的局限性在于操作复杂,测量耗时,操作者的熟练程度易影响测量结果^[1,7,14]。

(2)电子描记法:下颌运动时,固定在下颌骨的描记感应装置与固定在上颌或头颅的另一感应装置之间的相对位置发生改变,通过对变化的位置信息进行数字化转换可在计算机中重现下颌运动轨迹。该技术的代表性检测仪器包括磁电技术描记仪和超声波技术描记仪,其中磁电技术描记仪主要应用于切点运动轨迹分析,而超声波技术描记仪可同时记录分析切点和髁点的运动轨迹^[1,14]。与机械描记法相比,电子描记法消除了描记板和描记针的接触对下颌三维运动的限制,因此描记结果更接近下颌运动的生理状态^[14]。此类方法有助于获取患者的下颌运动参数以指导修复体、咬合板的设计^[46],还可与肌电仪、咬合分析仪等多系统联合使用获得更多的下颌运动特征数据,适用于下颌运动轨迹的临床研究和复杂的病例分析^[1]。

(3)视频运动分析法:采用光电跟踪等方式进行立体摄影直接测量下颌运动——将可以发射红外光或近红外光(主动标记点)或反射红外光(被动反射标记点)的标记点通过支架或直接黏固于面部、上下颌骨或牙齿。通过两个或多个摄像机测量标记点运动时的二维图像,进而重建出标记点的三维运动轨迹,最终在计算机中将标记点的轨迹数据与颅骨三维重建模型进行配准,即可直接观察下颌运动。该方法的优点在于可以在计算机软件中标记下颌骨、牙齿等解剖结构的任何一点进行运动轨迹分析,不足之处在于仪器设备安装成本高,需要专门的测试环境(如较大的实验空间以容纳多组摄像机,同时还应避免其他光线的干扰)及测量过程耗时等,这些都限制了其在临床实践的应用^[7]。另外,由于铰链轴点无法通过解剖特征来确定,该方法无法以铰链轴位为准来描绘下颌运动的髁突运动轨迹^[14]。

(4)X线跟踪法:通过视频X线透视和四维计算机断层扫描技术可实现对下颌骨运动的直接观察与测量,然而该方法面临患者需接受较大剂量辐射的伦理风险,同时还存在测试设备费用高、影像数据分析处理时间长等问题^[7]。

2. 下颌运动轨迹超声波描记技术的临床应用价值:在口腔临床数字化诊疗模式的发展趋势中,对下颌运动测量技术的操作便利性、安全微创性及快速收集数据能力的要求越来越

越高,其中超声波技术描记仪的应用愈发受到重视。超声波描记技术的工作原理是利用固定在上下颌的超声波发射器与接收器之间对超声波信号的感应,结合计算机和配套软件分析计算出下颌运动的三维位置变化,并描绘出切点、髁点的运动轨迹(图3)。

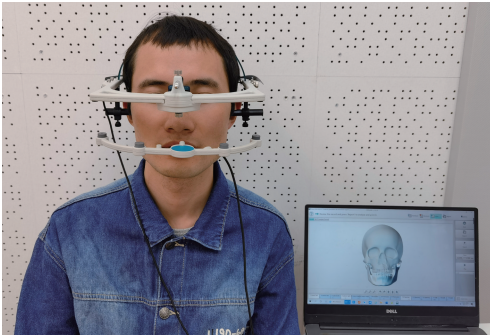


图3 下颌运动超声波描记仪检查

描记仪中标志点运动轨迹特征(对称性、流畅性、稳定性)、运动轨迹形态和运动范围等指标可用于定性、定量地评价下颌运动的个性化特征,辅助确定髁架参数和全口义齿修复的颌位关系,以及在治疗过程和长期随访中监测下颌运动功能状态的变化^[1,7]。此外,下颌运动轨迹的数字化记录还可与CBCT数据、口内扫描数据相结合,实现数字虚拟建模,构建“虚拟患者”,以获得更高效的医患沟通、医技沟通及多学科交流提供便利^[47]。

3. 下颌运动轨迹超声波描记技术的优势与不足:下颌运动轨迹超声波描记技术的设备操作简便,无须复杂的校准流程,并且固定在患者下颌的超声波发射器重量轻,设备及固位材料对咬合接触和下颌运动过程的影响较小^[7]。此外,其优势还在于可以直接获取髁架参数^[7],同时其转移颌位关系的精度高于面弓转移法,有助于提高在髁架上模拟咬合接触和下颌运动的准确度^[14]。一项系统性评价的文献报道,超声波技术描记仪测量下颌运动轨迹的准确性较高,其在20 mm运动路径中的平均测量误差水平向为0.10 mm,矢状向为0.13 mm,垂直向为0.17 mm,其测量精度范围为0.1 ~ 0.2 mm^[7,48]。Kordaß等^[6]将下颌运动超声波描记仪应用于259名受试者的Bennett角、瞬即侧移等髁突运动参数的分析研究,结果显示其对于检测受试者下颌运动的个性化髁突运动参数具有良好的应用价值,这为临床上设置患者的个性化髁架参数提供了参考。

在临床实践中,切点和髁点的定位是进行下颌运动分析的前提条件。其中,切点的定位相对容易,便于直接操作,而髁点的定位较复杂。在下颌运动中,机械式描记仪以铰链轴位为准记录髁突的运动轨迹。由于无法通过解剖特征定位铰链轴点,临床医生需要在受试者做铰链开闭口运动时反复调整描记针使得其在一点上做单纯旋转(不伴位移)时才能确定铰链轴^[14],该过程的操作耗时较长。下颌运动超声波描记仪确定铰链轴的操作则相对简便,仅需要患者完成小范围

的开闭口运动(不超过10 mm),仪器便可自动识别髁突区域内原地旋转的点以确定个性化的铰链轴,其精确性接近运动面弓。

下颌运动轨迹特征受到多种因素的影响。髁接触影响下颌运动的上界,颞下颌关节影响下颌运动的范围,在行使咀嚼、言语等口腔系统功能时神经-肌肉系统影响下颌运动的状态^[1,14]。从牙尖交错位到后退接触位是下颌边缘运动上缘的一部分,其受到肌肉收缩能力、咬合接触形态等因素的影响^[14]。下颌侧方运动髁突运动范围受到咀嚼肌收缩能力、颞下颌关节结构(关节囊、颞下颌韧带)等因素的影响^[14]。因此,单一的下颌运动轨迹描记技术无法分析髁、颞下颌关节及神经-肌肉系统的影响情况,未来应采用数字化技术同步记录下颌运动轨迹、咀嚼肌肌电及咬合接触等信息,以更好地分析下颌运动轨迹特征与口腔系统各部分组成之间的影响关系。

四、总结

目前,数字化技术已广泛应用于口腔修复临床诊疗,临床医生也更加关注咬合、咀嚼肌、颞下颌关节的健康协调对维持长期稳定修复效果的重要性。对于以往临床诊疗中患者口腔系统功能评价不直观、难量化等问题,口腔数字化技术为我们提供了“化虚为实”的可能。然而口腔数字化技术仍然存在一定的局限性。髁、咀嚼肌与颞下颌关节之间互相影响,目前的数字化技术手段难以同时检测三方面要素之间互相影响的情况,单一技术的检测结果不能全面反映口腔系统的功能状态。未来随着数字化技术的不断发展,临床上患者的口腔系统功能评价有望变得更加全面、直观和便捷,数字化技术将为口腔修复临床诊疗带来更多益处。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 王美青,谢秋菲,李晓箐,等. 髁学[M]. 4版. 北京:人民卫生出版社, 2020.
- [2] Chowdhary R, Sonnahalli NK. Clinical applications of the T-Scan quantitative digital occlusal analysis technology a systematic review [J]. Int J Comput Dent, 2023, 0(0): 0. DOI: 10.3290/ijcd.b3945153.
- [3] Ruttitivanich N, Tansalarak R, Palasuk J, et al. Correlation of bite force interpretation in maximal intercuspal position among patient, clinician, and T-Scan III system [J]. Eur J Dent, 2019, 13(3): 330-334. DOI: 10.1055/s-0039-1693755.
- [4] Nitecka - Buchta A, Nowak - Wachol A, Wachol K, et al. Myorelaxant effect of transdermal cannabidiol application in patients with TMD: A randomized, double-blind trial [J]. J Clin Med, 2019, 8(11): 1886. DOI: 10.3390/jcm8111886.
- [5] Ayuso-Montero R, Mariano-Hernandez Y, Khoury-Ribas L, et al. Reliability and validity of T-scan and 3D intraoral scanning for measuring the occlusal contact area [J]. J Prosthodont, 2019, 29(1): 19-25. DOI: 10.1111/jopr.13096.
- [6] Kordaß B, Bernhardt O, Ruge S, et al. Standard and limit values for

- the symmetry of articulation parameters in the temporomandibular joint area - evaluations of the associated project of the SHIP study [J]. *Int J Comput Dent*, 2019, 22(4):353-362.
- [7] Woodford SC, Robinson DL, Mehl A, et al. Measurement of normal and pathological mandibular and temporomandibular joint kinematics: A systematic review [J]. *J Biomech*, 2020, 111: 109994. DOI:10.1016/j.jbiomech.2020.109994.
- [8] von der Gracht I, Derks A, Haselhuhn K, et al. EMG correlations of edentulous patients with implant overdentures and fixed dental prostheses compared to conventional complete dentures and dentates: A systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2017, 28(7):765-773. DOI:10.1111/clr.12874.
- [9] de Rossi M, Palinkas M, de Lima-Lucas B, et al. Masticatory muscle activity evaluation by electromyography in subjects with zygomatic implants [J]. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2017, 22(3):e392-e397. DOI:10.4317/medoral.21659.
- [10] Szyzka-Sommerfeld L, Machoy M, Lipski M, et al. The diagnostic value of electromyography in identifying patients with pain-related temporomandibular disorders [J]. *Front Neurol*, 2019, 10: 180. DOI:10.3389/fneur.2019.00180.
- [11] Ebenbichler G, Habenicht R, Blohm P, et al. The back muscle surface electromyography-based fatigue index: A digital biomarker of human neuromuscular aging? [J]. *Bioengineering*, 2023, 10(3):300. DOI:10.3390/bioengineering10030300.
- [12] Beddis H, Pemberton M, Davies S. Sleep bruxism: An overview for clinicians [J]. *Br Dent J*, 2018, 225(6):497-501. DOI:10.1038/sj.bdj.2018.757.
- [13] Sônego MV, Goiato MC, Dos Santos DM. Electromyography evaluation of masseter and temporalis, bite force, and quality of life in elderly patients during the adaptation of mandibular implant - supported overdentures [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2017, 28(10):169-174. DOI:10.1111/clr.12980.
- [14] 何三纲, 于海洋, 王美青, 等. 口腔解剖生理学[M]. 8版. 北京: 人民卫生出版社, 2020.
- [15] Qi K, Guo SX, Xu Y, et al. An investigation of the simultaneously recorded occlusal contact and surface electromyographic activity of jaw - closing muscles for patients with temporomandibular disorders and a scissors - bite relationship [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2016, 28: 114 - 122. DOI: 10.1016/j.jelekin.2016.04.004.
- [16] Nishi SE, Rahman NA, Basri R, et al. Surface electromyography (sEMG) activity of masticatory muscle(masseter and temporalis) with three different types of orthodontic bracket [J]. *Biomed Res Int*, 2021;6642254. DOI:10.1155/2021/6642254.
- [17] Mehr K. Surface electromyography in orthodontics—A literature review [J]. *Med Sci Monit*, 2013, 19:416-423. DOI:10.12659/MSM.883927.
- [18] Nishi SE, Basri R, Alam MK. Uses of electromyography in dentistry: An overview with meta - analysis [J]. *Eur J Dent*, 2019, 10(3):419-425. DOI:10.4103/1305-7456.184156.
- [19] Lobbzoo F, Ahlberg J, Raphael KG, et al. International consensus on the assessment of bruxism: Report of a work in progress [J]. *J Oral Rehabil*, 2018, 45(11):837-844. DOI:10.1111/joor.12663.
- [20] Szyzka-Sommerfeld L, Sycińska-Dziarnowska M, Budzyska A, et al. Accuracy of surface electromyography in the diagnosis of pain-related temporomandibular disorders in children with awake bruxism [J]. *J Clin Med*, 2022, 11(5):1323. DOI:10.3390/jcm11051323.
- [21] Lucas BDL, Barbosa TDS, Pereira LJ, et al. Electromyographic evaluation of masticatory muscles at rest and maximal intercuspal positions of the mandible in children with sleep bruxism [J]. *Eur Arch Paediatr Dent*, 2014, 15(4):269-274. DOI:10.1007/s40368-014-0111-6.
- [22] Gomes SGF, Custodio W, Faot F, et al. Masticatory features, EMG activity and muscle effort of subjects with different facial patterns [J]. *J Oral Rehabil*, 2010, 37(11):813-819. DOI:10.1111/j.1365-2842.2010.02075.x.
- [23] Wang XR, Zhang Y, Xing N, et al. Stable tooth contacts in intercuspal occlusion makes for utilities of the jaw elevators during maximal voluntary clenching [J]. *J Oral Rehabil*, 2013, 40(5):319-328. DOI:10.1111/joor.12044.
- [24] Huang YF, Wang CM, Shieh WY, et al. The correlation between two occlusal analyzers for the measurement of bite force [J]. *BMC Oral Health*, 2022, 22(1):472. DOI:10.1186/s12903-022-02484-9.
- [25] 萧宁, 孙玉春, 赵一姣, 等. 三种数字化分析算法测量咬合接触分布及面积的对比研究[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2020, 52(1):144-151. DOI:10.19723/j.issn.1671-167X.2020.01.023.
- [26] Morsy N, El Kateb M. *In vivo* precision of digital static interocclusal registration for full arch and quadrant arch scans: A randomized controlled clinical trial [J]. *BMC Oral Health*, 2022, 22(1):559. DOI:10.1186/s12903-022-02612-5.
- [27] 王时敏, 李峥, 王冠博, 等. 全程数字化夜磨牙保护垫的制作和初步应用[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2019, 51(1):105-110. DOI:10.19723/j.issn.1671-167X.2019.01.019.
- [28] Wu ML, Lai PY, Cheong F, et al. Application in the analysis of the occlusal force of free-end missing tooth implant restoration with T-Scan III [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2023, 11:1039518. DOI:10.3389/fbioe.2023.1039518.
- [29] Yu W, Chen S, Li X, et al. Evaluation of 1-piece versus 3-piece framework designs for the edentulous mandible with fixed implant-supported prostheses: A clinical, occlusal and biomechanical study [J]. *J Prosthodont*, 2021, 30(4):290-297. DOI:10.1111/jopr.13320.
- [30] Luo Q, Ding Q, Zhang L, et al. Analyzing the occlusion variation of single posterior implant - supported fixed prostheses by using the T-Scan system: A prospective 3-year follow-up study [J]. *J Prosthet Dent*, 2020, 123(1):79-84. DOI:10.1016/j.prosdent.2018.12.012.
- [31] Zhang R, Hao X, Zhang K. Evaluation of two different occlusal patterns on single posterior implant - supported crowns: A 12-

- month prospective study of occlusal analysis[J]. *J Prosthet Dent*, 2023. DOI: 10.1016/j.prosdent.2022.11.026.
- [32] Prieto - Barrio P, Khoury - Ribas L, Rovira - Lastra B, et al. Variation in dental occlusal schemes two years after placement of single-implant posterior crowns: A preliminary study [J]. *J Oral Implantol*, 2022, 48(2): 110-116. DOI: 10.1563/aaid-joi-D-19-00239.
- [33] Canullo L, Tallarico M, Radovanovic S, et al. Distinguishing predictive profiles for patient - based risk assessment and diagnostics of plaque induced, surgically and prosthetically triggered peri-implantitis [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2016, 27(10): 1243-1250. DOI: 10.1111/clr.12738.
- [34] Di Fiore A, Montagner M, Sivoletta S, et al. Peri-implant bone loss and overload: A systematic review focusing on occlusal analysis through digital and analogic methods [J]. *J Clin Med*, 2022, 11(16): 4812. DOI: 10.3390/jcm11164812.
- [35] Bandodkar S, Tripathi S, Chand P, et al. A study to evaluate psychological and occlusal parameters in bruxism [J]. *J Oral Biol Craniofac Res*, 2022, 12(1): 38-41. DOI: 10.1016/j.jobcr.2021.10.007.
- [36] Zhao Z, Wang Q, Li J, et al. Construction of a novel digital method for quantitative analysis of occlusal contact and force [J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23(1): 190. DOI: 10.1186/s12903-023-02899-y.
- [37] Adisen MZ, Okkesim A, Misirlioglu M, et al. Does sleep bruxism affect masticatory muscles volume and occlusal force distribution in young subjects? A preliminary study [J]. *Cranio*, 2018, 37(5): 278-284. DOI: 10.1080/08869634.2018.1450180.
- [38] Zhao Z, Wang Q, Zheng X, et al. Reliability and validity of two computerised occlusion analysis systems [J]. *J Dent*, 2022, 118: 104051. DOI: 10.1016/j.jdent.2022.104051.
- [39] Haralur SB, Majeed MI, Chaturvedi S, et al. Association between preferred chewing side and dynamic occlusal parameters [J]. *J Int Med Res*, 2019, 47(5): 1908-1915. DOI: 10.1177/0300060519827165.
- [40] Nota A, Tecco S, Cioffi C, et al. Occlusion time analysis in military pilots affected by bruxism [J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 1408. DOI: 10.1038/s41598-018-38166-2.
- [41] Thumati P, Thumati RP, Poovani S, et al. A multi - center disclusion time reduction (DTR) randomized controlled occlusal adjustment study using occlusal force and timing sensors synchronized with muscle physiology sensors [J]. *Sensors*, 2021, 21(23): 7804. DOI: 10.3390/s21237804.
- [42] Wang M, Liu L, Ma X, et al. Computerized dynamic occlusal analysis and its correlation with static characters in post - orthodontic patients using the T - Scan system and the ABO objective grading system [J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23(1): 312. DOI: 10.1186/s12903-023-02868-5.
- [43] Lin PT, Jiao Y, Zhao SJ, et al. Occlusion and disocclusion time changes in single unit crowns designed by functional generated path technique: A randomised clinical trial [J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 388. DOI: 10.1038/s41598-017-00408-0.
- [44] 程明轩, 姜婷, 孙玉春, 等. 比较口内扫描和模型扫描对数字化牙列模型咬合定量分析的影响 [J]. *北京大学学报(医学版)*, 2018, 50(1): 136-140. DOI: 10.3969/j.issn.1671-167X.2018.01.023.
- [45] Sigvardsson J, Nilsson S, Ransjö M, et al. Digital quantification of occlusal contacts: A methodological study [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(10): 5297. DOI: 10.3390/ijerph18105297.
- [46] Okura K, Shigemoto S, Suzuki Y, et al. Mandibular movement during sleep bruxism associated with current tooth attrition [J]. *J Prosthodont Res*, 2017, 61(1): 87-95. DOI: 10.1016/j.jpor.2016.06.003.
- [47] 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. DOI: 10.3760/cma.j.cn112144-20220722-00402.
- [48] Kijak E, Lietz-Kijak D, Frączak B, et al. Assessment of the TMJ dysfunction using the computerized facebow analysis of selected parameters [J]. *Biomed Res Int*, 2015; 508069. DOI: 10.1155/2015/508069.

(收稿日期:2023-06-10)

(本文编辑:王嫒)