

不同倾斜种植体修复方案 ——对牙缺失修复生物力学性能的影响

李雨泽

西北民族大学, 甘肃 兰州 730050

摘 要 : 目的: 通过三维有限元分析法了解不同倾斜种植修复方案在牙列缺失修复中应用效果。方法: 选取1名志愿者, 运用锥形束CT (CBCT) 采集基础性信息后, 通过3DCaMega光学三维系统完成基台和种植体扫描, 并通过逆向工程形成相应三维有限元模型。根据上颌与下颌种植特征, 设计I-VI6个实验模型, 模型I (下颌牙) 1号种植体为 0° , 2号种植体依次倾斜 0° 、 15° 、 30° 、 45° ; 模型II (下颌牙) 1号种植体依次倾斜 0° 、 15° 、 30° 、 45° ; 模型III (下颌牙) 1号种植体为 0° , 2号种植体依次为无悬臂、半个单位悬臂、1个单位悬臂、2个单位悬臂; 模型IV (下颌牙) 1号种植体为 0° , 2号种植体依次为倾斜 15° 、倾斜 15° +1个单位悬臂、倾斜 15° +2个单位悬臂; 模型V (下颌牙) 1号种植体为 0° , 2号种植体依次为I类骨质+倾斜 15° 、II类骨质+ 15° 、III类骨质+倾斜 15° 、IV类骨质+倾斜 15° ; 模型VI上颌两侧的中切牙到第一磨牙+倾斜 25° 。整理不同方案下咀嚼运动下种植体应力和位移情况。结果: 根据种植整体应力值来看, 模型I方案A、方案B与方案C应力值较低; 模型II方案A、方案B与方案C应力值较低; 模型III四种方案应力无差异; 模型IV三种方案均无较大差异; 模型V方案A、方案B应力值更低; 模型VI应力分布为 $3 < 2 < 4 < 1 < 5$ 。根据整体位移值来看, 模型I方案A、方案B、方案C位移低于方案D; 模型II方案A、方案B与方案C, 其位移值低于方案D; 方案A、方案B、方案C与方案D位移值均无较大差异性; 模型IV方案A与方案B、方案C位移值均较大差异性; 模型V方案A、方案B位移值低于方案C与方案D; 模型VI位移值分布为 $1 < 5 < 3 < 2 < 4$ 。结论: 在牙缺失修复治疗过程中, 单一种植体倾斜角度 $< 30^{\circ}$ 和一拖二 (单体带悬臂) 种植体倾斜角度 $< 15^{\circ}$, 均可到达较好的应力分布和位移效果。

关键词 : 倾斜种植体; 牙列缺失; 生物力学性能

Effect of Different Inclined Implant Restoration Schemes — on the Biomechanical Properties of Missing Tooth Restoration

Li Yuze

Northwest Minzu University, Lanzhou, Gansu 730050

Abstract : Objective: To understand the effect of different inclined implant restoration schemes in dentition loss repair by three-dimensional finite element analysis. Methods: One volunteer was selected to collect the basic information using cone beam CT (CBCT), complete the abutment and implant scan through 3DCaMega optical 3 D system, and formed the corresponding 3 D finite element model through reverse engineering. According to the maxillary and mandibular implant characteristics, Design of the six experimental models for the I - VI, Model I (mandibular teeth) implant 0, Implant 2 is tilted by 0, 15, 30 and 45; Model II (mandibular teeth) implant 1 tilt 0, 15, 30, 45; Model III (mandibular teeth) implant 0, No.2 implant is no cantilever, half unit cantilever, 1 unit cantilever and 2 unit cantilever; Model IV (mandibular teeth) implant 0, No.2 implant is tilted 15, 15 + 1 unit cantilever, and 15 + 2 unit cantilever; Model V (mandibular teeth) number 1 implant is 0, No.2 implants were class I bone + tilt 15, osteoid + 15, class III bone + tilt 15, and osteoid + tilt 15; Model VI maxillary sides of the middle incisor to the first molar + tilt 25. Arrange the implant stress and displacement under chewing exercise. Results: According to the overall stress value of planting, the stress values of model I A and B and C were low; the stress values of model II A and B and C were low; there was no difference in the stress of the four schemes of model III; no big difference between the three schemes of model IV; model V A and B were lower; the stress distribution of model VI was $3 < 2 < 4 < 1 < 5$. According to the overall displacement value, the displacement of Scheme A, B and C is lower than Scheme D; the displacement values of model II A, B and C are lower than Scheme D; there is no difference between the displacement values of Scheme

A, B, C and D are quite different; the displacement values of model IV A and B and C are quite different; the displacement values of model V A and B are lower than Scheme C and D; the displacement value of model VI is $1 < 5 < 3 < 2 < 4$. Conclusion: During the treatment of tooth loss, single implant tilt angle $< 30^\circ$ and two (single cantilever implant tilt angle $< 15^\circ$) can achieve good stress distribution and displacement effect.

Keywords: tilt implant; loss of dentition; biomechanical properties

引言

即刻种植倾斜种植体是一种在治疗过程中进行拔牙处理后，随后迅速完成牙佩戴的修复处理方案，其能够最大程度上帮助牙周原本的软组织形态得以保持原样，从而有效降低手术实施的频次，并尽快促进患者修复效果的提升，故受到了广大医患的一致好评^[1]。但因其自身所表现出的解剖结构问题，以及在骨量等各方面因素的共同作用下，造成种植体很难根据预期理想方向植入。国内外已有大量研究成果探讨了关于倾斜种植体的角度、分布等相关参数的有限元分析（FEA），并表示在牙缺失修复治疗中，经由倾斜进行种植处理后可以形成更佳的应力分布效果。但最佳的方案却并未形成统一，尽管“All-on-4”治疗期间，表示种植体的最大角度为 45° ^[2-3]，并且成角度的基台偏倚和远端倾斜能够形成相互抵消。但关于应用于单个后牙缺失修复这种咬合力要求较高的区域，何种倾斜种植体修复方案具有更好的力学性能并未形成共识。鉴于此，本研究针对牙缺失修复患者，为其提供不同倾斜种植体修复方案实施对比研究，以期与研究提供科学指导。

一、材料与方法

（一）获取图像数据

1. 实验对象：选取一名有着良好颌骨条件的无牙颌志愿者，女性，年龄62岁，下颌与上颌均为天然牙。

2. 扫描：借助锥形束CT（CBCT）机器对本例志愿者实施数据信息的采集处理。在采集期间，嘱咐患者保持坐位，按照要求咬紧咬合板，并促使头部能够保持中立状态，随后完成颅颌面部的全面扫查，通过该方法即可迅速获得相应图像信息，随后通过垂直校准和法兰克福校准的处理方案来确保其能够保持在齐平状态，并完成动态实时扫查处理。在完成信息采集后，即可导入信息传入计算机内部。

（二）构建有限元模型

将所获取的DICOM数据输入到三维成像软件内部，随后完成阈值等信息设定，快速实现对图像结构的重构，获取牙颌骨三维图像。随后通过Geomagic Studio软件来实现对模型集中处理，促使颌骨整体模型能够更为平滑、清晰，以保证CATIA建模软件能够形成对应实体信息。

（三）构建种植固定义齿的三维有限元模型

针对义齿做出扫描处理之后，借助所获取的图像信息将其传输入到STL数据档案内部，随后将信息传输到对应软件中，并完成对窝洞填平处理，形成对应修复体模型，再通过CATIA进行实体模型构建。

（四）进行基台和种植体三维有限元模型构建

在实施数据采集期间，借助逆向工程（RE）形成正向的建模方案，并通过3DCaMege光学三维扫描系统来实现对基台和种植

体等信息的获取，并借助相机快速捕获相应数字图像信息，并在处理和计算等过程中快速形成模型，通过OGP三维影像达成对表面信息的重建与补充，并构建起正向的实体模型。

（五）实验设计

设计模型I-VI 6个实验模型，每个模型中设置3-4个方案。不同实验模型种植位点各有不同。种植体均完全埋伏到下颌或上颌后牙颌骨内，模型设计见图1-图6。根据设计，将建立的下颌或上颌骨、种植体有限元模型，通过CATIA软件来完成装配，随后将其传导到Abaqus6.9内，形成6个有限元分析模型。具体方案见表1。



>图1 方案1



>图2 方案2



>图3 方案3



> 图4 方案4



> 图5 方案5



> 图6 方案6

表1 模型中种植体倾斜角度(°)

模型组别	A方案		B方案		C方案		D方案	
	种植体1号	种植体2号	种植体1号	种植体2号	种植体1号	种植体2号	种植体1号	种植体2号
I(下颌牙)	倾斜0°	倾斜0°	倾斜0°	倾斜15°	倾斜0°	倾斜30°	倾斜0°	倾斜45°
II(下颌牙)	倾斜0°	-	倾斜15°	-	倾斜30°	-	倾斜45°	-
III(下颌牙)	倾斜0°	无悬壁	倾斜0°	半个单位悬臂	倾斜0°	1个单位悬臂	倾斜0°	2个单位悬臂
IV(下颌牙)	倾斜0°	倾斜15°	倾斜0°	倾斜15° +1个单位悬臂	倾斜0°	倾斜15° +2个单位悬臂	-	-
V(下颌牙)	倾斜0°	I类骨质+倾斜15°	倾斜0°	II类骨质+15°	倾斜0°	III类骨质+倾斜15°	倾斜0°	IV类骨质+倾斜15°
VI(上颌牙)	上颌两侧的中切牙到第一磨牙+倾斜25° (依次设定为1、2、3、4、5号种植体)							

(六) 组织材料力学参数

将实验中所运用的各种组织材料均设定为均匀连续材质的各个方向同性线弹性材料, 组织材料力学参数见表2。

表2 材料力学参数

材料	弹性模量 (GPa)	泊松比
骨皮质	13.41	0.32
氧化锆	210.00	0.30
纯钛	110.00	0.32
骨松质	1.36	0.30

(七) 加载方式

咀嚼运动是种植义齿非常重要的负荷来源, 垂直载荷也是咀嚼力量最主要的部分, 所以本次研究的加载方式可以设定为: 垂直加载, 即将单侧300N的加载量保持在15的舌尖颊斜面部位。

(八) 数据分析

将6组模型的相关数据均录入到统计学软件 SPSS27.0行数据的分析处理, 并通过主成分分析处理方法, 对每组模型种植体应力和位移值进行结果计算, 并进行大小对比。

二、结果

在实验条件下获取有限元模型的种植体、修复体和颌骨的骨组织的整体应力和位移值的最大应力分布云图, 见图7, 应力值与位置值见表3、表4、表5与表6。根据种植整体应力值来看, 模型I方案A、方案B与方案C, 其应力值低于方案D; 模型II方案A、方案B与方案C, 其应力值低于方案D; 模型III方案A、方案B、方案C与方案D应力值均无较大差异性; 模型IV方案A与方案B、方案C应力值均有较大差异性; 模型V方案A、方案B应力值低于方案C与方案D; 模型VI应力分布为 $3 < 4 < 2 < 5 < 1$ 。根据整体位移值来看, 模型I方案A、方案B、方案C位移低于方案D; 模型II方案A、方案B与方案C, 其位移值低于方案D; 方案A、方案B、方案C与方案D位移值均无较大差异性; 模型IV方案A与方案B、方案C位移值均较大差异性; 模型V方案A、方案B位移值低于方案C与方案D; 模型VI位移值分布为 $3 < 2 < 4 < 1 < 5$ 。

		A方案	B方案	C方案	D方案
I(下颌牙)	整体应力				
	整体位移				
II(下颌牙)	整体应力				

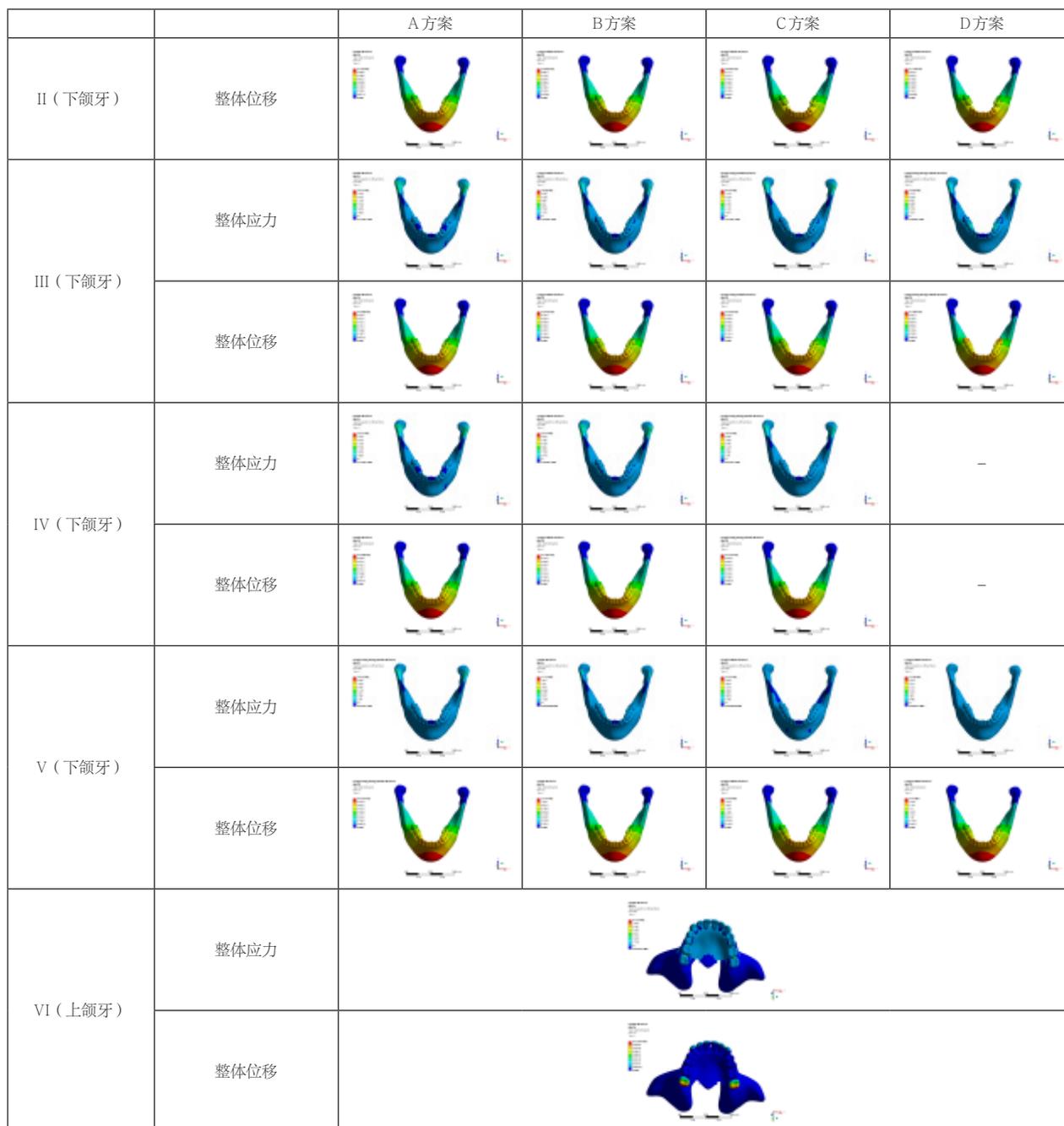


图7 不同倾斜种植方案的整体应力和位移值

表3 I-V模型种植整体应力值 (MPa)

模型组别	A方案		B方案		C方案		D方案	
	种植体1号	种植体2号	种植体1号	种植体2号	种植体1号	种植体2号	种植体1号	种植体2号
I (下颌牙)	26	27	26	31	26	34	26	81
II (下颌牙)	26	-	32	-	36	-	82	-
III (下颌牙)	27	30	27	33	28	34	27	32
IV (下颌牙)	26	31	26	32	26	35	-	-
V (下颌牙)	26	36	26	37	26	45	37	52

表4 VI模型种植整体应力值 (MPa)

模型组别	种植体编号				
	1	2	3	4	5
VI (上颌牙)	66	24	22	23	63

表5 I-V模型种植整体位移值 (mm)

模型组别	A方案		B方案		C方案		D方案	
	种植体1号	种植体2号	种植体1号	种植体2号	种植体1号	种植体2号	种植体1号	种植体2号
I (下颌牙)	1.005	1.015	1.005	1.024	1.005	1.086	1.005	2.158
II (下颌牙)	1.025	-	1.031	-	1.035	-	2.257	-
III (下颌牙)	1.022	1.211	1.035	1.128	1.041	1.121	1.025	1.362
IV (下颌牙)	1.001	1.025	1.005	1.032	1.014	1.032	-	-
V (下颌牙)	1.025	1.048	1.032	1.068	1.025	1.072	1.061	2.581

表6 模型种植整体位移值 (mm)

模型组别	种植体编号				
	1	2	3	4	5
VI (上颌牙)	1.325	1.025	1.011	1.034	1.347

三、讨论

牙缺失是一种非常常见且高发的口腔科疾病,最常见的是侧面牙齿明显缺失,缺失的牙齿也主要为前臼齿、门齿和第三臼齿。本病的发生发展通常与意外事故或者早期龋齿出现密切相关^[4]。倾斜种植概念提出,意味着前后距离能够得到有效扩大,并能够在咬合过程中更好地进行达成负荷分布,从而避免长悬臂距离,提升骨植入物的整体接触效果,从而取得更为显著的力学性能优势^[5-6]。

本研究构建起了六个模型,在300N下进行应力和位移分布特征分析,根据结果来看,单一种种植体倾斜角度 $<30^\circ$ 和一拖二(单体带悬臂)种植体倾斜角度 $<15^\circ$,均可到达较好的应力分布和位移效果。这与文献报道结果^[7]一致,即在对前牙区唇腭矢状面上的倾斜种植时,若能够将角度控制在 20° 以内,那么即可达到最佳的种植范围,但若倾斜超过这个范围,即表示会导致这种种植失败风险随之增加。但也有学者认为^[8],末端种植体倾斜的角度需要控制在 $30^\circ-45^\circ$ 之间,以达到有效控制咬合侧向力的

种植体修复效果。出现这种差异性,可能是由于种植体的服役区域不同所致,但可以肯定的是,通过不同倾斜角度的处理,能够形成良好健康应力的分布。为进一步探索该结论,研究通过模型III与模型IV对悬臂和骨质特征做出了进一步分析,发现,在倾斜角度控制在 15° 时,是否悬臂均能够获得较好的应力分布和位移控制效果,但IV类骨质会增加应力和位移。考虑可能是由于IV类骨质特征相对较为疏松,密度也明显更低,弹性模型也相对更小,故而容易增加种植体负担^[9-10]。此外,根据上颌牙的应力和位移分布情况来看,种植体应力越靠近磨牙,其应力和位移问题越突出。该结果提示在实际倾斜种植期间,需要高度重视对磨牙的受力问题的控制。

综上所述,在牙缺失修复治疗中,单一种种植体倾斜角度 $<30^\circ$ 和一拖二(单体带悬臂)种植体倾斜角度 $<15^\circ$,均可到达较好的应力分布和位移效果,但针对IV类骨质和后磨牙仍然需要密切关注,尽可能地降低倾斜角度,以便达到更好的应力和位移控制效果。

参考文献

- [1]Tan D,Walline JH,Ling B,et al.High-flow nasal cannula oxygen therapy versus non-invasive ventilation for chronic obstructive pulmonary disease patients after extubation:amulticenter.randomized controlled trial[J].Crit Care,2020,24(1):489.
- [2]Malo P,de Araujo NM,Lopes A,et al.The All-on-4 treatment concept for the rehabilitation of the completely edentulous mandible:A longitudinal study with 10 to 18 years of follow-up[J].Clin Implant Dent Relat Res,2019,21(4):565-577.
- [3]吴正敏,李常旭,崔艳琦,等.下颌All-on-4种植固定义齿不同咬合接触应力分布的有限元分析[J].中国组织工程研究,2025,29(28):6020-6029.
- [4]刘丽,刘娟丽.慢阻肺合并II型呼吸衰竭患者应用有创-无创序贯机械通气治疗对其VAP发生率及预后的影响[J].贵州医药,2022,46(9):1398-1399.
- [5]Nakayama Y,Yamashita Y,Shimohira D,et al.A long-term clinical statistical analysis of machined-surface Branemark implants used in patients undergoing oral and maxillofacial surgery[J].Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology,2019,31(4):237-240.
- [6]Ye Z,Ye H,Jiang Z,et al.Influence of different implant designs on replacement of four teeth of the posterior free-end edentulism: Three-dimensional finite element analysis and clinic case validation[J].Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger,2023,249:152111.
- [7]韩丽会,邱晓霞,邢旭娜,等.上颌前牙区种植方案中角度设计的三维有限元分析[J].上海口腔医学,2015,24(2):157-163.
- [8]Sugiura T,Yamamoto K,Horita S,et al.Effects of implant tilting and the loading direction on the displacement and micromotion of immediately loaded implants :an in vitro experiment and finite element analysis[J].Periodontal Implant Sei,2017,47(4):251-262.
- [9]Pala E,Ozdemir I,Grund T,et al.The Influence of Design on Stress Concentration Reduction in Dental Implant Systems Using the Finite Element Method[J].Crystals,2024,14(1):20.
- [10]邹晖,李朝晖,徐盛,等.不同垂直骨面型成人上下颌后牙区皮质骨密度测量研究[J].中华口腔医学研究杂志(电子版),2020,14(05):308-313.