

· 综述 ·

短种植体在后牙骨量不足区应用的考量

邓晓桐 何虹 汪颖 张馨月 孙铭婕 刘啸晨

浙江大学医学院附属口腔医院 浙江大学口腔医学院 浙江省口腔生物医学研究重点实验室, 杭州 310006

通讯作者: 何虹, Email: honghehh@zju.edu.cn, 电话: 0571-87217431

【摘要】 短种植体越来越广泛地被应用于骨量不足后牙区的种植修复, 但亦有文献指出短种植体的应用存在一定的风险, 包括边缘骨丧失和种植体失败等, 本文综述影响后牙区短种植体应用的临床因素以及对相应策略的考量。

【关键词】 短种植体; 骨量不足后牙区; 留存率; 边缘骨丧失

Moderate application of short implants in atrophic posterior jaw areas

Deng Xiaotong, He Hong, Wang Ying, Zhang Xinyue, Sun Mingjie, Liu Xiaochen

The Affiliated Hospital of Stomatology, School of Stomatology, Zhejiang University School of Medicine, and Key Laboratory of Oral Biomedical Research of Zhejiang Province, Hangzhou, Zhejiang 310006, China

Corresponding author: He Hong, Email: honghehh@zju.edu.cn, Tel: 0086-571-87217431

【Abstract】 Short implants are an increasingly common alternative in resorbed posterior zone. Despite the advantages they offer, risks have been described in the literature that can lead to marginal bone loss or even the loss of implants. Factors that affect the uncertainty of short implants application in posterior jaw areas are analyzed, and some suggestions for the clinical application of short implants are put forward in this review.

【Key words】 Short implants; Resorbed posterior zone; Survival rates; Marginal bone loss

种植义齿修复也是当前治疗上下颌后牙区牙列缺损最可靠的选择方案和手段^[1], 但由于上颌窦和下颌神经管的存在, 以及牙缺失后导致的牙槽骨吸收, 往往给种植修复带来一定的不利。针对上下颌后牙区骨量不足而采用的上颌窦底提升、下颌神经管移位术等, 仍存在窦底黏骨膜穿孔、下颌神经管损伤的风险^[2-3], 也有窦内纵膈阻挡、手术创伤大、术后反应明显、延长治疗时间等问题^[4-5], 针对这一系列风险及问题, 有学者^[6]提出通过短种植体代替常规种植体的方法, 以简化种植手术的流程, 避免损伤上颌窦及下牙槽神经, 减轻患者种植术后反应, 并可在一定程度上扩大后牙区种植修复的适应证。种植体成功的关键在于种植体表面与骨之间形成骨结合, 以

往认为只有足够长度的常规种植体能最大程度地与骨形成良好的骨结合, 是种植手术的金标准^[7]。也有研究认为^[8], 短种植体比常规种植体的失败率更高。但近年来, 越来越多的研究指出, 短种植体与常规种植体具有相近的临床成功率^[2,9]。因此, 本文对短种植体临床应用进行分析和探讨。

一、短种植体及后牙区骨量不足的量化界定

短种植体的定义目前尚未统一。一般认为长度 <10 mm 的种植体为短种植体^[10-11]。2016 年欧洲共识会议 (EuCC) 将短种植体定义为长度 ≤ 8 mm、直径 ≥ 3.75 mm 的种植体, 常规种植体则是指长度 > 8 mm、直径 ≥ 3.75 mm 的种植体, 而长度 < 6 mm 的种植体则被称为超短或极短



邓晓桐
口腔医学5+3在读研究生, 研究方向: 口腔修复、口腔种植学临床研究



何虹
主任医师、研究生导师、医学博士, 研究方向: 口腔黏膜临床综合诊疗、种植修复黏膜美学相关研究

DOI: 10.12337/zgkqzzxz.2021.04.006

收稿日期 2021-02-14 本文编辑 石淑芹, 李翠英

引用本文: 邓晓桐, 何虹, 汪颖, 等. 短种植体在后牙骨量不足区应用的考量 [J]. 中国口腔种植学杂志, 2021, 26(2): 109-113. DOI: 10.12337/zgkqzzxz.2021.04.006.

种植体^[12]。目前主要以留存率和边缘骨丧失这两个指标来评价短种植体的稳定性^[6]。具体报道情况见后。

上下颌后牙区的骨量不足主要体现在剩余骨高度的不足。一般认为下颌后牙区适合种植的最小牙槽嵴高度为 10 mm^[13]。因此,上下颌后牙区骨量不足可定义为剩余牙槽骨高度小于 10 mm。

1996 年, Jensen 等^[14]将上颌窦区剩余骨高度(residual bone height, RBH)分为 4 类,第一类为骨量正常,为 RBH>10 mm;第二类为剩余骨高度轻度不足,为 7 mm ≤ RBH ≤ 9 mm;第三类为剩余骨高度中度不足,为 4 mm ≤ RBH ≤ 6 mm;第四类为剩余骨高度严重不足,为 RBH<4 mm。

二、短种植体材料系统种类

1. 短种植体系统及其表面特点:

目前市售短种植体系统包括 Brånemark、Straumann、Bicon、Ankylos、Camlog、Astra Tech 等^[15]。

Brånemark 短种植体常见的表面处理有机械加工和氧化,近年来氧化表面逐渐取代了机械加工表面。氧化表面的微米级多孔结构,被认为改善了骨与钛表面的接触^[16]。2005 年 Renouard F 等^[17]的 2 年回顾性临床研究结果显示,96 颗长 6~8.5 mm 的 Brånemark 短种植体的累计留存率为 94.6%,4 颗失败的种植体中,3 颗为机械加工表面短种植体,1 颗为氧化表面短种植体。2007 年 Maló P 等^[18]对长度为 7 mm 和 8.5 mm 的 408 颗 Brånemark 短种植体进行了 1~9 年的回顾性随访调查,结果显示其 5 年累计留存率分别为 96.2% 和 97.1%,并且发现氧化表面较机械加工表面的短种植体留存率更高($P=0.008$)。2015 年 Glauser^[19]在 11 年的临床随访中发现,氧化表面的 Brånemark 种植体放置在骨质条件较差的后牙区具有较高的长期留存率(97.1%)。

Straumann 短种植体的表面处理方式有钛浆等离子喷涂(titanium plasma sprayed, TPS),大颗粒喷砂酸蚀(sandblasted large-grit acid-etched, SLA)和亲水性大颗粒喷砂酸蚀(hydrophilic sand-blasted large-grit acid-etched, SLActive)三种。研究指出,SLActive 中等粗糙表面可能有利于最佳的骨结合,并且与 SLA 相比,SLActive 表面骨结合的速度更快^[20]。另外,大颗粒喷砂酸蚀表面可增大种植体抗扭矩的性能^[21]。2014 年 Rossi F 等^[22]对 40 颗早期负载的 Straumann SLActive 表面的 6 mm 短种植体进行了 5 年的前瞻性队列研究,成功植入的种植体留存率为 100%。2018 年 Rossi F^[23]等又对该研究进行了跟踪报道,结果显示,种植体留存率为 91.7%,并得出结论:后牙区单冠修复的中等粗糙表面的 6 mm 短种植体,经过 6~7 周后负载,能在至少 10 年内保存完整功能,且边缘骨吸收较少。

Bicon 短种植体表面采用多层鳍状的非螺旋设计,并

且种植体与基台之间为自锁锥度连接方式,可减少细菌的侵入及增加骨结合的面积,从而减少种植体边缘骨丧失,另外,其根部平台设计可促进骨结合及加速愈合过程^[24]。2015 年 Demiralp KÖ 等^[24]对 Bicon 短种植体进行了 5 年的回顾性研究,结果显示,371 颗短种植体的累计留存率为 97.3%,平均边缘骨丧失为 0.41 mm。2016 年 Al-Hashedi AA 等^[25]通过一项初步随机对照试验比较了 Bicon(6 或 8 mm)和 Ankylos(8 mm)短种植体应用于下颌后牙区的临床效果,结果显示,两组共计 40 颗短种植体的 1 年留存率为 100%,且均可见到边缘骨增加,两组的临床和影像学参数无统计学差异,但 Ankylos 组的稳定性优于 Bicon 组,作者认为这得益于 Ankylos 短种植体系统特殊的螺纹设计,螺纹深度向顶端逐渐加深,这有助于将咬合力分散至松质骨同时减轻顶端骨区的负荷。

Camlog 短种植体表面采用喷砂酸蚀处理以促进骨结合。2011 年 Draenert FG 等^[26]将 47 颗 9 mm 及以下的 Astratech 和 Camlog 短种植体与 200 颗长于 9 mm 的种植体进行了回顾性分析比较,经过 1~3 年的观察,35 颗 Astratech 短种植体全部留存,12 颗 Camlog 短种植体中丢失 1 颗,短种植体的累计留存率为 98%,而长种植体的累计留存率为 94%,短种植体早期垂直骨丧失和二维边缘骨丧失分别为 0.6 mm 和 0.7 mm²,与长种植体相比无统计学差异。2019 年 Lorenz J^[27]通过 5 年的回顾性队列研究,观察了 30 颗 7 mm 长的 Camlog 短种植体应用于上颌后牙区以避免上颌窦底提升的情况,结果显示种植体留存率为 100%,平均边缘骨丧失为 0.5 mm。

2. 短种植体的长度和直径:

有学者认为^[28],短种植体由于长度减小,导致表面积减小及螺纹减少,使其更难获得初始稳定性。以往的研究中^[29],显示出与常规种植体相比,短种植体的失败率更高。但是,2014 年 Geckili O 等^[30]通过 10 年回顾性研究了 72 颗 <10 mm 的短种植体与 1584 颗常规种植体的留存率和失败率,得出结论:种植体长度对于失败率无影响,但长度大于 10 mm 的种植体的成功率明显高于短种植体。但随着短种植体加工工艺及表面处理技术的提高,短种植体的成功率已日渐提高。系统性评价指出^[31],当 <8 mm 的短种植体应用于后牙区时应更加谨慎,因为与常规种植体相比,它们的失败风险更大。因而,对于骨量不足的后牙区,可通过应用直径较大的短种植体来增加骨结合的面积。研究指出^[32],大直径短种植体可改善种植体表面的应力分布,增加初始稳定性。Kang 等^[33]通过三维有限元分析不同直径短种植体周围应力分布,结果指出,当种植体直径小于 5.5 mm 时,随着种植体直径的增加,种植体周围骨应力随之减少。

三、短种植体临床应用策略的考量

现有文献报道的短种植体的临床应用主要有后牙缺

失的种植修复及牙槽嵴低平的无牙颌患者应用短种植体行固定或覆盖义齿修复。

2019 年 Lorenz J 等^[34]为避免上颌窦区手术, 在 14 名患者的上颌后牙区植入 30 颗 7 mm 长的短种植体, 进行了为期 2~7 年的临床及影像学的随访, 在平均 5 年的负载期后, 检测到 100% 的种植体留存率和没有种植体周炎的出现, 表明种植体周围软硬组织状况良好。因此得出短种植体是一种可靠的治疗方案, 可用于上颌后牙区的种植修复以避免上颌窦区手术的结论。

2014 年 Stellingsma K 等^[35]将 60 名下颌牙槽嵴低平的无牙颌患者分成穿下颌骨种植体、自体髂骨移植后植入常规种植体、植入短种植体三组, 结果显示短种植体组的 10 年留存率高于其他两组, 因而得出短种植体结合覆盖义齿的使用是下颌骨极度吸收患者的首选治疗方法的结论。

临床上, 后牙的缺失率较高, 后牙区含有重要的解剖结构如上颌窦、下颌神经等, 且牙缺失后剩余牙槽嵴高度不足的情况主要发生在后牙区, 前牙区无特殊的解剖结构, 牙槽骨高度充足, 牙缺失后种植修复主要考虑其剩余牙槽嵴宽度不足的问题, Nisand 等^[36]在文献中指出, 可通过短种植体在前牙区的应用来避免种植体的倾斜植入, 但国内学者施斌等^[37]认为现有短种植体直径通常 ≥ 4 mm, 不适用于剩余牙槽嵴宽度不足的前牙区, 因此, 短种植体主要应用于上下颌后牙区。

将短种植体应用于骨量不足的后牙区, 可以简化种植手术的流程, 一定程度上避免了上颌窦底提升、引导骨再生、牵张成骨、下颌神经管移位术等损伤较大的手术, 避免损伤上颌窦及下牙槽神经, 减轻患者种植术后反应, 降低手术并发症发生的风险, 并可在一定程度上扩大后牙区种植修复的适应证, 打破了以往认为的上下颌 RBH 应 ≥ 10 mm 才能保证种植体植入的观念^[13]。

2014 年 Nisand D 和 Renouard F^[36]综述了短种植体应用于上下颌骨量不足后牙区的临床应用适应证: 对于上颌后牙区, 在牙槽嵴宽度 >5 mm 的前提下, 当 RBH ≥ 7 mm 时可使用短种植体; 对于 5~6 mm 的 RBH, 应结合患者自身的骨质质量、年龄及有无牙周炎和吸烟史等加重边缘骨丧失的危险因素, 决定是否使用短种植体; 当 RBH <5 mm 时, 建议结合上颌窦底提升。对于下颌后牙区, 短种植体距离下颌神经的距离应 >2 mm, 下颌神经上方的 RBH 应 ≥ 8 mm 方可使用短种植体; 当 RBH <8 mm 时, 建议结合其他手术。

四、影响短种植体效果的临床相关因素

1. 短种植体的冠根比:

传统观点认为^[38], 种植体的冠根比 (crown to implant ratio, C/I) 应与天然牙相近, 即为 1: 1, 才能保证良好的种植远期效果。短种植体 C/I 的增加可能会增加并发症

的发生率, 如出现种植体边缘骨丧失甚至是种植体丢失。从生物力学的角度分析, C/I 的增加导致杠杆臂长度增加, 当受到非轴向力时, 基底骨所受张力也将增加^[39]。然而, 也有学者提出^[40]使用 C/I $>1: 1$ 的短种植体有不出现长期并发症的可能性。

种植体负荷的第一年对于种植体周围骨水平的变化至关重要^[41]。因此, 对于 C/I 对种植体边缘骨丧失的影响应特别关注负荷的第一年。2013 年 Hof M 等^[39]研究发现, 在种植体行使功能的第一年内以及随后的长期随访结果中, C/I 可能不是影响种植体周围骨丧失的决定性因素。

2018 年, Guarnieri R 等^[42]通过一项 3 年随访的前瞻性研究, 对比了 28 颗短种植体和 36 颗常规种植体应用于上下颌后牙区的留存率、边缘骨丧失和种植体周围软组织参数的差异, 结果显示, 不同 C/I 短种植体 ($0 < C/I < 1$, $1 \leq C/I < 1.5$, $C/I \geq 1.5$) 与常规种植体具有相似的留存率、边缘骨丧失和种植体周围软组织水平。2016 年 Sahrman P 等^[43]通过 3 年的随机对照临床试验, 得出种植体 C/I 对边缘骨丧失无显著性影响。有研究指出^[22], C/I 的变化会增加机械并发症的风险, 而对于边缘骨丧失无明显影响。

2. 修复方式:

研究表明^[28], 联冠修复相比单冠能通过更好地分配咬合力以降低种植体周围的应力, 并补偿不合理 C/I 带来的不利影响。亦有研究表明, 联冠和单冠修复对于边缘骨水平的变化无影响。

3. 骨质质量:

颌骨的形状和质量也是影响种植体留存率的两个重要因素。骨质密度过低或过高都不利于种植体的留存, 有学者认为^[8], 骨质密度过高可能会导致手术过程中植入部位的骨质与外科钻头之间摩擦阻力过大, 产热较多, 导致局部温度过高, 这可能是早期短种植体失败的原因之一。上颌骨后牙区骨质相对疏松, 骨密度低。2007 年 Maló P 等^[18]在对短种植体的回顾性研究中指出, 与下颌相比, 上颌应用短种植体的失败风险更大, 2014 年 Geckili O 等^[30]研究结果也显示上颌种植体的失败率明显高于下颌种植体。

五、总结与展望

上下颌后牙区应用短种植体失败的原因可归纳为: 首先, 与直径相同的常规种植体相比, 短种植体与骨接触的面积更小, 骨结合效率降低。其次, 短种植体多用于后牙区, 而后牙区的牙槽骨质量相对较差, 尤其是上颌骨的骨质质量更为疏松, 不利于种植体的植入。另外, 短种植体长度减小, 而上部牙冠的长度不变, 导致 C/I 增大。短种植体骨结合面积虽然不如常规种植体, 但种植体长度不是决定骨结合面积的唯一因素, 直径、长度、螺纹深度、螺距、种植体表面设计、表面处理均能影响其骨结合的面积。种植体的初始稳定性与种植体长度有相关性,

临床上最好选用容易获得良好稳定性的锥形短种植体, 预备种植窝时使用级差备洞、骨挤压等技术来改善短种植体植入的初始稳定性^[44]。为避免并发症的发生, 应尽量避免使用表面为机械加工处理的短种植体, 且尽量在骨质条件好的患者身上使用, 上部修复体可采用单冠或联冠修复, 但应避免牙冠上有侧向运动的引导面, 种植外科和修复科医生应接受系统化的培训。短种植体的长期应用效果还有待进一步研究。

利益冲突 本文作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Gallucci GO, Benic GI, Eckert SE, et al. Consensus statements and clinical recommendations for implant loading protocols[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2014,29 Suppl:287-290. DOI: 10.11607/jomi.2013.g4.
- [2] Thoma DS, Zeltner M, Hüsler J, et al. EAO Supplement Working Group 4 - EAO CC 2015 Short implants versus sinus lifting with longer implants to restore the posterior maxilla: a systematic review[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2015,26 Suppl 11:154-169. DOI: 10.1111/clr.12615.
- [3] Nishimaki F, Kurita H, Tozawa S, et al. Subjective and qualitative assessment of neural disturbance after inferior alveolar nerve transposition for dental implant placement[J]. *Int J Implant Dent*, 2016,2(1):14. DOI: 10.1186/s40729-016-0047-1.
- [4] Talo Yildirim T, Güncü GN, Colak M, et al. Evaluation of maxillary sinus septa: a retrospective clinical study with cone beam computerized tomography (CBCT)[J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2017,21(23):5306-5314. DOI: 10.26355/eurrev_201712_13912.
- [5] Simsek Kaya G, Daltaban Ö, Kaya M, et al. The potential clinical relevance of anatomical structures and variations of the maxillary sinus for planned sinus floor elevation procedures: A retrospective cone beam computed tomography study[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2019,21(1):114-121. DOI: 10.1111/cid.12703.
- [6] Torres-Aleman A, Fernández-Estevan L, Agustín-Panadero R, et al. Clinical behavior of short dental implants: systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Med*, 2020,9(10). DOI: 10.3390/jcm9103271.
- [7] Rittel D, Dorogoy A, Shemtov-Yona K. Modeling the effect of osseointegration on dental implant pullout and torque removal tests[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2018,20(5):683-691. DOI: 10.1111/cid.12645.
- [8] Queiroz TP, Aguiar SC, Margonar R, et al. Clinical study on survival rate of short implants placed in the posterior mandibular region: resonance frequency analysis[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2015,26(9):1036-1042. DOI: 10.1111/clr.12394.
- [9] Fan T, Li Y, Deng WW, et al. Short Implants (5 to 8 mm) Versus Longer Implants (>8 mm) with Sinus Lifting in Atrophic Posterior Maxilla: A Meta-Analysis of RCTs[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2017,19(1):207-215. DOI: 10.1111/cid.12432.
- [10] Al-Johany SS, Al Amri MD, Alsaeed S, et al. Dental Implant Length and Diameter: A Proposed Classification Scheme[J]. *J Prosthodont*, 2017,26(3):252-260. DOI: 10.1111/jopr.12517.
- [11] Telleman G, Raghoobar GM, Vissink A, et al. A systematic review of the prognosis of short (<10 mm) dental implants placed in the partially edentulous patient[J]. *J Clin Periodontol*, 2011,38(7):667-676. DOI: 10.1111/j.1600-051X.2011.01736.x.
- [12] Jörg Neugebauer, Hans-Joachim Nickenig M, Joachim E. Zöller et al. Guideline 2016--Update on short, angulated and diameter-reduced implants[C]. 11th European Consensus Conference (EuCC), 2016.
- [13] 符镇南, 张佩芬, 黄锦洪, 等. 短种植体治疗下颌后牙区垂直骨量不足的临床研究 [J]. *中国口腔种植学杂志*, 2018,23(04):172-175.
- [14] Jensen OT, Shulman LB, Block MS, et al. Report of the Sinus Consensus Conference of 1996[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 1998,13 Suppl:11-45.
- [15] 薛洪权. 短种植体的研究进展与应用现状 [J]. *口腔医学研究*, 2010,26(5): 756-758.
- [16] Rittel D, Dorogoy A, Shemtov-Yona K. Modeling the effect of osseointegration on dental implant pullout and torque removal tests[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2018,20(5):683-691. DOI: 10.1111/cid.12645.
- [17] Renouard F, Nisand D. Short implants in the severely resorbed maxilla: a 2-year retrospective clinical study[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2005,7 Suppl 1:S104-110. DOI: 10.1111/j.1708-8208.2005.tb00082.x.
- [18] Maló P, de Araújo Nobre M, Rangert B. Short implants placed one-stage in maxillae and mandibles: a retrospective clinical study with 1 to 9 years of follow-up[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2007,9(1):15-21. DOI: 10.1111/j.1708-8208.2006.00027.x.
- [19] Glauser R. Implants with an oxidized surface placed predominately in soft bone quality and subjected to immediate occlusal loading: results from an 11-year clinical follow-up[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2016,18(3):429-438. DOI: 10.1111/cid.12327.
- [20] Lang NP, Salvi GE, Huynh-Ba G, et al. Early osseointegration to hydrophilic and hydrophobic implant surfaces in humans[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2011,22(4):349-356. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2011.02172.x.

- [21] Lee JT, Cho SA. Biomechanical evaluation of laser-etched Ti implant surfaces vs. chemically modified SLA Ti implant surfaces: removal torque and resonance frequency analysis in rabbit tibias[J]. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2016,61:299-307. DOI: 10.1016/j.jmbbm. 2016. 03.034.
- [22] Rossi F, Lang NP, Ricci E, et al. Early loading of 6-mm-short implants with a moderately rough surface supporting single crowns--a prospective 5-year cohort study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2015,26(4):471-477. DOI: 10.1111/clr.12409.
- [23] Rossi F, Lang NP, Ricci E, et al. Long-term follow-up of single crowns supported by short, moderately rough implants-A prospective 10-year cohort study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2018,29(12):1212-1219. DOI: 10.1111/clr.13386.
- [24] Demiralp KÖ, Akbulut N, Kursun S, et al. Survival rate of short, locking taper implants with a plateau design: a 5-year retrospective study[J]. *Biomed Res Int*, 2015,2015:197451. DOI: 10.1155/2015/197451.
- [25] Al-Hashedi AA, Taiyeb-Ali TB, Yunus N. Outcomes of placing short implants in the posterior mandible: a preliminary randomized controlled trial[J]. *Aust Dent J*, 2016,61(2):208-218. DOI: 10.1111/adj.12337.
- [26] Draenert FG, Sagheb K, Baumgardt K, et al. Retrospective analysis of survival rates and marginal bone loss on short implants in the mandible[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2012,23(9):1063-1069. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2011.02266.x.
- [27] Lorenz J, Blume M, Korzinskas T, et al. Short implants in the posterior maxilla to avoid sinus augmentation procedure: 5-year results from a retrospective cohort study[J]. *Int J Implant Dent*, 2019,5(1):3. DOI: 10.1186/s40729-018-0155-1.
- [28] Kennedy KS, Jones EM, Kim DG, et al. A prospective clinical study to evaluate early success of short implants[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2013,28(1):170-177. DOI: 10.11607/jomi.2810.
- [29] Weng D, Jacobson Z, Tarnow D, et al. A prospective multicenter clinical trial of 3i machined-surface implants: results after 6 years of follow-up[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2003,18(3):417-423.
- [30] Geckili O, Bilhan H, Geckili E, et al. Evaluation of possible prognostic factors for the success, survival, and failure of dental implants[J]. *Implant Dent*, 2014,23(1):44-50. DOI: 10.1097/ID.0b013e3182a5d430.
- [31] Renouard F, Nisand D. Impact of implant length and diameter on survival rates. *Clin Oral Implants Res*. 2006 Oct;17 Suppl 2:35-51. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2006.01349.x.
- [32] Ting M, Palermo M, Donatelli DP, et al. A meta-analysis on the effect of implant characteristics on the survival of the wide-diameter implant[J]. *Int J Implant Dent*, 2015,1(1):28. DOI: 10.1186/s40729-015-0030-2.
- [33] Kang N, Wu YY, Gong P, et al. A study of force distribution of loading stresses on implant-bone interface on short implant length using 3-dimensional finite element analysis[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2014,118(5):519-523. DOI: 10.1016/j.oooo.2014.05.021.
- [34] Lorenz J, Blume M, Korzinskas T, et al. Short implants in the posterior maxilla to avoid sinus augmentation procedure: 5-year results from a retrospective cohort study[J]. *Int J Implant Dent*, 2019,5(1):3. DOI: 10.1186/s40729-018-0155-1.
- [35] Stellingsma K, Raghoobar GM, Visser A, et al. The extremely resorbed mandible, 10-year results of a randomized controlled trial on 3 treatment strategies[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2014,25(8):926-932. DOI: 10.1111/clr.12184.
- [36] Nisand D, Renouard F. Short implant in limited bone volume[J]. *Periodontol 2000*, 2014,66(1):72-96. DOI: 10.1111/prd.12053.
- [37] 施斌, 晏奇, 伍昕宇. 短种植体 (≤ 6 mm) 的临床应用与并发症 [J]. *口腔疾病防治*, 2020,28(3):137-145. DOI: 10.12016/j.issn.2096-1456. 2020. 03.001.
- [38] 张佳. 短种植体临床应用的研究进展 [J]. *中国口腔种植学杂志*, 2017,22(01): 47-50.
- [39] Hof M, Pommer B, Zukic N, et al. Influence of prosthetic parameters on peri-implant bone resorption in the first year of loading: a multi-factorial analysis[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2015,17 Suppl 1:e183-191. DOI: 10.1111/cid.12153.
- [40] Fang D, Long Z, Hou J. Clinical application of concentrated growth factor fibrin combined with bone repair materials in jaw defects[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2020,78(6):882-892. DOI: 10.1016/j.joms.2020.01.037.
- [41] Wennström JL, Ekestubbe A, Gröndahl K, et al. Implant-supported single-tooth restorations: a 5-year prospective study[J]. *J Clin Periodontol*, 2005,32(6):567-574. DOI: 10.1111/j.1600-051X.2005. 00715.x.
- [42] Guarnieri R, Di Nardo D, Gaimari G, et al. Short vs. standard laser-microgrooved implants supporting single and splinted crowns: a prospective study with 3 years follow-up[J]. *J Prosthodont*. 2019, 28(2): e771-e779.
- [43] Sahrman P, Naenni N, Jung RE, et al. Success of 6-mm implants with single-tooth restorations: a 3-year randomized controlled clinical trial[J]. *J Dent Res*, 2016,95(6):623-628. DOI: 10.1177/0022034516633432.
- [44] Bilhan H, Geckili O, Mumcu E, et al. Influence of surgical technique, implant shape and diameter on the primary stability in cancellous bone[J]. *J Oral Rehabil*, 2010,37(12):900-907. DOI: 10.1111/j.1365-2842.2010.02117.x.