网络出版时间: 2018 - 11 - 5 15: 39 网络出版地址: http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1065.R.20181105.0926.031.html

一种新型个性化钛网的数字化建模和生物力学研究

王超夏荣刘芮肖楠楠

摘要 研究一种新型个性化钛网(TM)的数字化建模方法, 并采用有限元方法对其结构受力特性、设计合理性进行一定 的生物力学分析。实验依据1名志愿者影像学数据 通过软 件重建出上颌骨三维模型 对中切牙及部分牙槽骨进行虚拟 切除,并重建切除部分牙槽嵴形态,设计出具有牙槽嵴形态 的个性化 TM。然后,对比传统打印 TM,建立使用两种 TM 修复重建的三维有限元模型 施加荷载 模拟咀嚼运动 观察 两种 TM 修复后各部分的应力分布和位移变化。实验设计 出具有近似牙槽嵴美学形态的个性化 TM 经有限元对比分 析可知 ,TM 修复后的上颌骨整体应力最值降低约 50%;个 性化 TM 修复后 前牙区、TM、种植体、前牙修复体的范式等 效(Von Mises) 应力稍微高于传统打印 TM 修复,差异约在 0.63%~24.03%。两者的应力云图分布相对较为均匀,应 力最值变化范围在 4.43~5.53 MPa; 各结构的位移变形差 异不明显 基本在 0.05 mm 内。新型个性化 TM 具有独特的 牙槽嵴形态,其特殊结构不会产生应力集中现象,有利于种 植体后期的美学重建,有限元分析(FEA)方法对于上颌骨临 床美学设计及修复重建提供了较好的理论依据。

关键词 3D 打印; 钛网; 有限元分析

中图分类号 R 783.1

文献标志码 A 文章编号 1000 - 1492(2018) 12 - 1960 - 05 doi: 10.19405/j.cnki.issn1000 - 1492.2018.12.031

牙周病、外伤、肿瘤等各种疾病会导致牙齿的丧 失 随之丧失的还有周围菲薄的牙槽骨和邻间龈乳 头,对后期种植修复后的美学重建造成不利影响。 而种植体间的软组织又不同于正常牙齿的牙周组 织,其类似于瘢痕组织,使得临床预后复杂化。因 而,牙槽嵴解剖形态的保存或重建是美学种植治疗 成功先决条件^[1]。钛网(titanium mesh,TM)具有良 好的空间支持能力和生物相容性,被广泛应用于骨 缺损美学重建手术中^[2]。但商业TM存在手术时间 长、边缘锐利、术后暴露率高等缺点,逐渐被淘汰。

基金项目: 安徽省自然科学基金(编号: 1508085MH156)

作者简介:王超,男,硕士研究生;

随着 3D 打印(3D printing ,3DP) 技术的发展,借助 于三维软件设计,3DP 定制的 TM 减少了手术创伤、 缩短了手术时间,并且有效减少术后 TM 的暴 露^[3-4]。然而,传统 3DP 的 TM 并没有针对牙槽嵴 解剖形态进行设计,术后种植体周围及邻间隙骨组 织支撑不足,后期软组织退缩,形成"黑三角"等美 学缺陷。

该研究通过构建上颌骨有限元模型,探索一种 近似于天然牙牙槽嵴美学形态的 TM 的建模方法, 分析对比新型个性化 TM、传统打印 TM 重建上颌骨 骨缺损后结构应力、位移等参数变化,探讨新型个性 化 TM 的设计优势,以及是否存在受力缺陷,为后期 临床实验应用提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 TM 几何模型建立

1.1.1 影像采集和三维重建 从安徽医科大学第 二附属医院口腔种植科选取 1 名志愿者进行锥形束 CT(CBCT) 扫描,将医学数字成像与通讯(DICOM) 数据导入 mimics19.0(比利时 Materialise 公司) 软件 中重建出头颅部位的三维模型,通过控制阈值,获得 上颌骨的原始蒙罩,去除上颌骨以外的颅骨部分,继 而得到上颌骨三维模型。

1.1.2 正逆向工程处理 将上颌骨三维模型导入 3-matic 11.0(比利时 Materialise 公司)软件中,对上 颌 111 牙槽嵴进行部分虚拟切除(长高宽为6 mm × 8 mm × 10 mm) 植入代表种植体的两个圆柱体(直 径 4.1 mm,长度 12.0 mm),见图 1A。根据已发表 的相关数据要求^[4-5],分别以两个植体为参照建立 冠状面和矢状面草图,见图 1B。冠状面草图上,测 量修复体邻接点与植体间牙槽嵴顶间垂直距离 (D1),取 D1 ≤ 3 mm(此处取 D1 = 3 mm)为顶点构 建曲线,即重建后植体间牙槽嵴的轮廓和高度,见图 1C;矢状面草图上,在植体唇侧构建曲线,测量曲线 距离植体的最小水平距离(D2),取 D2 ≥ 2 mm(此 处取 D2 = 2 mm),保证唇腭侧足够的骨量,见图 1D。绘制出骨缺损重建范围,最后,重建出植体邻 间和唇侧牙槽嵴的形态和高度。

²⁰¹⁸⁻⁰⁷⁻¹⁶ 接收

作者单位: 安徽医科大学第二附属医院口腔科,合肥 230601

夏 荣,男教授,硕士生导师,责任作者,E-mail: xiarongqh @ aliyun.com



图 1 缺损上颌骨几何模型 A: 虚拟切除; B: 矢、冠状面草图; C: 冠状面草图中 D1 值; D: 矢状面草图中 D2 值

1.1.3 TM 模型建立 利用 3-matic11.0 中的标记 功能标记出 TM 覆盖范围,通过表面移动拉伸出 TM 外形,再进行包裹、光滑、布尔运算和修剪编辑,得到 最终的 TM 几何模型,见图 2A、2B。同时,根据文 献^[6]中对传统打印 TM 的设计要求,通过 Geomagic Studio2014(美国 Raindrop 公司)等软件对上颌骨 11 1 骨缺损牙槽嵴进行常规重建、修复后,获得传统打 印 TM 的几何模型,见图 2C、2D。



图 2 TM 修复几何模型 A: 新型 TM 修复; B: 新型 TM; C: 传统打印 TM 修复; D: 传统打 印 TM

1.2 有限元模型建立 将缺损未修复上颌骨、传统 打印 TM 修复上颌骨、新型 TM 修复上颌骨,这 3 种 几何模型文件分别导入 Hypermesh13.0(美国 Altair 公司)软件中进行网格划分,然后在 MSC. Patran/ Nastran2012(美国 MSC 公司)软件中进行有限元网 格二次处理和其他组织网格划分。其中新型 TM 修 复上颌骨模型约49232个节点(Nodes)239900个 四面体实体单元(Tet4 Elements),16999个三角面 单元(Tria3 Elements)。

1.3 材料参数设定 参考文献^[7-9],各结构的弹性 模量和泊松比取值,见表1。

表1 颌骨各结构组织材料参数表

| 结构组织 | 弹性模量(MPa) | 泊松比 | |
|---------------|------------|------|--|
| 皮质骨 | 13 700 | 0.30 | |
| 松质骨 | 7 930 | 0.30 | |
| 前牙修复体(氧化锆陶瓷) | 233 000 | 0.30 | |
| 其余牙齿 | 20 290 | 0.30 | |
| 钛植入体 | 106 400 | 0.34 | |
| 钛网 | 106 400 | 0.34 | |

1.4 边界约束及荷载设置 边界约束:由于骨结构 组织材料特性复杂及相关材料实验条件的限制,假 定上颌骨(皮质骨、松质骨)、牙齿等各组织结构均 为各向同性、均质、连续的弹性材料。对上颌骨上端 与颅骨接触的区域设置固定约束,限制其 XYZ 位移 自由度。受力加载:加载方式采用正常咬合对双侧 后牙区垂直加载,模拟咀嚼力^[9-10],在余留后牙区 自第二磨牙至第一前磨牙上分别垂直加载40 N、40 N、35 N、35 N 的压力。

2 结果

2.1 TM 数字化模型和打印成品 通过本实验方法成功设计出具有近似牙槽嵴形态的 TM 模型,见图 3A。打印的 TM 成品,厚度薄,边界和转角圆润 光滑,牙槽嵴形态明显,见图 3B。



图 3 TM 数字化模型和打印成品A: 数字化模型; B: 打印成品

2.2 不同 TM 缺损修复数据对比与分析 在正常 咀嚼下,两种 TM 修复上颌骨缺损后各主要结构

Von Mises 应力分布、结构位移变化等生物力学特性,见图4~5。经有限元模拟分析,对比了3种模型骨缺损修复后上颌骨对应的 Von Mises 应力及位移的变化情况,见表2~3。两种 TM 修复后的上颌骨整体区域的 Von Mises 应力最值降低约50%,说明 TM 修复上颌骨后会减少上颌骨的局部应力集中现象;新型 TM 修复上颌骨后在前牙区、TM、种植体、前牙修复体的 Von Mises 应力要稍微高于传统TM 修复,两者应力相差不大,差异约在0.63%~24.03%。两者的应力云图分布相对较为均匀,上颌





A: 传统 TM 修复上颌骨; B: 传统 TM; C: 新型 TM 修复上颌骨; D: 新型 TM



D: 新型 TM

表 2 不同 TM 缺损修复后各结构应力最值表

| | 三种模型各结构组织应力最值(MPa) | | | |
|-------|--------------------|-------|-------|--|
| 结构名称 | 缺损上颌骨 | 常规钛网 | 新型钛网 | |
| | | 修复上颌骨 | 修复上颌骨 | |
| 上颌骨 | 21.70 | 8.39 | 9.79 | |
| 前牙区颌骨 | 5.79 | 4.47 | 5.22 | |
| 钛网 | / | 4.43 | 5.53 | |
| 种植体 | / | 3.13 | 4.12 | |
| 前牙修复体 | / | 3.17 | 3.19 | |

表 3 不同 TM 缺损修复后各结构位移最值表

| 结构名称 | 缺损上颌骨 | 常规钛网 | 新型钛网 | |
|-------|-------|-------|-------|--|
| | | 修复上颌骨 | 修复上颌骨 | |
| 上颌骨 | 0.042 | 0.028 | 0.032 | |
| 钛网 | / | 0.021 | 0.023 | |
| 种植体 | / | 0.020 | 0.022 | |
| 前牙修复体 | / | 0.028 | 0.032 | |

骨和 TM 的应力较大区域主要发生在前牙两侧附近,且应力最值变化范围大概 4.43 ~ 5.53 MPa; 各结构的位移变形较少,位移的数据范围基本保持在 0.05 mm 范围内。

3 讨论

自从 Branemark et al ^[11]阐述了骨结合理论的 科研基础及相应的口腔种植方法以后,种植修复获 得了长久的成功。随着审美要求的提高,人们不再 满足于对缺损和功能的恢复,而对软组织美学给予 越来越多的关注和重视。龈乳头充盈是美学区的重 要标志 象征着红白美学的协调 ,一旦出现龈乳头退 缩,除了导致食物水平嵌塞外,邻间隙形成"黑三 角"严重影响美观。为重建龈乳头,临床上主要通 过软组织重建和骨再生方式,由于软组织容易损伤, 末梢供血不足等因素导致软组织重建方法效果不 佳^[12]; 骨再生重建中, 邻间骨嵴的高度和颊侧骨壁 的高度和厚度对于种植体间龈乳头的重建至关重 要。Choquet et al^[13]指出,当种植体修复体邻面接触 区最低点到牙槽嵴顶的距离等于 3 mm 龈乳头会充 填 80% 的邻间隙; Gastaldo et al^[14] 通过对 48 例患者 (术后至少18个月)调查研究证实,相邻两植体间, 接触区最低点到牙槽嵴顶的最理想距离为3 mm 植 体与邻牙间 最理想距离为 3~4 mm。对于颊舌侧 水平距离, Qahash et al^[15]研究表明, 当牙槽嵴宽度 小于 2 mm 时 颊侧牙槽骨会出现明显的吸收 因而 建议:为了获得颊侧良好的骨水平 颊侧牙槽嵴宽度 至少为 2 mm。本研究设计的新型三维 TM 的建模 方法 旅据对植体周围牙槽嵴重建后骨量和形态的 要求 ,个性化重建出牙槽嵴解剖形态 ,并设计具有牙 槽嵴美学形态的 TM。

利用有限元方法仿真模拟颌骨 TM 修复缺损结 构的生物力学特性,可较大程度减少对大量人尸体 或动物实验的依赖,同时,在一定程度上可以预测颌 骨在 TM 修复前后的结构受力等情况。本研究通过 有限元方法的使用,对比传统打印 TM,建立使用两 种 TM 修复重建上颌骨骨缺损的三维有限元模型, 并模拟咀嚼运动,施加相应荷载,观察两种 TM 修复 缺损上颌骨进行各结构应力及位移变化情况。结果 表明,新型 TM 和传统 TM 均可以减少骨缺损区的 应力集中,新型 TM 修复后 Von Mises 应力稍微高于 传统 TM 修复,但结果可控。两者的应力云图分布 相对较为均匀,各结构的位移变形差异不明显。均 可证明新型 TM 设计上无明显缺陷。

参考文献

- Mangano F G , Luongo F , Picciocchi G et al. Soft Tissue Stability around Single Implants Inserted to Replace Maxillary Lateral Incisors: a 3D evaluation [J]. Int J Dent 2016 2016:9393219.
- [2] Rakhmatia Y D , Ayukawa Y , Furuhashi A , et al . Current barrier membranes: titanium mesh and other membranes for guided bone regeneration in dental applications [J]. J Prosthodont Res , 2013 , 57(1):3-14.
- [3] Mota C , Puppi D , Chiellini F. Additive manufacturing techniques for the production of tissue engineering constructs [J]. J Tissue Eng Regen Med , 2015 9(3): 174 – 90.
- [4] Otawa N , Sumida T , Kitagaki H , et al. Custom-made titanium devices as membranes for bone augmentation in implant treatment: modeling accuracy of titanium products constructed with selective laser melting[J]. J Craniomaxillofac Surg , 2015 , 43(7): 1289 – 95.

- [5] Roccuzzo M ,Roccuzzo A ,Ramanuskaite A . Papilla height in relation to the distance between bone crest and interproximal contact point at single-tooth implants: a systematic review [J]. Clin Oral Implants Res ,2018 ,29 Suppl 15:50 - 61.
- [6] Sumida T , Otawa N , Kamata Y U , et al. Custom-made titanium devices as membranes for bone augmentation in implant treatment: clinical application and the comparison with conventional titanium mesh [J]. J Craniomaxillofac Surg , 2015 , 43(10): 2183 - 8.
- [7] Hasan I ,Bourauel C ,Keilig L ,et al. The effect of implant splinting on the load distribution in bone bed around implant-supported fixed prosthesis with different framework materials: a finite element study [J]. Ann Anat , 2015 ,199:43 – 51.
- [8] 耿红霞,付朝华,蒋小林.三维数字图像相关法测量氧化锆 陶瓷的弹性模量[J].2015,32(12):60-2.
- [9] 曹 敏,王冬梅,王明一,等.半侧上颌骨缺损赝复体修复固 位方案的生物力学分析[J].医用生物力学,2013,10(5): 198-203.
- [10] 曹 敏. 上颌复合体数值模型的建立及上颌骨缺损重建生物 力学分析[D]. 上海:上海交通大学,2013.
- [11] Brånemark P I. Osseointegration and its experimental background
 [J]. J Prosthet Dent 1983 50(3): 399 410.
- [12] Singh V P ,Uppoor A S ,Nayak D G. Black triangle dilemma and its management in esthetic dentistry [J]. Dent Res J(Isfahan) 2013 , 10(3): 296 - 301.
- [13] Choquet V ,Hermans M ,Adriaenssens P ,et al. Clinical and radiographic evaluation of the papilla level adjacent to single-tooth dental implants. A retrospective study in the maxillary anterior region [J]. J Periodontol ,2001 ,72: 1364 - 71.
- [14] Gastaldo J F ,Cury P R , Sendyk W R. Effect of the vertical and horizontal distances between adjacent implants and between a tooth and an implant on the incidence of interproximal papilla [J]. J Periodontol 2004 ,75(9):1242-6.
- [15] Qahash M ,Susin C ,Polimeni G ,et al. Bone healing dynamics at buccal peri-implant sites [J]. Clin Oral Implants Res , 2008 ,19 (2):166-72.

Digital modeling and biomechanical analysis of a new type of individual titanium mesh

Wang Chao Xia Rong Liu Rui et al

(Dept of Dental Implantation, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230601)

Abstract To study and explore the digital modeling method of a new type of individual titanium mesh and analysis structure characteristics and rationality by using the finite element method. Based on a volunteer's imaging data, the 3D model of the maxilla was reconstructed by software meanwhile, the incisor part of the maxillary was virtually resected and then esthetically reconstructed including the alveolar ridge morphology. The individual titanium mesh was designed. Then, compared to the conventional printed titanium mesh, two different 3D finite element models

网络出版时间: 2018 - 11 - 5 15: 39 网络出版地址: http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1065.R.20181105.0926.032.html

YAP、E-cadherin 和 Vimentin 在口腔鳞癌中的表达及临床意义

程如玉'韩 瑞',王尚华',丁 翔',丁丹丹',冯振中²,徐锦程'

摘要 采用免疫组化法检测 54 例口腔鳞癌及其癌旁组织中 Yes 相关蛋白(YAP)与上皮间质转化(EMT)相关蛋白 Ecadherin、Vimentin 的表达情况 探讨其临床意义。YAP、Vimentin 在口腔鳞癌中的阳性表达高于癌旁组织(P < 0.01), Ecadherin 的阳性表达低于癌旁组织(P < 0.01); YAP 的阳性 率与病理分级、淋巴结转移相关(P < 0.05); E-cadherin、Vimentin 的阳性率与临床分期、病理分级、淋巴结转移相关(P < 0.05); YAP 与 E-cadherin 的表达呈负相关性(r = -0.424, P<0.01),与 Vimentin 的表达呈正相关性(r = 0.519, P < 0.01)。YAP 可能通过调控 EMT 过程促进口腔鳞癌的侵袭 转移。

关键词 口腔鳞癌; Yes 相关蛋白; 上皮间质转化; 侵袭和转 移

中图分类号 R 739.8

文献标志码 A 文章编号 1000 - 1492(2018) 12 - 1964 - 04 doi: 10.19405/j.cnki.issn1000 - 1492.2018.12.032

口腔鳞状细胞癌(oral squamous cell carcinoma, OSCC) 简称口腔鳞癌,是颌面部最常见的恶性肿瘤

```
2018 - 07 - 26 接收
基金项目: 安徽省高校省级自然科学研究项目(编号: KJ2016A480)
作者单位: 蚌埠医学院第一附属医院<sup>1</sup> 口腔科<sup>、2</sup> 病理科,蚌埠
233004
作者简介: 程如玉,女,硕士研究生;
徐锦程,男,教授,主任医师,硕士生导师,责任作者,E-
```

mail: xjch9999@163.com

之一,其侵袭和转移是导致患者5年生存率较低的 主要原因^[1-2]。大量研究^[3-4]表明上皮间质转化 (epithelial-mesenchymal transition EMT) 不仅参与正 常胚胎的发育和生成,而且与肿瘤的侵袭和转移关 系密切。Yes 相关蛋白(Yes-associated protein, YAP) 作为 Hippo 信号通路中起中心作用的开关蛋 白 在细胞的正常发育过程中结合转录因子 TEAD 促进下游基因的表达,进而促进细胞增殖生长。虽 然 YAP 在多数肿瘤中扮演着促癌基因的角色。但在 某些情况下 其促调亡作用致使 YAP 作为促癌基因 遭到质疑。YAP 是否通过促进 EMT 进程 在 OSCC 侵袭和转移中发挥重要作用,目前尚无相关报道。 该研究旨在通过检测 YAP 和 EMT 相关蛋白 E-cadherin 和 Vimentin 在 OSCC 中的表达情况,进而探究 其与临床病理参数的关系,以期为 OSCC 相关机制 研究提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 标本选择 收集蚌埠医学院第一附属医院 口腔颌面外科2013 年1月~2016 年12 月手术切除 的经病理科完好存档的 OSCC 石蜡组织标本 54 例。 要求原发部位在口腔,术前未行放疗、化疗及其他影 响肿瘤的治疗,术后病理证实为 OSCC。同时选择

were established by using two kinds of titanium meshes for reconstruction. Meanwhile , by means of loading application and simulating masticatory movement , the each part of stress distribution and displacement variation of two titanium meshes after repairing was observed . The results showed that the individual titanium mesh with approximate alveolar ridge aesthetic form was designed. The finite element comparison analysis showed that the total stress of the upper jaw bone was reduced by about 50% after the repairing. And after the restoration of personalized titanium mesh , the stress of the Von Mises in front teeth , titanium mesh , implantation , and anterior tooth restorer was slightly higher than that of conventional printed titanium mesh , and the difference was about $0.63\% \sim 24.03\%$. The stress cloud distribution of the two was relatively uniform , and the maximum stress value varied in $4.43 \sim 5.53$ MPa. The displacement deformation of each structure was not obvious , which was basically 0.05 mm. The new individual titanium mesh has unique alveolar ridge shape , and its special structure will not produce stress concentration. It is helpful for the aesthetic reconstruction of the later stage of implant surgery , and the finite element method provides a better theoretical basis for the clinical aesthetic design and reconstruction of maxillofacial bone. **Key words** 3D printing; titanium mesh; finite element analysis