

[文章编号] 1000-1182(2008)04-0448-04

新型3DSS-STD- 结构光三维测量系统重建 牙颌模型的可靠性对比研究

吴 江¹, 高 勃¹, 赵湘辉², 沈丽娟¹, 毛 勇¹

(1.第四军医大学口腔医院 修复科; 2.第四军医大学基础医学部 神经科学研究所, 陕西 西安 710032)

[摘要] 目的 应用一种新型的三维测量系统3DSS-STD- 对牙颌模型进行三维重建, 评价该三维测量重建结果的可靠性, 为口腔修复体计算机辅助设计奠定基础。方法 利用新型结构光测量系统3DSS-STD- 对标准下牙列模型从咬合面、右后侧牙列、前牙列区、左后侧牙列和正后方5个角度进行扫描, 扫描后的结果经过数据合并、数据精简, 利用反求软件Geomagic 6.0重建下颌牙列数字化模型。然后, 用此软件自带测量工具测量切牙牙冠宽度、牙弓前段宽度、牙弓后段宽度、牙弓前段长度和牙弓后段长度相关指标, 游标卡尺在石膏模型上测量各个相关指标, 分析系统的可靠性、可重复性以及扫描精度。结果 3DSS-STD- 系统的可靠性与可重复性好, 扫描精度结果显示与游标卡尺测量结果差异无统计学意义。结论 新型结构光三维测量系统3DSS-STD- 可靠性高、测量速度快, 可以满足口腔模型三维数据快速采集和计算机辅助设计建模的需要。

[关键词] 结构光扫描; 牙颌模型; 三维重建

[中图分类号] R783.5 [文献标识码] A

A comparative study on the reliability of grating projection measuring system in three-dimensional reconstruction of dental cast WU Jiang¹, GAO Bo¹, ZHAO Xiang-hui², SHEN Li-juan¹, MAO Yong¹. (1. Dept. of Prosthodontics, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi an 710032, China; 2. Institute of Neuroscience, School of Basic Medical Science, The Fourth Military Medical University, Xi an 710032, China)

[Abstract] Objective To investigate the reliability of a newly developed grating projection system 3DSS-STD- by three-dimensional reconstruction of dental cast, so as to offer some evidence for dental computer aided design and computer aided manufacturing(CAD/CAM). Methods Five groups data of mandibular dentition cast from different angle: Occlusion, right lateral dentition, anterior dentition, left lateral dentition and posterior of the cast were scanned and acquired by 3DSS-STD- new measuring system. The five groups of acquired data were then under simplification and combination process and the digital dental cast was finally reconstructed by the reverse engineering software Geomagic 6.0. After the reconstruction process, the plaster dental cast and digital reconstructed dental cast were then manually and digitally measured respectively by different items: Width of incisors, width of anterior dental arch, width of buccal segment, length of anterior dental arch and length of buccal segment. The manual process was undergone by vernier caliper and the digital process was by reverse engineering software. The statistical analysis was then undergone in order to evaluate the reliability, repeatability and scan-precision of the new grating projection system. Results With the statistical analysis results, the grating projection system 3DSS-STD- showed its good reliability and repeatability in three-dimensional reconstruction of dental plaster cast. There were no significant differences between the data acquired by 3DSS-STD- digital scanning system and manual measurement by vernier caliper in the precision. Conclusion The new grating projection system of 3DSS-STD- equipped with high reliability and fast speed can meet the need of the fast data acquisition and three-dimensional reconstruction of dental cast and CAD process.

[Key words] grating projection; dental cast; three-dimensional reconstruction

[收稿日期] 2007-08-15; [修回日期] 2007-11-02

[基金项目] 国家高技术研究发展计划资助项目(2002AA336050); 陕西省科学技术研究发展计划资助项目(2006K052G4)

[作者简介] 吴 江(1978-), 男, 安徽人, 讲师, 博士

[通讯作者] 高 勃, Tel 029-84776469

近年来, 随着科学技术的不断发展与进步, 计算机辅助设计和计算机辅助制造以及快速原型技术已广泛应用于口腔医学领域, 特别是口腔修复学领域。牙颌模型的三维测量作为计算机辅助设计技术

的第一步^[1],其结果的准确性直接关系到修复体辅助设计以及后续加工的精确程度。随着科学技术的发展,应用非接触的光、电等方法对物体三维信息进行快速采集已经取代传统手工接触式方法成为发展趋势。其中,应用最为广泛的是激光扫描法^[2-4],该方法具有原理简单、测量速度快、精度高等特点;但是对被测物体表面的粗糙度、漫反射率和倾角过于敏感,存在阴影效应,限制了探头的适用范围。因此,其他非激光光学三维数字化仪越来越受关注^[5-6]。

本研究通过应用新型3DSS-STD-结构光扫描系统扫描并重建数字化牙颌模型,通过对其精确度进行可靠性对比研究,从而为后续口腔修复体的计算机辅助设计奠定良好的实验基础。

1 材料和方法

1.1 实验仪器与设备

选取标准下颌牙列石膏模型1个(第四军医大学口腔医院修复科实验室提供)。扫描系统:3DSS-STD-便携式结构光三维扫描系统(上海数造科技有限公司,精度0.02 mm);计算机软件系统:Geomagic 6.0(Raindrop公司,美国);计算机硬件系统:Intel P4 1.2 G处理器,内存512 M,硬盘60 G,SVGA高分辨率彩色显示器;游标卡尺(上海量具刀具厂,精度0.02 mm);统计软件SPSS 11.0(SPSS公司,美国)。

1.2 实验方法

1.2.1 下颌牙列模型的结构光扫描和数据获取 将标准下颌牙列模型置于3DSS-STD-便携式结构光三维扫描系统工作区,分别按照结构光栅基本垂直于咬合面、右后侧牙列、前牙列区、左后侧牙列和正后方5个位置进行扫描。数据转换后以ASC格式进行保存。

1.2.2 标准下颌牙列数字化模型的三维重建 将扫描好的一个位置三维数据(ASC格式)导入Geomagic 6.0,去除噪点;然后以该数据为基准,与其他4个数据拟合成不同的组,进行数据精简;最后通过对点数据进行三角面片化,以STL格式保存,生成数字化下颌牙列模型。

1.2.3 测量项目 切牙牙冠宽度:4个下切牙牙冠宽度之和。牙弓宽度:1)前段宽度:下颌两侧尖牙牙尖顶点间距;2)后段宽度:下颌两侧第一恒磨牙中央窝中点间距。牙弓长度:1)前段长度:两中切牙接触点至尖牙牙尖顶点连线之垂直距离;2)后段长度:两中切牙接触点至下颌两侧第一恒磨牙中央窝中点连线之垂直距离。

1.2.4 实验设计 实验1:由实验者对石膏模型进行扫描,在所生成的图像上测量相关指标,3周后重新对石膏模型进行扫描并测量相关指标,得到实验数据A。测量采用软件自带的测量功能,每个指标测量3次,取平均值。3周后再次应用软件测量相关指标,得到实验数据B。将2组数据输入SPSS 11.0进行统计学分析,检验系统本身的可靠性。

实验2:由另一名实验人员用软件测量相关指标,得到实验数据C,将实验数据C与实验1数据进行统计学分析,检验系统的可重复性。

实验3:由实验者直接在模型上用游标卡尺测量,每个指标测量3次,取平均值,得到实验数据D,将实验数据D与实验1数据进行统计学分析,检验系统的精度。

1.2.5 统计学处理 采用信度与效度分析,当 $r > 0.75$ 且 $P < 0.05$ 则认为2种测量方法具有相似的平行效度。统计软件为SPSS 11.0。

2 结果

经过结构光三维扫描,分别获得了5种不同位置的下颌牙列点云数据,通过数据精简、合并和三维重建,得到了下颌牙列的三维数字化模型(图1)。从图1可以看出,该数字模型精细平滑、解剖细节清晰。

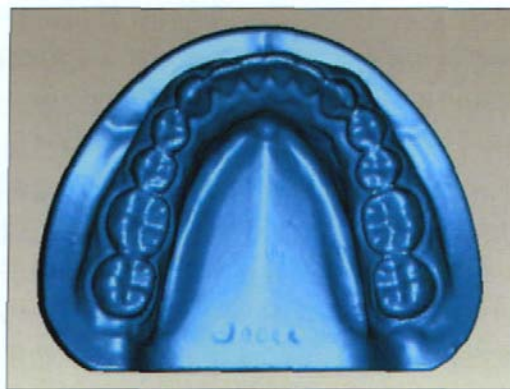


图1 新型扫描系统重建的数字化模型

Fig 1 Digital dental cast reconstructed by grating projection measuring system

石膏和数字模型的不同指标不同方法的测量结果见表1,石膏和数字模型测量结果的统计学分析见表2。经统计分析可以得出:实验1结果表明,不同时间测量的指标呈高度相关性,说明该系统的可靠性好;实验2结果表明,不同人员测量结果的差异没有统计学意义,说明该系统的可重复性好;实验3结果说明,软件测量与游标卡尺测量的结果呈高度相关性。效度分析表明,以游标卡尺为测量金标准,软件测量的误差在-0.11~0.11 mm之间,精确度较高,完全可以满足牙颌模型重建的精度要求。

表 1 石膏和数字模型的不同指标测量结果 mm, $\bar{x} \pm s$

Tab 1 Measurement results between plaster and digital dental cast (mm, $\bar{x} \pm s$)

实验设计	切牙牙冠宽度	牙弓前段宽度	牙弓后段宽度	牙弓前段长度	牙弓后段长度
A	25.83 \pm 0.015	27.58 \pm 0.011	44.81 \pm 0.014	5.38 \pm 0.014	27.54 \pm 0.020
B	25.82 \pm 0.014	27.59 \pm 0.010	42.81 \pm 0.013	5.37 \pm 0.017	27.57 \pm 0.025
C	25.82 \pm 0.021	25.58 \pm 0.110	42.79 \pm 0.011	5.36 \pm 0.015	27.55 \pm 0.021
D	25.79 \pm 0.018	25.50 \pm 0.023	42.79 \pm 0.015	5.34 \pm 0.018	27.48 \pm 0.023

表 2 石膏和数字模型测量结果的统计学分析

Tab 2 Statistical analysis of measurement results between plaster and digital dental cast

项目	测量项目			
	绝对误差	相对误差(%)	r值	P值
实验1	0.017	0.255	1.000	0.000
实验2	0.036	0.353	1.000	0.000
实验3	0.045	0.675	0.998	0.000

3 讨论

结构光三维测量法是指将一正弦光栅或矩形光栅投影到被测物体表面,光栅条纹随物体表面的高度变化而发生弯曲,弯曲程度代表物体表面的三维信息,通过对变形光栅进行分析,就可获得物体表面的三维信息。该方法在口腔医学领域已经进行了相关应用与研究。张修银等^[7]将矩形光栅投影到放大4倍的牙冠石膏模型表面,通过计算机自动生成参考栅并自动实现相移,然后用相移法来解调相位,即可得到三维数据,但对于模型表面斜率较大的部分则会产生较大误差,不适合测量具有精细表面结构的小体积物体。高勃等^[8]和殷功杰等^[9]学者将正交波法应用于口腔临床,测量并获取了牙冠的三维信息,但该方法仅用于扫描个别基牙,而对于牙颌模型的重建精确度略低。吴琳等^[10]应用3D CaMega光学三维扫描系统扫描牙列缺损三维数据,结果显示该系统能够准确地获取缺损牙列数据,但是测量角度仍显过多。

本实验使用的3DSS-STD- 结构光三维扫描仪的基本技术原理是在结构光栅投影的基础上结合相移法和三角测量法。其中,相移法采用4幅相位变化图,其对应的每个像素可以得到一个强度矢量,应用该矢量能计算出像素的相对相位值。在相移的一个周期内,相对相位值是唯一的。通过格雷码获得的光栅数和相移法确定的相对相位值能表示出绝对相位值,然后,根据标定结果、相位值和其他图像坐标值采用三角法计算出对象点的三维坐标值。该方法具有消除背景项和检测器的非线性及常数项影响的优点^[11]。

另外,该系统使用双电荷耦合器件(charge coupled device, CCD)记录变形光栅,测量过程结合了立体测量视觉原理,同时采用外极特征匹配方法进行图像匹配,需要匹配的像点沿外极线方向搜索,在另一台相机记录的图像中找到相应的像点。搜索沿外极线方向进行,是一维搜索,因此计算量小,图像匹配速度快,克服了传统光栅投影测量法的不足,精度得到了很大的提高。

本实验中,新型结构光扫描系统使用最佳数据参数,测量点距达到0.06 mm,完全能够满足研究需要。对于被测物体,表面粗糙度对三维扫描的影响较大。本研究使用超硬石膏在真空条件下灌制模型,材料颗粒细小致密,模型凝固后表面平整、粗糙度低、无气泡,将物体表面特性对测量精度影响降至最低;因此,测量误差主要来自扫描数据是否完整。本研究对模型从5个方向进行了扫描,每次扫描的范围都包括前一次扫描的邻接范围,将扫描盲区减少到最小。

由于三维模型重建过程的特殊性,即重建过程中受到测量方式、数据处理以及曲线、曲面拟合过程的影响,因此,影响数字化模型精度的因素非常多。为了减少相关因素的影响,在实际操作过程中,模型的测量是在暗室的环境下进行,最大程度地减小了外界环境的影响;另外,本实验从仪器本身的可靠性和精确性以及测量者的可重复性3个方面对新型结构光三维扫描系统进行了统计学的评价。实验1检验了系统本身的可靠性,实验2检验了测量者的可重复性,实验3通过分析软件测量与游标卡尺测量的结果验证系统的精度。软件测量和手工测量的结果信度分析表明,两者之间有高度相关性;效度分析表明,三维结构光扫描系统具有较高的精度,可以满足口腔修复体对光学印模的精度要求。

由本实验研究结果可以看出,新型3DSS-STD-便携式三维结构光扫描系统的测量结果是可靠的,可以用于牙颌模型的扫描,具有快速、省时、精度高的特点,能够满足口腔模型三维数据快速采集的需要。

[参考文献]

- [1] 韩强, 张富强. 应用于口腔医学领域的三维测量技术[J]. 口腔材料器械杂志, 2003, 12(1): 39-41.
HAN Qiang, ZHANG Fu-qiang. Three dimensional measurement technique applied in stomatology[J]. Chin J Dent Materials Devices, 2003, 12(1): 39-41.
- [2] Shah S, Sundaram G, Bartlett D, et al. The use of a 3D laser scanner using superimpositional software to assess the accuracy of impression techniques[J]. J Dent, 2004, 32(8): 653-658.
- [3] Sohmura T, Kojima T, Wakabayashi K, et al. Use of an ultra high speed laser scanner for constructing three-dimensional shapes of dentition and occlusion[J]. J Prosthet Dent, 2000, 84(3): 345-352.
- [4] 刘晓芳, 赵铤民, 吴国锋, 等. 三维激光扫描测量外鼻形态的可靠性研究[J]. 实用口腔医学杂志, 2004, 20(2): 211-213.
LIU Xiao-fang, ZHAO Yi-min, WU Guo-feng, et al. Reliability of 3 dimensional laser surface scanner for nasal anthropometry [J]. J Pract Stomatol, 2004, 20(2): 211-213.
- [5] Peng X, Zhang ZH, Tiziani HJ. 3D imaging and modeling. Part 1: Acquisition and registration[J]. Optik Inter J Light Electron Optics, 2002, 113(10): 448-452.
- [6] 严斌, 王林, 胡道生, 等. 牙颌模型CT扫描测量分析系统的建立和研究[J]. 华西口腔医学杂志, 2005, 23(4): 329-331.
YAN Bin, WANG Lin, HU Qiu-sheng, et al. Development and study of three-dimensional CT scanning system for dental cast measurement and analysis[J]. West China J Stomatol, 2005, 23(4): 329-331.
- [7] 张修银, 杨宠莹, 罗建平, 等. 相位移法用于牙冠形状三维自动测量[J]. 上海生物医学工程杂志, 1994, 38(3): 46-47.
ZHANG Xiu-yin, YANG Chong-ying, LUO Jian-ping, et al. Three-dimensional automatic measurement of tooth crown with phase-shifting method [J]. Shanghai J Biomedical Engineering, 1994, 38(3): 46-47.
- [8] 高勃, 王忠义, 张少锋, 等. 光栅变形条纹直接分析法用于牙冠形状的三维测量——正交验波法[J]. 实用口腔医学杂志, 1998, 14(2): 125-127.
GAO Bo, WANG Zhong-yi, ZHANG Shao-feng, et al. Three dimensional measurement of tooth crown with fourier-transform method of fringe pattern analysis[J]. J Pract Stomatol, 1998, 14(2): 125-127.
- [9] 殷功杰, 朱传贵, 刘波, 等. 小尺寸物体三维面形高精度测量[J]. 光学学报, 1997, 26(9): 841-845.
YIN Gong-jie, ZHU Chuan-gui, LIU Bo, et al. Exact 3-D shape measurement of small-sized objects[J]. ACTA Photonica Sinica, 1997, 26(9): 841-845.
- [10] 吴琳, 李瑞, 吕培军, 等. 光栅投影技术在获取牙列缺损三维数据中的应用[J]. 华西口腔医学杂志, 2006, 24(3): 276-278.
WU Lin, LI Rui, LÜ Pei-jun, et al. 3D-data acquisition of partially edentulous cast using grating projection method[J]. West China J Stomatol, 2006, 24(3): 276-278.
- [11] 潘伟, 赵毅, 阮雪榆. 反向工程中测量点云配准的新方法[J]. 模具技术, 2003, 4: 5-8.
PAN Wei, ZHAO Yi, RUAN Xue-yu. Registering of 3D measurement point cloud[J]. Die Mould Technology, 2003, 4: 5-8.

(本文编辑 汤亚玲)

口腔健康与系统疾病学术研讨会

2008年6月18日, 由高露洁棕榄(中国)有限公司支持的“口腔健康与系统疾病”学术研讨会, 通过卫星联线同时在北京、天津、广州、沈阳、上海、重庆、武汉7大城市举办。此次卫星会议有幸邀请到美国查普希尔大学David Paquette教授作为特邀讲者, 并请到北京大学口腔医院曹采方教授担任北京主会场的主席, 由武汉大学口腔医院边专院长等国内知名教授分别担任各分会场主席, 全国有近千名牙科医生共同出席了此次盛会。在中华口腔医学会王兴会长和高露洁棕榄(中国)有限公司专业口腔护理市场总监李强先生分别致开幕辞后, 大会正式开始。此次会议紧扣“口腔健康与系统疾病”的主题, 首先由来自美国的David Paquette教授为大家做“牙周感染、炎症与系统疾病”专题报告, 口腔健康与系统疾病的关系已经成为美国口腔科医生关注的重点。此后来自北京大学口腔医院的孟焕新教授也就我国牙周病的临床现状和思考做了精彩演讲。章锦才教授报告的主题是牙周疾病和不良妊娠结局。不难看出, 牙周疾病作为影响全身健康的危险因素之一, 越来越受到专业牙科医生的重视, 如何对其进行科学有效的防治已经成为业内人士关注的热点。北京大学口腔医院荣文笙副教授作为最后一个发言者向参会医生介绍了高露洁牙周包的临床试验及疗效分析。随后各分会场主席代表和参会医生向讲者提出了很多大家共同关注的问题, 学术气氛相当热烈。会后众多医生都表示通过此次会议, 更加深刻地了解到口腔健康与全身疾病的相互影响以及国内外的最新研究进展, 对今后的临床工作有十分重要的指导意义。

高露洁棕榄(中国)有限公司