

# 基于头皮层数据估计去骨瓣减压术后头皮表面积的方法

田谦益<sup>1,2</sup>,朱剑萍<sup>3</sup>,刘兆田<sup>1</sup>,李敬敬<sup>1</sup>,高 莲<sup>1</sup>,张金鹏<sup>3</sup>,施心陵<sup>1</sup>,赵宁辉<sup>3</sup>

1. 云南大学信息学院电子工程系,云南 昆明 650091;2. 闽南师范大学计算机学院,福建 漳州 363000;3. 昆明医科大学第二附属医院神经外科,云南 昆明 650118

**【摘要】目的:**根据CT扫描和头皮层数据,提出一种直接从头皮颅脑三维模型估计去骨瓣减压术后颅骨缺损区头皮表面积的方法。**方法:**利用Mimics软件将选定病例颅脑CT扫描原始图片导入并重建颅骨和头皮颅脑三维几何模型;然后直接在头皮颅脑三维模型上进行切割、分离,再利用简单的数学计算方法估计去骨瓣减压术后缺损区域相应的头皮表面积;最后将本文的估计结果与从颅骨三维模型的估计结果和头皮颅脑二次曲面系统辨识模型获得的理论值进行对比。**结果:**从颅骨及头皮颅脑三维几何模型估计结果均与系统辨识模型的计算结果一致,但头皮颅脑三维几何模型估计结果与系统辨识模型计算值的接近程度更高。**结论:**利用头皮颅脑三维模型直接估计去骨瓣减压术后颅骨缺损区域头皮表面积的方法便捷、高效,对后期在颅骨修补术中皮瓣评估的研究和转化应用更具有指导意义。

**【关键词】**CT扫描;头皮表面积;去骨瓣减压术;二次曲面;系统辨识

**【中图分类号】**R445;R311

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2015)06-0794-04

## Estimation method based on scalp data for the surface area of scalp after decompressive craniectomy

TIAN Qian-yi<sup>1,2</sup>, ZHU Jian-ping<sup>3</sup>, LIU Zhao-tian<sup>1</sup>, LI Jing-jing<sup>1</sup>, GAO Lian<sup>1</sup>, ZHANG Jin-peng<sup>3</sup>, SHI Xin-ling<sup>1</sup>, ZHAO Ning-hui<sup>3</sup>

1. Department of Electronic Engineering, School of Information, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. School of Computer Science, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, China; 3. Department of Neurosurgery, Second Affiliated Hospital, Kunming Medical University, Kunming 650118, China

**Abstract: Objective** To propose a method based on CT scan and scalp data for directly estimating the surface area of scalp after decompressive craniectomy in 3D geometric model of scalp-brain. **Methods** Mimics software was firstly applied to import the original CT image of specified patients and construct 3D geometric models of skull and scalp-brain. And the scalp-brain 3D geometric model was directly cut and split. After decompressive craniectomy, the surface of scalp in skull defect area was estimated by simple mathematical computing. The estimated result based on scalp-brain 3D geometric model, the estimated result based on skull 3D geometric model and the theoretical result obtained from the scalp-brain quadric surface system identification model were compared to verify the effectiveness of the proposed method. **Results** The estimated result based on skull 3D geometric model and the estimated result based on scalp-brain 3D geometric model were in accord with the theoretical result of system identification model. But the result based on scalp-brain 3D geometric model was closer to the theoretical result. **Conclusion** The method based on scalp-brain 3D geometric model for directly estimating the surface area of scalp in skull defect area after decompressive craniectomy is convenient and efficient, with guidance significance for the research of scalp evaluation and transformation application in the late skull neoplasty.

**Key words:** CT scan; surface area of scalp; decompressive craniectomy; quadric surface; system identification

**【收稿日期】**2015-07-20

**【基金项目】**国家自然科学基金(61261007);云南省自然科学基金(2013FB048)

**【作者简介】**田谦益,女,讲师,研究方向:人工智能与自适应信号处理。Tel:13306061047;E-mail: qytian@126.com。

**【通信作者】**赵宁辉,男,医学博士,副主任医师,硕士生导师,研究方向:胶质瘤临床基础与研究。E-mail: zhaoninghui@hotmail.com。

## 前言

近年来,去骨瓣减压术常用于缓解各种病因导致的颅内高压,它能引起去骨瓣区域皮瓣发生相应的生理及病理变化,直接表现为头皮表面积的改变,这种改变可能是颅骨修补术后并发症发生的潜在因素<sup>[1-3]</sup>。为此,本文提出一种从CT扫描颅骨及头皮层数据估计去骨瓣减压术后头皮表面积的方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 图像数据采集

标本来源于昆明医科大学第二附属医院1名颅脑左侧损伤住院患者。征得患者本人同意,在去骨瓣减压术后、三维钛网颅骨缺损修补术前通过GE Lightspeed 64排螺旋CT设备对患者进行颅脑扫描,扫描范围为听眦线至颅顶,扫描间隔5 mm,共242层。扫描获得512×512矩阵的CT图像,以Dicom3.0格式存储,以便后续处理<sup>[4]</sup>。

### 1.2 Mimics 中 CT 扫描数据的处理和几何模型建立

Mimics 软件<sup>[5-6]</sup>是医学采集数据3D图像生成和处理软件,在临床研究领域得到广泛应用。通过Mimics 软件将颅脑CT扫描数据转化成三维几何模型时,首先利用新工程向导(New Project Wizard),直接将Dicom3.0格式的CT断层图像导入Mimics软件。经定位图像(Change Orientation)、组织图片(Organize Images)、内插值处理、界定阈值(Thresholding)后,软件自动形成各层组织窗轮廓曲线,如图1所示。应用阈值选取技术,软件自动得出该头颅的阈值范围,接受这一阈值范围后,便得到了该头颅原始蒙罩。其次应用区域增长技术(Region Growing)选取欲重建的颅骨区域,得到仅包含颅骨的蒙罩。这一步主要有两个作用:一方面由于工作平台的密度与颅骨密度相近,所以也被包括在原始蒙罩里,需要再次蒙罩<sup>[7]</sup>;另一方面区域增长可以从选择的对象中分离去掉离散的体素,进而得到新蒙罩。随后分别选择颅骨及头皮层阈值,创建相应的头颅三维模型(Calculate 3D for Mask)。如果建立好的颅骨及头皮颅脑三维模型中存在突变或不连续情况的话,可使用Mimics 工具(Tools)下拉菜单里的包裹(Wrap)功能,对模型连续化处理,使得模型表面具有光滑特性。

### 1.3 缺损区头皮表面积的估计

根据建好的颅骨及头皮颅脑三维模型,提出一种从颅骨及头皮颅脑三维模型中估计缺损区头皮表面积的方法,其估计过程如下:(1)全屏显示头皮颅

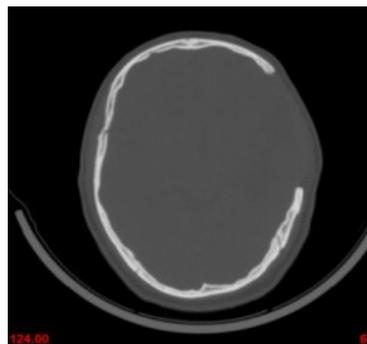


图1 选定病例CT扫描示意图

Fig. 1 CT scan diagram of selected case

脑三维几何模型,确定缺损区域位置;(2)调整三维模型的透明度,颅骨的透明度选为不透明(Opaque),头皮透明度选为高(High),便于清晰显现颅骨缺损区域的轮廓;(3)使用仿真模块(CMF/Simulation)中的多义线切割工具(Cut with Cutting Plane),沿颅骨缺损区域外沿对头皮颅骨模型进行画线切割,在切割的过程中可以对模型进行适当的放大或缩小,以便能更精确地对缺损区进行画线切割;(4)设置多义线的深度系数,一般人的头皮厚度因人而异,但一般不超过10 mm,因此可定义切割深度为10 mm左右;(5)切割完成后,使用仿真模块中的分离工具(Split)对已切割好的头皮颅脑模型进行分离,从而得到颅骨缺损区域的皮肤组织模型,双击该模型,就可以从模型的属性(3D Properties)中找到表面积选项;(6)采用数学方法对缺损部分表皮面积进行估计:

$$S_{\text{surface}} = \frac{S_{\text{all}} - S_{\text{side}}}{2} \quad (1)$$

式(1)中 $S_{\text{all}}$ 表示缺损部分整体表面积, $S_{\text{surface}}$ 表示缺损部分的目标表面积, $S_{\text{side}}$ 表示缺损部分的侧面积。由于头皮很薄,侧面积 $S_{\text{side}}$ 可忽略不计,则式(1)可重写为:

$$S_{\text{surface}} = \frac{S_{\text{all}}}{2} \quad (2)$$

在Mimics中的3D模型属性中可以读到 $S_{\text{all}}$ ,然后利用式(2)就可以算出目标表面积。

### 1.4 估计头皮表面积有效性验证

为验证基于颅骨三维几何模型估计的头皮表面积及本文所提出方法的有效性及其之间的差异,估计结果将与从头皮颅脑二次曲面系统辨识模型中获得的理论值进行对比。系统辨识的准则指标函数 $J$ 由式(3)给出:

$$J = \min \sum_{i=1}^n e^2 \quad (3)$$

式中 $e$ 即为实际颅脑表面的数据与拟合模型求得的数据之间的误差。当误差平方和最小时,这时候的模型就是与实际数据拟合最好的模型<sup>[8]</sup>。

考虑到头皮颅脑模型的非线性,一般可采用二次曲面来对其辨识<sup>[9]</sup>:

$$z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy + e \quad (4)$$

式(4)中 $\alpha_i(0, 1, \dots, 5)$ 为待辨识参数。利用Guass-Mar-kov线性回归模型确定待辨识参数 $\alpha_i$ <sup>[10]</sup>:

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & y_1^2 & x_1y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & y_2^2 & x_2y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_k & y_k & x_k^2 & y_k^2 & x_ky_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

式(5)中 $z_i(1 \leq i \leq k)$ 为输出值,  $x_i, y_i, x_i^2, y_i^2, x_iy_i$ 为测量值,  $e_i$ 为待定观测噪声。由线性代数知识可知, 当 $k < 6$ 时, 方程数目少于未知数个数, 不能确定未知数的解; 当 $k=6$ , 若噪声 $e_i=0$ , 有唯一解, 若 $e_i \neq 0$ , 则观测噪声会对参数估计带来影响; 为减小观测噪声对参数估计结果的影响, 要求方程个数 $k > 6$ , 并通过基于最小二乘数量统计方法对(2)式进行求解, 获得参数估计结果, 具体过程如图2所示。

获得待辨识参数估计值后, 头皮颅脑二次曲面系统辨识模型缺损区域的头皮表面积通过非线性积分方法获得, 具体实现过程在Matlab中编程实现。

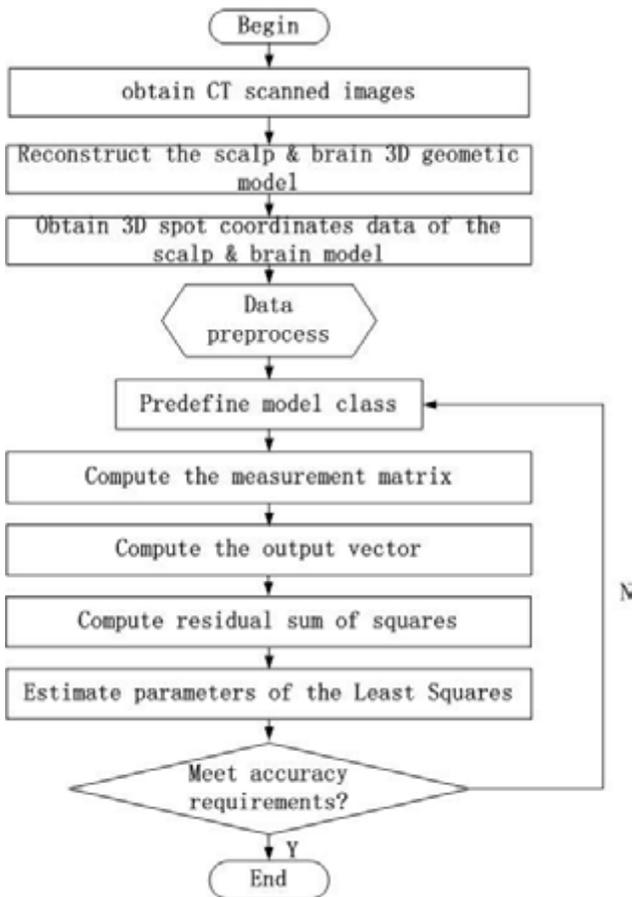
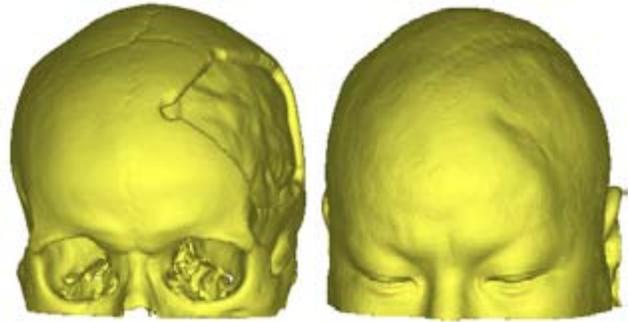


图2 头皮颅脑二次曲面系统辨识过程

Fig.2 Scalp-brain quadric surface system identification process

## 2 结果

图3给出了使用Mimics软件建立的选定去骨瓣住院患者颅骨及头皮颅脑三维模型。尽管与头皮颅脑三维几何模型(图3b)相比, 颅骨三维模型(图3a)无外层头皮包裹, 但其表面仍在一定程度上反映了去骨瓣减压术后头皮表面的变化情况。



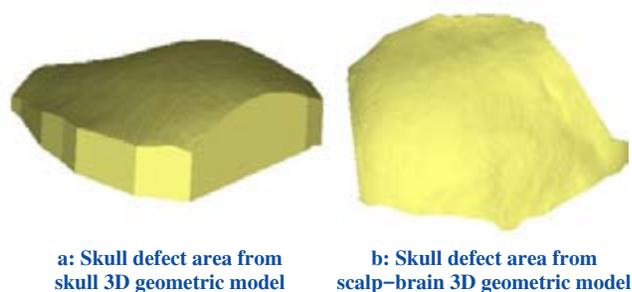
a: Skull 3D geometric model b: Scalp-brain 3D geometric model

图3 选定病例的三维模型

Fig.3 3D geometic models of selected case

获得选定去骨瓣减压术后住院患者的颅骨(图3a)及头皮颅脑(图3b)三维模型后, 使用本文所提出的缺损区头皮表面积估计方法即可获得头皮表面积模型估计值。图4显示了从颅骨及头皮颅脑三维模型中分离出的颅骨缺损区域结构示意图。为获得估计的头皮表面积, 分别使用Mimics软件计算得到颅骨及头皮颅脑三维模型中分离出的颅骨缺损区域结构的总面积, 分别是 $18\ 241.74\ \text{mm}^2$ 和 $16\ 234.96\ \text{mm}^2$ 。从图4a可以看到头骨颅脑三维模型分离出的颅骨缺损区域侧面积相对较大, 为 $2448.73\ \text{mm}^2$ ; 在计算其上侧头皮近似表面积时, 必须将此部分减去, 以降低估计误差; 且通过Mimics获得的下侧规整切割面的表面积为 $7737.5\ \text{mm}^2$ 。综合考虑总体、侧面和底面面积后, 从颅骨三维模型获得的头骨缺损区域头皮表面积为 $8055.51\ \text{mm}^2$ 。从图4b中可见, 头皮颅脑三维模型缺损区域的侧面较薄, 且上下具有较好的对称性, 故其头皮表面积可近似认为是缺损区域结构的总面积的一半, 为 $8117.48\ \text{mm}^2$ 。从颅骨及头皮颅脑三维模型估计头皮表面积可知, 头皮颅脑三维模型估计的缺损区域头皮表面积比头骨颅脑三维模型的估计值大 $61.97\ \text{mm}^2$ 。由于头皮颅脑三维模型是基于CT扫描头皮数据建立, 综合考虑了头皮分布特征, 而颅骨三维模型忽略了此特征, 使得其估计缺损区域头皮表面积低于头皮颅脑三维模型估计结果。

从选定病例的CT图像中选定710个随机分布



a: Skull defect area from skull 3D geometric model

b: Skull defect area from scalp-brain 3D geometric model

图4 从三维模型中分离出的颅骨缺损区域结构示意图

Fig.4 Skull defect areas split from different 3D geometric models

点的坐标数据作为二次曲面系统辨识方法的输入信号, 获得其二次曲面辨识参数:  $\alpha_0=18.57$ 、 $\alpha_1=-0.889$ 、 $\alpha_2=-0.912$ 、 $\alpha_3=-0.010$ 、 $\alpha_4=-0.011$ 、 $\alpha_5=-0.003$ 、 $\alpha_6=0.003$ 、 $\alpha_7=0.003$ 、 $\alpha_8=0.003$ 、 $\alpha_9=0.003$ 、 $\alpha_{10}=0.003$ 、 $\alpha_{11}=0.003$ 、 $\alpha_{12}=0.003$ 、 $\alpha_{13}=0.003$ 、 $\alpha_{14}=0.003$ 、 $\alpha_{15}=0.003$ 、 $\alpha_{16}=0.003$ 、 $\alpha_{17}=0.003$ 、 $\alpha_{18}=0.003$ 、 $\alpha_{19}=0.003$ 、 $\alpha_{20}=0.003$ 、 $\alpha_{21}=0.003$ 、 $\alpha_{22}=0.003$ 、 $\alpha_{23}=0.003$ 、 $\alpha_{24}=0.003$ 、 $\alpha_{25}=0.003$ 、 $\alpha_{26}=0.003$ 、 $\alpha_{27}=0.003$ 、 $\alpha_{28}=0.003$ 、 $\alpha_{29}=0.003$ 、 $\alpha_{30}=0.003$ 、 $\alpha_{31}=0.003$ 、 $\alpha_{32}=0.003$ 、 $\alpha_{33}=0.003$ 、 $\alpha_{34}=0.003$ 、 $\alpha_{35}=0.003$ 、 $\alpha_{36}=0.003$ 、 $\alpha_{37}=0.003$ 、 $\alpha_{38}=0.003$ 、 $\alpha_{39}=0.003$ 、 $\alpha_{40}=0.003$ 、 $\alpha_{41}=0.003$ 、 $\alpha_{42}=0.003$ 、 $\alpha_{43}=0.003$ 、 $\alpha_{44}=0.003$ 、 $\alpha_{45}=0.003$ 、 $\alpha_{46}=0.003$ 、 $\alpha_{47}=0.003$ 、 $\alpha_{48}=0.003$ 、 $\alpha_{49}=0.003$ 、 $\alpha_{50}=0.003$ 、 $\alpha_{51}=0.003$ 、 $\alpha_{52}=0.003$ 、 $\alpha_{53}=0.003$ 、 $\alpha_{54}=0.003$ 、 $\alpha_{55}=0.003$ 、 $\alpha_{56}=0.003$ 、 $\alpha_{57}=0.003$ 、 $\alpha_{58}=0.003$ 、 $\alpha_{59}=0.003$ 、 $\alpha_{60}=0.003$ 、 $\alpha_{61}=0.003$ 、 $\alpha_{62}=0.003$ 、 $\alpha_{63}=0.003$ 、 $\alpha_{64}=0.003$ 、 $\alpha_{65}=0.003$ 、 $\alpha_{66}=0.003$ 、 $\alpha_{67}=0.003$ 、 $\alpha_{68}=0.003$ 、 $\alpha_{69}=0.003$ 、 $\alpha_{70}=0.003$ 、 $\alpha_{71}=0.003$ 、 $\alpha_{72}=0.003$ 、 $\alpha_{73}=0.003$ 、 $\alpha_{74}=0.003$ 、 $\alpha_{75}=0.003$ 、 $\alpha_{76}=0.003$ 、 $\alpha_{77}=0.003$ 、 $\alpha_{78}=0.003$ 、 $\alpha_{79}=0.003$ 、 $\alpha_{80}=0.003$ 、 $\alpha_{81}=0.003$ 、 $\alpha_{82}=0.003$ 、 $\alpha_{83}=0.003$ 、 $\alpha_{84}=0.003$ 、 $\alpha_{85}=0.003$ 、 $\alpha_{86}=0.003$ 、 $\alpha_{87}=0.003$ 、 $\alpha_{88}=0.003$ 、 $\alpha_{89}=0.003$ 、 $\alpha_{90}=0.003$ 、 $\alpha_{91}=0.003$ 、 $\alpha_{92}=0.003$ 、 $\alpha_{93}=0.003$ 、 $\alpha_{94}=0.003$ 、 $\alpha_{95}=0.003$ 、 $\alpha_{96}=0.003$ 、 $\alpha_{97}=0.003$ 、 $\alpha_{98}=0.003$ 、 $\alpha_{99}=0.003$ 、 $\alpha_{100}=0.003$ 。建立了相应的系统辨识模型, 如图5所示。

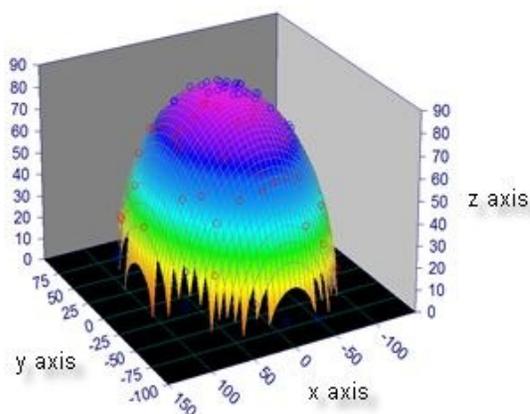


图5 选定病例二次曲面系统辨识模型

Fig.5 Quadric surface system identification model of selected case

与图3显示的颅骨及头皮颅脑三维模型相比, 图5显示的选定病例二次曲面系统辨识模型与其具有较好的一致性。通过非线性积分方法, 计算获得缺损区域头皮表面积  $8160.6 \text{ mm}^2$ 。颅骨和头皮颅脑三维模型估计的缺损区域头皮表面积分别比其相差  $105.09 \text{ mm}^2$  和  $43.12 \text{ mm}^2$ , 说明头皮颅脑三维模型估计结果比头骨颅脑三维模型更准确, 更具有临床指导价值。

### 3 总结

本文提出一种从CT扫描颅骨及头皮层估计去骨瓣减压术后头皮表面积的方法, 具体实现过程为: 首

先, 通过Mimics软件从颅脑CT扫描头骨及头皮层数据分别建立相应的颅脑三维几何模型; 然后, 从对应模型中估计去骨瓣减压术后缺损区域头皮表面积。使用本文提出方法为1例选定病例建立颅骨及头皮颅脑三维模型, 并从中获得颅骨缺损区域头皮表面积, 将估计结果与二次曲面系统辨识模型获得的理论值进行对比。结果表明, 虽然头骨及头皮颅脑三维几何模型估计结果均与系统辨识模型计算结果一致, 但头皮颅脑三维几何模型估计结果与系统辨识模型计算值的接近程度更高。考虑到头皮自身特征, 从头皮颅脑三维几何模型获得的估计结果对后期在颅骨修补术中皮瓣评估的研究和转化应用更具有指导意义。

### 【参考文献】

- [1] Hill CS, Luoma AM, Wilson SR, et al. Titanium cranioplasty and the prediction of complications[J]. Br J Neurosurg, 2012, 26(6): 832-837.
- [2] Zins JE, Langevin CJ, Nasir S. Controversies in skull reconstruction [J]. J Craniofac Surg, 2010, 21(6): 1755-1760.
- [3] Wiggins A, Austerberry R, Morrison D, et al. Cranioplasty with custom-made titanium plates-14 years experience[J]. Neurosurgery, 2013, 72(2): 248-256.
- [4] 付森, 李莉, 何叶松. Mimics与医学图像三维重建[J]. 中国现代医学杂志, 2010, 20(19): 3030-3031.  
Fu M, Li L, He YS. Mimics and three-dimensional reconstruction of medical image[J]. China Journal of Modern Medicine, 2010, 20(19): 3030-3031.
- [5] 贾克斌. 数字医学图像处理、存档及传输技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 14-16.  
Jia KB. Processing, archiving and transmission technology of digital medical image [M]. Beijing: Science Press, 2006: 14-16.
- [6] 范芦芳, 徐浩铜, 张正治, 等. 利用Mimics软件构建人颅骨缺损区植入体的参数设置研究[J]. 第三军医大学学报, 2011, 33(19): 2093-2095.  
Fan LF, Xu HT, Zhang ZZ. Study on the parameters setting of the construction of skull defects implantation materials[J]. Journal of Third Military Medical University, 2011, 33(19): 2093-2095.
- [7] 张钦虎, 刘兰娟, 高莲, 等. 去骨瓣减压术后头皮表面积测量方法[J]. 中国医疗器械杂志, 2013, 33(6): 401-403.  
Zhang QH, Liu LJ, Gao L, et al. An approach for the measurement of the surface area of scalp flap over the cranial defect after decompressive craniectomy[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2013, 33(6): 401-403.
- [8] Tseng WK, Chang WJ, Pen CL. New meridian arc formulae by the least squares method[J]. J Navigation, 2014, 67(3): 695-710.
- [9] Min D, Timothy SN, Cao CG. Least-squares-based fitting of paraboloids[J]. Pattern Recogn, 2007, 40(2): 504-515.
- [10] Sholukha V, Chapman T, Sálvia P, et al. Femur shape prediction by multiple regression based on quadric surface fitting[J]. J Biomech, 2011, 44(4): 712-718.