

• 临床研究 •

逆向工程技术在乳房整形中的应用研究

张海林 王阳 白明 曾昂 李仁举 乔群

【摘要】 目的 探讨逆向工程技术在乳房整形再造中的临床应用价值。方法 应用逆向工程技术对 56 例乳房整形患者进行了三维数字化模型重建、计算机辅助测量分析、仿真手术模拟和快速原型技术制作乳房实体模型,再根据三维模型提供的直接信息,制定合理有效的治疗措施。结果 应用逆向工程技术实现了计算机辅助的乳房整形手术模拟,制定量化、个性化的手术方案。术后乳房整形美容效果:50 例为优,6 例为良。结论 逆向工程技术为乳房整形和再造提供了一种新的技术手段和具体指导。

【关键词】 乳房整形;计算机辅助外科;逆向工程;三维重建

【中图法分类号】 R655.8

【文献标识码】 A

Research on the application of reverse engineering technology in breast plastic surgery

ZHANG Hai-lin, WANG Yang, BAI Ming, ZENG Ang, LI Ren-ju, QIAO Qun. Department of Plastic Surgery, Peking Union Medical College Hospital, Peking Union Medical College, Beijing 100032, China.

Corresponding author: QIAO Qun, E-mail: qiaoqun925@hotmail.com

【Abstract】 **Objective** To explore the clinical application value of reverse engineering technique in cosmetic breast reconstruction. **Methods** Based on the reverse engineering theory, a 3-D digital breast model reconstruction, computer assisted measure, simulation operation and rapid prototyping were performed for 56 cases of breast plasty to make breast model factures. According to the direct data from the 3-d models reasonable and valid diagnostic measures were worked out. **Results** By using the reverse engineering technique the computer assisted breast plasty simulation and quantification and individuation operation planning were realized. The postoperative cosmetic outcome of breast plasty was excellent in 50 cases and good in 6. **Conclusions** The reverse engineering technique provides a new technique and instruction for breast plasty.

【Key words】 breast plastic surgery; computer-aided surgery; reverse engineering; three-dimensional reconstruction

乳房整形术的目的是针对各种原因造成的乳房形态欠佳或缺失,重塑完美乳房,消除形体、心理缺憾和增强自信心。乳房整形手术可分为隆乳术、乳房缩小整形术、乳房重建等。传统的整形外科模式是凭借医师的主观经验进行诊断分析和手术设计,缺乏客观的判断指标和有效的辅助手段,极大地影响

基金项目:高等学校博士点基金资助项目(20050023005)

作者单位:100032 北京,北京协和医学院北京协和医院整形外科(张海林、王阳、白明、曾昂、乔群);100871 北京,北京大学信息科学技术学院智能科学系三维视觉计算与机器人实验室(李仁举)

通信作者:乔群, E-mail: qiaoqun925@hotmail.com

到手术效果和手术的安全性。应用逆向工程技术实现乳房的三维可视化,然后进行精确地测量分析、手术仿真模拟,可以帮助医师更好地制定个体化手术方案、并可以客观分析手术后的效果^[1]。2006 年 1 月以来,笔者将逆向工程技术应用于 56 例乳房整形的患者,指导手术方案的设计,获得良好的效果,现报告如下。

1 资料和方法

1.1 一般资料

本组 56 例乳房整形患者于 2006 年 1 月至 2010 年 6 月在本科就診治疗,年龄 18 ~ 54 岁,平均年龄 32.9 岁。其中,乳房缺失(缺如)者 22 例,乳房发育不良者 17 例,乳房肥大者 10 例,乳房不对称者 7 例。

1.2 乳房三维数字化曲面模型的构建和精度验证

应用天远人体三维扫描系统多视点采集乳房三维点云数据(每次采集数据时要求患者吸气后屏住气,并保持相同的身体姿态)。将点云数据预处理后导入 Geomagic Studio 8.0 逆向工程软件,通过采集三维图像重合区域的标志点拼接拟合,将该组数据进行配准到同一坐标系;将配准后的点云数据进一步过滤噪声、删除坏点后,融合构建成为三角面片组成的曲面;再将构成曲面进行补洞、平滑、细分、曲面拟合、曲面光顺等处理,构成完整的乳房数字化曲面模型。

将本方法应用于临床前,首先验证其准确性。笔者对 20 位正常女性志愿者进行了乳房三维数据的采集和曲面重建,应用游标卡尺(哈尔滨量具刃具集团有限责任公司,精度:0.02 mm)手工测量和使用 Geomagic 软件在三维曲面模型上测量志愿者的胸乳距(胸骨上凹到乳头的直线距离)、锁乳距(锁骨中点到乳头的直线距离)、乳房基底径(乳房内、外侧界限之间的直线距离)、乳房高度(乳房上界到乳房下皱襞的直线距离),以便验证本方法的测量精度。

1.3 计算机辅助模拟设计手术效果

根据不同的病例特点选择人工交互曲面变形方法或镜像模拟法设计手术效果。对于双侧乳房对称如乳房发育不良和乳房肥大的患者,通过 Geomagic Studio 8.0 逆向工程软件的曲面变形工具,根据患者的意愿和医师的临床经验灵活地模拟出医师和患者均感满意的手术效果。对于乳房缺损(缺如)患者,采用镜像模拟法进行手术模拟,首先确定出患者胸部的正中矢状面,通过镜像

翻转的方法将患者的健侧乳房翻转至患侧,模拟手术后效果。

1.4 精确量化整形设计数据

将患者术前的乳房数字化曲面模型和模拟的手术后曲面模型一并导入 Geomagic Qualify 7.0 软件,将两者配准至同一坐标系下,然后进行三维比较,以不同的颜色表述需要手术修复区域的差异信息,并在手术区域各点得到需要修复的量化指标如修复区域大小、外形、不同位置需修复处理的厚度等,并可以 Excel 或 html 格式的文件将量化数据导出,为手术提供参考。

对乳房发育不良患者,可以根据所分析出的乳房的基底径、高度和需要增加的凸度等参数选择假体。对乳房肥大患者,可以根据所要缩减的乳房体积指导手术中切除腺体的组织量和腺体切除后乳房塑形。对乳房缺损(缺如)患者,则可以根据分析数据确定皮瓣大小、乳房位置和姿态、需要植入假体时选择假体的参数等(图 1)

1.5 快速原型技术制作乳房实体模型和个性化植入体

对于乳房缺损(缺如)进行乳房重建的患者,将镜像翻转的乳房三维数字化模型转换为 STL 格式,并将其输入 AFS-450 激光快速成型机,利用液态光敏树脂的光聚合性能,用计算机控制的激光束将树脂逐层固化,最后叠加成一个乳房三维实体模型,可以直观的指导手术设计和手术中的操作。

对于部分严重的 Poland 综合征患者(胸壁畸形严重),采集患者胸部的三维数据,参照健侧胸壁的情况,设计与之对称的个性化植入体的三维数字模型,然后制备实体的个性化植入体模具和所需的硅橡胶假体(图 2)。将假体植入胸肌后,固定于胸壁,同时行背阔肌肌皮瓣转移+硅凝胶假体植入乳房重建术。

1.6 术后效果评价标准

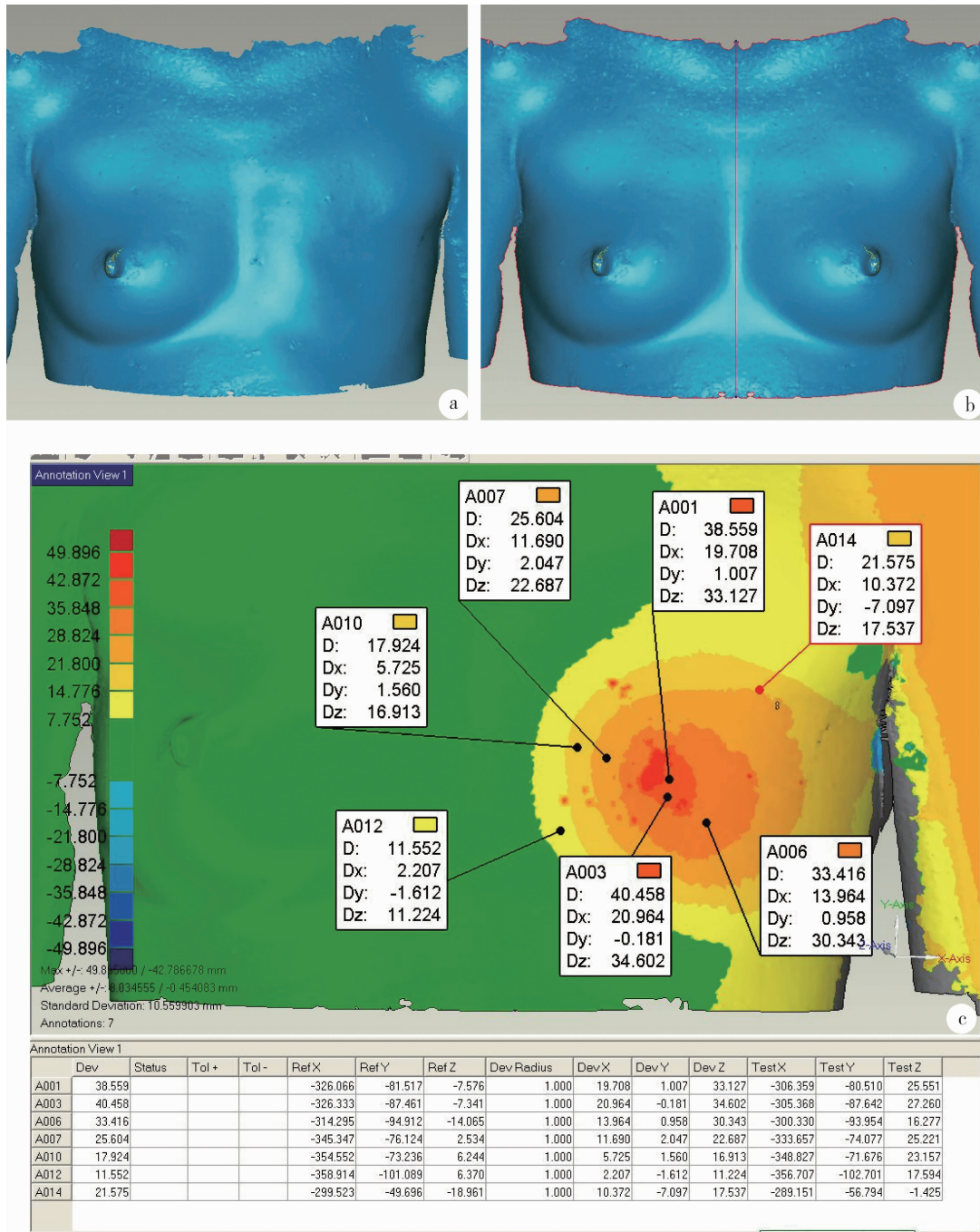
于术后 6 个月评价乳房美容效果。参照相关文献^[2-3],并结合笔者的临床经验制定标准如下:优 双侧乳房对称,乳房丰满、坚挺、无下垂,乳房的大小与身高和三围比例协调,手感与对侧无差别,皮肤正常;良 双乳基本对称,双乳头水平差距 ≤ 3 cm,外形基本正常或略小于对侧,手感略差;差 双乳明显不对称,乳房有明显的瘢痕,手感差。

此外,患者术前均应用计算机辅助模拟手术后效果,并且术前医患双方已就期望达到的手术目标达成共识,因此手术能否实现预期效果也是术后效果评价的一项重要指标。

1.7 统计学处理

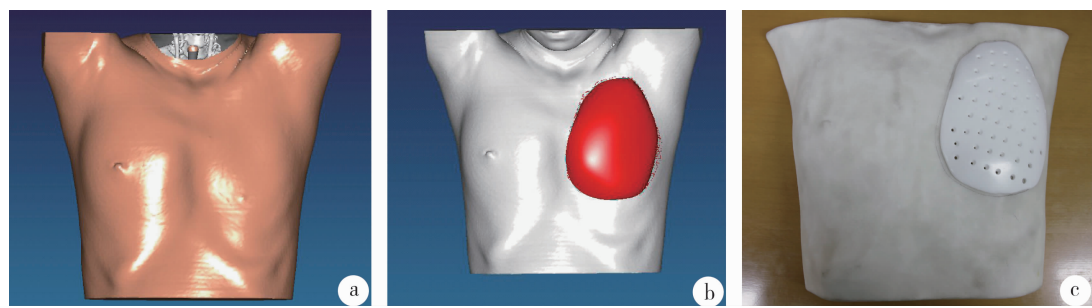
应用 SPSS13.0 统计软件进行统计学分析,各组测量数据均方差整齐且呈

成正态分布,因此选用配对 t 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。



该患者为左侧乳房缺损。a:患者的乳房三维数字模型;b:以人体正中矢状面进行镜像翻转得到的手术模拟效果;c:应用 Geomagic Qualify 7.0 软件进行数据分析,图中的颜色信息表示了术前模拟效果和术前乳房三维数字模型之间的差异度(图左侧的色带为差异度的标准颜色信息)。应用软件的测量工具进行测量,可得到两者的差值。D 代表两个三维数字模型该对应点之间的距离,Dx、Dy、Dz 分别代表该对应点在 x、y、z 轴上的距离(各数据的单位为 mm)。该患者乳头位置的高度差异为 40.5 mm,乳房的基底径测量为 115 mm,因此参照测量数据选择麦格 MLP230 g 乳房硅胶假体。

图 1 逆向工程技术在乳房重建参数选择中的应用



该例为 Poland 综合征患者,胸壁畸形严重。a:患者胸部三维数字模型;b:应用计算机设计的个性化植入体数字模型;c:快速原型技术制备的胸壁三维实体模型和个性化植入体。

图 2 三维实体模型和个性化植入体的应用

2 结果

2.1 乳房的立体可视化

本系统能够迅速得到患者乳房部的三维点云数据,并通过逆向工程软件比较简单地得到乳房的三维曲面数字模型,模型表面平滑,无噪声点,形象逼真,简单快捷地实现了乳房部的立体可视化。形成的三维图像可以在计算机屏幕上任意旋转,从各个角度上进行观察。

2.2 测量精度的验证结果

应用游标卡尺手工测量和使用 Geomagic 软件在三维曲面模型上测量 20 名志愿者的胸乳距、锁乳距、乳房基底径及乳房高度,平均精度误差约 0.2 mm。Geomagic 软件的测量结果与手工测量相比,差异无统计学意义($P>0.05$,表 1)。

表 1 手工测量和机测结果比较 mm

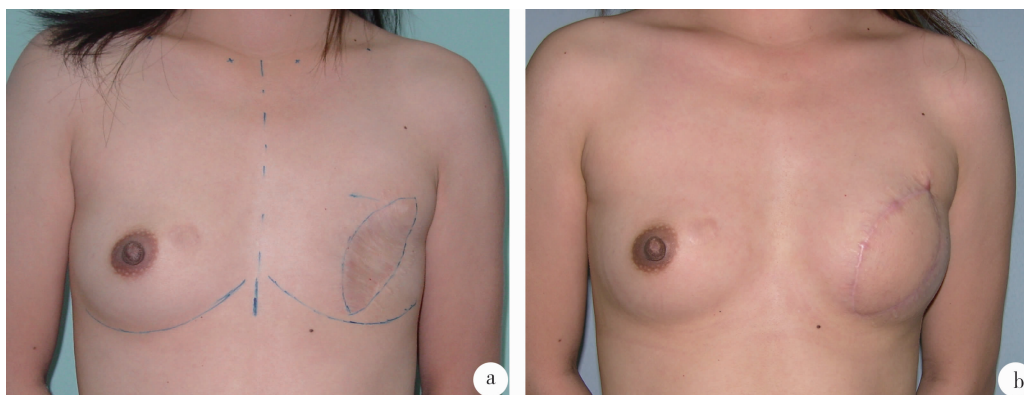
测量方法	胸乳距	锁乳距	乳房基底径	乳房高度
机测($n=20$)	180.28 ± 6.01	180.27 ± 6.16	120.01 ± 12.89	115.16 ± 10.64
手测($n=20$)	180.15 ± 0.58	180.10 ± 6.29	120.05 ± 13.20	115.00 ± 10.60
t 值	0.59	0.78	-0.18	0.78
P 值	0.56	0.44	0.86	0.44

机测:用计算机软件测量;手测:用游标卡尺手工测量

2.3 治疗结果

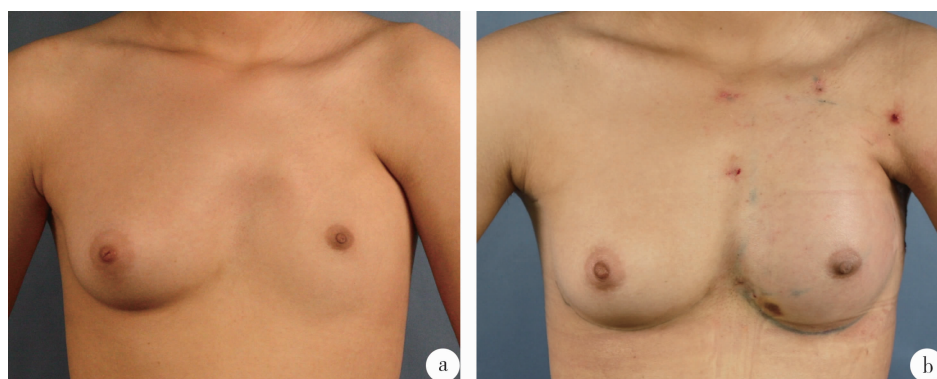
本组中乳房发育不良、乳房不对称及乳房肥大的患者,术后随访 6 个月效果均达到优。乳房缺损(缺如)的患者中:16 例采用背阔肌肌皮瓣转移+乳房假体植入,术后效果也达到优(图 3、4);6 例年龄较大的患者,对侧乳房下垂,再造乳房较对侧体积略大,位置稍高,于乳房再造术后 6 个月行二期手术整形,其中 2 例还同时施行对侧乳房缩小上提术,效果均达到良。本组患者均实现了手术前计算机模拟的手术预期效果(图 5),乳房的形态、位置、大小以及

双侧乳房的对称性均较满意。



a: 术前正位照; b: 术后 6 个月正位照

图 3 乳房缺如患者手术前后比较



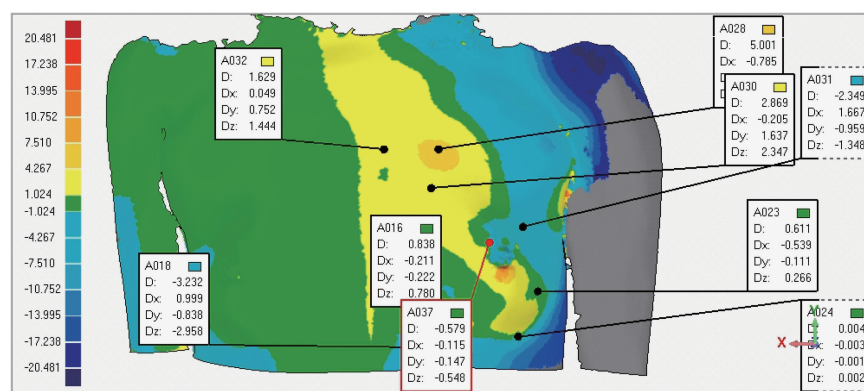
a: 术前正位照; b: 术后 2 周正位照

图 4 Poland 综合征患者手术前后比较

3 讨论

3.1 逆向工程和快速原型技术

逆向工程(reverse engineering, RE)就是将实物变为计算机辅助设计模型相关的数字化技术、几何模型重建技术和产品制造技术的总称,是将已有产品或实物模型转化为工程设计模型和概念模型,并在此基础上对已有产品进行解剖、深化和再创造的过程^[1]。逆向工程技术在工业、军事、航空等方面已经比较成熟^[4-5]。本研究将这一先进技术应用于整形外科领域,以提高整形外科的诊疗水平。通过逆向工程技术实现人体的三维数字化,医师可以在三维数字模型上提取有用数据,为手术的实施提供定量依据;在数字模型上进行适当



应用 Geomagic Qualify 7.0 软件进行术后效果的评价,颜色信息表示术前模拟效果和手术后三维数字模型之间的差异度。通过软件测量工具分析,得到精确的差值,D 代表两个三维数字模型该对应点之间的距离,Dx、Dy、Dz 分别代表该对应点在 x、y、z 轴上的距离(各数据的单位为 mm)。结果显示两者大部分吻合,最大差值仅为 5 mm,说明手术达到了预期的效果。

图 5 手术后效果和手术模拟效果三维比对

的变形,模拟出整形手术后的效果,经医师和受术者取得共识后,输出手术数据,指导手术进行以期获得满意结果^[6]。

快速原型技术(rapid prototyping, RP)就是将计算机辅助设计产生的数字模型,通过层层堆砌的方式制造出来。快速原型制造技术可以制作出任意复杂形状或是细微结构的物体,完全摆脱切削加工的限制,克服手工模型易失真的限制,并节省大量的时间和成本^[7]。通过 RP 技术制备乳房的三维实体模型和个性化植入体更加快速和准确,对于指导手术和矫正畸形是一种全新的尝试。

3.2 乳房三维形貌表述和测量的要求和特点

乳房三维形貌的表述和测量是进行乳房外形分析研究、诊断和制定手术方案的基础^[8-11]。但是,乳房本身的特点对乳房形貌的表述和测量提出了特定的要求:(1)乳房的美学形态是由其三维姿态决定的,二维图像缺乏对乳房深度信息的表述,因而不能满足整形外科中对乳房形貌表述的要求。(2)乳房由软组织构成,触压时极易变形,且乳房受到刺激时乳房的体积会有较大的变化,因此传统的人体测量方法和接触式测量方法会影响到乳房三维形貌测量的准确性^[12]。(3)乳房位于胸部,测量时会受到呼吸运动的影响,因此要求表述其形貌和测量时要求操作简单、快捷。(4)乳房边界的界定一直是乳房测量中的难点之一,其边界甚至肉眼都无法分辨。曾经有学者提出通过等高线的方式来界定乳房的边界^[13-14],但是此方法受到患者体位的影响,实际操

作也比较困难。本研究中,笔者先在乳房上找到乳腺的边界并将其标记,得到三维点云图像后,通过人机交互的方式,参考乳房边界的标志点进行测量。(5)由于乳房整形美容主要关注的是乳房的外部形态,因此乳房表面的三维重建即可以满足临床实际需要。(6)在进行同一个体乳房对称性和不同个体乳房外形的研究时,需要采取相同的体位和测量方法,以减少对乳房测量结果的影响。

3.3 乳房三维实体模型的应用

理想的乳房重建应该达到以下标准:再造乳房与健侧乳房大小基本相等,位置对称,手感自然,着装后双乳无明显差别。但是,由于再造乳房的组织结构与正常乳房的组织结构不同,质地和松垂度也存在差异,患者在站立位和卧位时乳房形态变化较大,因此,乳房重建时主要考虑患者在站立位时双侧乳房能够保持形态和位置的对称。而在乳房重建手术过程中对乳房塑形时,患者一般取仰卧位,健侧乳房形态与站立位时差别较大,这时参照健侧乳房进行塑形常常会出现再造乳房体积较小、位置偏高。通过传统的藻酸盐印模法和 CT 三维重建虽可得到乳房的实体模型,但是,这些方法获取的是患者在仰卧位的乳房模型,与患者站立位时的乳房形态差别较大,从而降低了模型应用的意义。

笔者在手术前通过获取患者站立位时健侧乳房的三维数字化模型,并通过镜像的方法最终得到与健侧乳房完全对称的实体模型,以帮助选择和设计皮瓣。乳房实体模型经高温高压消毒后可以直接在手术台上指导再造乳房的塑形,改善再造乳房的形态效果,提高患者的满意度。

Gatti^[15]首先报道采用特制的柔软固体硅橡胶假体修复胸壁畸形,术式简便,损伤小,术后外形、柔软度接近于健侧,主要问题是大块硅胶体植入,可能增加局部反应。以往的文献报道均采用石膏取模的方法来制作固体硅橡胶植入体,操作复杂,精确性差^[16]。笔者应用逆向工程的方法采集患者胸部的三维数据,通过计算机辅助设计与健侧完全对称的个性化的硅橡胶假体,获得良好的效果。对于较大的硅胶植入体,可以在上面密集打孔(孔径不超过 5 mm),以便于组织长入,可以有效减少腔隙内积液的发生。

因此,应用逆向工程技术实现了计算机辅助的乳房整形手术模拟,测量精度达到 0.2 mm 左右,完全可以满足临床需求。通过计算机辅助制定量化及个性化的手术方案,可以有效提高手术的精确度和安全性,对手术设计和实施具有指导作用。

参考文献

- [1] 李久权, 王平, 王永强, 等. 逆向工程及其在 CAD 软件中的实现[J]. 微计算机信息, 2006, 22(8): 141-143.
- [2] 宣立学, 张保宁. 保乳术在乳腺癌治疗中的应用. 中国实用外科杂志[J]. 2003, 23(10): 589-590.
- [3] Harris JR, Levene MB, Svensson G, et al. Analysis of cosmetic results following primary radiation therapy for stages I and II carcinoma of the breast[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1979, 5(2): 257-261.
- [4] Martin DR, Fowlkes CC, Malik J. Learning to detect natural image boundaries using local brightness, color, and texture cues [J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2004, 26(5): 530-549.
- [5] Hashemi J, Chandrashekar N, Cowden C, Slaughterbeck J. An alternative method of anthropometry of anterior cruciate ligament through 3-D digital image reconstruction [J]. J Biomech, 2005, 38(3): 551-555.
- [6] 张海林, 曾昂, 李仁举, 等. 基于逆向工程的颜面部畸形的修复重建研究[J]. 中华医学杂志, 2006, 86(36): 2577-2580.
- [7] 段彦静, 孙文磊. 逆向工程和快速成型技术及医学应用[J]. 医疗卫生设备, 2006, 27(10): 31-34.
- [8] Shakespeare V, Cole RP. Measuring patient-based outcomes in a plastic surgery service: breast reduction surgical patients [J]. Br J Plast Surg, 1997, 50(4): 242-248.
- [9] Galdino GM, Nahabedian M, Chiaramonte M, et al. Clinical applications of three-dimensional photography in breast surgery[J]. Plast Reconstr Surg, 2002, 110(1): 58-70.
- [10] Qiao Q, Zhou G, Ling Y. Breast volume measurement in young Chinese women and clinical applications[J]. Aesthetic Plast Surg, 1997, 21(5): 362-368.
- [11] Liu C, Luan J, Mu L, et al. The role of three-dimensional scanning technique in evaluation of breast asymmetry in breast augmentation: a 100-case study[J]. Plast Reconstr Surg, 2010, 126(6): 2125-2132.
- [12] Tebbetts JB. A system for breast implants election based on patient tissue characteristics and implants of tissue dynamics[J]. Plast Reconstr Surg, 2002, 109(4): 1396-1409.
- [13] Loughry CW, Sheffer DB, Price TE, et al. Breast volume measurement of 248 women using biostereometric analysis[J]. Plast Reconstr Surg, 1987, 80(4): 553-558.
- [14] Loughry CW, Sheffer DB, Price TE, et al. Breast volume measurement of 598 women using biostereometric analysis[J]. Ann Plast Surg, 1989, 22(5): 380-385.
- [15] Gatti JE. Poland's deformity reconstruction with a customized, extra soft silicone prosthesis[J]. Ann Plast Surg, 1997, 39(2): 122-126.
- [16] 章庆国, 万伟东, 冷永成. 柔软固体硅橡胶假体修复 Poland 综合征胸壁畸形[J]. 中华整形外科杂志, 2003, 19(3): 195-196.

(收稿日期: 2011-02-11)

(本文编辑: 罗承丽)

张海林, 王阳, 白明, 等. 逆向工程技术在乳房整形中的应用研究[J/CD]. 中华乳腺病杂志: 电子版, 2011, 5(2): 127-135.