

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2025.04.047

有限元法分析种植冠修复的研究

殷瑞, 刘紫薇, 古丽沙瓦尔·艾尔肯, 孙江伟, 尼加提·吐尔逊

(新疆医科大学第二附属医院口腔科, 新疆 乌鲁木齐 830063)

[摘要] 三维有限元分析目前是一种成熟且高效的生物力学研究手段, 作为构建复杂结构模型并剖析其力学性能的关键方法, 运用该方法能够针对种植体、修复体及颌骨构建数学力学模型, 接着在不同的约束加载条件下多次进行计算分析, 以此来明晰所构建模型的应力分布特征。本文将对近年来三维有限元法在种植体冠修复领域的研究进展与现状展开系统综述。

[关键词] 有限元分析; 种植义齿; 修复方式

[中图分类号] R783.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2025)04-0195-04

Study on Finite Element Analysis of Implant Crown Restoration

YIN Rui, LIU Ziwei, Gulishawaer·Aierken, SUN Jiangwei, Nijati·Tuerxun

(Department of Stomatology, the Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830063, Xinjiang, China)

[Abstract] Three-dimensional finite element analysis is currently a mature and efficient method for biomechanical research. As a key method for constructing complex structural models and analyzing their mechanical properties, this method can be used to construct mathematical and mechanical models of implants, restorations and jaws. Then, multiple calculations and analyses can be performed under different constraint loading conditions to clarify the stress distribution characteristics of the constructed models. This article will systematically review the research progress and current status of three-dimensional finite element method in the field of implant crown restoration in recent years.

[Key words] Finite element analysis; Implant denture; Restoration method

种植牙不仅能够有效恢复牙齿的咀嚼功能和美观需求, 同时最大限度地减少了骨吸收, 且其拥有长期且高比例的留存率, 已成为义齿修复中的首选^[1-4]。而种植修复的成功与否, 一方面与种植体在骨内的结合有关, 另一方面种植体冠修复也对其有重要的影响^[5-7]。本文则通过有限元分析法从种植牙冠修复类型、种植义齿冠根比、冠的固位方式及冠的材料选择这四个方面对近年来种植体的修复方式作一综述。

1 种植牙冠修复类型

在临床诊疗过程中, 当患者出现两颗连续后牙缺失的情况时, 种植体支持联冠修复是较为常用的治疗方案, 通常认为与单冠修复相比, 联

冠修复在增强修复体固位能力方面效果更好, 并且能更有效地避免食物嵌塞, 有效分散咬合力, 抵抗旋转力, 减少骨丧失^[8]。目前, 短种植牙(SDI)受到临床广泛关注^[9-11]。“短牙种植体(SDI)”一词是主观的, 对于其正确的定义没有既定的共识, 有将SDI描述为长度为10 mm的种植体, 也有将其定义为不超过7 mm的种植体^[12]。热依拉·库尔班等^[13]在超短种植体不同修复方式的三维有限元分析中认为, 当施加垂直方向的载荷时, 若采用单冠修复方式, 牙冠所产生的应力集中现象均出现在牙冠的内侧壁和基台相连接的部位, 并且各个组件的应力峰值会集中在中央螺丝上。而在采用联冠修复的情况下, 牙冠的应力峰值主要集中于联冠连接体靠近牙龈边缘的地

第一作者: 殷瑞(1997.4-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 硕士研究生, 主要从事口腔种植修复研究

通讯作者: 尼加提·吐尔逊(1967.12-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 硕士, 主任医师, 主要从事口腔种植修复研究

方,各个部件的应力峰值则集中在联冠之上。此外,单冠修复时各个部件的应力峰值全部高于联冠修复的情况,同时其骨组织的应力峰值也显著大于联冠修复时的骨组织应力峰值。AlHamdan EM等^[14]通过回顾性研究评估上颌前磨牙区种植体支持的短种植体联冠(SDI-SCs)和非联冠(SDI-NSCs)的种植体周围状况、种植体周围骨丢失(PBL)和并发症发生率,发现单冠比联冠观察到更多的技术并发症。而Vigolo P等^[15]通过一项随机对照试验比较相邻种植联冠和种植单冠周围的边缘骨水平变化,认为两组患者骨质流失有显著性差异。基于以上实验建议在相邻缺失牙均为短种植体修复时联冠植入物适用于有机机械超载风险的临床情况,以减少对植入物和周围组织的力,但由于有限元不能模拟口腔中咀嚼状态且临床工作中骨缺损情况各异,冠修复需根据不同情况进行选择。

2 种植义齿冠根比

牙颈部骨吸收一直是研究种植义齿冠根比(C/I)的学者们关注的焦点^[16-18]。C/I比是牙冠长度与植入物长度之间的关系,在解剖学上,以植入物肩部为牙冠和植入物之间的边界,或者在临床上以骨水平为牙冠和种植体之间的界限。有研究表明^[19, 20],过高的C/I不利于种植体的长期存活。然而,与天然牙相关的冠根比指南指出,不应应用于潜在种植体部位或现有种植体修复。因此,冠-种植体的不利比例尚未确定^[21]。史学然^[22]在不同冠根比种植单冠修复体对口腔种植患者治疗效果的影响中对种植体脱落率、周边骨吸收情况进行评估,认为即便患者的冠根比不同,但不会影响患者的种植体脱落率和患者周边骨吸收的情况,亦不会影响患者的治疗效果,均可以满足患者的治疗需求。刘君武等^[23]在分析不同冠根比种植单冠修复体对口腔种植患者治疗效果的影响得出了相同的结论。金鼎等^[24]建立了下颌不同冠根比种植修复体的有限元模型,通过对种植体周围骨组织所呈现的应力分布情况进行对比分析后发现,当受力方向为颊舌向时,种植体的颈部区域以及其周围的骨皮质成为应力集中的区域;而当沿着轴向施加作用力时,种植体颈部以及根尖部周围的骨组织则成为应力集中的区

域。并且,随着冠根比数值的增大,种植体所承受的Von Mises应力会明显升高。江鹭鹭等^[25]通过绘制种植修复体三维实体模型,认为当冠根比为3:1时,种植体的应力峰值约为1:1时的4倍,皮质骨、基台、中央螺丝、牙冠的应力峰值约比1:1时增大了1倍。因此,建议植入尽可能长的种植体,从而获取理想的冠根比例,以此降低种植体周围骨组织所承受的应力,进而提升种植体的成功率。

3 冠的固位方式

种植体支持的修复体可以用螺钉连接到种植体上(螺丝固位),也可以用粘接剂粘接固定在种植体上的基台上(粘接固位)^[26]。螺丝固位主要通过一体冠锁紧种植体,而粘接固位通过树脂加强型玻璃离子粘种植体剂对预先固定的基台和种植体进行粘接,这两种方法在固位原理和材料的选择上都有着很大的差别^[27]。螺丝固位的缺点是造价高、技术工艺烦琐;粘接固位的缺点是不能自由拆卸,术中粘接剂的使用量难以把控^[28]。哈雅楠^[29]在动态载荷下分析螺丝固位和粘接固位单冠应力分布,结果表明在舌颊向进行加载时,等效应力的峰值达到了垂直向加载时的2~6倍;两组模型中,基台、种植体及其周围骨组织在各个阶段的应力分布状况相近,并且应力数值没有显著差异。然而,种植全冠咬合面若存在开孔的情况,会对全冠的应力分布产生影响,致使全冠的抗折性能下降,其面临生物力学方面失败的风险要高于采用传统粘接固位方式的情况。周立伟^[30]在种植多单位修复中螺丝固位与粘接固位联合运用中机械并发症发生情况的回顾性研究中发现,螺丝固位修复的方式更容易出现机械并发症,而粘接固位修复则更常面临生物学并发症的问题。在各类机械性并发症当中,固位螺丝松动是最为常见的状况。当处于咀嚼功能负载状态时,修复体存在着轻微翘动的倾向,这种细微的翘动会加快固位螺丝的松动速度,并促使其产生应力疲劳。孙雅慧等^[31]通过2种固位方式对上颌前牙区种植的修复效果比较,结果显示螺丝固位和粘接固位对上颌前牙区种植修复的临床效果不一致,粘接固位对减少边缘骨吸收和增加角化龈宽度的效果较好;螺丝固位对改善

改良出血指数的效果较好。两种种植修复体固位方式皆具优缺点，在临床工作中应视患者的具体情况合理选择。

4 冠的材料选择

近年来，口腔修复学研究的重点是开发模仿天然牙齿和口腔组织的特性，具有改进的力学和物理性能，并具有长期临床耐用性的材料^[32, 33]。牙医的选择可能取决于几个因素，如患者的愿望、美学、材料硬度因素等^[34]。Ogaili AAF等^[35]采用金属烤瓷（PFM）作为修复材料进行有限元分析以评估种植体-冠复合体内的应力分布模式，以阐明使用PFM冠修复时植入系统的生物力学行为，结果发现与氧化锆冠相比，PFM冠系统的有限元分析模拟显示整个植入物固定装置和周围骨骼的应力分布更加均匀。值得注意的是，与氧化锆模型相比，关键颈部区域的应力集中有所降低，这表明在减少植体颈部骨丢失和植入物骨折风险方面具有潜在优势。然而，PFM冠在冠-种植体界面处表现出更高的应力值。在陶瓷冠中，植入物关键颈部区域的应力水平较低，有助于增强骨保存，且与陶瓷冠相比，较硬的氧化锆冠使植体中的应力集中增加了12.6%。氧化锆冠可能会导致植入系统内的应力集中增加，从而增加植入物断裂和植体颈部骨丢失的风险^[36]。Ceddia M等^[37]通过对牙釉质、陶瓷和氧化锆力学行为的有限元比较研究中认为，尽管陶瓷具有优异的美学特性，但其抗咬合负荷的能力比氧化锆低。总之，不同的冠替代材料（即氧化锆和陶瓷）的刚度对修复牙的应力分布有显著影响，而咬合载荷方向对传递应力的强度和分布也有影响。特别是水平载荷的施加显著增加了氧化锆冠咬合面相对于陶瓷冠修复体的应力，而后者对施加力的方向不敏感。

5 总结

种植体修复的成功与否不仅与植体有关，上部的修复结构亦是成功的关键，本文就牙冠修复类型、种植义齿冠根比、冠的固位方式及冠的材料选择进行综述。由于有限元不能模拟口腔中咀嚼状态，且临床工作中口腔内的骨缺损各异，冠修复需根据不同情况进行选择。在冠根比的分析中建议植入长度尽可能长的种植体，从而得到理

想的冠根比例，进而降低种植体周围骨组织所承受的应力。其次，修复体固位方式皆具优缺点，应慎重选择。口腔条件是动态的，在临床工作中，尽可能的综合患者本身的条件来选择相应的修复方式，以保证种植修复的成功率。

[参考文献]

- [1]de Moraes KC,Thomé G,Fontão FNGK,et al.Evaluation of the Peri-Implant Tissues of Patients with Severe Bone Atrophy Treated with a New Short and Extra-Short Implant System—A Pilot Study[J].*Journal of Functional Biomaterials*,2024,15(10):288.
- [2]Javed F,Romanos GE.Role of implant diameter on long-term survival of dental implants placed in posterior maxilla:a systematic review[J].*Clin Oral Investig*,2015,19(1):1-10.
- [3]Ghambaryan N,Jilavyan A,Khachatryan G,et al.Evaluation of the survival rate of short implants placed in the posterior atrophic mandible: 5-year clinical study[J].*Quintessence Int*,2022,53(8):690-696.
- [4]黄蓓,唐曹敏,张晟,等.PRF用于前牙缺失即刻种植的疗效及其对骨吸收的影响[J].*中国口腔种植学杂志*,2020,25(2):51-54,71.
- [5]李明,杨婉洵,夏海斌.骨内种植体表面纳米改性对其生物学活性的影响[J].*口腔医学研究*,2011,27(5):447-448.
- [6]王承勇,陈伟辉,林海,等.神经支配与种植体骨结合和骨感知的相关性[J].*中国组织工程研究与临床康复*,2010,14(4):684-688.
- [7]杨成栋,向旭东.牙龈生物型对上颌单颗后牙种植体周围骨组织、软组织健康及龈乳头美学效果的影响[J].*上海口腔医学*,2024,33(3):290-294.
- [8]林奕,陶献发,王屹博,等.不同种植体平台位置磨牙联冠修复的三维有限元分析[J].*中国组织工程研究*,2018,22(26):4123-4127.
- [9]安维康,张薇,郑亚飞,等.影响短种植体成功率的因素探讨[J].*中华口腔医学研究杂志(电子版)*,2021,15(3):129-134.
- [10]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.
- [11]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.
- [12]das Neves FD,Fones D,Bernardes SR,et al.Short implants--an analysis of longitudinal studies[J].*Int J Oral Maxillofac Implants*,2006,21(1):86-93.

- [13]热依拉·库尔班,霞黑达·依拉尔江,陈欣,等.超短种植体不同修复方式的三维有限元分析[J].中国组织工程研究,2023,27(30):4824-4829.
- [14]AlHamdan EM,Alsahhaf A,Alzahrani KM,et al. Clinical,Radiographic Peri-Implant Parameters and Patient Satisfaction with Splinted and Non-splinted Short Dental Implants in the Maxillary Premolar-Molar Region:A Long-Term Retrospective Clinical Study[J].Oral Health Prev Dent,2023,21:291-296.
- [15]Vigolo P,Mutinelli S,Zaccaria M,et al.Clinical evaluation of marginal bone level change around multiple adjacent implants restored with splinted and nonsplinted restorations:a 10-year randomized controlled trial[J].Int J Oral Maxillofac Implants,2015,30(2):411-418.
- [16]Bayraktar M,Gultekin BA,Yalcin S,et al.Effect of crown to implant ratio and implant dimensions on periimplant stress of splinted implant-supported crowns:a finite element analysis[J].Implant Dentistry,2013,22(4):406-413.
- [17]Sivolella S,Meggiorin S,Ferrarese N,et al.CT-based dentulous mandibular alveolar ridge measurements as predictors of crown-to-implant ratio for short and extra short dental implants[J].Scientific Reports,2020,10(1):16229.
- [18]Nissan J,Ghelfan O,Gross O,et al.The effect of crown/implant ratio and crown height space on stress distribution in unsplinted implant supporting restorations[J].Journal of Oral and Maxillofacial Surgery,2011,69(7):1934-1939.
- [19]Birdi H,Schulte J,Kovacs A,et al.Crown-to-implant ratios of short-length implants[J].J Oral Implantol,2010,36(6):425-433.
- [20]赵宝红,封伟,王丹宁,等.不同冠根比的后牙种植义齿5年临床疗效评价[J].上海口腔医学,2013,22(2):189-194.
- [21]Schulte J,Flores AM,Weed M.Crown-to-implant ratios of single tooth implant-supported restorations[J].Journal of Prosthetic Dentistry,2007,98(1):1-5.
- [22]史学然.不同冠根比种植单冠修复体对口腔种植患者治疗效果的影响[C]//中国生命关怀协会.生命关怀与智慧康养系列学术研讨会论文集--人文关怀护理理念在临床护患沟通中的应用.廊坊爱嘉口腔门诊部,2024.
- [23]刘君武,杨记意.不同冠根比种植单冠修复体治疗对口腔种植患者植体周边骨吸收状况的影响[J].国际医药卫生导报,2020,26(19):2959-2961.
- [24]金鼎,杜暘,屈直,等.下颌第一磨牙不同冠根比种植修复体的三维有限元分析[J].中国组织工程研究与临床康复,2011,15(13):2354-2357.
- [25]江鹭鹭,唐佳奇,蔺增,等.不同冠根比种植义齿修复下颌第一磨牙的三维有限元分析[J].中国实用口腔科杂志,2013,6(3):144-147.
- [26]Chee W,Jivraj S.Screw versus cemented implant supported restorations[J].British Dental Journal,2006,201(8):501-507.
- [27]田敏,吉兆华,林娉婷,等.种植支持冠桥修复患者主观满意度的调查和分析[J].牙体牙髓牙周病学杂志,2016,26(3):167-170.
- [28]曹宇皎,谢红梅,韩雪,等.不同固位方式种植义齿修复后牙缺损对患者种植体周围组织的影响[J].临床误诊误治,2020,33(2):99-103.
- [29]哈雅楠.动态载荷下不同修复方式对后牙种植单冠应力分布影响的三维有限元分析[D].济南:山东大学,2019.
- [30]周立伟.种植多单位修复中螺丝固位与粘接固位联合运用中机械并发症发生情况的回顾性研究[J].口腔医学研究,2021,37(1):63.
- [31]孙雅慧,刘鑫,唐旭炎.2种固位方式对上颌前牙区种植的修复效果比较[J].安徽医学,2018,39(6):654-658.
- [32]Kitajima H,Komatsu K,Matsuura T,et al.Impact of nano-scale trabecula size on osteoblastic behavior and function in a meso-nano hybrid rough biomimetic zirconia model[J].Journal of Prosthodontic Research,2023,67(2):288-299.
- [33]Yun J,Tsui KH,Fan Z,et al.A biomimetic approach to evaluate mineralization of bioactive glass-loaded resin composites[J].Journal of Prosthodontic Research,2022,66(4):572-581.
- [34]Şensoy AT,Çolak M,Kaymaz I,et al.An application of finite element method in material selection for dental implant crowns[J].Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik,2021,66(4):429-436.
- [35]Ogaili AAF,Mahdi QS,Al-Ameen ES,et al.Finite-element investigations on the influence of material selection and geometrical parameters on dental implant performance[J].Curved and Layered Structures,2024,11(1):20240015.
- [36]Blatz MB,Sadan A,Martin J,et al.In vitro evaluation of shear bond strengths of resin to densely-sintered high-purity zirconium-oxide ceramic after long-term storage and thermal cycling[J].Journal of Prosthetic Dentistry,2004,91(4):356-362.
- [37]Ceddia M,Lamberti L,Trentadue B.FEA Comparison of the Mechanical Behavior of Three Dental Crown Materials:Enamel,Ceramic,and Zirconia[J].Materials,2024,17(3):673.



专题征稿 || 医美新材料与新技术

随着“医美归医”渐成行业共识，技术与材料越来越成为行业发展的革命性动力，近年来市场和科技不断进步，新材料、新技术不断涌现，推动着行业的快速发展和产业的不断进化，提高了医美治疗的效果和安全性，也为求美者提供了更多的可能性。新材料的应用可减少患者的手术风险，使医美手术更加安全可靠。例如，生物可降解材料应用于隆胸、隆鼻等项目中，可以有效解决传统植入物可能引起的排异反应和植入物移位等问题。生物可降解材料不会对人体造成任何伤害，能在人体内自然分解，同时也减少了对环境的影响，可以有效保护人体和环境健康。激光治疗、微针疗法以及皮肤表面的化学剥脱等治疗方式不断演进，为患者提供了更安全和更有效的结果。随着新技术的发展，借助3D打印技术，医生可以快速、精确地打印出不同面部和身体形态的模型，为求美者提供个性化、多样化的医美方案。随着AI技术的快速发展和进步，医疗美容行业也逐渐开始采用AI技术，以人工智能来提高诊断和治疗的准确性、精细化和效率。这些新技术、新材料的加成，有利于提高临床疾病治疗效果，也为求美者带来更安全、更高质量的医美方案。

《医学美学美容》现向全国各医院医美整形科、高校等机构征集医美新材料与新技术相关的稿件，重点报道新型医美材料和技术应用及其发展趋势，旨在促进技术创新和转化。所有专题稿件将优先审核，优秀稿件定稿后在我刊最近一期以专题报道形式刊登，专题版面有限，录完即止。欢迎相关领域的专家、学者踊跃投稿！

征稿要求：

内容包括但不限于医美新材料与新技术相关研究，胶原蛋白、外泌体、可降解材料等生物材料应用效果及研究进展，纳米技术、3D打印、AI技术等新技术在医美领域的应用等，凡与上述内容有关的均可投稿，来稿需符合本刊撰稿要求，注明“医美新材料与新技术”。

联系方式：

专题编辑：扶田

投稿邮箱：ymeditor_f@qq.com

联系电话：029-83237788

2025中国瘢痕修复与 痤疮诊疗专家学术交流会通知 (第一轮)

由云南省整形美容协会、《医学美学美容》编辑委员会瘢痕修复与美学修饰专业委员会、云南省整形美容协会痤疮分会主办，昆明皮肤病专科医院、蔡景龙名医疤痕治疗工作室济南总部（蔡景龙医疗美容门诊部）、中国瘢痕医学网承办的2025中国瘢痕修复与痤疮诊疗专家学术交流会将于2025年6月20日-22日在昆明召开。大会广邀国内外瘢痕痤疮治疗领域的专家，采用理论讲解与实践操作相结合、会议发言与疑难问题提问相结合的方式进行交流探讨，并特邀编辑部资深编辑畅谈科研论文写作和审稿讲座，会议还将现场演示复杂疑难瘢痕蔡氏肿胀麻醉分层分级减张缝合技术、环钻技术、光电治疗技术、PRP制备应用等新技术。凡参会者将按照要求授予省级二类继续教育学分3分。

投稿要求

800字以内论文摘要 Word 文档，包括论文题目、投稿人姓名、单位、联系电话和简介，截稿日期为2025年6月1日，投稿邮箱为：caijinglong@126.com。来稿可推荐至《医学美学美容》刊发，作者将有机会受邀在大会交流发言。部分文章可以摘要等形式在会场以展板/壁报展示，同时做成论文集与参会者交流。

联系方式

陈瑜静 电话：13529150303（微信同号）

于诗民 电话：15650358998（微信同号）

杨超 电话：15121080950（微信同号）

