

基于CBCT的种植牙模型定制医用辅助系统

胡茂承¹, 陈颖¹, 葛云¹, 王仁飞²

1. 南京大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210023; 2. 杭州口腔医院集团有限公司, 浙江 杭州 310002

【摘要】目的:设计开发基于CBCT的牙床结构重建以及种植牙定制的系统,并在重建的牙床结构中观察种植牙模型的参数和治疗效果。**方法:**开发一个种植牙数字化的软件,并将种植牙模型融合到CBCT牙床结构重建的环境中。根据临床的定制需求和手术规格的需求,设计个性化的种植牙模型。**结果:**该软件系统可基于DICOM格式数据,实现牙床结构的三维重建与显示,符合STL格式的种植牙数据的定制与三维显示和二维切面投影显示。医生可以对基台高度、颈部高度与角度、体部长度与直径进行手动调整并刷新显示调整后的种植牙三维结构,最后导出符合STL格式的种植牙数据。**结论:**该系统能在软件中完成对种植体的定制化制作和接口封装,不仅满足了临床的定制需求和手术规格的需求,同时显著提高了诊断和种植计划制定的周期和成本。

【关键词】种植牙;CBCT;牙床结构;STL格式

【中图分类号】R318.6;R782.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)11-1296-06

CBCT-based medical auxiliary system for customization of dental implant model

HU Maocheng¹, CHEN Ying¹, GE Yun¹, WANG Renfei²

1. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 2. Hangzhou Dental Hospital, Hangzhou 310002, China

Abstract: Objective To design and implement a cone beam computed tomography (CBCT)-based system for construction of gum structure and customization of dental implant, determine the parameters of dental implant model by observing constructed gum structure, and evaluate its therapeutic effect. **Methods** A dental implant digitalization software was developed to integrate the dental implant model into the environment of CBCT gum reconstruction. According to the clinical customization requirements and the requirements of surgical specifications, a customized dental implant mode was designed. **Results** The proposed software system not only realized the three-dimensional reconstruction and display of the gum structure based on DICOM format data, but also achieved the customization of dental implant data in accordance with STL format, three-dimensional display and two-dimensional tangential projection. The abutment height, neck height and angle, length and diameter of the body could be manually adjusted, and the display of three-dimensional structure of the adjusted dental implant was updated. Finally, dental implant data in accordance with STL format were exported. **Conclusion** The proposed system can be used to complete the customized manufacturing and interface packaging of dental implant in the software, which not only meets the requirements of clinical customization and surgical specifications, but also significantly improves the cycle and cost of diagnosis and planting planning.

Keywords: dental implant; cone beam computed tomography; gum structure; STL format

前言

医学影像技术在近些年取得了快速的发展,利

用医学影像的相关技术辅助医生进行医疗已是当下必然的趋势,医学影像技术现已渗透到医疗的各个领域。而在种植牙领域,医学影像技术的加入不仅大大提高了医生对种植牙的规格参数和种植方案评估的准确率,而且降低了时间成本,这对于病人恢复健康都是至关重要的。

临床医师在给病人定制种植牙的时候,不同病人因为骨量的不同,使得种植牙的参数和规格差别较大,很难通过固定的模板来确定种植牙的规格和参数。因此本研究利用重建出来的三维(Three-

【收稿日期】2019-06-25

【基金项目】杭州市科技发展计划(20172016A08)

【作者简介】胡茂承,硕士研究生,研究方向:医学软件开发、图像处理,
E-mail: 451278390@qq.com

【通信作者】王仁飞,教授,研究方向:口腔种植学, E-mail: hzwrff@163.com

dimensional, 3D)图像导入第三方软件,然后通过观察软件中提供的一些参数,预览种植牙的效果,从而大大提高手术的精准完成程度。

传统的二维图像在通过重建算法后可以得到3D图像,而锥形束CT(Cone Beam Computed Tomography, CBCT)的数据投影是二维的,可以直接用于来重建牙床结构;利用CBCT,医生也可以更准确地评估下颌骨和下颌骨的种植。精确定制种植牙主要是通过医学图像处理并利用3D重建技术在计算机软件中还原和重现出病人的牙床结构,进而帮助医生可以通过软件中的牙床结构了解病人的骨量等信息,得到定制种植牙需要的全量的病人数据。

同时,在得到种植牙规格后,怎样在患者的牙床结构中放置种植牙也是手术中非常关键的一部分。一般来说,医生需要确定种植牙的规格参数,为病人定制种植牙,然后选择种植牙种植的角度和深度等,并且希望在手术之前就已经将这些方案准确地设计好,而不希望术后再进行修改和完善^[1]。那么这就需要借助医学影像的技术,将病人牙床结构的CBCT导入计算机软件进行重现并且重建出3D体数据,让医生可以多个角度深入观察病人的牙床结构,然后定制一个适合病人实际情况的种植体。同时,我们需要将同等大小的种植体同步显示在这个牙床结构中,这样医生就可以非常方便地观察种植体规格和摆放的效果是否合适,一旦发现不适,医生可以在线及时做出修改,并观察修改后的情况,直至得到一个满意的种植体。这样不仅方便了医生的操作,并且大大节省了种植牙模型参数确认的时间成本^[2]。

现有的软件系统已经在一定程度上解决了利用可视化技术做牙床结构的三视图和3D重建的显示,但是种植牙模型类型少,无法做到根据病人所需而定制的程度。而且由于显示上的不充足,医生无法准确判断种植牙在病人牙床中的位置和深度,只能依靠医生的经验来确定这些信息^[3]。但是这样的结果往往是种植牙的长久使用效果不尽如人意。传统种植牙,种植体植入牙槽骨后,需要经历3~6个月无负荷的愈合期,才能戴上牙冠,这段期间,患者看起来仍是“缺牙”状态,无法正常使用牙齿咀嚼、发音受阻,影响美观,而且,进行种植牙手术的患者在植体植入后36个月等待戴牙冠期间依然无法正常咀嚼,外形看上去也不美观,对患者的饮食、发音和社交造成诸多困扰。造成这样的原因是种植体的最初规格并不能完全适合病人的牙床结构,医生无法对种植牙的具体规格做出非常精确的判断,并且不能很好地掌控种植牙的摆放位置和深度^[4]。目前一些医院使用的一些软件功能相对专一,医生首先

从DICOM图像处理软件中根据CBCT图像以及重建的3D图像获取相应的信息,然后对种植牙模型的结构和参数做出初步计算,再在专业的制图软件中完成种植牙模型的建模,然而这会导致试错时间成本高。此外,还有一些其他的软件例如SimplantPro是Materialise Dental公司开发的一种可用于口腔种植修复术前测量及手术方案设计及术后效果预测的软件^[5]。目前的种植牙软件市场竞争是非常激烈的,国外比较有名的有Anatmage Invivo、Nobel Guide On Demand3D等。Simplant作为老牌的软件,优势是国内知名度高、种植库齐全、软件智能度高。这些软件中也可以提供一些种植牙模型的同步显示,但是种植牙模型类型少,无法做到根据病人所需而定制的程度^[6-7]。

本研究介绍的系统是基于C++、Qt、VTK、CTK进行开发,完成DICOM格式数据的读入和实现牙床结构的3D重建与显示。在用户界面上具有人机交互、操作简便、运行稳定的特点。医生可以方便地对牙床结构的3D模型和二维切面进行平移、缩放操作,并且可以调整渲染配色以及亮度和透明度。该软件还可以实时更改种植体的数据并刷新显示,同时将切面投影的轮廓清晰地渲染出来,在交互方面支持在二维和3D显示框中同步显示种植体模型的移动,便于医生观察模型的大小以及契合度。在种植体大小确定后,本软件可以导出相应大小且符合STL格式的种植体数据文件用于3D打印。

1 系统设计

系统设计框图如图1所示,该系统可分为DICOM解读及图像载入、图像显示与3D重建、种植牙模型定制、种植牙与牙床结构融合显示与STL格式种植牙文件导出这5个模块。系统首先读取CBCT医学影像并进行显示,医师可在图像上观察并计算所需数据,并将这些数据输入到系统中,系统会生成相应的种植牙模型,并融合显示在CBCT重建出的牙床结构的环境中。医生可以通过一定的交互,观察生成后的种植牙的实际效果,在需要时可以做出一定的修改。最终将确定的种植牙模型按照STL文件格式导出。基于该系统设计的软件主界面图像如图2所示,主要渲染了CBCT图像和牙床重建图。

基于系统的设计,本研究开发的软件主要包含以下功能和流程:(1)基于DICOM格式数据,实现牙床结构的3D重建与显示。软件运行后,用户可以点击导入图像按钮选择想要导入的DICOM序列图像所在文件的位置,确定后,软件会自动帮助用户完成图像的导入和显示以及3D模型的重建与显示。(2)符

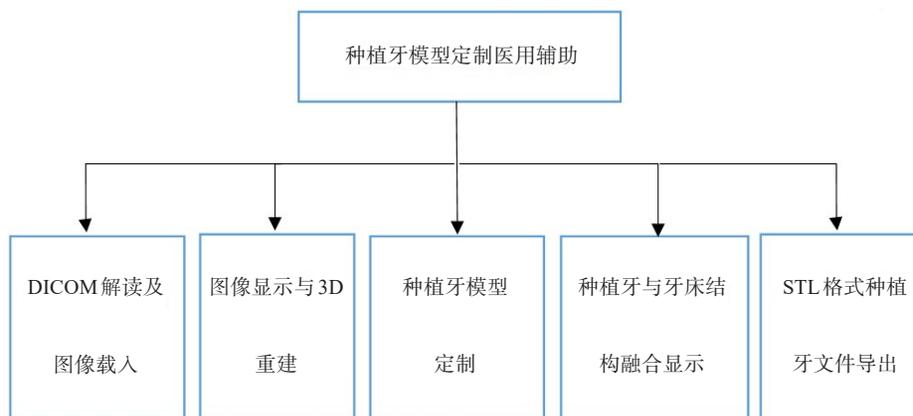


图1 系统结构图

Fig.1 System structure diagram

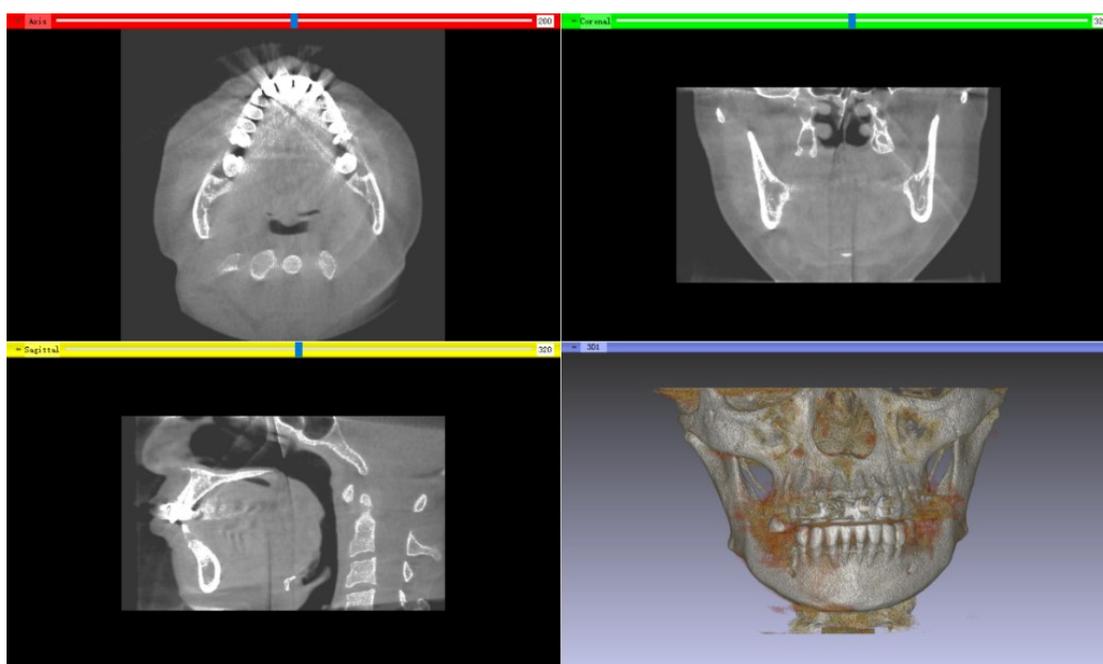


图2 CBCT和牙床重建图

Fig.2 CBCT and gum reconstruction image

合 STL 格式的种植牙数据的生成与显示。DICOM 图像导入后,用户可以在左侧种植体定制界面中,填写所需的骨宽度、骨高度、牙龈厚度、牙近远中间距离、咬合空间数据,点击确认后,软件自动完成 STL 数据种植牙数据的生成和显示。(3)对基台高度、颈部高度与角度、体部长度与直径进行手动调整并刷新显示调整后的种植牙 3D 结构。STL 格式种植牙数据生成后,用户可以将左侧界面切换至种植体修改界面,点击想要操作的种植体标签,下方会显示种植体的基台高度、颈部高度、体部长度与直径,通过修改其中的数字然后点击修改按钮可以完成数据的修改,软件会根据新的数据重新生成新的种植牙模型覆盖原来的数据,同时更新显示且保持位置和角度不变。(4)导出符合 STL 格式的种植牙数据。种植牙数据

确定无误后,用户可以选择导出选中的种植牙模型,软件会在用户选择的位置生成一个 STL 格式的种植牙文件。

种植牙的设计和显示成为了系统和软件设计和完成的主要问题。

2 种植牙技术

种植牙技术是一种以植入骨组织内的下部结构为基础来支持、固位上部牙修复体的缺牙修复方式,包括下部的支持种植体和上部的牙修复体^[8]。种植牙技术采用人工材料制成种植体,经手术方法植入组织内并获得骨组织牢固的固位支持,并通过特殊的装置和方式连接支持上部的牙修复体。种植牙可以获得与天然牙功能、结构以及美观效果十分相似

的修复效果,现已成为越来越多缺牙患者的首选修复方式。本研究涉及的种植牙模型如图3所示。模型分为3个部分,从上到下分别是基台、颈部、体部。医生会根据软件中CBCT重现的牙床结构,确定骨宽度、骨高度、牙龈厚度、牙近远中间距离、咬合空间信息,然后根据这些信息初步计算出种植体的基台高度、颈部高度、颈部高度、体部直径、体部高度。本研究根据杭州口腔医院的需求,设计了个性化的种植牙模型。其对应关系见下述。

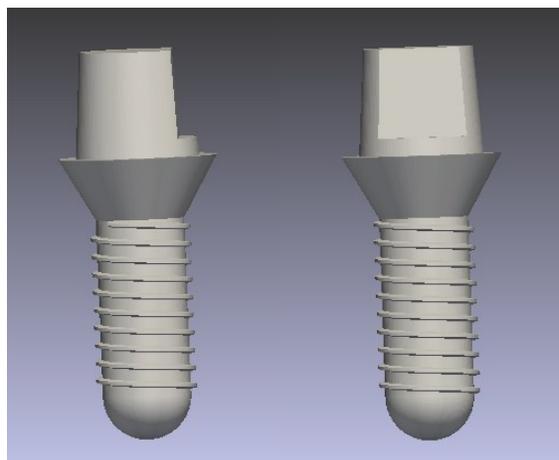


图3 种植牙模型

Fig.3 Dental implant model

(1)骨宽度(直径)及高度(长度)对应种植体(直径×长度)如表1所示。

表1 种植牙直径和长度参数表(mm)

Tab.1 Diameters and lengths of dental implants (mm)

骨宽度	垂直骨高度			
	(6, 8)	(8, 10)	(10, 12)	>12
(5.5,6.5)	3.5×6	3.5×8	3.5×10	3.5×12
(6.5,7.5)	4.0×6	4.0×8	4.0×10	4.0×12
(7.5, 8.5)	4.5×6	4.5×8	4.5×10	4.5×12
>8.5	5.0×6	5.0×8	5.0×10	5.0×12

(2)骨质密度分级与螺纹形态如表2所示。

表2 种植体螺纹对应表

Tab.2 Correspondent threads of dental implants

骨质密度分级	螺纹形态
I/II类	梯形
III/IV类	方形

(3)牙龈厚度 H 与穿龈部位基台高度 h 的关系见式(1):

$$h = H - 0.5(\text{mm}) \quad (1)$$

(4)牙近远中间距离 W 与穿龈基台颈部近远中宽度 w_1 的关系见式(2):

$$w_1 = W - 3(\text{mm}) \quad (2)$$

(5)牙位与穿龈基台颈部颊舌向宽度 w_2 的对应关系见表3。

(6)修复基台锥度为 4° 。

(7)咬合空间与修复基台高度的对应关系见表4^[9]。

表3 种植体基台参数表

Tab.3 Abutment parameters of dental implants

牙位	穿龈基台颈部颊舌向宽度/mm
11、12、21、22	3.5
31、32、41、42	2.5
13、23、33、43	5.0
14、15、24、25	6.5
34、35、44、45	5.0
16、17、26、27	8.0
36、37、46、47	7.5

表4 种植体修复基台参数(mm)

Tab.4 Restoration abutment parameters of dental implants (mm)

咬合空间	修复基台高度
< 6	4
[6, 8]	5
> 8	6

3 牙床结构重建与种植牙融合显示

医生根据CBCT重现的牙床结构,确定骨宽度、骨高度、牙龈厚度、牙近远中间距离、咬合空间信息,并根据这些信息初步计算出种植体的基台高度、颈部高度、颈部角度、体部直径、体部高度^[10]。生成的模型将显示在软件中,并可以完成二维切面投影显示和3D立体显示(图4)。医生可以根据显示情况对种植牙模型参数做出调整,实时显示种植牙更新后效果,这样不仅方便了医生的操作,并且大大节省了种植牙模型参数确认的时间成本^[11]。

4 结论

现有的一些软件功能相对专一,医生根据CBCT图像以及重建3D图像获取相应的信息,并对种植牙

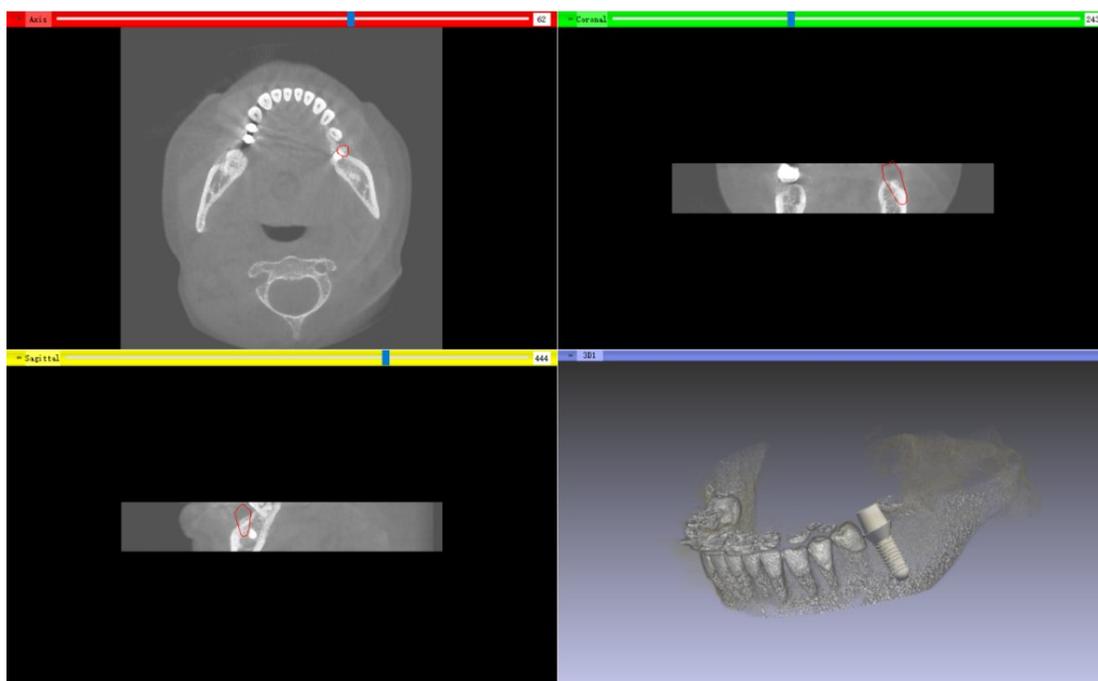


图4 牙床结构重建与种植牙融合显示
Fig.4 Gum reconstruction and dental implant fusion display

模型的结构和参数做出初步计算,然后再完成种植牙模型的建模,然而这样的试错时间成本较高。已有的一些 DICOM 图像处理的软件中可以提供一些种植牙模型的同步显示,但是种植牙模型类型少,无法做到根据病人所需而定制的程度^[12]。

本研究主要搭建了数字化种植牙定制系统平台。利用 Qt 和 VTK 等可视化医学影像框架共同完成开发。Qt 为操作系统级别的人机交互提供了技术支持,同时在界面布局和事件响应上具有方便开发和管理的优点^[13-16];VTK 提供了 DICOM 图像的读入和显示以及 3D 重建的支持,同时底层对于 STL 格式的文件是支持解析和显示的。系统对技术和算法模块进行了高度的集成和封装,从而为医生提供了便捷的交互手段^[17-20]。该软件可以根据医生的要求,定制出适合病人的 STL 格式的种植体,具有人机交互、操作简便、运行稳定的特点。此外,本研究根据杭州口腔医院的需求,设计了个性化的种植牙模型,同时该模型的不同组件可以支持合理范围内的修改,具有精度高的特点。该系统为医生提供了参数化制作的接口,医生只需填写必须的参数即可完成种植牙的制作,具有制作方式灵活的特点;医生也可以在系统中充分地观察到病人的牙床结构的体数据和切面三视图,生成后的种植体可以在同样的场景下得到渲染,方便医生观察种植体的实际效果。

【参考文献】

- [1] 王艳,李均,陈兆学,等. CBCT 在口腔三维成像中的应用研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2013, 30(2): 4008-4011.
WANG Y, LI J, CHEN Z X, et al. Application research of the three-dimensional imaging of the oral part of the cone-beam CT[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2013, 30(2): 4008-4011.
- [2] 吴豪阳,李庆宾,霍蓓蓓. CBCT 三维成像在口腔种植术中的临床应用[J]. 中国口腔种植学杂志, 2011, 16(1): 49-50.
WU H Y, LI Q B, HUO B B. Clinical application of 3D CBCT imaging system at oral implant[J]. Chinese Journal of Oral Implantology, 2011, 16(1): 49-50.
- [3] 陈建荣,吴燕平,周文清,等. 三维锥形束 CT 在下颌后牙区牙种植术中的应用体会[J]. 口腔医学, 2011, 31(11): 695-696.
CHEN J R, WU Y P, ZHOU W Q, et al. Application of three-dimensional cone beam CT in the implant of mandibular posterior teeth[J]. Stomatology, 2011, 31(11): 695-696.
- [4] 邓文正,周诺. CBCT 在种植牙中的应用[J]. 临床口腔医学杂志, 2012, 28(11): 701-703.
DENG W Z, ZHOU N. Application of CBCT in implant[J]. Journal of Clinical Stomatology, 2012, 28(11): 701-703.
- [5] 刘东旭,王春玲,刘莉,等. 颅面部螺旋 CT 三维线距测量的准确性评价[J]. 上海口腔医学, 2006, 15(5): 517-520.
LIU D X, WANG C L, LIU L, et al. The accuracy of 3D-CT volume rendering for craniofacial linear measurements[J]. Shanghai Journal of Stomatology, 2006, 15(5): 517-520.
- [6] 王跃平,樊圣祈,吴轶群. 动态导航系统在口腔种植领域的发展和应用[J]. 口腔疾病防治, 2017, 25(10): 613-619.
WANG Y P, FAN S Q, WU Y Q. The application and development of dynamic navigation system in implant dentistry [J]. Journal of Prevention and Treatment for Stomatological Diseases, 2017, 25(10): 613-619.
- [7] 赵璟阳,张善勇,赵保东,等. 影像学在口腔种植中的应用进展[J]. 中国口腔颌面外科杂志, 2013, 11(6): 509-514.

- ZHAO J Y, ZHANG S Y, ZHAO B D, et al. The advance of radiographic imaging in oral implantology [J]. *China Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2013, 11(6): 509-514.
- [8] 刘格兵, 曹庆堂. CBCT在口腔种植学中的应用[J]. *内蒙古医学杂志*, 2013, 45(5): 566-568.
- LIU G B, CAO Q T. Application of CBCT in implant [J]. *Inner Mongolia Medical Journal*, 2013, 45(5): 566-568.
- [9] 刘红, 米丛波, 居曼江·买买提. 锥形束CT在口腔医学中的应用[J]. *牙体牙髓牙周病学杂志*, 2009, 19(7): 416-419.
- LIU H, MI C B, JUMANJIANG M. Application of cone beam computed tomography in dentistry [J]. *Chinese Journal of Conservative Dentistry*, 2009, 19(7): 416-419.
- [10] 金柱坤, 李潇. 锥形束CT在口腔种植学中的应用[J]. *医学综述*, 2012, 18(9): 1400-1402.
- JIN Z K, LI X. Application of cone beam computed tomography in implant dentistry[J]. *Medical Recapitulate*, 2012, 18(9): 1400-1402.
- [11] 王铸, 严洪海. 锥束CT在口腔颌面部外科中应用的研究进展[J]. *大家健康(学术版)*, 2014, 8(16): 337.
- WANG Q, YAN H H. Research progress of cone beam CT in oral and maxillofacial surgery[J]. *For all Health*, 2014, 8(16): 337.
- [12] 王兴. 现代口腔种植学的发展趋势[J]. *中华口腔医学杂志*, 2003, 38(4): 241-243.
- WANG X. The development tendency of modern implantology[J]. *Chinese Journal of Stomatology*, 2003, 38(4): 241-243.
- [13] 林野. 当代口腔种植学的进展及其临床意义[J]. *口腔颌面外科杂志*, 2006, 16(4): 285-290.
- LIN Y. Current dental implantology its clinical importance[J]. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2006, 16(4): 285-290.
- [14] 余占海, 刘斌, 周益民. 口腔修复学理论与实践[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2004.
- YU Z H, LIU B, ZHOU Y M. Theory and practice of prosthodontics [M]. Beijing: Military Medical Science Press, 2004.
- [15] AL-RAWI B, HASSAN B, VANDENBERGE B, et al. Accuracy assessment of three-dimensional surface reconstructions of teeth from cone beam computed tomography scans[J]. *J Oral Rehabil*, 2010, 37(5): 352-358.
- [16] LEWIS S G, LLAMAS D, AVERA S. The UCLA abutment: a four-year review[J]. *J Prosthet Dent*, 1992, 67(4): 509-515.
- [17] DAFTARY F. The bio-esthetic abutment system: an evolution in implant prosthetics[J]. *Int J Dent Symp*, 1995, 3(1): 10-15.
- [18] BUCHAILLARD S I, ONG S H, PAYAN Y, et al. 3D statistical models for tooth surface reconstruction[J]. *Comput Biol Med*, 2007, 37(10): 1461-1471.
- [19] HEO H, CHAE O S. Segmentation of tooth in CT images for the 3D reconstruction of teeth[J]. *SPIE Proc*, 2004, 5298: 455-466.
- [20] WU X L, GAO H, HEO H, et al. Improved B-spline contour fitting using genetic algorithm for the segmentation of dental computerized tomography image sequences[J]. *J Imaging Sci Technol*, 2007, 51(4): 328-336.

(编辑:谭斯允)