

- the left pulmonary artery: autonomic and idiopathic ventricular arrhythmias [J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2009, 20(7): 759 – 763
- 4 Bjelakovic B, Ilie S, Chouliaras K, *et al.* Heart rate variability in children with exercise – induced idiopathic ventricular arrhythmias [J]. Pediatr Cardiol, 2010, 31(2): 188 – 194
 - 5 Kanei Y, Friedman M, Ogawa N, *et al.* Frequent premature ventricular complexes originating from the right ventricular outflow tract are associated with left ventricular dysfunction [J]. Ann Noninvasive Electrocardiol, 2008, 13(1): 81 – 85
 - 6 Hachiya H, Aonuma K, Yamauchi Y, *et al.* Edrophonium – induced right ventricular outflow tract tachycardia [J]. Pacing Clin Electrophysiol, 2005, 28 Suppl 1: S158 – 162
 - 7 Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. [J]. Circulation, 1996, 93(5): 1043 – 1065
 - 8 Fei L, Statters DJ, Hnatkova K, *et al.* Change of autonomic influence on the heart immediately before the onset of spontaneous idiopathic ventricular tachycardia [J]. J Am Coll Cardiol, 1994, 24(6): 1515 – 1522
 - 9 Osaka M, Saitoh H, Sasabe N, *et al.* Changes in autonomic activity preceding onset of nonsustained ventricular tachycardia [J]. Ann Noninvasive Electrocardiol, 1996, 1(1): 3 – 11
 - 10 Stec S, Sikorska A, Zaborska B, *et al.* Benign symptomatic premature ventricular complexes: short – and long – term efficacy of antiarrhythmic drugs and radiofrequency ablation [J]. Kardiologia Pol, 2012, 70(4): 351 – 358
 - 11 Markowitz SM, Lerman BB. Mechanisms of focal ventricular tachycardia in humans [J]. Heart Rhythm, 2009, 6(Suppl 8): S81 – 85
 - 12 Farzaneh – Far A, Lerman BB. Idiopathic ventricular outflow tract tachycardia [J]. Heart, 2005, 91(2): 136 – 138
 - 13 Hasdemir C, Ulucan C, Yavuzgil O, *et al.* Tachycardia – induced cardiomyopathy in patients with idiopathic ventricular arrhythmias: the incidence, clinical and electrophysiologic characteristics, and the predictors [J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2011, 22(6): 663 – 668
 - 14 Koizumi S, Minamisawa S, Sasaguri K, *et al.* Chewing reduces sympathetic nervous response to stress and prevents poststress arrhythmias in rats [J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2011, 301(4): H1551 – 1558

(收稿日期: 2015 – 10 – 31)

(修回日期: 2015 – 11 – 09)

男性全牙列牙周膜数字解剖学建模与测量

叶鹏程 方一鸣 张琳琳 陈海漫 管建锋 林湘林 吴立军 邵 侠

摘 要 **目的** 探索逆向工程软件结合薄层 CT 测量活体总牙周膜面积及剩余牙周膜面积的方法。**方法** 采集第 2 代中国数字化人体(活体数字人)男性第 23 号头颅薄层 CT 图像,以 DICOM 格式导入 Mimics 软件进行三维重建,再通过 Geomagic Stadio 软件优化模型,将牙周膜建模后模型通过 Geomagic Stadio 软件自带测量功能测量牙周膜面积。**结果** 测量所得的牙周膜面积符合解剖学规律,上颌牙牙周膜大于下颌牙周膜;上颌牙牙周膜面积:第一磨牙 > 第二磨牙 > 尖牙 > 第一前磨牙 > 第二前磨牙 > 中切牙 > 侧切牙,下颌牙牙周膜面积:第一磨牙 > 第二磨牙 > 尖牙 > 第二前磨牙 > 第一前磨牙 > 中切牙 > 侧切牙。**结论** 利用逆向功能软件结合薄层 CT 能快速并准确地活体上测出牙周膜面积、有利于进一步的诊断和治疗。

关键词 逆向工程 解剖学 牙周组织 第 2 代中国数字化人体

中图分类号 R78 **文献标识码** A **DOI** 10.11969/j.issn.1673-548X.2016.05.017

Full Denture Periodontal Ligament Anatomical Modeling and Measurement of a Male Chinese Human. Ye Pengcheng, Fang Yiming, Zhang Linlin, *et al.* Department of Oral and Maxillofacial Surgery, The First Affiliated Hospital, Wenzhou Medical University, Zhejiang 325000, China

Abstract Objective To explore the value of the combination of the reverse engineering software and thin – layer CT technique in the evaluation of the total periodontal ligament areas and the remaining periodontal ligament areas. **Methods** Thin – layer CT machine were used to scan the head skull in the second generation of male Chinese digitized human(F2 – CDH). CT image data in format of DI-

基金项目:国家自然科学基金资助项目(面上项目)(81271663);浙江省科技计划基金资助项目(面上项目)(2010C33123);温州医科大学科研发展专项基金资助项目(QTJ06012);温州市科技计划项目(2012S0155)

作者单位:325000 温州医科大学附属第一医院口腔颌面外科(叶鹏程、方一鸣、张琳琳、陈海漫、管建锋、林湘林、邵侠);325035 温州医科大学数字化医学研究所(吴立军)

通讯作者:邵侠,电子信箱:1412537114@qq.com;吴立军,教授,电子信箱:biomech@163.com

COM were in batches imported into Mimics to reconstruction 3 - D model. Then integrating and optimizing the models were performed by Geomagic Studio. Finally, The total periodontal ligament areas and the remaining periodontal ligament areas were evaluated by the analysis module in Geomagic Studio. **Results** The measured periodontal ligament areas were accord with anatomically rules, and the size of the areas in maxillary were bigger than in mandible. Arranged in order of periodontal ligament areas size in maxilla was the following: the first molar > second molar > canine > the first premolar > the second premolar > central incisor > lateral incisor. Arranged in order of periodontal ligament areas size in mandible was the following: the first molar > the second molar > canine > second premolar > the first premolar > central incisor > lateral incisor. **Conclusion** By the usage of the reverse engineering software and thin - layer CT, we can measure the remaining periodontal ligament areas in vivo efficiently and accurately. It is helpful for our further diagnosis and treatment.

Key words Reverse engineering; Anatomy; Periodontal ligament; F2 - CDH

牙周膜面积的大小是影响牙周、修复以及正畸治疗的一项非常重要的指标,它大致等同于牙根表面积 (root surface area, RSA)^[1]。精确测量 RSA 可以估计剩余牙周膜的面积能帮助临床医师准确判断牙齿相关疾病的预后,并制定个体化的治疗计划。逆向工程 (reverse engineering, RE) 又称反向工程,是以特定的方式完成一个实物模型的仿制工作过程。与传统工程不同。它是基于一个可以获得的实物模型来构造出它的设计概念和 CAD 模型,并通过调整相关参数来达到对实物模型的无限逼近、修改和完善,进而将这些 CAD 模型用于产品的分析和制造^[2]。因此,笔者可以利用 RE 将需要的口腔实物模型虚拟建模后进行分析和计算。

“数字人”也称“数字化虚拟人”,即在电脑里合成的三维人体详细结构,全部数据来自真实人体。本研究将第 2 代中国数字化人体 (活体数字人) (the second generation of male Chinese digitized human, F2 - CDH) 男性经过高精度的薄层 CT 扫描,根据 CT 解剖参数,探索利用逆向工程软件 Mimics 以及 Geomagic Studio 测量牙周膜面积的方法。

材料与方法

1. 志愿者基本情况:活体数字人男性志愿者纳入条件:20 岁左右青壮年成人;否认颞下颌关节病史,无开口不适,无开口弹响,张口度及张口型正常,关节区无自发痛及压痛;头面部无外伤史,面型对称,比例协调;牙列完整,无龋病,牙龈色、形、质正常,牙齿无松动;无风湿、类风湿病史及其他系统性疾病。选取第 2 代中国数字化人体男性第 23 号为志愿者,年龄 23 岁,体重 65kg,体重指数 (BMI) 为 $22.76\text{kg}/\text{m}^2$,身高 169cm,入选者均签署知情同意书。

2. 影像设备及图像处理软件:① Windows 7 操作系统;② Aquilion one 320 排螺旋 CT 机;③ Mimics 10.0 图像处理软件;④ Geomagic 12.0 逆向工程软件;⑤

Planmeca romexis 影像处理软件;⑥ Planmeca Promax 3Dmax 牙科 CT;⑦ Graphpad Prism5 统计图像处理软件。

3. 牙周膜表面网格模型的构建: (1) 获得初步模型: Aquilion one 320 排螺旋 CT 机扫描范围自头顶到第七颈椎,将扫描获得的头颅 CT (层厚 0.5mm,层距 0.5mm,共 653 张) 影像资料以 DICOM 格式导入 Mimics 软件中,将阈值设定为 1468 ~ 3071,形成颌骨与牙齿的蒙面,通过软件编辑去除干扰区域,选择 1 种颜色充填该选中区域,修整蒙面的边缘以确保模型的精确性。利用软件的三维成像功能对每一个蒙面进行三维重建,光滑模型后得到上颌骨 (包括颧骨及鼻骨)、下颌骨、上下牙列 (图 1、图 2)^[3]。(2) 优化牙齿模型:将颌骨和牙齿的三维重建模型在 Mimics 软件上以 Binary STL 格式输出,导入逆向工程软件 Geomagic Studio 中。通过编辑工具栏中的翻转边、分裂边、收缩边将模型中的三角面片合理优化,删除质量差的三角片,充填有缺漏的三角面片,使牙根表面光滑完整 (图 2)。(3) 分割牙齿模型获得 RSA:以颌骨边缘为界添加分裂边,将牙齿分为上部的牙冠和下部的牙根,从而获得 RSA 的模型 (图 3、图 4)。(4) 牙周膜表面积测量:假设牙周膜为均质并将厚度定为 0.25mm ^[4],然后将 RSA 模型偏移 0.25mm 后获得牙周膜的外表面测得牙周膜外表面积数据 (图 5)。(5) 牙周膜虚拟建模:通过 Geomagic Studio 软件将牙周膜外表面和 RSA 翻转法线后进行桥连接,形成一个封闭的立体的牙周膜形态 (图 6)。

4. 个性化牙周膜建模举例:患者,男性,60 岁,要求修复。通过 Planmeca Promax 3Dmax 将其拍摄颌面部 CBCT 后,再用 Planmeca_romexis 系统以 DCM 格式导出;然后导入 Mimics 中,自动并手动设置蒙面区域,获得牙周膜数据,以 STL 格式导出;最后导入 Geomagic 中,优化模型获得 RSA (图 7、图 8)。

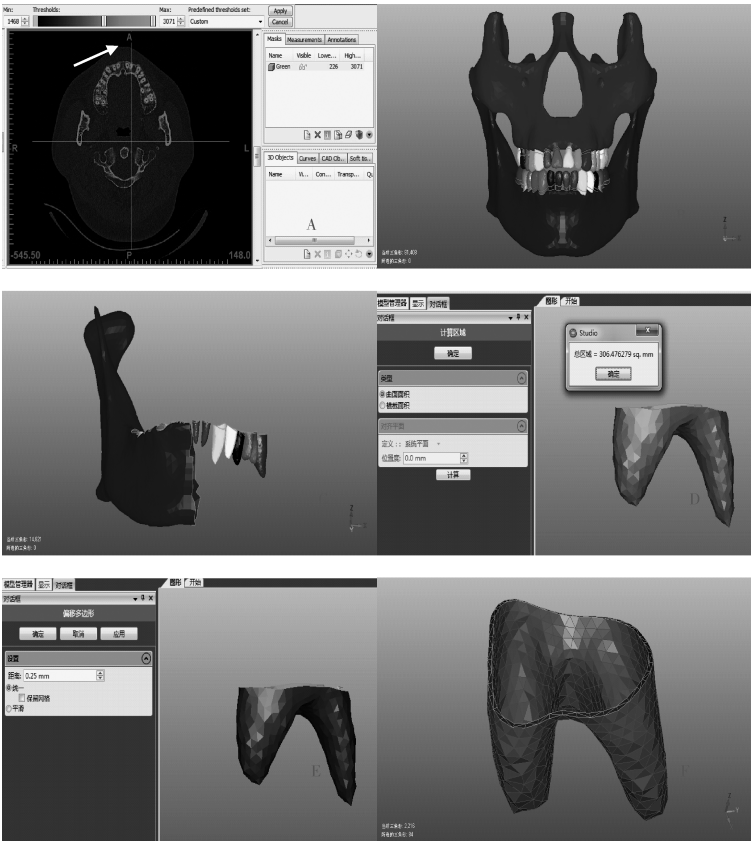


图 1 牙周膜表面网络模型的构建

A. 设定阈值;B. 光滑上下颌骨及牙齿三维重建模型;C. 沿颌骨边缘分割后得到 RSA;D. 测量 RSA 的方法;
E. 将所得的 RSA 偏移 0.25mm;F. 获得立体的牙周膜

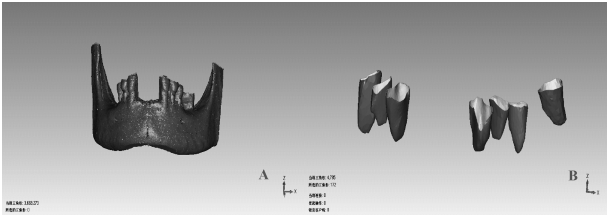


图 2 优化牙齿模型

A. 个性化数据导入;B. 个性化三维牙周膜建模

结 果

通过 Geomagic Stadio 软件自带的测量功能测量 RSA 面积(表 1)^[5]。同样方法测得牙周膜外表面积以及牙周膜体积。将各牙周膜面积除以总牙周膜面积,得到各牙周膜在总牙周膜中所占的比例(表 1)。同法得到各牙周膜体积所占总牙周膜体积比例(表 1)。所得数据符合上颌牙牙周膜大于下颌牙周膜规律,并符合上颌牙牙周膜面积:第一磨牙>第二磨牙>尖牙>第一前磨牙>第二前磨牙>中切牙>侧切牙,下颌牙周膜面积:第一磨牙>第二磨牙>尖牙>第二前磨牙>第一前磨牙>中切牙>侧切牙^[6]的规律。将其导入 Graphpad prism5 中与魏治统和 Tylman 测

量数据^[6]进行 *t* 检验分析,差异无统计学意义($P > 0.05$),即笔者的数据和上述二作者间数据具有一致性(图 9)。在个性化建模中,测得患者左下第二磨牙、第二前磨牙、第一前磨牙、尖牙的牙周膜面积分别为:130.75、112.99、91.711、150.852mm²;右下第二前磨牙、第一前磨牙、尖牙的牙周膜面积分别为 167.84、107.43、181.44mm²。

讨 论

牙周膜是牙周支持组织中最为人所知的部分之一,具有感觉、支持、营养及再生功能。牙周膜面积的大小基本等同于 RSA,其在釉牙骨质界不同水平下所能提供的支持力与功能密切相关^[7,8]。目前,测量 RSA 的方法主要有 6 类:①涂膜法:即在离体牙牙根表面涂上一层材料(如塑料多聚物前体等),待该材料硬化后将其剥下,展开后测量薄膜的面积^[8,9];②重量转换法:即先将离体牙称重,然后在其牙根表面均匀地刷上一层材料(如蜡等),再称重,记录涂刷前后的重量改变,最后根据涂层厚度及材料密度便可依次计算出整个牙根涂层的体积及表面积^[9];③分层

表 1 本实验评价 RSA 与牙周膜外表面积、牙周膜体积及其在总体所占百分比

牙位	RSA 面积 (mm ²)	牙周膜外表面积 (mm ²)	牙周膜体积 (mm ³)	该牙位 RSA 面积所 占总 RSA 面积 百分比 (%)	该牙位牙周膜外 表面积占总牙周 膜外表面积百 分比 (%)	该牙位牙周膜 体积占总牙周膜体 积百分比 (%)
上颌 1 左	152.461	168.861	33.728	2.93	2.97	2.96
上颌 1 右	148.598	163.501	32.551	2.86	2.88	2.86
上颌 2 左	138.579	153.796	29.753	2.67	2.71	2.61
上颌 2 右	137.456	151.747	29.314	2.65	2.67	2.57
上颌 3 左	199.229	215.517	43.297	3.83	3.80	3.80
上颌 3 右	205.156	224.280	49.509	3.95	3.95	4.35
上颌 4 左	167.621	181.974	36.878	3.23	3.21	3.24
上颌 4 右	173.110	189.171	40.325	3.33	3.33	3.54
上颌 5 左	154.954	170.150	35.380	2.98	3.00	3.11
上颌 5 右	167.262	181.821	36.063	3.22	3.20	3.17
上颌 6 左	306.476	333.276	62.592	5.90	5.87	5.49
上颌 6 右	330.124	358.395	68.640	6.35	6.31	6.03
上颌 7 左	288.277	314.483	59.914	5.55	5.54	5.26
上颌 7 右	315.744	343.946	66.534	6.08	6.06	5.84
下颌 1 左	82.360	93.125	17.853	1.59	1.64	1.57
下颌 1 右	82.828	93.096	17.160	1.59	1.64	1.51
下颌 2 左	99.529	111.467	22.230	1.92	1.96	1.95
下颌 2 右	115.020	127.483	24.178	2.21	2.25	2.12
下颌 3 左	191.914	207.811	42.670	3.69	3.66	3.75
下颌 3 右	204.567	221.236	43.862	3.94	3.90	3.85
下颌 4 左	124.330	138.244	27.470	2.39	2.43	2.41
下颌 4 右	124.165	137.958	28.292	2.39	2.43	2.48
下颌 5 左	143.022	157.692	32.603	2.75	2.78	2.86
下颌 5 右	150.752	165.470	34.631	2.90	2.91	3.04
下颌 6 左	269.222	291.334	59.918	5.18	5.13	5.26
下颌 6 右	241.711	262.590	53.504	4.65	4.62	4.70
下颌 7 左	242.278	260.695	56.980	4.66	4.59	5.00
下颌 7 右	239.027	258.542	53.284	4.60	4.55	4.68
总计	5195.772	5677.661	1139.113	100	100	100

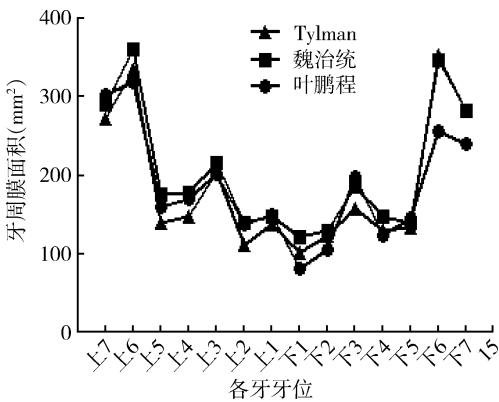


图 3 不同笔者间所测各牙牙周膜面积比较

测量叠加法:以一定的厚度垂直于牙根长轴作连续片切,将获得的片切物以周长乘以层厚得到该层的 RSA,再将各层 RSA 相加即得到该牙根总 RSA^[11];

④根据不同角度拍摄的牙根 X 线片 或 2D 光学照片:将不同面所测量的数据相加后得到 RSA^[8,12];⑤显微 CT 技术测量法:将离体牙通过显微 CT 扫描后,将得到图像以 DICOM 格式导入 Mimics 软件中,三维重建后测量 RSA^[1];⑥采用激光扫描:待测牙根的石膏模型,然后通过计算机三维重建来分析、测量 RSA。

然而,以上方法均有准确性差,重复性差,操作复杂,不能在活体上测量等缺陷,采用涂膜法进行 RSA 测量时,若牙根外表面突起、凹陷、根分叉等不规则形态时,薄膜将难以平整展开,必然会影响测量的准确性。采用重量置换法测量 RSA 时,涂层厚度较难控制,特别是在倒凹区,材料会顺着重力下流,材料密度也很难保证均质性,这些均会影响计算结果的准确性;分层测量叠加法则破坏了牙体组织需要对牙根进

行连续硬组织切片,该切片对牙体长轴很难把握,特别是多根牙的切片,另外,在切片厚度的选择上也有很大的限制;采用不同角度拍摄的二维 X 线片或光学照片来估算 RSA 时,很难确保将每一个角度都计算在内,特别是多根牙的显像,精确度不如 CT;显微 CT 技术测量法,只能测量离体牙,不能进行个体化测量,且只用 Mimics 建模显得模型不够精确,也不能优化模型;采用激光扫描待测牙根的石膏模型测量 RSA 法,虽能减少测量的误差,但由于扫描精度问题,对于多根牙倒凹区的扫描也同样存在较大的操作误差。

而本研究利用薄层 CT 在活体上扫描后,以 DICOM 格式导入 Mimics 软件中,通过 Mimics 软件三维成像后生成 STL 格式,再通过 Geomagic Studio 软件将牙周膜三维网络模型构建后,精确测量牙周膜面积。本研究具有以下创新点:①本研究采用在活体上扫描从而测量牙周膜面积,是目前研究中未见报道的^[13];②本研究采用的 CT 是薄层 CT,层厚为 0.5 mm,是目前扫描活体 CT 中精确度较高的 CT 之一^[14];③利用逆向工程软件将牙周膜建模后测量全牙列牙周膜面积,建模时间约 2~3 天,省去了大量的时间,提高工作效率,为个体化测量牙周膜面积提供可能性^[1];④本研究通过电脑全自动测量,并可将牙周膜表面的全部三角形片面计算在内,尤其是对多根牙的测量,提高了测量的精确度,是其他实验不能做到的^[8-12]。

本研究个性化建模中根据各桥基牙牙周膜的面积总和等于或大于缺失牙周膜面积的总和这个原则^[6],可以建议患者做左下 4~左下 7 的联冠来修复左下 6 的缺失,左下 3~右下 3 的联冠来修复左下 1~右下 1 的缺失。另外,由于右下后牙远中游离缺失,建议种植治疗。

然而,若想将此测量方法直接用于临床,有以下几个难点:①软件的复杂性,要想通过逆向工程软件测量牙周膜,必须对口腔影像学和逆向工程软件非常熟悉,否则难以确保精确性;②薄层 CT 在口腔科临床中对每一个患者实施是无法实现的,只能在研究中使用,若用 CBCT 代替,能大大提高临床适应性和患者的依从性^[15];③费用较高,若想通过此方法在临床中实现,必然需要相对较高的人力和物力,难免会造成收费过高患者难以接受的现象。因

此,若想用此方法在临床中使用,还需进一步提高测量的简易性。

综上所述,利用薄层 CT 在活体上扫描后,以 DICOM 格式导入 Mimics 软件中,通过 Mimics 软件三维成像后生成 STL 格式,再通过 Geomagic Studio 软件将牙周膜三维网络模型构建后,精确测量牙周膜面积,其有利于在活体中的复杂模型做快速分析,为临床中的诊断和治疗提供帮助。

参考文献

- 1 顾永春,朱琦,周培刚,等.利用显微 CT 及三维重建软件 Mimics 测量牙根表面积[J].牙体牙髓牙周病学杂志,2013,23(20):757-762
- 2 王疆.牙体组织精细三维有限元模型建立及应用的初步研究[D].西安:第四军医大学口腔医院,2006
- 3 刘梦超,吴信雷,林崇翔,等.颞下颌关节骨骼肌肉系统三维有限元模型的构建[J].医用生物力学,2015,30(2):60-67
- 4 朱亚玲,李闻颖,张翼,等.上颌前牙舌侧差动内收力系三维有限元模型的建立[J].第三军医大学学报,2014,36(5):466-469
- 5 Yasuhiko A, Tsuyoshi T, Kyou H, et al. A proposed index for residual periodontal ligament support [J]. Int J Prosthodont, 2010, 23: 472-474
- 6 赵敏民,口腔修复学[M].6版.北京:人民卫生出版社,2011:134-135,152-154
- 7 田雨,徐莉,孟焕新,等.单根牙牙根表面积的测量与估算[J].北京大学学报:医学版,2009,40(1):32-35
- 8 Yamamoto T, Kinoshita Y, Tsuneishi M, et al. Estimation of the remaining periodontal ligament from attachment - level measurements [J]. Clin Periodontol, 2006, 33: 221-225
- 9 吴仲恺,尹元正.从附着水平高度评估牙周膜剩余面积[J].上海口腔医学,2010,19(2):178-182
- 10 魏治统,杜传诗,赵云凤,等.牙周膜面积的测量[J].中华口腔医学杂志,1964,10(1):9-12
- 11 Mowry JK, Ching MG, Orjansen MD, et al. Root surface area of the mandibular cuspid and bicuspid [J]. J Periodontal, 2002, 73(10): 1095-1100
- 12 Chen SK, Chen CM, Jeng JY. Calculation of simplified single - root surface area from simulated X - ray projection [J]. J Periodontal, 2002, 73(8): 906-910
- 13 吴仲恺,尹元正.牙周膜面积测量与牙周预后的判定[J].牙体牙髓牙周病学杂志,2009,19(3):171-174
- 14 王革,俞恒永,勃鲁努·德·曼. X 线 CT 研究与发展之展望[J].中国医疗器械杂志,2008,32(3):157-169
- 15 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

(收稿日期:2015-11-04)

(修回日期:2015-11-10)