

◇ 经验与体会 ◇

倾斜种植应用于不同质量颌骨的三维有限元分析

夏琳¹ 张志宏¹ 刘红红¹ 杜双松² 冯昌乐² 韩倩¹ 陈佳¹

摘要 通过运用三维有限元方法建立 I ~ IV 类骨质中种植体不同角度倾斜种植模型 24 个,垂直集中加载 300 N。分析研究显示,在同一骨质中,随着种植体倾斜角度的增加,密质骨和松质骨中的最大应力及应变均逐渐增大;而相同角度的种植体于不同质量的颌骨中时,最大应力发展趋势为:密质骨:IV 类骨质 > III 类骨质 > II 类骨质 > I 类骨质;松质骨:III 类骨质 > IV 类骨质 > II 类骨质。

关键词 倾斜种植;不同质量颌骨;应力分析;三维有限元

中图分类号 R 782.1

文献标志码 A **文章编号** 1000-1492(2015)05-0695-04

后牙区由于受到解剖条件的限制,常出现骨高度不足,通常需要在常规种植的基础上辅以植骨术。然而,植骨术存在术后反应大、费用高、治疗周期长等缺点。目前,有学者提出“倾斜种植”的概念,即种植体植入方向与原牙体长轴成角度,以避开关键的解剖结构(如上颌窦、下颌神经管等),在不附加手术的前提下获得足够骨量^[1]。倾斜种植多用于无牙颌、后牙连续缺失以及前牙这些对咬合力要求较小的区域^[2]。但对应用于后牙单个牙缺失这样对咬合力要求较高的区域存在争议。颌骨质量有区别,并且它对种植体的稳定性意义重大。对于倾斜种植可否适用于所有颌骨骨质的后牙区以及最大适用角度,目前尚无研究论证。该研究拟对不同质量颌骨中的倾斜种植体周围骨质的应力状态进行三维有限元分析(three-dimensional finite element method, 3D FEM),以期对单个后牙缺失倾斜种植的临床应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 计算机的 CPU: AMD 双核;内存:4G;硬

2015-02-02 接收

基金项目:安徽省 2013-2014 年科技攻关计划项目(编号:1301041026)

作者单位:¹安徽医科大学附属省立医院口腔医学中心,合肥 230001

²中国科学院等离子体物理研究所,合肥 230031

作者简介:夏琳,女,硕士研究生;

张志宏,男,教授,主任医师,硕士生导师,责任作者,E-mail: zzhzqr@126.com

盘:320G。有限元软件:ANSYS 12.0 大型三维有限元分析软件。

1.2 模型建立

1.2.1 种植体模型的建立 根据 ITI 的基本数据建立圆柱形种植体的三维有限元模型。直径为 4.1 mm,高 10 mm,螺距 1.25 mm,齿高 0.5 mm。上部角度基台:简化为下底直径 4.1 mm、上底直径 3.5 mm、高 5 mm 的圆台。由于 ITI 种植系统中最大角度基台的角度为 20°,为避免受到限制,该实验将角度基台的角度增大至 25°,即种植体长轴与角度基台长轴分别呈 0°、5°、10°、15°、20°、25°,形成 6 种植体模型。该实验设置种植体的材料为钛,弹性模量为 1.1×10^6 MPa,泊松比为 0.35^[3]。

1.2.2 牙冠模型的建立 简化为 8 mm*8 mm*8 mm 的瓷性正方体。由于本实验主要观察种植体周围骨质的应力应变情况,与上部结构无关,故对上部角度基台及牙冠进行简化。该实验设置瓷的弹性模量为 7×10^5 MPa,泊松比为 0.19^[4]。

1.2.3 骨块模型的建立 颌骨骨块的尺寸为:近远中向 16 mm,颊舌向 8 mm,高 15 mm,骨块简化为内含松质骨,外包密质骨,松质骨的近远中向未被密质骨包绕的长方体。根据 Wakimoto et al^[5] 采用的骨质分类方法,即 I 级:颌骨几乎完全由均质的密质骨构成;II 级:厚层的密质骨包绕骨小梁密集排列的松质骨;III 级:薄层的密质骨包绕骨小梁密集排列的松质骨;IV 级:薄层的密质骨包绕骨小梁疏松排列的松质骨;构建四种骨质模型,即 I 类骨:全由密质骨构成;II 类骨:密质骨厚 3 mm;III 类骨:密质骨厚 1 mm;IV 类骨:密质骨厚 1 mm,松质骨的弹性模量降低。该实验设置密质骨的弹性模量为 13 700 MPa, I ~ III 类松质骨的弹性模量为 1 370 MPa,IV 类松质骨的弹性模量为 690 MPa,泊松比均为 0.3^[6-8]。

1.2.4 模型的装配与单元划分 将种植体、骨块、牙冠进行一一装配。种植体完全位于骨块中,保证上部基台的长轴与骨块长轴平行,即形成种植体倾斜种植模型。共形成 24 个模型。本实验采用自动划分单元的形式对建立的 24 个模型进行单元划分,单元数为 70 593 ~ 73 210 个,节点数为 97 435 ~

99 853 个。见图 1。

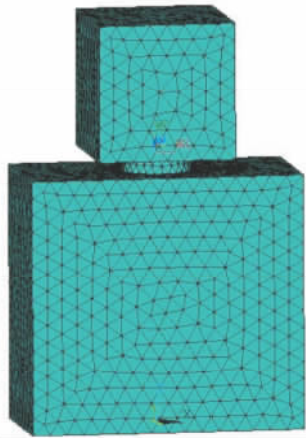


图 1 已划分好网格的模型

1.3 实验条件假设与约束 假设模型中所有材料均为均质、线弹性、各向同性。假设种植体与周围骨组织为 100% 骨结合。骨块的近远中、底面全部约束。模型在加载后不发生位移,但约束区以内的骨组织受力后可发生位移。

1.4 加载方式 由于正常情况下,人咀嚼食物时所用的力约 3~30 kg,即约 30~300 N,故加载方式为垂直集中加载 300 N。

1.5 计算分析 应力和应变是三维有限元分析力学常用的最直观的变量。本实验使用 ANSYS12.0 大型有限元分析软件对各个模型进行计算,分析在载荷条件下,密质骨和松质骨的最大等效应力及最大应变,以确定倾斜种植在不同质量颌骨中能否应用,以及可应用的最大角度。

2 结果

2.1 密质骨的最大应力、最大应变及其分布情况 在同一骨质中,随着种植体倾斜角度的增加,密质骨中的最大应力及应变逐渐增大;而相同角度的种植体位于不同质量的颌骨中时,I 类骨质的应力最小,其余依次增大。见图 2。当种植体垂直植入颌骨中时,其密质骨的最大应力分布于种植体颈部。而倾斜种植时,密质骨的最大应力分布于反倾斜向的种植体颈部。四类骨质模型中密质骨的应力分布规律基本相同。见图 3。

2.2 松质骨的最大应力、最大应变及其分布情况 在同一骨质中,随着种植体倾斜角度的增大,松质骨的最大应力及应变呈现逐渐增大的趋势,其应力明显小于密质骨中的应力。而当种植体倾斜角度相同

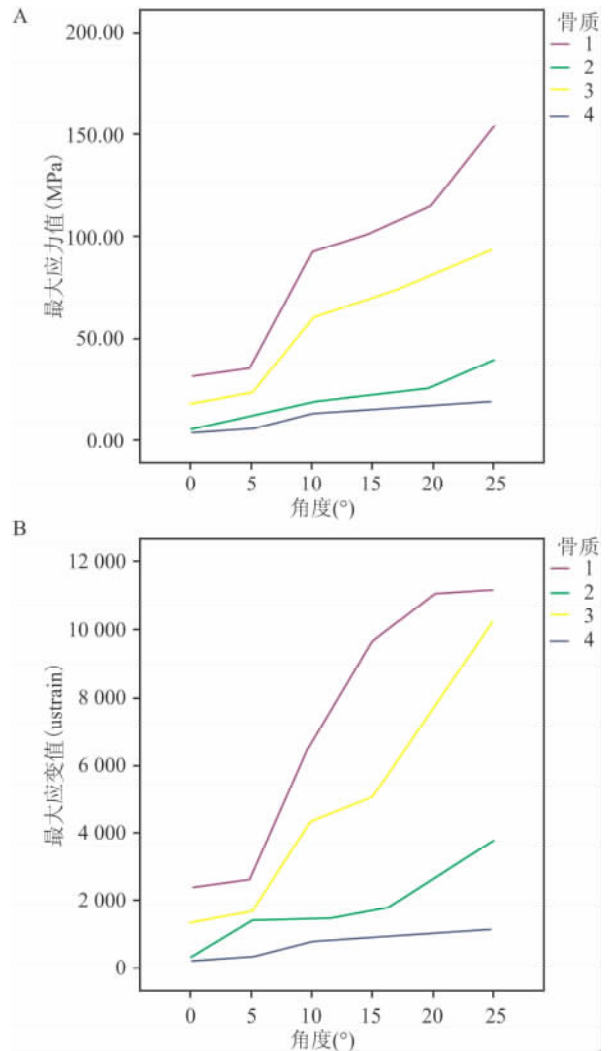


图 2 密质骨的最大应力值和最大应变值分布图
A: 最大应力值; B: 最大应变值

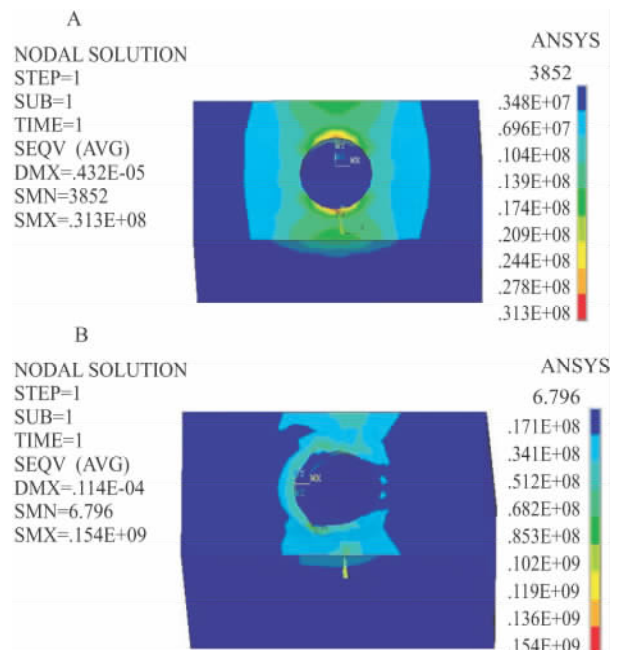


图 3 IV 类骨质—0°种植体及 25°种植体密质骨应力分布 (Pa)
A: 0°种植体密质骨; B: 25°种植体密质骨

时 松质骨应力的变化趋势为: III类骨质 > IV类骨质 > II类骨质。但随着骨质密度的降低,松质骨的应变依次增大。见图4。在II类骨质中,松质骨的最大应力分布于种植体的底部(最下方的螺纹处),而在III、IV类骨质中种植体周围松质骨应力分布较均匀,但在密质骨与松质骨交界处出现了应力较集中的区域。同一骨质不同角度的种植体松质骨应力分布情况基本相同。见图5。

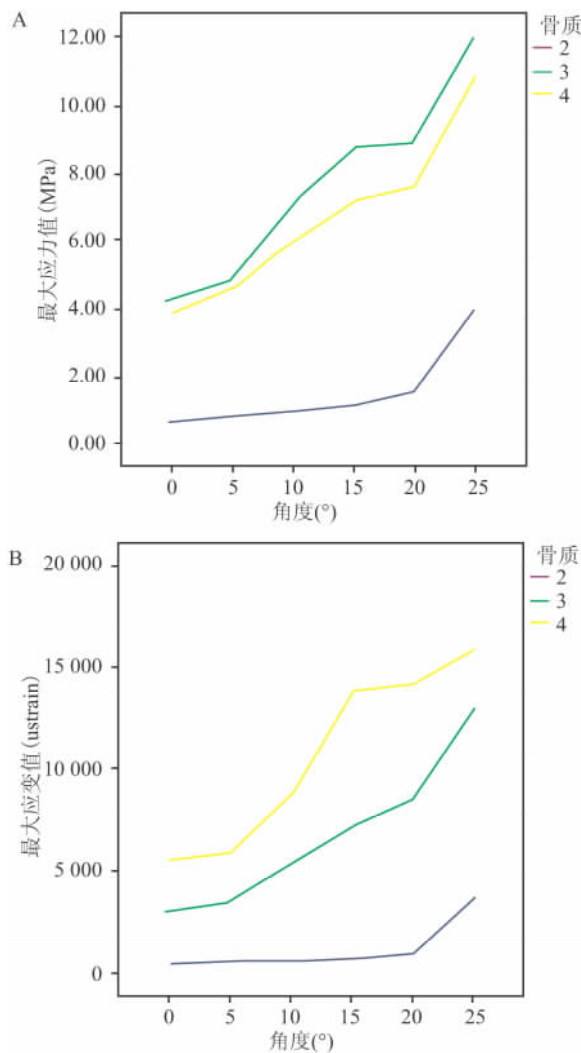


图4 松质骨的最大应力值和最大应变值分布图
A: 最大应力值; B: 最大应变值

3 讨论

自1976年3D FEM被引入口腔种植学以来,3D FEM已成为口腔种植力学分析的重要手段并得到广泛应用,对临床具有重要指导意义。而本实验中使用的ANSYS 12.0软件是当前使用最广泛、功能最强大的有限元软件。该实验将颌骨简化成规则形

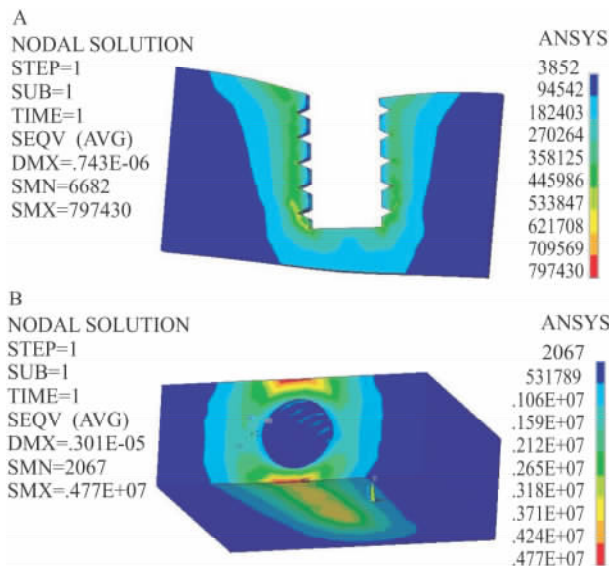


图5 II类骨质及III类骨质—5°种植体松质骨应力分布情况(Pa)
A: II类骨质松质骨; B: III类骨质松质骨

状,而未使用CT扫描建立颌骨模型,其原因为:一方面由于个体的差异,使用CT扫描建立的颌骨模型并不具有共性^[9];另一方面,李湘霞等^[10]研究表明,在有限元研究中将下颌骨形态简化成规则形态是合理的。因此,本研究结果是真实可信的。

当种植体倾斜角度相同时,最大应力的发展趋势为:密质骨:IV类骨质 > III类骨质 > II类骨质 > I类骨质;松质骨:III类骨质 > IV类骨质 > II类骨质。这与Danza et al^[11]的研究结果相类似。其中III、IV类骨质较I、II类骨质增长幅度大。以种植体垂直植入为例,II、III、IV类骨质中的密质骨最大应力较I类骨质分别增长了136%、486%、865%。III、IV类骨质中的松质骨最大应力较II类骨质分别增长了692%和637%。IV类骨质中的松质骨最大应力略小于III类,这可能是由于IV类骨质中的松质骨的弹性模量降低了一半。这提示在I、II类骨质中进行倾斜种植在生物力学方面优于III、IV类骨质。因此当临床上要为III、IV类骨质患者进行倾斜种植时,应适当通过其他术式增加骨密度(如骨挤压等)。

骨组织受力的作用而变形,当骨组织受力而增长至原有长度的101%,其变化为1%,单位为0.01 strain(应变)或10 000 ustrain(微应变)。当骨组织受力小于50 ustrain时,骨组织处于废用状态。当外力作用在50~3 000 ustrain时,骨组织可自我调节避免骨吸收。当外力作用在3 000 ustrain以上时,骨组织的自我调节已无法抗衡吸收,因此,当外力作用小于50 ustrain或大于3 000 ustrain时,骨组织发

生骨吸收^[12]。

实验中, I类骨质的6种倾斜种植模型的最大应变为1 200 ustrain, 低于3 000 ustrain, 说明I类骨质可进行25°以下的倾斜种植。II类骨质中25°倾斜种植的模型的最大应变为3 752 ustrain, 其余模型均低于3 000 ustrain, 因此II类骨质可进行20°以下的倾斜种植。III、IV类骨质倾斜种植的模型中, 除了III类骨质0°种植模型的最大应变为2 769 ustrain, 其余均高于3 000 ustrain。这提示III、IV类骨质不适用于倾斜种植, 同时, 当IV类骨质进行垂直种植时, 也建议其首先增加骨密度。

由于本实验模型中模拟的是100%骨结合, 在临床上难以达到, 因此要探究倾斜种植是否能在临床上推广应用, 仍需进行进一步的动物试验和临床试验。

参考文献

[1] Nocini P F, Albanese M, Castellani R, et al. Application of the "All-on-Four" concept and guided surgery in a mandible treated with a free vascularized fibula flap[J]. *J Craniofac Surg* 2012, 23(6): e628-31.

[2] 陈祖贤, 王超, 王立军等. 上颌后牙区倾斜种植的三维有限元分析[J]. *中国组织工程研究* 2013, (33): 5957-62.

[3] Ferreira M B, Barão V A, Faverani L P, et al. The role of superstructure material on the stress distribution in mandibular full-arch implant-supported fixed dentures. A CT-based 3D-FEA[J]. *Master Sci Eng C Mater Biol Appl* 2014, 35: 92-9.

[4] Paul S, Padmanabhan T V, Swarup S. Comparison of strain generated in bone by "platform-switched" and "non-platform-switched"

implants with straight and angulated abutments under vertical and angulated load: a finite element analysis study[J]. *Indian J Dent Res* 2013, 24(1): 8-13.

[5] Wakimoto M, Matsumura T, Ueno T, et al. Bone quality and quantity of the anterior maxillary trabecular bone in dental implant sites[J]. *Clin Oral Impl Res* 2012, 23(11): 1314-9.

[6] Alvarez-Arenal A, Brizuela-Velasco A, DeLlanos-Lanchares H, et al. Should oral implants be splinted in a mandibular implant-supported fixed complete denture? A 3-dimensional-model finite element analysis[J]. *J Prosthet Dent* 2014, 112(3): 508-14.

[7] Bacchi A, Consani R L, Mesquita M F, et al. Stress distribution in fixed-partial prosthesis and peri-implant bone tissue with different framework materials and vertical misfit levels: a three-dimensional finite element analysis[J]. *J Oral Sci* 2013, 55(3): 239-44.

[8] 李翠, 郭新程, 韦艺等. 应用三维有限元法对不同骨质牙种植修复体生物力学的研究[J]. *口腔颌面外科杂志* 2011, 21(1): 15-8.

[9] Tada S, Stegaroiu R, Kitamura E, et al. Influence of implant design and bone quality on stress/strain distribution in bone around implants: a 3-dimensional finite element analysis[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003, 18(3): 357-68.

[10] 李湘霞, 韩科, 卜奎晨等. 下颌骨形态对种植体-骨界面应力分布影响的研究[J]. *中华口腔医学杂志* 2002, 37(6): 428-30.

[11] Danza M, Quaranta A, Carinci F, et al. Biomechanical evaluation of dental implants in D1 and D4 bone by Finite Element Analysis[J]. *Minerva Stomatol*, 2010, 59(6): 305-13.

[12] Saab X E, Griggs J A, Powers J M, et al. Effect of abutment angulation on the strain on the bone around an implant in the anterior maxilla: a finite element study[J]. *J Prosthet Dent*, 2007, 97(2): 85-92.

Sloped implants applied to different types of jaw bone:

A three-dimensional finite element analysis

Xia Lin, Zhang Zhihong, Liu Honghong, et al

(Center of Dentistry, The Affiliated Provincial Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230001)

Abstract 24 different inclined angle implant models in different types of bone were established by using three-dimensional finite element method, vertical loading 300N. The final analysis result was: with increase of implant tilting angle in the same types of bone, the maximum stress and strain of both compact bone and cancellous bone rised gradully. However, when the same angle implant applied to different type of jaw, development trend of maximum stress and strain were: compact bone: Type IV > Type III > Type II > Type I; cancellous bone: Type III > Type IV > Type II.

Key words sloped implant; different types of bone; stress analysis; three dimensional finite element