

• 种植专栏 •

后牙区种植单冠咬合接触设计的研究进展

王梦雅¹ 李家锋² 张政¹ 杨锋^{1,2}

1. 徐州医科大学口腔医学院 徐州 221004;

2. 徐州医科大学附属医院口腔科 徐州 221002

[摘要] 咬合设计是影响骨结合和其长期稳定性的重要因素之一, 良好的咬合设计有利于将咬合力合理地分散至种植体及其周围骨组织中, 从而促进种植体周软硬组织的健康。不合理的咬合设计导致的咬合过载、非轴向力等现象是引起种植义齿出现晚期失败的重要因素, 因此咬合设计关系到种植修复的成功率及远期效果。本文将从神经肌肉系统与咬合设计的关系、咬合接触设计相关因素及种植单冠修复后咬合变化等方面进行综述, 以期后牙区种植单冠的咬合设计提供参考。

[关键词] 下颌后牙区; 种植单冠; 咬合设计

[中图分类号] R783.4 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2026101



本文链接

OSID 码

Advances in occlusal contact design of posterior implant-supported single crownWang Mengya¹, Li Jiafeng², Zhang Zheng¹, Yang Feng^{1,2}

1. School of Stomatology, Xuzhou Medical University, Xuzhou 221004, China; 2. Dept. of Stomatology, the Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University, Xuzhou 221002, China

Supported by: Construction Project of High Level Hospital of Jiangsu Province (GSPSJ20240806); Paired Assistance Scientific Research Project by the Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University (FXJDBF2024214)

Correspondence: Yang Feng, Email: yangfeng0909@126.com

[Abstract] Occlusal design is one of the most important factors affecting the osseointegration and long-term stability of implant restorations. A well-designed occlusion helps evenly distribute occlusal forces to the implant and its surrounding bone tissue, thereby promoting the health of peri-implant soft and hard tissues. By contrast, occlusal overload and non-axial forces caused by improper occlusal design are key factors contributing to dental implant failure in the long term. Therefore, occlusal design directly affects the success rate and long-term outcomes of implant restorations. This work reviews the relationship between the neuromuscular system and occlusal design, factors influencing occlusal contact design, and occlusal changes after implant-supported single-crown restorations. The findings provide guidelines for occlusal design in implant-supported single crowns in posterior regions.

[Key words] mandibular posterior tooth area; implant single crown; occlusal design

牙列缺损是中老年人群的常见疾病, 长期的牙齿缺失会导致咀嚼效率和咬合力的降低、牙槽

骨吸收以及可能的认知和记忆受损^[1], 而后牙区因是龋病、牙周病等疾患的好发部位, 导致其成为常见的失牙区。种植义齿凭借其显著的生物学优势和功能优势被越来越多后牙缺失的患者所选择^[2]。然而, 在义齿长期使用过程中, 修复并发症发生的风险逐渐增加。有报道^[3-4]显示: 种植义齿的后期并发症与其承受的负荷以及咬合设计密切相关, 而且后牙相对于前牙更容易发生修复并发症。因此, 研究后牙区种植单冠咬合设计对于维

[收稿日期] 2025-02-08; **[修回日期]** 2025-04-08

[基金项目] 江苏省高水平医院建设项目 (GSPSJ20240806); 徐州医科大学附属医院“结对帮扶”科研项目 (FXJDBF2024214)

[第一作者] 王梦雅, 住院医师, 硕士, Email: wangmengya0501@163.com

[通信作者] 杨锋, 副主任医师, 博士, Email: yangfeng0909@126.com

持种植体长期成功率以及提高患者生活质量具有重要临床意义。既往咬合设计相关的综述多聚焦于种植体与天然牙的生物力学差异和机械应力对种植体周围骨的影响,而咬合设计与神经肌肉系统的相互作用尚未引起足够的关注。

本文首先系统探讨了神经肌肉系统与后牙区种植单冠咬合设计间的交互关系,继而深入分析了影响后牙区种植单冠咬合设计的关键因素,最后总结了种植单冠修复后的咬合变化趋势,以期临床优化咬合方案提供理论依据。

1 神经肌肉系统与咬合设计

天然牙与种植体之间根本的、固有的区别是种植体与骨直接接触,而天然牙由牙周韧带悬浮在牙槽窝内。牙周膜内配备了敏感的触觉感受器和机械感受器,其可在牙周组织中发出有关牙齿负荷的信号,然后将相关信息传递给脑干。有研究^[5]发现:前牙与后牙的负荷阈值之间存在明显的差异,前牙对0~1 N的力最敏感,而后牙对0~4 N的力最敏感,且后牙在更高水平的力和更长的时间内具有更高的敏感性。复杂的神经生理机制使颌骨肌肉系统能够适应口腔和牙齿的变化。神经可塑性是神经肌肉系统显著适应性的一个特征,它是指神经系统在结构和功能上能够根据环境刺激和经验进行调整和改变的能力。患者因牙齿缺失而进行的修复治疗,会改变口腔的环境,包括咬合接触的方式、牙齿的位置、牙弓的形状、颌间垂直距离等。为了更好地控制和调节咀嚼运动,以适应这些口腔状态的变化,大脑会进行相应的适应性改建。研究^[6-7]表明:牙列缺损可能会改变大脑在咀嚼运动时的激活区域,而种植义齿可以逆转这种改变,种植单颗义齿后,大脑在咬合时的激活区域与天然牙相似,尽管激活强度和范围均较小。虽然种植体的外周反馈系统与天然牙不同,但中枢神经的可塑性也是植入物负荷的一个特征^[8]。种植体的植入产生了额外的神经可塑性变化,可以补偿缺失牙齿牙周韧带丢失的体感输入,但牙周韧带的缺失还是使得种植义齿具有很高的触觉阈值。

在特定的咬合负荷范围内,咬合力可以促进健康的骨重塑过程;有研究^[9]通过对比不同的负重方式对种植体周神经纤维再生及骨组织改建的影响,结果发现:即刻负重的种植体周围有髓鞘神

经纤维密度比延期负重多,且大多数神经纤维分布于种植体周围承受胎力的骨组织内。Wada等^[10]给犬的下颌骨植入种植体3个月后给予负载,负载3个月后发现:负重种植体周围相较于未负重种植体有更多的神经纤维蛋白(neuro-filament protein, NFP)阳性神经纤维。动物的组织学研究表明:一定的咬合力能够诱导神经纤维在种植体周围的生长,种植体周围的神经重建有利于牙种植体的骨感知。因此,适当的咬合力对神经感知有较好的促进作用。不同的咬合设计会改变咬合力的大小和分布^[11],虽然目前对于力对种植体周围神经纤维的影响机制以及神经在骨组织中的分布和功能的认识尚不够清楚,但是种植体周围软硬组织神经支配的建立可能对周围感觉信息的反馈控制来调控下颌运动有重要意义。复杂的神经生理机制引导颌骨肌肉系统为口腔环境的改变做出相应的适应性改变,为研究不同咬合设计的临床效果提供了理论基础,对咬合设计方案的适当调整具有重要意义。

2 咬合接触设计相关因素

2.1 接触紧密程度

种植牙与对颌牙咬合过于紧密或者过于疏松都不利于患者咬合功能的恢复,而适当的咬合紧密程度是促进患者咬合平衡的重要因素。在临床工作中对牙尖交错胎进行调胎时可将种植义齿调磨至“轻咬时不接触,重咬时均匀接触”的状态,轻咬合时种植体牙冠与对颌天然牙之间有8~30 μm 间隙^[12](图1),调胎时可以利用不同厚度的咬合纸来控制缓冲间隙的大小。例如,对于后牙种植单冠,当牙尖交错胎时,用40 μm 厚的咬合纸可有阻力地拉出,而用100 μm 厚的咬合纸可在所有后牙上形成均匀咬合印记。当前伸和侧方运动时,无论是工作侧还是平衡侧,修复体应与对颌牙脱离咬合接触^[13]。后牙区种植单冠的临时修复体,对于早期骨结合的形成极为关键。有临床研究^[14]显示:可将临时修复体设计为轻咬合,而合理增加接触点的数量以有利于咬合力的轴向传递,并在戴入患者口内后根据实际情况进行调整。为了提升种植体的初期稳定性,临床医生还可以采取措施来增加种植体的表面积,并扩大临时修复体与相邻天然牙的接触面积,以此来分散咬合力^[15]。种植体因缺乏牙周膜缓冲,所以其动度远小于天

然牙的生理动度。与天然牙相比,种植体只能在轴向位移 $3\sim 5\text{ }\mu\text{m}$,在水平方向位移 $10\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ ^[16],在咬合力作用下两者之间动度的差异会导致种植义齿容易负荷集中而受到伤害。为了达到保护种植体的目的,Misch^[17]提出“延迟咬合”理念,这一理念建议在种植牙与相邻的天然牙以及对颌牙接触一段时间后,种植牙才开始接触。这样做旨在弥补天然牙与种植牙之间的动度差异,并有效控制种植修复体的负荷大小。一些学者^[18]通过比较后牙种植单冠在轻度咬合和正常咬合两种情况下的咬合变化,结果发现:维持轻度咬合可以实现更低的咬合力和更晚的接触时间,但随着时间的推移并不稳定,这可能与咬合变化和牙釉质磨损有关。正常咬合组的患者展现出了更高的满意度,但随着时间的推移两组间差异会持续变小,这可能与咀嚼效率的提高有关^[18]。关于如何调磨种植牙以实现延迟咬合,有临床研究^[19]显示:采用 $(100+40)\text{ }\mu\text{m}$ 序列咬合纸进行调磨的后牙区种植单冠,能够展现出最佳的咬合稳定性和更强的临床适用性。

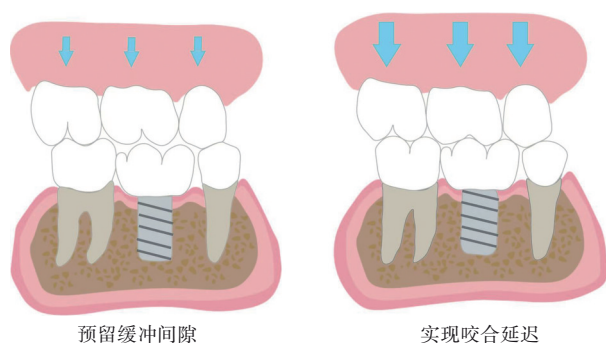


图1 种植义齿预留间隙示意图

Fig 1 Schematic of reserved spacer gap for implant-supported dentures

2.2 咬合接触点

控制力的分布最重要的因素是种植体冠上接触点的数量与分布。后牙不具有与前牙相同的本体感觉抑制水平^[20],因此,对于高负荷的后牙种植体来说,上部结构的接触点或区域的数量以及分布十分重要。当修复体与对颌牙咬合接触时,咬合力沿植体长轴方向传导最为理想,但能达到这种效果的可能性较小。有研究^[21]通过有限元分析发现:在对单颗后牙施加等量的总负荷时,若垂直载荷分布在2个或3个位置,种植体及其周围骨组织所承受的应力水平相近。然而,当载荷仅施加于1个位置时,种植体和周围骨组织将承受显著更高的应力值,这可能会对骨结合的长期稳定

性构成潜在威胁。因此,在修复体上设计多个接触点,以均匀分布咬合力,对于维持和促进骨整合至关重要。另外,在进行后牙修复时,应确保修复体的咬合面接触点数量少于天然牙齿间的接触点数目。咬合接触区域宜采用面接触方式替代点接触方式,以降低水平方向的负荷。同时,接触面的范围应尽量限制在种植体的直径范围内,以减少悬臂效应的产生^[22]。

2.3 咬合接触面积

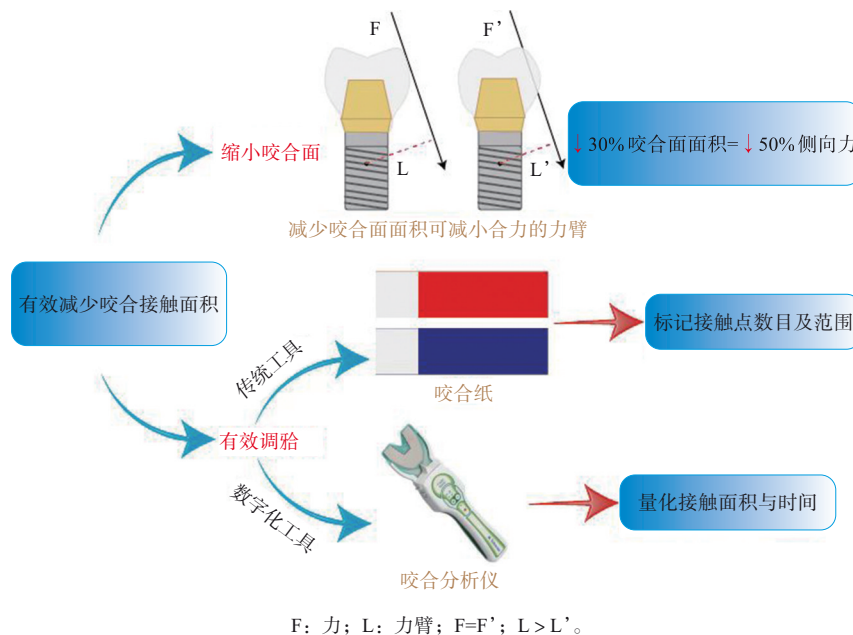
咬合接触面积与咬合力紧密相关,在确定咬合接触面积时,必须考虑种植体的直径、位置分布以及与天然牙的协调性等关键因素。通常建议后牙的殆面颊舌径宽度应比天然牙减少30%~40%^[23]。有研究^[24]表明:将咬合面缩小30%可使侧向力的大小减少近50%(图2)。缩小的咬合面积有助于减少偏移载荷的产生,并相应地增加轴向载荷,从而降低扭矩。然而,在某些情况下,咬合接触面积与咬合面面积并不呈正比关系,只有通过有效的调殆措施,才能有效减少咬合接触面积^[22]。在义齿的使用过程中咬合接触面积也并非一成不变的,相邻牙齿的磨耗可能会导致种植修复体的咬合接触点及其接触面积发生变化^[25]。天然牙比种植体冠等修复材料更容易磨耗^[26],两者间长期的磨耗不均可能会导致殆干扰。不同的修复材料也会影响种植冠的磨耗速度以及应力在植体、骨组织内的分布^[27]。因此,为了避免修复体在长期使用中出现咬合过载,修复前综合牙冠材料性能和患者个体差异来进行个性化的咬合设计,修复完成后定期复查以及调磨咬合是有必要的。随着3D扫描技术的发展,定量和最佳结果使实现精确的咬合关系成为可能,在种植修复期间可以使用T-Scan进行更精确地评估种植修复体咬合接触情况。延迟首次咬合接触的时间和控制咬合力峰值的大小对于建立适合的咬合接触及维护种植体周骨组织健康具有重要意义^[28]。

2.4 咬合接触方式

咬合接触方式是上下牙列的牙齿在不同咬合姿势下的接触情况,颌位是决定各种咬合接触状态的关键因素,临床中主要关注的是牙尖交错位时的接触情况^[29]。为降低种植体界面与上部修复体的生物力学应力,种植牙保护性殆被广泛应用于临床中,但概念中并未对上部修复体的殆面咬合接触特征进行阐述^[30]。临床工作中修复体的咬合接触方式以借鉴天然牙的咬合接触特征和工作

经验为主。尖窝接触是天然上下牙之间的典型咬合方式，也为最稳定的接触形式。种植义齿的尖窝关系应以圆钝的弧面接触代替点接触，以有效分散咬合力。后牙颊舌方向上仍采用验学中强调的ABC均匀接触关系，如因种植体位置不够理想，为了有助于受力方向与植体轴心方向重合，可排成AB、BC弧面接触关系^[31]（图3），例如下颌种植体植入偏颊侧时，可设计为AB弧面接触；植入偏舌侧时，可设计为BC弧面接触^[32]。尖-卵圆窝接触也常被应用于上部修复体的设计中，形成对验功能尖与平坦中央窝的接触方式，通过较宽大的窝形成容许牙尖进行1.5 mm范围侧方运动

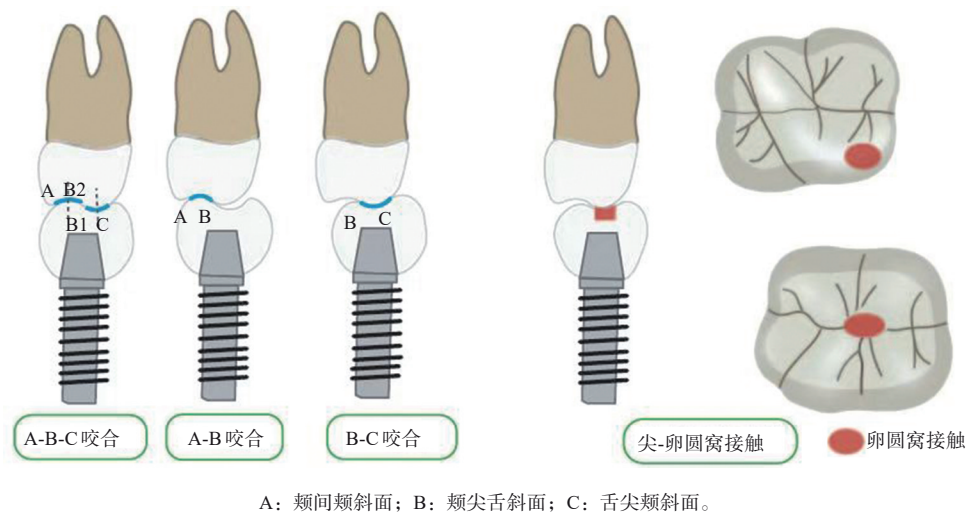
而无斜面阻挡的正中域，便于后退接触位与牙尖交错位的协调，使咬合力可尽量沿种植体长轴传递，避免种植体颈部应力集中从而有利于维持种植体周围软硬组织的稳定^[33]。有研究^[30]发现：在同等条件下不同的咬合接触方式可改变后牙种植单冠应力集中点的分布和种植体及周围骨组织的最大位移量，其中ABC咬合接触可获得最小的种植体以及周围骨组织的位移，而AB咬合接触产生了最大的种植体 Von Mises应力，有利于咬合力沿植体轴向传递。因此，上部修复体咬合接触方式的设计可影响咬合应力的分布，是在进行后牙种植单冠咬合设计时的重要考量因素之一。



F: 力; L: 力臂; $F=F'$; $L>L'$ 。

图 2 减少咬合接触面积的方法

Fig 2 Illustration of methods to reduce occlusal contact area



A: 颊间颊斜面; B: 颊尖舌斜面; C: 舌尖颊斜面。

图 3 后牙区种植单冠不同的咬合接触方式

Fig 3 Different occlusal contact patterns for single-crown implants in the posterior region

2.5 咬合面形态设计

种植体冠的咬合面形态与对颌牙的接触特征可以在很大程度上影响施加在牙齿上的力的方向、大小和分布,对咬合力具有重要的引导和分析作用^[34]。目前关于牙尖斜度对种植体颈部硬组织影响的研究多采用三维有限元分析,有研究^[35]显示:种植体和种植体-基台界面上的应力会随着尖端倾斜度的增加而增加。Weinberg^[36]报道:牙尖倾斜度每增加10°,弯矩会增加30%(图4)。有临床研究^[37]发现:牙尖斜度对种植体颈部骨质的吸收有影响,且10°~15°和20°~25°相比较,当牙尖斜度为20°~25°时,患者的满意度更高。牙尖斜度这些发现表明:减少牙尖倾斜度可能会减少骨劳损并增强种植体稳定性,还可以保护牙齿以避免咬合过载。邹敬才等^[38]的研究显示:过长的游离臂会产生杠杆作用并加大靠近悬臂梁端种植牙颈部周围骨组织内的应力,且其应力值与修复体悬臂梁长度呈正相关,是种植牙颈部周围骨组织内应力集中的主要风险因素。有临床研究^[39]发现:近远中侧冠内悬臂等于或高于2 mm的后牙种植单冠将出现更多的边缘骨丢失、并发症和组织炎症。因此,咬合面形态设计时应适当降低牙尖高度,减小牙尖斜度,尽量减少悬臂梁长度、增加食物排溢沟等,以减小在咀嚼运动中产生的侧向力,同时还应保证患者的咀嚼效率,提高患者满意度。

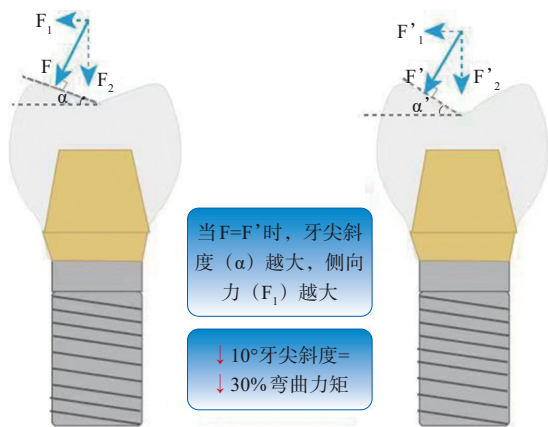


图 4 上部修复体受力与牙尖斜度的关系示意图
Fig 4 Relationship between implant superstructure loading and cusp inclination

3 患者因素

3.1 牙槽骨

颌骨的骨性状态是影响种植体早期稳定性的

关键。牙槽骨吸收和骨密度作为影响种植修复效果的双重因素,骨密度的影响可能比牙槽骨吸收更显著。I型骨密度最大,完全由皮质骨构成。IV型骨组成主要是骨小梁,周围只有一层薄薄的皮质骨。因密集的皮质骨和低密度的骨小梁之间的弹性模量不同,钛和骨小梁之间的弹性差异比钛和皮质骨之间的弹性模量差异更大^[16],所以从生物力学角度看,I、II型骨适合种植修复,III型骨或骨密度较低且伴有中度至重度牙槽骨吸收的骨应慎重考虑种植^[40]。当患者骨质较差时,可考虑选择表面改性的种植体以及采用渐进性负载,以防止种植体周围密度和刚度下降^[41]。

3.2 不良咬合习惯

不良咬合习惯是指除正常的下颌运动之外的其他额外牙齿接触运动,主要包括紧咬牙、磨牙症等。磨牙症的发生与压力、咬合干扰和颞下颌关节疾病等因素有关^[42]。现有研究^[43]表明:磨牙症患者的种植修复失败率显著高于非磨牙症患者。然而,由于相关文献仍较有限,且多数为回顾性研究,加之磨牙症的诊断标准尚未统一,目前尚缺乏高质量证据明确其与种植失败的因果关系。尽管如此,磨牙症引起的咬合创伤超负荷已被证明是引起种植修复机械并发症的重要危险因素^[44]。临床医生在设计种植方案时需充分考虑这一风险。为降低磨牙症对种植体的负面影响,可采取以下临床措施^[45]。1)减轻或消除磨牙症:常见的传统治疗方法有夹板疗法、认知行为疗法、肌松弛治疗等;同时可结合数字技术来优化夹板设计及咬合调整,从而实现更精准的咬合分析^[46]。2)种植体的选择:优先选择长种植体或大直径种植体以增强稳定性,适当增加种植体数目,单颗磨牙近远中径过大时,甚至可采用双种植体修复。3)上部修复体咬合设计:为减小侧向力咬合面设计时可减小牙尖斜度、降低牙尖高度、咬合面设计平坦中央窝等。4)建议种植修复后的患者夜间戴用硬质树脂保护垫,避免修复体过度磨损或局部过载。综上所述,未来研究需进一步统一磨牙症诊断标准并开展前瞻性研究,以提供更可靠的临床指导。针对此类患者,个性化治疗方案和多学科协作对提升种植体长期存活率至关重要。

4 种植单冠修复后咬合变化

在天然牙列中,咬合可能因多种因素的影响

而发生变化,例如牙齿和修复体的磨损、颞下颌疾病、复杂的神经生理机制反馈、天然牙的近中移位和对颌牙的持续萌出等^[47],这导致种植体上部修复体的咬合力分布和咬合接触可能随着时间的推移而改变。Zhou等^[48]通过 T-scan 对后牙单颗种植修复患者的咬合力进行了随访观察,数字测量能够量化每颗牙齿和牙弓的咬合接触和力分布,结果发现:在6个月随访期间种植体的咬合力有所增加。Ding等^[49]在5年的随访期间发现后牙种植单冠咬合力和咬合接触时间均有所增加。因此,分布在种植单冠上的咬合力在长期使用过程中不可避免地会增加。为了避免咬合过载,延长修复体的使用时间,在随访检查时应仔细监测种植修复体的咬合情况,必要时考虑咬合调整。随着数字技术的发展,未来几年将采用更多的可视化方法来观察咬合变化,从初诊到随访复诊拥有精确和量化的咬合记录将可能会成为全面分析咬合并建立稳定和谐咬合关系的关键因素^[50]。

5 小结

综上所述,天然牙和种植牙之间的差异改变了咬合力对周围骨组织的影响方式。而外周和中枢神经的可塑性可能允许机体适应修复活动和咬合设计改变后的口腔状态,但适应的程度因人而异。为了避免咬合过载,最终实现种植体和修复体的长期稳定,设计后牙种植单冠时可将殆面面积减小30%~40%,适当降低牙尖斜度,减少冠内悬臂长度,增加并均匀分布接触点,结合种植体的植入位置与方向来设计合理的上部修复体与对颌牙的咬合接触模式,使咬合力尽量沿种植体长轴传递。在临床工作中采用数字化技术,在种植修复和定期复查时为患者进行更加精确的咬合分析,对咬合接触点分布和咬合接触面积情况进行定量分析,监测种植牙的咬合力大小和咬合接触时间变化,以便更好地实现针对复杂口颌系统环境的个性化咬合设计以及术后咬合调整。

6 展望

尽管现有的研究已经在种植义齿的咬合设计方面取得了显著的进展,但仍有诸多领域需要更深入地探索。为了实现更加精准且个性化的咬合设计,以满足不同患者的个体化需求,未来的研

究可在以下几个方面进一步探索:1)深入研究力对种植体周神经分布以及作用的影响机制,从种植义齿与天然牙的生物学差异切入,结合力学传递机制和神经肌肉系统的反馈协调来探索最佳的后牙种植单冠咬合接触模式与受力接触点的分布方式。2)深入研究特殊患者群体,例如患有磨牙症、牙周炎、骨质疏松症等的患者,基于他们的咬合特性和力学需求来制定个性化的咬合接触设计,进而减少临床治疗中由于标准化设计带来的问题,以及降低因患者个体差异导致的种植修复失败率。3)在临床研究中,除了关注短期效果,长期随访数据同样重要,研究不同的咬合接触设计对骨结合、种植义齿的功能和稳定性以及周围软硬组织健康长期影响的差异,为临床中种植义齿上部修复体的咬合设计提供更加可靠的依据。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

7 参考文献

- [1] Chen Y, Li CY, Fan YM, et al. Associations of oral health status and swallowing function with cognitive impairment in the aging population: a cross-sectional study[J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23(1): 912.
- [2] Athab Abduljabbar Z, Svensson KG, Hjalmarsson L, et al. Chewing side preference and laterality in patients treated with unilateral posterior implant-supported fixed partial prostheses[J]. *J Oral Rehabil*, 2022, 49(11): 1080-1086.
- [3] Chankhore P, Khubchandani SR, Reche A, et al. Prosthetic design factors influencing peri-implant disease: a comprehensive review[J]. *Cureus*, 2023, 15(11): e48737.
- [4] 林耿冰, 郭楠. 长期使用功能后牙区种植支持单冠的修复并发症分析[J]. *中国卫生标准管理*, 2023, 14(23): 94-97.
Lin GB, Guo N. Analysis of complications in long-term use of functional posterior dental implant support single crown restoration[J]. *China Heal Stand Manage*, 2023, 14(23): 94-97.
- [5] Trulsson M. Sensory-motor function of human periodontal mechanoreceptors[J]. *J Oral Rehabil*, 2006, 33(4): 262-273.
- [6] Avivi-Arber L, Lee JC, Sood M, et al. Long-term neuroplasticity of the face primary motor cortex and

- adjacent somatosensory cortex induced by tooth loss can be reversed following dental implant replacement in rats[J]. *J Comp Neurol*, 2015, 523(16): 2372-2389.
- [7] 封纯真, 顾斌, 胡楠, 等. 单颗种植义齿咬合大脑激活区域初步研究[J]. *口腔颌面修复学杂志*, 2018, 19(3): 139-143.
- Feng CZ, Gu B, Hu N, et al. Preliminary study of brain activation areas during single implant tooth occlusion[J]. *Chin J Prosthodont*, 2018, 19(3): 139-143.
- [8] Klineberg I, Kingston D, Murray G. The bases for using a particular occlusal design in tooth and implant-borne reconstructions and complete dentures [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2007, 18(Suppl 3): 151-167.
- [9] 孙琳琳. 牙种植修复方式对种植体周神经纤维再生及骨组织改建的影响[D]. 大连: 大连医科大学, 2013.
- Sun LL. Influence of innervations and bone integration by changing the protocols of implant treatment [D]. Dalian: Dalian Medical University, 2013.
- [10] Wada S, Kojo T, Wang YH, et al. Effect of loading on the development of nerve fibers around oral implants in the dog mandible[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2001, 12(3): 219-224.
- [11] 戴东晓, 李伟, 于静, 等. 种植体修复上部义齿不同殆面形态设计的三维有限元分析[J]. *河北医药*, 2012, 34(9): 1365-1366.
- Dai DX, Li W, Yu J, et al. Three-dimensional finite element analysis of different surface morphology design of implant-restored upper denture[J]. *Hebei Med J*, 2012, 34(9): 1365-1366.
- [12] Rilo B, da Silva JL, Mora MJ, et al. Guidelines for occlusion strategy in implant-borne prostheses. A review[J]. *Int Dent J*, 2008, 58(3): 139-145.
- [13] 刘洋. 调殆——临床实用技术图解[M]. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2018: 74-75.
- Liu Y. Occlusal adjustment—a practical atlas of selective grinding[M]. Nanjing: Jiangsu Phoenix Science and Technology Press, 2018: 74-75.
- [14] 王钰卓, 李敢, 李晓飞, 等. 探究即刻负荷对下颌后牙区单牙非游离端缺失后缺牙间隙的影响[J]. *口腔医学研究*, 2023, 39(4): 336-340.
- Wang YZ, Li G, Li XF, et al. Effect of immediate loading on edentulous space maintenance of non-free end single tooth in mandibular posterior area [J]. *J Oral Sci Res*, 2023, 39(4): 336-340.
- [15] 汤易, 汤春波. 种植义齿即刻负重技术的临床进展[J]. *口腔医学*, 2016, 36(12): 1142-1144.
- Tang Y, Tang CB. Clinical progress of immediate implant loading technique: a review[J]. *Stomatology*, 2016, 36(12): 1142-1144.
- [16] Sheridan RA, Decker AM, Plonka AB, et al. The role of occlusion in implant therapy: a comprehensive updated review[J]. *Implant Dent*, 2016, 25(6): 829-838.
- [17] Misch CE. Progressive loading of bone with implant prostheses[J]. *J Dent Symp*, 1993, 1: 50-53.
- [18] Zhang R, Hao XY, Zhang KY. Evaluation of two different occlusal patterns on single posterior implant-supported crowns: a 12-month prospective study of occlusal analysis[J]. *J Prosthet Dent*, 2024, 132(6): 1277-1284.
- [19] 梁炎婷, 谢萍, 李晴, 等. 3种序列咬合纸选磨调殆方式对单颗磨牙种植延迟咬合特征的影响[J]. *上海口腔医学*, 2023, 32(2): 209-213.
- Liang YT, Xie P, Li Q, et al. Effects of three sequential occlusal adjustment methods by articulating papers on the characteristics of implant delayed occlusion for single molar[J]. *Shanghai J Stomatol*, 2023, 32(2): 209-213.
- [20] Koecklin KHU, Castillo AA, Li P. The neural substrates of bruxism: current knowledge and clinical implications[J]. *Front Neurol*, 2024, 15: 1451183.
- [21] Eskitascioglu G, Usumez A, Sevimey M, et al. The influence of occlusal loading location on stresses transferred to implant-supported prostheses and supporting bone: a three-dimensional finite element study[J]. *J Prosthet Dent*, 2004, 91(2): 144-150.
- [22] 秦甜, 吴国锋. 种植义齿-天然牙混合牙列的后牙咬合[J]. *实用口腔医学杂志*, 2015, 31(5): 733-737.
- Qin T, Wu GF. Posterior occlusion of implant and natural tooth-mixed dentition[J]. *J Pract Stomatol*, 2015, 31(5): 733-737.
- [23] Yuan JC, Sukotjo C. Occlusion for implant-supported fixed dental prostheses in partially edentulous patients: a literature review and current concepts[J].

- J Periodontal Implant Sci, 2013, 43(2): 51-57.
- [24] Morneburg TR, Pröschel PA. *In vivo* forces on implants influenced by occlusal scheme and food consistency[J]. *Int J Prosthodont*, 2003, 16(5): 481-486.
- [25] Raabe C, Monje A, Abou-Ayash S, et al. Long-term effectiveness of 6 mm micro-rough implants in various indications: a 4.6- to 18.2-year retrospective study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2021, 32(8): 1008-1018.
- [26] Kim Y, Oh TJ, Misch CE, et al. Occlusal considerations in implant therapy: clinical guidelines with biomechanical rationale[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2005, 16(1): 26-35.
- [27] Cantó-Navés O, Medina-Galvez R, Marimon X, et al. A 3D finite element analysis model of single implant-supported prosthesis under dynamic impact loading for evaluation of stress in the crown, abutment and cortical bone using different rehabilitation materials[J]. *Materials (Basel)*, 2021, 14(13): 3519.
- [28] 方利, 陈梓俊, 王宇曦, 等. T-Scan 分析单颗后牙种植修复体咬合对垂直骨吸收的影响[J]. *口腔医学研究*, 2024, 40(4): 349-355.
- Fang L, Chen ZJ, Wang YX, et al. Analysis on effect of occlusion of single posterior implant on vertical bone loss with T-Scan[J]. *J Oral Sci Res*, 2024, 40(4): 349-355.
- [29] 李佳乐, 赵喆, 王青, 等. 咬合接触分析方法的研究进展[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2023, 16(5): 609-614.
- Li JL, Zhao Z, Wang Q, et al. Research advances in occlusal contact analysis methods[J]. *J Pract Stomatol*, 2023, 16(5): 609-614.
- [30] 杨锋, 王梦雅, 殷文杰, 等. 不同殆特征对后牙种植单冠生物力学影响的有限元分析[J]. *中国口腔种植学杂志*, 2024, 29(1): 16-23.
- Yang F, Wang MY, Yin WJ, et al. Finite element analysis of the effect of different occlusal characteristics on the biomechanical behavior of posterior implant-supported single crown[J]. *Chin J Oral Implantol*, 2024, 29(1): 16-23.
- [31] 王淑红, 黄远亮. 种植义齿修复设计中不容忽视的殆学因素[J]. *中国口腔种植学杂志*, 2010, 15(2): 96-99.
- Wang SH, Huang YL. Dentofacial factors not to be overlooked in the design of implant prostheses restorations[J]. *Chin J Oral Implantol*, 2010, 15(2): 96-99.
- [32] 王林霞, 孟玉坤. 种植修复中的殆学问题[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2015, 8(1): 13-16.
- Wang LX, Meng YK. The issues of occlusion in implant dentures[J]. *J Pract Stomatol*, 2015, 8(1): 13-16.
- [33] Yang YH, Liu YC, Yuan X, et al. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution on short implants with different bone conditions and osseointegration rates[J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23(1): 220.
- [34] Wang MQ, Zhang M, Zhang JH. Photoelastic study of the effects of occlusal surface morphology on tooth apical stress from vertical bite forces[J]. *J Contemp Dent Pract*, 2004, 5(1): 74-93.
- [35] Acharya PH, Patel VV, Duseja SS, et al. Comparative evaluation of peri-implant stress distribution in implant protected occlusion and cusally loaded occlusion on a 3 unit implant supported fixed partial denture: a 3D finite element analysis study[J]. *J Adv Prosthodont*, 2021, 13(2): 79-88.
- [36] Weinberg LA. Therapeutic biomechanics concepts and clinical procedures to reduce implant loading. Part I [J]. *J Oral Implantol*, 2001, 27(6): 293-301.
- [37] 程玉叶, 周文清, 高美琴, 等. 两组不同牙尖斜度咬设计对种植体周围组织的影响研究[J]. *南通大学学报(医学版)*, 2015, 35(6): 517-521.
- Cheng YY, Zhou WQ, Gao MQ, et al. A study on the effect of two different cusp inclination designs on peri-implant tissues[J]. *J Nantong Univ (Med Sci)*, 2015, 35(6): 517-521.
- [38] 邹敬才, 刘宝林, 唐文杰, 等. 影响人工种植牙—骨界面应力分布规律因素的多元逐步回归分析[J]. *医用生物力学*, 2000, 15(4): 216-221.
- Zou JC, Liu BL, Tang WJ, et al. Multivariate stepwise regression analysis of influencing factors on the stress distribution patterns at the bone interface around dental implants[J]. *J Med Biomech*, 2000, 15(4): 216-221.
- [39] Yang YF, Gao JY, Man Y, et al. Effect of the mesio-distal cantilever on implant-supported single crowns on biological and technical complications: a retro-

- spective study[J]. *Int J Oral Implantol (Berl)*, 2024, 17(4): 383-400.
- [40] Ye ZY, Ye H, Wu Y, et al. Effect of bone mass density and alveolar bone resorption on stress in implant restoration of free-end edentulous posterior mandible: finite element analysis of double-factor sensitivity[J]. *Ann Anat*, 2024, 253: 152210.
- [41] Kligman S, Ren Z, Chung CH, et al. The impact of dental implant surface modifications on osseointegration and biofilm formation[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(8): 1641.
- [42] Cadar M, Almășan O. Dental occlusion characteristics in subjects with bruxism[J]. *Med Pharm Rep*, 2024, 97(1): 70-75.
- [43] Ionfrida JA, Stiller HL, Kämmerer PW, et al. Dental implant failure risk in patients with bruxism—a systematic review and meta-analysis of the literature [J]. *Dent J (Basel)*, 2024, 13(1): 11.
- [44] Manfredini D, Ahlberg J, Lobbezoo F. Bruxism definition: past, present, and future-what should a prosthodontist know[J]. *J Prosthet Dent*, 2022, 128(5): 905-912.
- [45] Häggman-Henrikson B, Ali D, Aljamal M, et al. Bruxism and dental implants: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Oral Rehabil*, 2024, 51(1): 202-217.
- [46] Shopova D, Bozhkova T, Yordanova S, et al. Case report: digital analysis of occlusion with T-Scan Novus in occlusal splint treatment for a patient with bruxism[J]. *F1000Res*, 2021, 10: 915.
- [47] Pantea M, Ciocoiu RC, Greabu M, et al. Compressive and flexural strength of 3D-printed and conventional resins designated for interim fixed dental prostheses: an *in vitro* comparison[J]. *Materials (Basel)*, 2022, 15(9): 3075.
- [48] Zhou T, Wongpairojpanich J, Sareethammanuwat M, et al. Digital occlusal analysis of pre and post single posterior implant restoration delivery: a pilot study[J]. *PLoS One*, 2021, 16(7): e0252191.
- [49] Ding Q, Luo Q, Tian YJ, et al. Occlusal change in posterior implant-supported single crowns and its association with peri-implant bone level: a 5-year prospective study[J]. *Clin Oral Investig*, 2022, 26(5): 4217-4227.
- [50] Al-Ani Z, Yar R. Evolution of dental occlusion: integrating digital innovations[J]. *Prim Dent J*, 2025, 14(1): 53-65.
- (本文编辑 王姝)