

利用布尔运算的定制化下颌骨替代物设计方法

王千¹, 刘亚雄¹, 杜如坤¹, 李涤尘¹, 卢秉恒¹, 刘彦普², 商洪涛²

(1. 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 710049, 西安; 2. 第四军医大学口腔医学院, 710032, 西安)

摘要: 为了使下颌骨替代物体具有特定的形状, 并与相邻骨骼具有正确的相对位置和精确的连接方式, 提出了利用布尔运算的定制化下颌骨重建方法. 采用医用 CT 扫描的方法获得原始骨骼数据, 从而保证了骨替代物的数据原始性以及与原骨骼形状的匹配性. 以布尔运算为主要的重建设计手段, 始终采用原始数据进行假体的设计, 将 STL 的文件格式贯穿整个设计过程, 从而避免了数据因格式转换而失真, 确保了假体与原骨骼形状的匹配, 使以人骨骼表面的自由曲面进行骨替代物的空间定位成为可能. 该方法设计出来的人工下颌骨假体定位正确、连接精确, 其形状与原骨骼匹配良好, 因此可成功应用于临床实践.

关键词: 布尔运算; 定制化; 骨替代物

中图分类号: TH12 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2009)01-0043-04

Customized Design of Artificial Mandible Substitutes Based on Boolean Operation

WANG Qian¹, LIU Yaxiong¹, DU Rukun¹, LI Dichen¹, LU Bingheng¹

LIU Yanpu², SHONG Hongtao²

(1. State Key Laboratory of Manufacturing Systems Engineering Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, China)

Abstract: To make the mandible substitutes remain ideal characters, a customized design of the mandible reconstruction based on the Boolean operation was proposed. The medical CT scan was used to obtain the original bone data to facilitate a prosthesis design. STL data format was adopted throughout the design process to avoid a format distortion due to data conversion and to ensure that the shape of the prosthesis and the original bone matched, which suggested it possible that the substitute spatial location was performed according to the free surface of human bone. This design scheme enable the mandible substitute to possess a specific shape, a correct relative position and a precise connection with a shape matching the original bone perfectly.

Keywords: Boolean operation; customization; bone substitute

由于人体骨骼形状的个体差异性较大, 因此在设计骨替代物时, 就要根据不同个体的实际情况进行设计, 即要进行定制化设计.

定制化人工骨替代物的一般设计方法是采用 CT 获取原始骨骼数据^[1], 根据 CT 断层图来提取轮

廓点云数据, 并应用相应软件(如 Surfacer, DigSurf 及 UniGraphics 等)对病人的点云数据进行重建^[2]. 通过对点云数据进行拟合重构曲面, 再进行实体化处理来获得假体数据模型, 最终将数据格式转换为快速成型机接口文件的 STL 格式^[3-7], 但此

方法却存在着一定的问题:①由于各个 CAD 软件接口并不是无缝对接的,所以在数据的多次转换中难免不出现数据丢失的情况;②在通过点云数据拟合成曲面再实体化的过程中,会出现一些误差,导致骨替代物曲面形状与原骨骼曲面形状不符,并且出现定位不准的问题;③容易出现不可修复的曲面缺陷。

本文采用医用 CT 获取原骨骼数据,应用西安交通大学先进制造技术研究所自主开发的专用设计软件 Image-Manager 直接将 CT 断层图转换成 STL 格式的三维实体,并控制断层的数量以控制 STL 文件的精度。通过一系列的布尔运算(并运算、差运算和交运算)和剪裁等操作设计出骨替代物,基本应用原有数据进行设计,所以可以保证假体数据的原始性。对 STL 文件进行各种运算,虽然也会出现一些缺陷,但可以修复,这种 STL 文件格式的修复可以保证假体的精度。

由于 STL 文件是公认的快速成型接口文件,所以可以把设计好的假体数据直接发送到快速成型机上,加工出快速原型,并利用精密铸钛技术进一步翻制出钛合金骨替代物的功能件^[8]。

1 模型重建的一般方法

在建模中,布尔运算的方法具有其他方法不可替代的优点。下面以破损 U 形实体的重建为例(见图 1),介绍布尔运算在模型重建中的应用。

如图 1a 所示,破损的断面成不规则状,通过镜像的方法,来获取左侧缺损的数据。图 1b 是以坐标平面为对称平面,经过镜像得到带有缺陷的 U 形实体 B,将图 1a、1b 中的实体 A、B 对应位置重叠得到如图 1c 所示的实体。应用布尔运算的差运算,以实体 B 减去实体 A 就得到如图 1f 所示的实体 C,再将实体 A 和实体 C 重叠就得到图 1e 所示的 U 形实体,可见图 1a 中的断面与图 1f 中的断面完全重合。图 1e 中实体 A、C 的组合经布尔运算得到图 1d 中的实体 D,因此实现了 U 形实体的数据重建。在实际生产中,实体 A 与实体 C 存在着连接问题,所以由实体 D 向外生长出连接板 E,如图 1g 所示,将 C 与 E 在对应位置上组合(见图 1h),再经布尔运算就得到了带连接板的修复体 F,如图 1i 所示。

2 定制化下颌骨替代物的设计

2.1 数据的获取和提取

定制化下颌骨替代物要求与患者的骨骼外形相

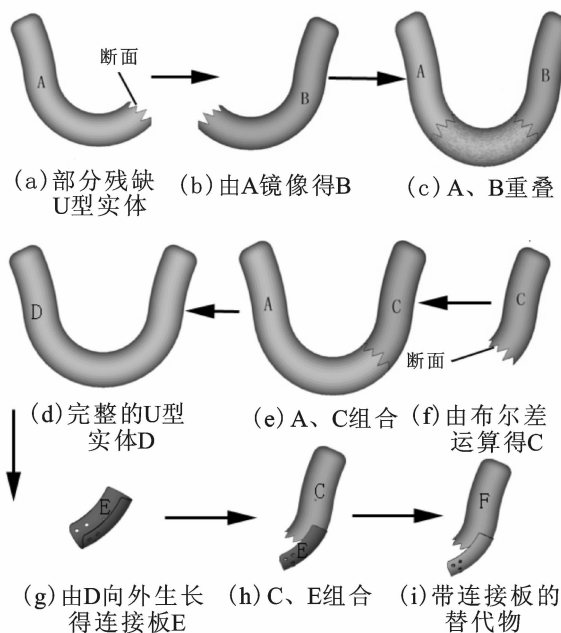


图 1 运用布尔运算的一般模型重建过程

匹配,这里采用反求工程的方法,借助医学 CT 获取患者病患处的骨骼数据,应用西安交通大学先进制造技术研究所自主开发的专用设计软件 Image-Manager 进行 CT 骨骼数据的处理,提取骨组织数据,再将每层骨组织数据转换成 STL 格式的三维实体数据图形,为快速原型提供相匹配的数据类型。

2.2 数据重建

病人的下颌骨由于骨瘤原因而缺损,通过医用 CT 扫描的办法只能得到残缺的下颌骨数据,所以要采用一定的方法重建残缺的数据。人体左右的骨骼基本都是对称的,所以可以利用这个天然的特点来重建缺陷,并可通过镜像的办法,获得重建数据。本文是在 STL 文件的基础上通过镜像的办法,应用布尔运算来完成数据的修复,具体设计过程如下。

(1)通过镜像处理可将健康一侧的数据完全对称地复制到残缺一侧,应用患者自身数据进行重建,不必引入外部数据,因此避免了引入外部数据时带来的不确定性,使复杂自由曲面的建构成为可能。

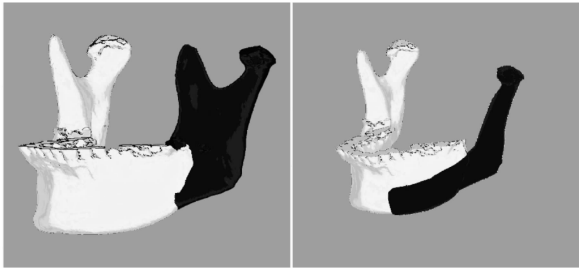
(2)骨骼对人体来说是非常珍贵的,尤其是病变处的健康骨骼,所以临床要求尽可能地保全健康骨骼。一般情况下,病患处的骨骼断面轮廓都是非常不规则的,曲面也相当复杂,这就为按照骨骼断面设计与之贴合的曲面提出了更高的要求。如果采用一般 CAD 三维建模的方法来实现与骨骼紧密贴合的曲面,则要建立一系列的基面,然而基面的建立要求有明确可行的基准。由于人体骨骼表面是自由曲面,基

准的确定十分困难,骨骼断面的复杂性不仅使直接曲面造型工作量较大,而且曲面的贴合性也较差,有时难以满足要求,因此本文采用布尔运算的方法来进行处理.

(3)布尔运算的方法具有独到的特点,不需要直接去建构曲面,而是采用图形之间的运算来完成曲面的建构,即通过标准特征体与基本体进行并、交、差运算^[9].应用布尔运算中的减运算,以镜像后的下颌骨数据减去原有下颌骨的数据,如图 2 中以黑色的部分减去白色的部分,将白色部分完全减去,而减去部分的曲面轮廓就完全映射到了被减部分上,同时改变曲面的法线方向,从而得到能与原下颌骨断面曲面完全贴合的曲面轮廓(见图 3).



图 2 原下颌骨和镜像后的下颌骨



(a)不带连接板的假体数据 (b)带连接板的假体数据

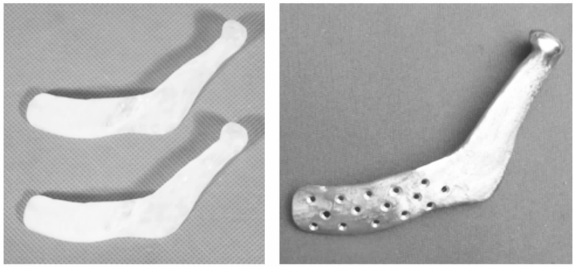
图 3 重建后的下颌骨数据

2.3 定位及连接

人工骨替代物与骨断面接触、连接和固定,通常以延伸板与骨外表面贴合的方法来实现定位,并通过固定延伸板上的螺钉使骨替代物与下颌骨相互可靠地固定在一起.

下颌骨表面是自由曲面,表面凸凹的特征可以用来进行定位,定位的关键是如何使连接板的内表面与下颌骨的外表面完全贴合^[10].本文设计利用自主开发的 RP-data 的特有功能,以下颌骨为基体其外表面为基面,向外生长出连接板,连接板的内表面与基体的外表面完全重合,就可以保证定制化的人工骨替代物的连接板与下颌骨外表面贴合紧密.应

用布尔运算使连接板与重建数据合并成一个整体,采用上述的方法进行定位连接,既可以保证有效地连接定位,同时不会影响病人的面部轮廓.图 4a 是带有连接板的快速原型,图 4b 是连接板上打有固定螺孔的钛合金功能件.

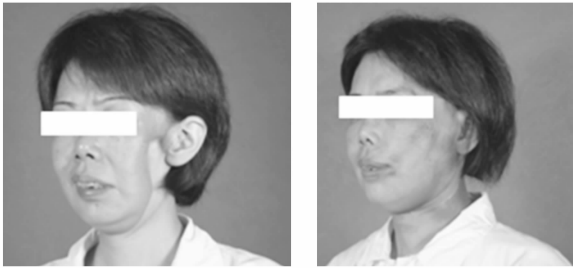


(a)快速原型 (b)钛合金假体

图 4 骨替代物

3 临床应用及结果

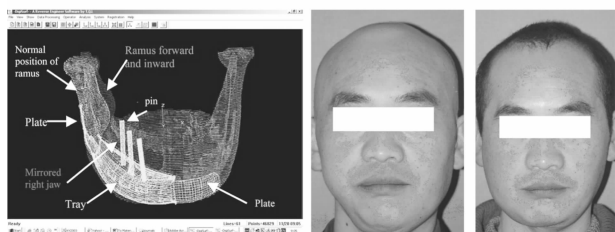
如图 5 所示,患者简称 YH,女性,由左侧下颌骨肿瘤引起骨缺损,入院接受定制化骨替代物植入治疗.由于本病例的骨瘤未累及下颌牙,就不需要再切骨,因此经过定制化设计、快速成型及快速铸造,完成了定制化下颌骨替代物成形,为患者植入了定制化人工下颌骨.手术中定制化下颌骨与病人骨骼贴合紧密,并且连接定位良好,术后患者恢复良好,肿瘤无复发,而且患者面部丰满、对称、美观.



(a)术前侧面 (b)术后侧面

图 5 基于布尔运算的定制化下颌骨重建

如图 6 所示,患者简称 CWK,男性,右侧局部下颌骨缺损,关节突及下颌骨升支完好,但下颌骨升支位置发生偏移.经一般定制化的下颌骨重建,下颌骨功能基本恢复,术前术后对比其面部轮廓明显改善.本病例是采用点云数据拟合的方法进行假体设计的,由于点云数据拟合存在着误差,因此患者左右面部轮廓的对称性较差,如图 6c 所示.



(a)点云处理和曲面重建^[4] (b)术前正面 (c)术后正面

图6 一般定制化的下颌骨重建

4 讨论

本文将基于布尔运算的设计方法与 RP 技术相结合,在人工个性化植入体的设计中,本文方法与传统的个性化设计方法相比,其优势如下。

(1)始终采用原始数据进行设计,从而保证了设计的骨替代物具有数据原始性,同时保证了与原骨骼形状的匹配性。

(2)由于布尔运算采用并、差和交的算法,所以可以保证设计的下颌骨能够满足精度的要求。

(3)STL 文件格式贯穿设计的始末,因此避免了格式转换带来的误差。

(4)设计过程简单且易于实现。

目前,个性化骨替代物主要以钛合金铸造成型的办法加工假体功能件,由于钛合金的弹性模量比较高,铸造容易引入杂质而改变其性能,因此存在着应力屏蔽的问题。有人尝试在铸造钛合金假体上采用开槽的办法来提高假体弹性,但很容易产生应力集中的问题。由于轧制钛合金丝的弹性优于铸造钛合金,因此结合快速成型技术,采用编织钛合金丝的办法有望解决应力屏蔽的问题。

参考文献:

- [1] 龚振宇,刘彦普,何黎升,等. 用螺旋 CT 资料建立颅面三维模型 [J]. 口腔医学研究, 2003, 19(1): 4-6.
GONG Zhenyu, LIU Yanpu, HE Lisheng, et al. Establishment of 3-dimensional model of skull using SCT datum [J]. Journal of Comprehensive Stomatology, 2003, 19(1): 4-6.
- [2] 刘亚雄,李涤尘,卢秉恒,等. 快速原型在口腔颌面修复中的应用(1):下颌骨替代物的原位设计 [J]. 实用口腔医学, 2002, 18(5): 395-397.
LIU Yaxiong, LI Dichen, LU Bingheng, et al. The ap-

plication of rapid prototyping in oral and maxillofacial prosthesis (1); the revertible [J]. Journal of Practical Stomatology, 2002, 18(5): 395-397.

- [3] SINGARE Sekou, LIU Yaxiong. Fabrication of customised maxillo-facial prosthesis using computer-aided design and rapid prototyping techniques [J]. Rapid Prototyping Journal, 2006, 12(4): 206-213.
- [4] SINGARE Sekou, LI Dichen, LU Bingheng. Customized design and manufacturing of chin implant based on rapid prototyping [J]. Rapid Prototyping Journal, 2005, 11(2): 113-118.
- [5] SINGARE Sekou, LI Dichen, LU Bingheng, et al. Design and fabrication of custom mandible titanium tray based on rapid prototyping [J]. Medical Engineering and Physics, 2004(26): 671-676.
- [6] 刘亚雄,王钰,卢秉恒,等. 一种具有微观仿生结构的定制化下颌骨植入体 [J]. 中国生物医学工程学报, 2004, 23(1): 21-24.
LIU Yaxiong, WANG Yu, LU Bingheng, et al. A new customized mandible implant with bionic micro-structure [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2004, 23(1): 21-24.
- [7] 刘亚雄,李涤尘,卢秉恒. 基于快速原型的个体匹配骨骼造型方法 [J]. 西安交通大学学报, 2002, 36(3): 265-269.
LIU Yaxiong, LI Dichen, LU Bingheng. Modeling and molding methods of individualized bones based on rapid prototyping [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2002, 36(3): 265-269.
- [8] 罗宁,吕志刚,崔旭龙,等. 快速成形及快速铸造技术 [J]. 铸造技术, 2003, 24(2): 118-119.
LUO Ning, LU Zhigang, CUI Xulong, et al. Rapid prototyping and rapid casting process [J]. Foundry Technology, 2003, 24(2): 118-119.
- [9] ZHU Chungeng. Application of Boolean operations in industry product molding [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(11): 204-205.
- [10] 刘亚雄,李涤尘,卢秉恒,等. 定制化骨替代物的空间定位 [J]. 机械工程学报, 2002, 38(12): 84-88.
LIU Yaxiong, LI Dichen, LU Bingheng, et al. Study on the space positioning method of custom bone substitutes [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38(12): 84-88.

(编辑 管咏梅)