

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2017.09.005

· 基础研究 ·

# 不同设计新型钛合金根管桩修复下颌前磨牙残根的三维有限元分析

王林霞<sup>1</sup>, 苏畅<sup>2</sup>, 王茂夏<sup>1</sup>, 孟玉坤<sup>1</sup>

1. 四川大学华西口腔医院修复科, 四川 成都(610041); 2. 首都医科大学附属北京口腔医院老年口腔科, 北京(100050)

**【摘要】** 目的 采用三维有限元法比较不同直径、锥度新型钛合金根管桩修复下颌第二前磨牙残根的牙本质应力分布情况。方法 以下颌第二前磨牙为建模牙位, 利用CBCT获取图像数据, 借助Mimics数据转换、Geomagic Studio图像处理技术、Creo/Parametric软件建立下颌第二前磨牙残根模型和不同直径、锥度根管桩模型, 通过Abaqus三维有限元分析软件模拟载荷, 分析牙颈部和根尖区的Von Mises应力分布情况。结果 当直径相同时, 桩锥度的变化对牙颈部应力峰值的影响无明确规律。当锥度一致时, 根尖区应力峰值随直径的增大普遍呈先减小后增大的趋势。底端直径1 mm时牙颈部及根尖区应力峰值最小。结论 直径对牙本质应力分布趋势的影响比锥度更为明显。

**【关键词】** 根管桩; 锥度; 直径; 应力分析; 有限元方法

**【中图分类号】** R783.4 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2017)09-0569-06

**【引用著录格式】** 王林霞, 苏畅, 王茂夏, 等. 不同设计新型钛合金根管桩修复下颌前磨牙残根的三维有限元分析[J]. 口腔疾病防治, 2017, 25(9): 569-574.

**Three-dimensional finite element analysis of different designs of residual posterior root restored with a new titanium alloy post** WANG Linxia<sup>1</sup>, SU Chang<sup>2</sup>, WANG Maoxia<sup>1</sup>, MENG Yukun<sup>1</sup>. 1. Department of Prosthodontics, West China College of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Capital Medical University School of Stomatology, Beijing 100050, China

Corresponding author: MENG Yukun, Email: yukunmeng@hotmail.com, Tel: 0086-28-85503671

**【Abstract】 Objective** To compare the stress distribution of residual posterior root restored with a new titanium alloy post of different diameter and taper, and discuss the rational design of posterior tooth post by the three-dimensional finite element method. **Methods** Mandibular second premolar image data was obtained by CBCT, and the mandibular second premolar post models with different diameter and taper were established with the help of Mimics data conversion, Geomagic Studio image processing technology and Creo/Parametric software. Then Abaqus was used to simulate the load condition of prosthesis and analyze the Von Mises stress of the cervical and apical regions. **Results** With the same diameter, the influence of the different post tapers on the peak stress of the root cervical area was irregular. When the taper was the same, the peak stress of the root apex area decreased firstly and then increased as the diameter increased. When the diameter was 1 mm, the peak stress of the root cervical and apex area was the lowest. **Conclusion** The effect of diameter on the stress distribution of dentin is more important than that of taper. To select the reasonable diameter and taper of the post is helpful to reduce the peak stress of the root cervical and apex area.

**【Key words】** Post; Taper; Diameter; Stress analysis; Finite element method

**【收稿日期】** 2016-09-22; **【修回日期】** 2017-01-17

**【基金项目】** 成都市惠民工程项目(2013惠民工程-13)

**【作者简介】** 王林霞, 医师, 硕士研究生, Email: catherinewlx@sina.com

**【通信作者】** 孟玉坤, 教授, 博士, Email: yukunmeng@hotmail.com

桩核冠修复是保留后牙残根的重要方式。作为根管桩常用材料之一的钛合金已广泛应用于人工关节、人工脊柱、种植体等医疗领域。对于新型钛合金材料的研发已取得不断进步。国内自主研发了一种以钛、铌、锆、锡为主要元素的新型 $\beta$ 钛合金<sup>[1]</sup>,其具有低弹性模量、高强度和良好的生物相容性。它突破了现有根管桩弹性和强度无法兼顾的困境,并降低了传统钛合金材料的元素毒性。目前,新型钛合金材料应用于根管桩的相关研究甚少,而临床常用的根管桩系统又是依据外国人牙齿解剖结构研发,对中国人而言缺乏足够的临床解剖学依据,不能较好地适应中国人牙根和根管形态,也增加了牙根侧穿、折断的风险。1973年有限元分析法应用于口腔领域。作为结构力学中的数值法,三维有限元分析法在修复力学研究中应用广泛。目前对不同锥度或直径根管桩牙本质应力分布差异的研究较少<sup>[2-3]</sup>。本研究旨在以中国人后牙解剖特点为参考,对比不同直径和锥度新型钛合金根管桩的力学性能,为根管桩直径和锥度的优选提供临床参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 锥形束CT的图像采集

选择牙体完整符合王慧芸数据库标准的离体下颌第二前磨牙,牙体全长20.6 mm,冠长6.6 mm,根长14 mm,塑料圆筒固定,使牙体长轴与塑料圆筒底面垂直。借助CBCT对其进行精确扫描,获取127层锥形束CT图像数据。扫描参数:90 kV, 5.0 mA。

### 1.2 三维有限元模型的建立

在CBCT工作站中,将扫描图像存储为DICOM格式,导入Mimics 10.01 (Materialise's Interactive-medical Image Control System 10.01, Materialise公司,鲁汶,比利时),通过影像数据减噪、滤波、锐化及轮廓处理等过程,存储为stl格式。利用Geomagic Studio 11 (Geomagic公司,美国)经图形修整、曲面拟合等步骤建立下颌第二前磨牙三维实体模型,存储为stp格式。

在Creo/Parametric软件中,以离体牙模型釉牙骨质线为界,将模型分割为牙冠、牙根两部分。在牙冠基础上,通过布尔运算,减去核体模型,即获得全冠模型。

对牙根进行布尔操作,同时以颈部釉牙骨质界根方1 mm为界,形成根方0.2 mm厚的牙周膜,

通过相应软件建立包绕牙周膜厚度周围3.0 mm的牙槽骨结构(以松质骨计)。磷酸锌粘接剂层通过Creo/Parametric直接生成,粘接剂厚度0.1 mm。

### 1.3 网格划分

利用Abaqus对模型各部件进行网格划分。牙冠、牙根等复杂结构以四面体网格为主。粘接剂、桩等以六面体网格为主,共生成167 975个单元。模型网格如表1所示。

表1 网格类型及数量

Table 1 Mesh Type and Quantity

部位	网格划分形式	网格数量
牙根	四面体网格	68 455
牙槽骨	四面体网格	16 595
牙周膜	四面体网格	14 619
根管桩核	四面体+六面体	8 521
牙冠	四面体网格	22 789
粘接剂	六面体网格	17 128

### 1.4 模型的加载及边界条件

设定实验载荷值为150 N,加载模式为斜向45°和90°的静加载模式,加载区域为正中咬合时的咬合接触面<sup>[4]</sup>。

对牙本质VonMises应力分布进行分析<sup>[5]</sup>。加载方向如图1、图2所示。设定牙冠、树脂核、粘接层、桩、牙体组织间为完全粘接,牙周膜对于牙根的约束为tie约束,约束牙槽骨6个方向上的自由度,限制其位移。桩表面赋予螺纹属性,螺纹参数:普通螺纹,螺距1.5 mm。

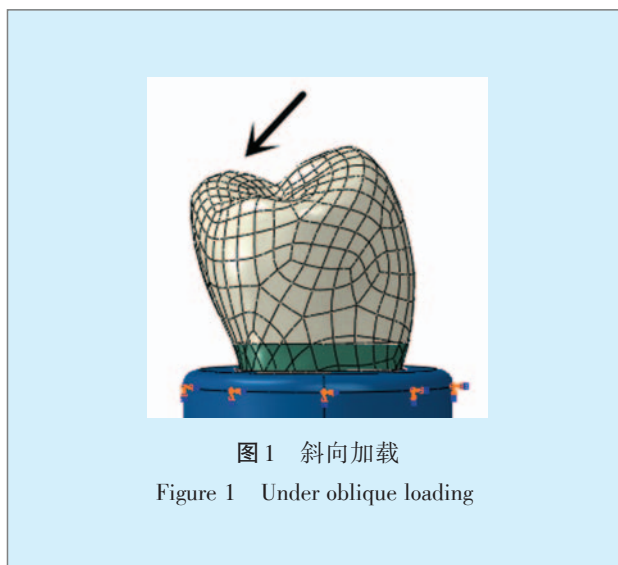


图1 斜向加载

Figure 1 Under oblique loading

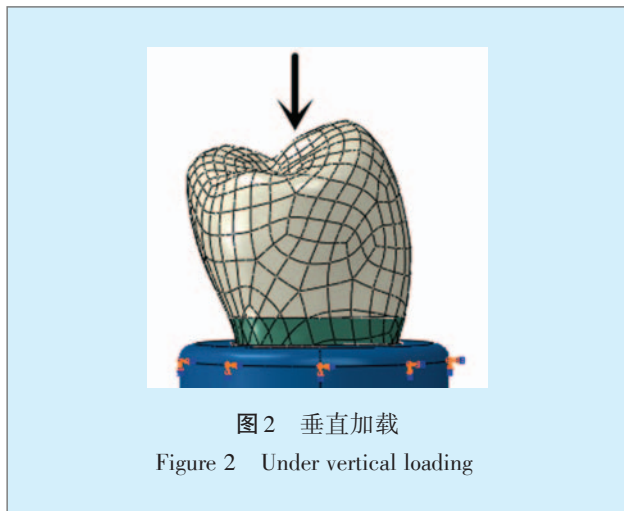


图2 垂直加载

Figure 2 Under vertical loading

### 1.5 模型的假设条件

通过有限元手段来对牙周膜、牙槽骨等非线性材料进行模拟是困难的。因此,为简化计算对模型作如下假设:模型中所涉及的材料,均视作均质、各项同性的线弹性体,材料的变形为小变形。各材料属性<sup>[6-7]</sup>见表2。

表2 各组织及材料的力学参数

Table 2 Mechanics parameter of the materials

材料	弹性模量(MPa)	泊松比
牙槽骨	1 370	0.3
牙周膜	68.9	0.45
牙本质	18 600	0.31
氧化锆	200 000	0.33
树脂核	12 400	0.30
新型β钛	42 000	0.33
粘接剂	5 600	0.33

### 1.6 实验分组

据苏畅等<sup>[8]</sup>对国人后牙牙根和根管形态的相关研究,采用上段锥度大于下段锥度的双锥度根管桩设计,底端直径为0.9 mm/1.0 mm/1.1 mm,上段锥度为0.05/0.10/0.15/0.2,下段锥度为0.02,共建立12组模型,进行运算。分组如表3所示。

### 1.7 提交运算

按照表3分组建立相应的有限元分析模型,对不同加载条件进行受力情况模拟,获取24组计算数据。

表3 实验分组

Table 3 Experimental groups

模型序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
底端直径(mm)	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
锥度	0.20	0.15	0.10	0.05	0.20	0.15	0.10	0.05	0.20	0.15	0.10	0.05

## 2 结果

### 2.1 应力分布情况

不同载荷下,不同锥度和直径新型钛合金桩牙颈部和根尖区 VonMises 应力分布有着相似分布规律(图3~图6)。

斜向和垂直向加载时,除了应力值及分布面积存在差异,应力部位主要集中在牙颈部。这与天然牙受力时应力集中于牙颈部这一现象的结论保持一致,与临床桩核冠修复力学分布规律相符<sup>[9]</sup>。

VonMises 应力峰值均出现在牙颈部 1/3 区,即牙根与牙槽骨交界处。

### 2.2 不同锥度和直径的新型β钛桩的应力峰值

表4列出了不同载荷,不同锥度和直径时新型钛合金桩牙颈部及根尖区的 VonMises 应力峰值。

图7~图10为不同载荷,不同锥度和直径时新型钛合金桩牙颈部及根尖区的 VoNMises 应力峰值曲线图。

桩底端直径为 0.9 mm 桩底端直径为 0.9 mm

时,斜向载荷牙颈部 Von Mises 应力峰值平均值为 92.465 MPa,根尖区平均值为 38.05 MPa;垂直向载荷牙颈部 Von Mises 应力峰值平均值为 41.41 MPa,根尖区平均值为 14.8 MPa。

桩底端直径为 1.0 mm 桩底端直径为 1.0 mm 时,斜向载荷牙颈部 Von Mises 应力峰值平均值为 86.71 MPa,根尖区平均值为 37.06 MPa;垂直向载荷牙颈部 Von Mises 应力峰值平均值为 38.77 MPa,根尖区平均值为 14.35 MPa。

桩底端直径为 1.1 mm 桩底端直径为 1.1 mm 时,斜向载荷牙颈部 Von Mises 应力峰值平均值为 89.89 MPa,根尖区平均值为 38.30 MPa;垂直向载荷牙颈部 Von Mises 应力峰值平均值为 40.19 MPa,根尖区平均值为 14.79 MPa。

当直径相同时,桩锥度的变化对牙颈部应力峰值的影响无明确规律。当锥度一致时,根尖区应力峰值随直径的增大普遍呈先减小后增大的趋势。底端直径 1 mm 时牙颈部及根尖区应力峰值最小。

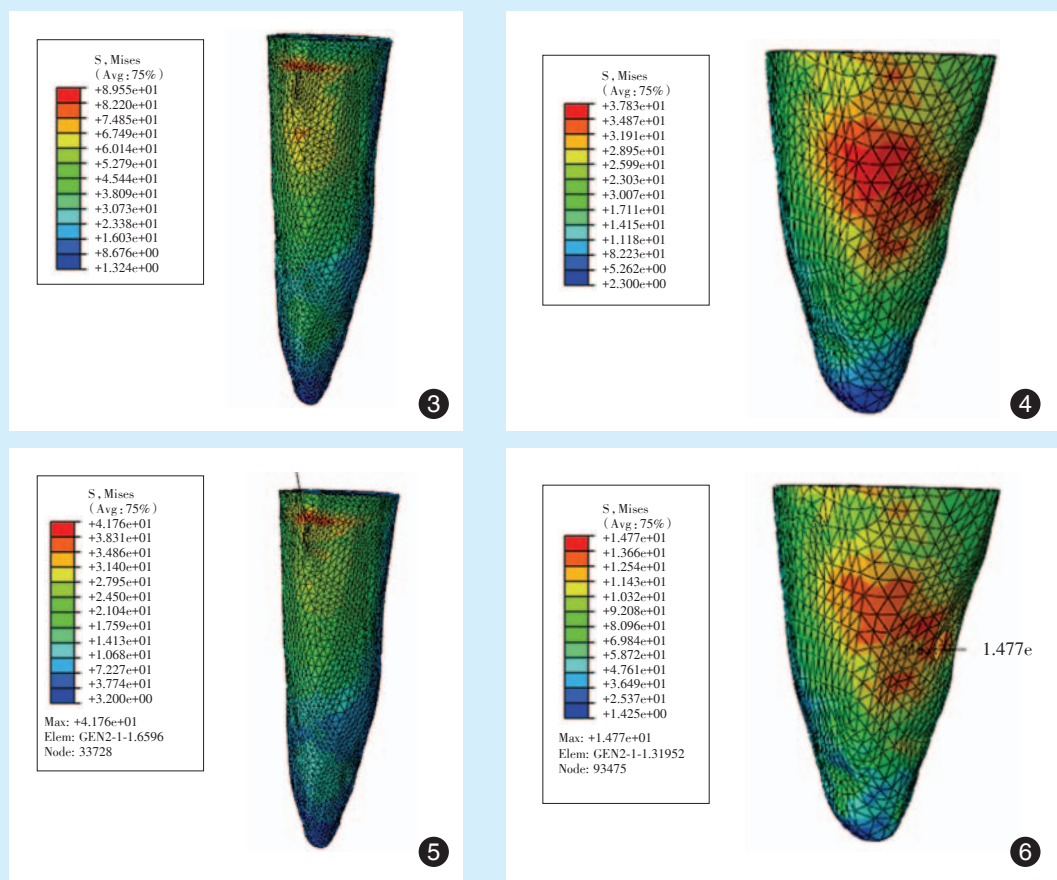


图3 斜向加载牙颈部 VonMises 应力分布

Figure 3 VonMises stress distribution in cervical part of tooth under oblique loading

图4 斜向加载根尖区 VonMises 应力分布

Figure 4 VonMises stress distribution in periapical part of tooth under oblique loading

图5 垂直加载牙颈部 VonMises 应力分布

Figure 5 VonMises stress distribution in cervical part of tooth under vertical loading

图6 垂直加载根尖区 VonMises 应力分布

Figure 6 VonMises stress distribution in periapical part of tooth under vertical loading

### 3 讨论

临床上常采用桩核保存修复残根、残冠。有学者认为桩道预备会削弱治疗后的剩余牙体组织<sup>[10]</sup>, 细的根管桩能减少牙根应力和降低根折风险<sup>[11]</sup>, 也有研究表明根管桩能加强根管治疗后牙体的抗折性, 改善其应力分布状况<sup>[12-13]</sup>。对桩修复后上颌尖牙的力学特性进行有限元分析, 认为锥度和直径的微小变化不会影响其应力特性<sup>[14]</sup>。对桩核修复后的牙体组织进行生物力学研究结果表明, 对桩核进行优化设计能够提高修复效果<sup>[8]</sup>。而设计根管桩时应兼顾桩本身的抗折性以及牙体侧

壁组织厚度, 合理设计根管桩的直径适应不同形态的牙根, 以获取最佳修复效果。目前根管桩主要采用单锥度或零锥度的平行桩设计, 有研究证明锥形根管桩的侧穿及根折风险更高, 而平行桩的安全性好, 但切削牙体组织更多<sup>[15]</sup>。而目前对双锥度桩的研究甚少。

苏畅等<sup>[8]</sup>对后牙牙体基本形态以及牙根桩道段形态进行测量时认为根管桩道锥度从根冠至根尖均成减小趋势, 且根中和根尖部分锥度值较相近。因此, 双锥度的成品桩设计在一定程度上与根管形态和牙根形态符合性更好。本实验采用双

锥度设计,对不同锥度和直径的下颌前磨牙残根牙本质应力情况进行分析。从Von Mises应力云图可以看出:无论采用何种加载方式,桩修复残根的牙颈部应力峰值要高于根尖区应力峰值。

虽然垂直和斜向加载时,牙颈部及根尖区应力值和分布都有所差异,但应力分布部位基本一致,符合天然牙受力规律。在经过桩修复后,各实验组牙颈部 Von Mises 应力峰值存在差异:①斜向加载时,第5组牙颈部应力值最小(80.51 MPa),与应力值最大组第2组(95.33 MPa)相比,减小了14.82 MPa;②垂直加载时,第5组牙颈部应力峰值亦为最小(34.36 MPa),与应力峰值最大组第10组(42.25 MPa)相比,减小了约7.56 MPa。

根尖区应力峰值不论采用哪种加载方式,其峰值同样存在差异:①斜向加载情况下,实验组第5组应力峰值最小(34.82 MPa),第10组最大(38.46 MPa),差值为3.64 MPa;②垂直加载时,实验组第5组应力峰值最小(12.75 MPa),第12组最

大(14.91 MPa),差值为2.17 MPa。当锥度为1.0,直径为1.0 mm时,桩力学性能最好,能够减小牙颈部、根尖区应力峰值。

表4 不同锥度和直径桩的VonMises应力峰值  
Table 4 VonMises peak stress of different taper and diameter piles

分组	尺寸		牙颈部(MPa)		根尖区(MPa)	
	锥度	底端直径(mm)	斜向加载	垂直加载	斜向加载	垂直加载
1	0.20	0.9	89.55	41.76	37.83	14.77
2	0.15	0.9	95.33	41.43	38.16	14.82
3	0.10	0.9	91.38	41.09	38.05	14.78
4	0.05	0.9	93.6	41.36	38.15	14.83
5	0.20	1.0	80.51	34.36	34.82	12.75
6	0.15	1.0	89.58	40.58	37.92	14.86
7	0.10	1.0	89.26	40.54	37.7	14.88
8	0.05	1.0	87.49	39.61	37.8	14.91
9	0.20	1.1	94.4	37.75	38.24	14.48
10	0.15	1.1	87.91	42.25	38.46	14.86
11	0.10	1.1	87.4	39.56	38.15	14.89
12	0.05	1.1	89.85	41.20	38.38	14.92

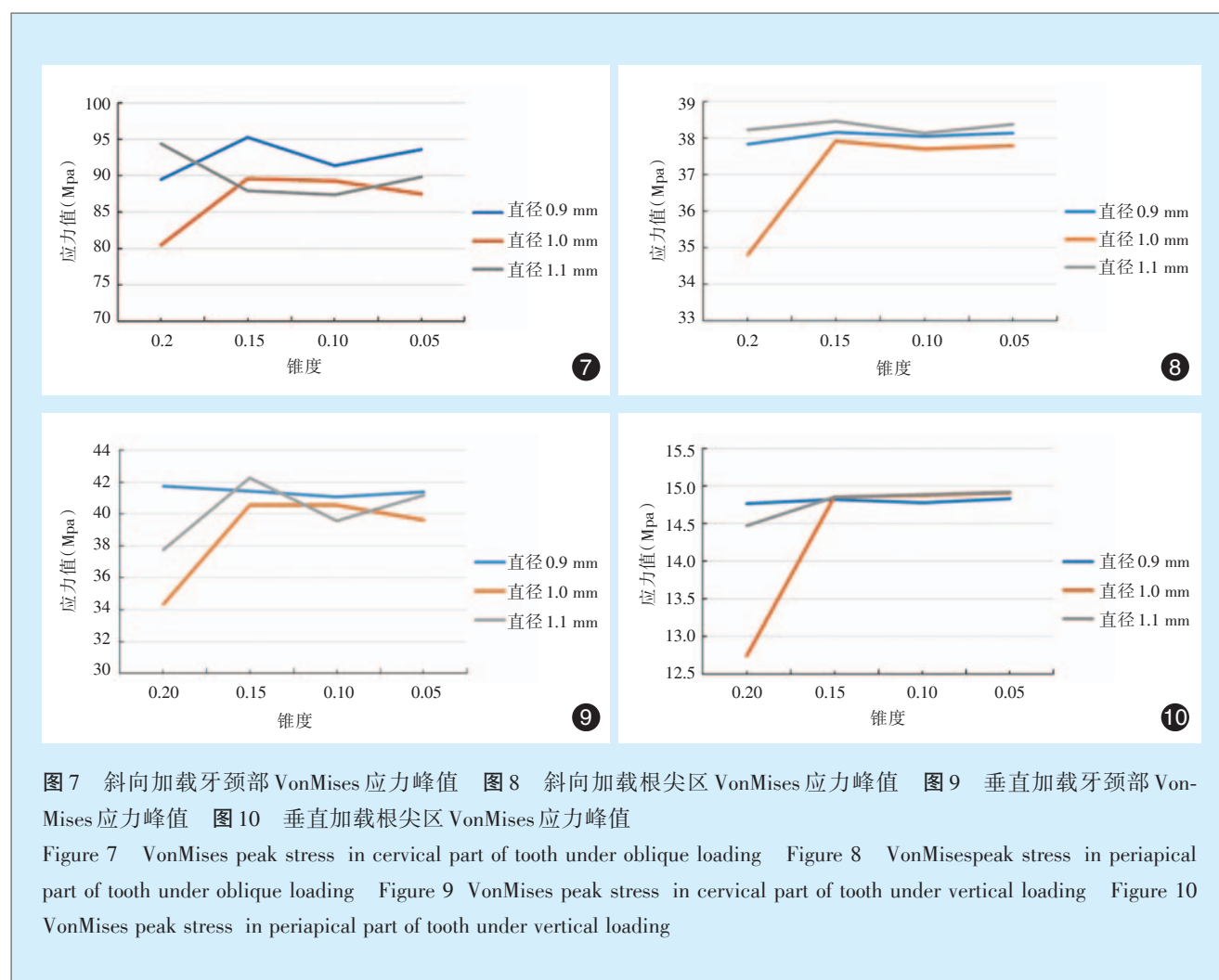


图7 斜向加载牙颈部 VonMises 应力峰值 图8 斜向加载根尖区 VonMises 应力峰值 图9 垂直加载牙颈部 Von-Mises 应力峰值 图10 垂直加载根尖区 VonMises 应力峰值  
Figure 7 VonMises peak stress in cervical part of tooth under oblique loading Figure 8 VonMises peak stress in periapical part of tooth under oblique loading Figure 9 VonMises peak stress in cervical part of tooth under vertical loading Figure 10 VonMises peak stress in periapical part of tooth under vertical loading

总之,通过对锥度0.05、0.10、0.15、0.20,直径0.9 mm、1.0 mm、1.1 mm的新型钛合金根管桩修复下颌前磨牙残根的三维有限元分析,可以得出以下推断:无论是斜向还是垂直向加载,当直径相同时,桩锥度的变化对牙颈部应力峰值的影响无明显规律;当锥度一致时,根尖区应力峰值随直径的增大普遍呈先减小后增大的趋势。说明直径对牙本质应力分布趋势的影响比锥度更为明显,但仍需进一步研究。

总体变化趋势显示根管桩底端直径1.0 mm时牙颈部及根尖区应力峰值最小,与其他组相比,采用根管桩底端直径1.0 mm设计时有更小的牙颈部应力峰值及根尖应力峰值,表明本实验中该设计对于预防根折的发生有着积极的作用,也说明根管桩锥度和直径设计时应重点考虑合理的桩直径。

#### 参考文献

- [1] 李翔. 阳极氧化处理的Ti2448合金植入体生物相容性与骨整合的研究[D]. 成都: 四川大学, 2014.
- [2] 张娜, 封纯真, 赵守亮, 等. 根管锥度和根管固位材料对牙体组织应力分布影响的三维有限元分析[J]. 中华口腔医学杂志, 2011, 46(3): 153-156.
- [3] 周团锋, 王新知. 三种不同直径一体化计算机辅助设计与制作氧化锆全瓷桩核修复的有限元法分析[J]. 北京大学学报, 2012, 44(1): 93-97.
- [4] Oyar P. The effects of post-core and crown material and luting agents on stress distribution in tooth restorations[J]. J Prosthet Dent, 2014, 112(2): 211-219.
- [5] 林川, 杜莉, 沈颖飞. 建立三种系统修复下颌第一磨牙的三维有限元模型[J]. 实用口腔医学杂志, 2008, 24(2): 236-239.
- [6] Rajambigai A, Kumar A, Sabarinathan R, et al. Comparison of stress distribution in a maxillary central incisor restored with two prefabricated post systems with and without ferrule using finite element method[J]. J Clin Diagn Res, 2016, 10(9): ZC52-ZC55.
- [7] Durmuş G, Oyar, P. Effects of post core materials on stress distribution in the restoration of mandibular second premolars: A finite element analysis[J]. J Prosthet Dent, 2014, 112(3): 547-554.
- [8] 苏畅. 成都地区中国人960颗后牙桩道形态研究的锥体束CT分析[D]. 成都: 四川大学, 2015.
- [9] Sorrentino R, Aversa R, Ferro V, et al. Three-dimensional finite element analysis of strain and stress distributions in endodontically treated maxillary central incisors restored with different post, core and crown materials[J]. Dent Mater, 2007, 23(8): 983-993.
- [10] Juloski J, Apicella D, Ferrari M. The effect of ferrule height on stress distribution within a tooth restored with fibre posts and ceramic crown: A finite element analysis[J]. Dent Mater, 2014, 30(12): 1304-1315.
- [11] 杨广聚, 白保晶, 张振庭, 等. 上颌前磨牙薄弱根管桩核冠修复的有限元应力分析[J]. 北京口腔医学, 2011, 19(5): 266-269.
- [12] Diana H, Oliveira J, Ferro M, et al. Stress Distribution in Roots Restored with Fiber Posts and AnExperimental Dentin Post: 3D-FEA [J]. Braz Dent J, 2016, 27(2): 223-227.
- [13] Dejak B, Młotkowski A. 3D-Finite element analysis of molars restored with endocrowns and posts during masticatory simulation [J]. Dent Mater, 2013, 29(12): e309-e317.
- [14] Ausiello P, Franciosa Pasquale, Martorelli M, et al. Mechanical behavior of post-restored upper canine teeth: A 3D FE analysis[J]. Dent Mater, 2011, 27(12): 1285-1294.
- [15] Assif D, Bitenski A, Pilo R, et al. Effect of post design on resistance to fracture of endodontically treated teeth with complete crowns[J]. J Prosthet Dent, 1993, 69(1): 36-40.

(编辑 张琳, 谢立本)