

文章编号: 0258-7025(2009)10-2712-05

选择性激光烧结法烧结复合蜡粉制作耳廓复体

李风兰 赵敏民

(第四军医大学口腔医院修复科, 陕西 西安 710032)

摘要 为了探索选择性激光烧结(SLS)技术制作耳廓复体蜡模型的可行性,采用层析法获得左侧耳廓数据,三维重建左侧耳廓数字模型,镜像反求出右侧耳廓的三维数字模型,应用选择性激光烧结及复合蜡粉(PCP1)制作出右侧耳廓的快速原型制造(RPM)蜡模型并进行皮肤纹理及毛孔的雕刻,最后经过水浴加热法去蜡复制出硅橡胶耳廓复体。所得的耳廓蜡模型具有良好的外形和精度,达到了临床应用的要求,而且蜡模型可以直接进行复体的后期处理工作,制得耳廓复体。研究表明,选择性激光烧结技术和复合蜡粉 PCP1 可以用于制备复杂形态的耳廓复体蜡模型,该方法与传统制作方法相比,节约了时间和材料,减少了制作步骤,为该技术及材料在颌面复体制作中的应用提供了依据。

关键词 医用光学生物技术;快速原形制造;选择性激光烧结;复合蜡粉;耳;三维重建

中图分类号 TN249; R764 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093610.2712

Fabricating a Prosthetic Ear by Means of Selective Laser Sintering and Wax Powder

Li Fenglan Zhao Yimin

(Department of Prosthodontics, School of Stomatology, the Fourth Military Medical University, Xi'an, Shaanxi 710032, China)

Abstract In order to explore the feasibility of fabricating prosthetic ear with selective laser sintering method, layer-milled graphic technique is used to acquire the data of left ear. A 3-D digital model of left ear is produced. A digital model of right ear is produced by mirror imaging. Selective laser sintering (SLS) and wax powder PCP1 are chosen to fabricate a wax right ear model. The skin texture and pore are sculpted on the wax model and the prosthetic ear is made by silicone elastomer. The result shows that the right ear wax model is not only distinct and precise, but also can be replaced by silicone elastomer directly. This study suggests that SLS and the new wax powder PCP1 can be used to fabricate prosthetic ear. Comparing with conventional manual methods, the new fabricating method shortens time and simplifies manufacturing steps. This digital and model-free manufacture provide can a new method for the automatic manufacture of maxillofacial prostheses, and will lay the foundation for the clinical application in the future.

Key words medical optics and biotechnology; rapid prototyping manufacture; selective laser sintering; wax power; ear; 3-D reconstruction

1 引言

快速原型制造(RPM)技术是利用累加成型原理制造实物零件产品的一项高新制造技术^[1]。它能

根据产品的三维模型数据,不借助其他工具设备,迅速而精确地制造出该产品,集中体现了计算机辅助设计、激光加工、数控和新材料开发等多学科、多技

收稿日期: 2008-08-14; 收到修改稿日期: 2008-12-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30630066)资助项目。

作者简介: 李风兰(1968—),女,副主任医师,博士研究生,主要从事先进制造技术在口腔颌面复体制作中的应用研究。

E-mail: uniqueflf@163.com

导师简介: 赵敏民(1956—),男,教授,主任医师,博士生导师,主要从事口腔修复学、磁附着技术、种植修复技术、颌骨缺损功能重建、颜面部缺损仿真修复等研究。E-mail: zhaoymin@fmmu.edu.cn(通信联系人)

术的综合应用。常用的快速原型制造方法有立体印刷(SLA);层叠法(LOM);选择性激光烧结(SLS);熔融沉积造型(FDM)等。快速原型制造技术在医学领域的应用占整个应用领域的12%左右,仅次于汽车(13%)、航空(13%)等。近年来,RPM技术在口腔领域也得到了广泛应用:第四军医大学吴国锋等^[2]应用激光扫描获取数据,用SLS制作鼻膜复体;吴江等^[3]应用激光快速成型技术制造全口义齿钛基托;韩彦峰^[4]等制作了纯钛基底冠;Berry等^[5]应用CT对颅骨进行扫描,获取数据进行三维重建并用SLS烧结尼仑粉制作出颅骨模型;Coward等^[6]应用MRI对健侧耳朵进行扫描,获取数据经三维重建并通过镜像方法获得了对侧耳的三维模型,并用SLA制作出耳廓的树脂模型。本文在层析法获得正常耳廓数据的基础上,镜像反求出患侧的耳廓数据,并应用SLS技术及复合蜡粉(PCP1)复制出耳廓的RPM蜡模型,最后经过水浴加热法去蜡复制出硅橡胶耳膜复体,为颌面部缺损的修复提供了一种新的材料和方法。

2 实验方法

实验采用的材料设备:S-Re300 三维断层反求测量系统(由西安交通大学先进制造技术研究所提供),三维层析法的原理是用铣床和CCD摄像机逐层对物体截面轮廓进行切削和测量^[7]。将复杂的物体造型测量转化为简单的平面二维图像轮廓提取,得出被测物体的内外轮廓数据,无论物体的外形和结构多么复杂,该法都能准确地获得其内外结构。与螺旋CT相比,三维层析系统的测量精度提高了一个数量级,而设备价格仅为其20%~30%,为RPM技术的成功实施提供了可靠的数据采集方法。层析法唯一缺点是它属于破坏性测量方法,不能直接进行活体测量。

HLP-350I型选择性激光烧结机(由中北大学材料工程系提供),具有精度高、烧结速度快等特点,它的工作原理^[1]是粉末材料选择性激光烧结的原理,使用CO₂激光器烧结粉末材料。成型时先在工作台上铺上一层粉末材料,激光束在计算机的控制下,按照截面轮廓的信息,对制件的实心部分所在的粉末进行烧结。一层完成后,工作台下降一个层厚,再进行后一层的铺粉与烧结。如此循环,最终形成三维产品。与其他RPM方法相比,SLS最大的优点在于其烧结材料广泛,如蜡粉、聚丙烯(PS)粉、烷基苯磺酸钠(ABS)粉、尼龙粉、覆膜陶瓷和金属粉等。

复合蜡粉PCP1(由中北大学材料工程系提供),是以氧化聚乙烯蜡为主要成分的合成蜡,经实验测量^[8],PCP1的熔点为78.54℃,完全可以用煮沸的方法去除;线性收缩率平均为0.25%,小于0.8%,满足国标^[9]的要求;塑性形变在43℃和46℃时分别是10和18,没有达到国标要求,还有待改进;韧性在20±1℃和25±1℃两种温度下折叠时均发生折断现象,但是在25℃时折断得比较晚一些。

计算机硬件系统及软件有Mimics7.1医学图像重建软件,Geomagic Studio4.0三维设计软件,Magics RP10.0软件。

MDX4-4210双组分膜复体用硅橡胶由美国道康宁公司提供。

2.1 临床检查及模型制取

患者右侧外耳廓全部缺失,左侧外耳廓正常,右耳部前期已植入3枚种植体,种植体固位良好,局部皮肤无炎症反应,其上部用铸造杆连接,如图1所示。由于耳廓倒凹较大,采取分部法制取左耳石膏模型及右耳缺损区模型,如图2和图3所示。



图1 患者右耳缺损处种植支架
Fig.1 Implant frame of right ear



图2 左耳石膏模型

Fig.2 Plaster model of left ear

2.2 石膏模型的数据采集

配制Rem-1专用层析包埋料将左耳石膏模型完全包埋,应用以数控铣床为母体机的三维断层反求测量系统S-Re300获取左耳模型的数据。铣刀系



图3 右耳缺损区模型

Fig. 3 Plaster model of right ear

统参数: 主轴转速为 2000 r/min, 定位精度为 0.02 mm, 加工平度为 0.03 mm, 进给速度为 300 mm/min, 切削层厚为 0.15 mm。数控铣床自动完成模型的切削工作, 每切削一层 CCD 同步拍摄下被切削表面图像并立即输入计算机中保存。外耳模型经层析被切割成 191 层, 同时获得相应的 191 张图片文件, 如图 4 所示。

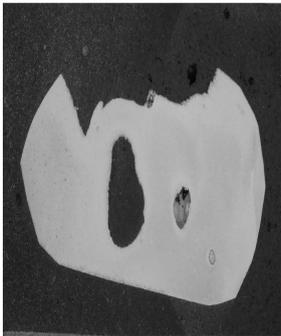


图4 左耳切削表面图像

Fig. 4 Cutting photo of left ear

2.3 数据模型的处理及三维重建

Mimics 软件以三维断层截面图像作为三维重构基础, 重建左耳的三维模型。在 Geomagic Studio 4.0 软件中对左耳数字化模型表面进行光顺处理, 然后镜像翻转出右耳的数字模型, 如图 5 所示。

2.4 加工工艺参数的选取

HLP-350I 激光成型机成型采用的是选区激光烧结原理。影响其粉末烧结的因素主要有激光功率、扫描速度、切片厚度、粉末本身性质等^[10]。对于具有一定厚度的粉末层, 激光功率和扫描速度对粉末烧结有很大的影响, 若激光功率小, 则粉末的烧结厚度也小, 使后一层和前一层不能很好地连接, 会引起烧结体脱层; 若激光功率太大, 虽然后一层能和前一层连接在一起, 但由于烧结温度过高, 使粉层产生太大的收缩, 影响烧结体的精度, 严重时还会出现翘曲变形和开裂。在激光功率一定时, 扫描速度太快,



图5 右耳数字模型

Fig. 5 Digital model of right ear

可能造成烧结体分层; 扫描速度太慢, 可能造成烧结体收缩变形甚至开裂。适当地选择激光功率和扫描速度, 既可以保证层与层之间良好的连接, 又可以减小烧结体收缩变形。在激光烧结中, 每一层粉的厚度应等于其相应的 CAD 模型的切片度。对于形状简单的二维实体, 切片厚度的大小不会影响零件的精度, 但对于象耳朵这样的三维实体, 切片厚度会影响烧结体的精度。另外, 翘曲变形的程度与温差成正比, 与材料厚度成反比。对粉末进行预热可减小温差, 从而减小变形。但预热温度要适当, 预热温度太高, 会使未被扫描的粉末结成块, 给后续去除未烧结粉末的工作带来困难。材料厚度大一些可减小翘曲变形, 但会降低工件制作精度。本研究使用的是中北大学研制的复合蜡粉 PCP1, 其平均粒径为 0.045 mm, 玻璃化温度 65 °C, 粘流温度 80 °C, 根据 PCP1 和激光成型机 HLP-350I 的特点, 在经过多次预实验烧结的基础上, 确定烧结参数如下: 扫描速度为 2000 mm/s, 加工层厚为 0.15 mm, 铺粉速度为 200 mm/s, 激光功率为 15 W, 加工温度为 80 °C。

2.5 右耳蜡模型的快速成型

在 Magics RP10.0 软件中对右耳三维数字模型进行分层, 输入 HLP-350I 型选择性激光烧结机中, 在计算机控制下, 根据实验所确定的烧结参数, 自动逐层烧结出右耳蜡模型。

2.6 右耳蜡模型加工后处理

将烧结所得蜡耳模型进行清理, 清除掉多余虚粉; 打开化蜡炉电源进行温度(高温)设置, 第一次对蜡模进行浸渗, 目的是填隙; 重新设置加热温度(中温), 对第一次浸渗的蜡模进行预热; 对微热的蜡模进行第二次浸渗, 以提高表面精度; 用细砂纸对浸渗的蜡模表面进行打磨处理, 用稀释液擦洗蜡模表面, 以降低表面粗糙度, 最终获得右侧耳廓的蜡模型, 如图 6 所示。



图 6 右耳蜡模型

Fig. 6 Wax model of right ear

2.7 右耳硅橡胶膜复体的完成

将右耳蜡模型试戴在石膏模型的连接体上,参照左耳的位置特征选择蜡耳适宜的位置和角度。在患者缺耳处试戴,调整蜡耳的高低、外展程度等,同时征求患者的意见,确定完全满意后,在蜡耳模型上雕刻皮纹、毛孔等局部精细结构,常规包埋、装盒,沸水煮沸 30 min 冲蜡,用 MDX4-4210 硅橡胶制作膜复体,如图 7 所示。并进行膜复体的外着色。



图 7 硅橡胶右耳

Fig. 7 Silicone elastomer right ear prostheses



图 8 患者右耳硅橡胶膜复体

Fig. 8 Completed auricular prostheses



图 9 患者左耳

Fig. 9 Patient's left ear

患者身体条件及修复技术等多种因素的限制仍采用膜复体修复^[11]。传统的制作步骤是,首先取模,然后由有经验的临床医师根据健侧雕刻缺损部分,再给患者试戴、修整。膜复体制作的逼真与否与医师自身的经验、修养等有很大的关系。应用 RPM 方法可以准确、逼真地再现患者的缺损处组织,大大降低了医师的工作强度,改进了颌面部膜复体的制作工艺;另外,由于硅橡胶材料自身的局限性及颌面部膜复体暴露在外部的原因,膜复体的老化现象目前还不可避免,患者需要在 3-5 年后更换一次膜复体。采用 RPM 技术后,医师不再需要重新雕刻膜复体,而只需将以前储存的数据重新加工即可制得与原膜复体同样的膜复体。这样,大大方便了医患双方,降低了反复制作的成本。国内外已有许多学者应用 RPM 技术制作颌面部膜复体,膜复体最终的材料是硅橡胶,而且需要在最后的蜡型上雕刻皮肤纹理,不管是 SLA 的树脂,还是 FDM 的尼仑,都需要再转换为蜡模型,然后才能进行皮纹的雕刻,给患者试戴。本实验应用 SLS 和蜡粉(PCP1)可以直接烧制出蜡模型,模型精度经过实验证明完全可以满足临床需要^[12]。这样不需要中间的模型转换,减少了膜复体制作的中间环节,节约了时间,同时也提高了膜复体制作的精度。

3 结果与分析

应用以数控铣床为母体机的三维断层反求测量系统 S-Re300 成功地获取了左侧耳廓的数据,在软件中三维重建了左侧耳廓的数字模型,通过镜像原理反求出右侧耳廓三维数字模型,应用 HLP-350I 型选择性激光烧结机烧结复合蜡粉 PCP1 直接加工出右侧耳廓的蜡模型。蜡模型具有良好的外形和精度,达到了临床应用的要求,而且此蜡模型可以进行皮肤纹理、毛孔等膜复体的后期处理,最终包埋替换为硅橡胶义耳。制作出的右耳硅橡胶膜复体如图 8 所示,外观逼真,形态、位置、外展角度等与左耳,如图 9 所示,高度对称,患者十分满意。

大部分颌面部缺损的患者由于受局部组织床、

4 结 论

研究表明选择性激光烧结技术和复合蜡粉 PCP1 可以用于制备复杂形态的耳廓复体蜡模型, 该方法与传统制作方法相比, 节约了时间和材料, 实现了数字化制作, 为该技术及材料在颌面复体制作中的应用提供了依据。

参 考 文 献

- Zhu Linqun, Bai Peikang, Zhu Jiangmiao. Rapid Prototyping and Rapid Manufacture[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003. 9~10
朱林泉, 白培康, 朱江淼. 快速成型与快速制造技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003. 9~10
- Guofeng Wu, Bing Zhou, Yungeng Bi *et al.*. Selective laser sintering technology for customized fabrication of facial prostheses [J]. *J. Prosthet. Dent.*, 2008, **100**(1): 56~60
- Wu Jiang, Gao Bo, Tan Hua *et al.*. Titanium base of complete denture fabricated with laser rapid forming [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(8): 1139~1142
吴 江, 高 勃, 谭 华 等. 激光快速成形技术制造全口义齿钛基托[J]. *中国激光*, 2006, **33**(8): 1139~1142
- Han Yanfeng, Gao Bo, Hu Jiang *et al.*. Titanium coping fabricated with laser rapid forming[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(6): 876~880
韩彦峰, 高 勃, 胡 江 等. 激光快速成形技术制作纯钛基底冠[J]. *中国激光*, 2007, **34**(6): 876~880
- E. Berry, J. M. Brown, M. Connelf *et al.*. Preliminary experience with medical applications of rapid prototyping by selective laser sintering[J]. *Med. Eng. Phys.*, 1997, **19**(1): 90~96
- T. J. Coward, R. M. Watson, I. C. Wilkinson *et al.*. Fabrication of a wax ear by rapid -process modeling using stereolithography[J]. *Int. J. Prosthodont.*, 1999, **12**(1): 20~27
- Liu Yaxiong, Duan Yugang, Lu Bingheng *et al.*. A new slicing method based on the principle of refraction and reflection[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(9): 1159~1163
刘亚雄, 段玉刚, 卢秉恒 等. 基于折反射原理的层去反求技术研究[J]. *光学学报*, 2004, **24**(9): 1159~1163
- Li Fenglan. The application study of selective laser sintering and wax powder PCP1 in the facial prostheses [D]. Xi'an: the Fourth Military Medical University, 2005. 36~46
李风兰. 选择性激光烧结和复合蜡粉 PCP1 在颌面缺损修复中的应用研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2005. 36~46
- Compilation of Standard Medical Equipment [M]. Beijing: China Standard Press, 2002. 223~229
医疗器械标准汇编(口腔材料卷)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002. 223~229
- Li Xiaocheng. Research on sintering parameters and prototyping quality of SLS polymer powders [D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia University of Technology, 2007. 36~46
李小城. SLS 高分子粉料成型工艺参数及成型质量的比较研究[D]. 内蒙古: 内蒙古工业大学, 2007. 36~46
- Zhao Yimin. Maxillofacial Prosthetics [M]. Xi'an: World Publishing Corporation, 2004. 1~5
赵钦民. 颌面复学(上)[M]. 西安: 世界图书出版社, 2004. 1~5
- Li Fenglan, Zhao Yimin, Bai Peikang *et al.*. Fabricating a nose prosthesis by means of selective laser sintering and wax powder [J]. *Journal of Practical Stomatology*, 2005, **21**(1): 8~10
李风兰, 赵钦民, 白培康 等. 应用选择性激光烧结法烧结新型复合蜡粉制作鼻复体[J]. *实用口腔医学杂志*, 2005, **21**(1): 8~10