

# 锥形束 CT 融合三维面像评估正颌术后 软硬组织的变化

王 哲<sup>1</sup>, 朱榴宁<sup>2</sup>, 周 琳<sup>3</sup>, 伊 彪<sup>4△</sup>

(1. 北京大学口腔医学院·口腔医院急诊科, 北京 100081; 2. 江苏省人民医院口腔科, 南京 210000; 3. 北京大学口腔医学院·口腔医院第五门诊部, 北京 100020; 4. 北京大学口腔医学院·口腔医院颌面外科, 北京 100081)

**[摘 要]** **目的:**探讨锥形束 CT (cone-beam computed tomography, CBCT) 融合三维面像用于研究牙颌面畸形患者正颌术后软硬组织变化的可行性, 并应用此方法初步测量各软硬组织标志点手术前后的位置变化。**方法:**选取 10 例牙颌面畸形患者, 分别于术前 (T0) 和术后 3 个月 (T1) 拍摄大视野 CBCT 和三维面像。利用 MIMICS 和 Geomagic Studio 软件对图像进行处理分析, 将 CBCT 进行阈值分割并与三维面像融合, 生成新的三维立体模型, 探讨该方法可行性。使用 3D 色谱分析 (3D color map) 和测量平均距离对 CBCT 与三维面像配准过程的误差进行定性和定量分析。通过 CBCT 骨组织配准, 将新生成的手术前后三维模型置于同一空间坐标系, 测量各标志点 [鼻尖点 (pronasale, Prn)、鼻下点 (subnasale, Sn)、上唇突点 (labrale superior, Ls)、前鼻棘点 (anterior nasal spine, ANS)、上齿槽座点 (subspinale, A)、上中切牙点 (upper incisor edge, UIE)] 手术前后位置变化。**结果:**CBCT 融合三维面像用于研究正颌术后软硬组织变化具有可行性, 配准误差在 0.3 mm 以内, 通过 3D 色谱分析直观看到, 面部区域配准良好。正颌术后唇部各标志点 (Ls、ANS、A、UIE) 位置差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 而鼻部标志点 (Prn、Sn) 位置差异无统计学意义 ( $P > 0.1$ )。**结论:**CBCT 融合三维面像作为一种新方法可以用于临床研究正颌术后软硬组织变化, 具有较高的精确度和可重复性。正颌术后唇部软硬组织标志点位置明显变化, 而鼻部标志点位置受正颌手术影响较小。

**[关键词]** 锥束计算机体层摄影术; 立体摄影测量术; 正颌外科; 软硬组织变化

**[中图分类号]** R783.9 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-167X(2016)03-0544-06

**doi:** 10.3969/j.issn.1671-167X.2016.03.029

## Feasibility of integrating 3D photos and cone-beam computed tomography images used to evaluate changes of soft and hard tissue after orthognathic surgery

WANG Zhe<sup>1</sup>, ZHU Liu-ning<sup>2</sup>, ZHOU Lin<sup>3</sup>, YI Biao<sup>4△</sup>

(1. Department of Oral Emergency, Peking University School and Hospital of Stomatology, Beijing 100081, China; 2. Department of Stomatology, Jiangsu Province Hospital, Nanjing 210000, China; 3. Fifth Clinical Division, Peking University School and Hospital of Stomatology, Beijing 100020, China; 4. Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Peking University School and Hospital of Stomatology, Beijing 100081, China)

**ABSTRACT Objective:** To evaluate the feasibility of integrating 3D photos and cone-beam computed tomography (CBCT) images and to assess the degree of error that may occur during the above process, and to analyze soft and hard tissue changes after orthognathic surgery using this new method. **Methods:** Ten patients with maxillofacial deformities were chosen. For each patient, CBCT scans and stereophotographic images were taken before and 3 months after surgery. 3D photos were superimposed onto the CBCT skin images using relatively immobile areas of the face as a reference. 3D color maps and mean distances were used to evaluate the errors that might occur during the process. Two reference planes were set up using certain points. The distances between Prn (pronasale), Sn (subnasale), Ls (labrale superior), ANS (anterior nasal spine), A (subspinale), UIE (upper incisor edge) to the coronal plane were calculated before and after surgery. In order to verify the repeatability of this method, we examined the distances twice at two-week intervals. Paired *t* test was used to evaluate the reproducibility. **Results:** CBCT and 3D photos could be successfully fused with clinically acceptable errors. This new method could be used to evaluate soft and hard tissue changes after orthognathic surgery. The 3D color maps showed that the two images could be fused with minimal errors. The mean distances were within 0.3 mm, and the locations of landmarks on maxilla and mandible such as Ls, ANS, A, UIE changed significantly after orthognathic surgery ( $P < 0.05$ ). Landmarks on the nose such as Prn, Sn had little changes after surgery ( $P > 0.1$ ). The paired *t* test showed that the mean value and standard deviation were (0.08 ± 0.98) mm. **Conclusion:** Fusing of CBCT and 3D stereophotographic images used as a new method in evaluating soft and hard tissue changes after orthognathic surgery was feasible and accurate. The virtual 3D composite craniofacial models permitted concurrent assess-

△ Corresponding author's e-mail, kqyb@vip.sina.com

网络出版时间:2016-5-18 15:11:02 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4691.R.20160518.1511.008.html>

ment of hard and soft tissues during diagnosis and treatment planning. Maxillary and mandibular locations had significant association with orthognathic surgery while the nasal tissue was not simp affected by surgery.

**KEY WORDS** Cone-beam computed tomography; Stereophotogrammetry; Orthognathic surgery; Soft and hard tissue changes

牙颌面畸形是临床常见的颌骨发育异常,会对患者的咬合、美观乃至心理状态产生负面影响。正颌外科手术作为矫治骨性牙颌面畸形的治疗手段,术前了解患者手术后软硬组织变化规律,制定合理手术方案极为重要。目前对于正颌术后软硬组织变化的研究主要采用传统 X 线头颅侧位片<sup>[1]</sup>,但 X 线头颅侧位片以二维的影像反映三维物体的特征,无法避免放大率、变形、定点困难、拍摄头位引起的偏差等诸多问题,从而影响头影测量的准确性<sup>[2-3]</sup>,因此,采用三维成像和测量技术成为研究趋势。

锥形束 CT (cone-beam computed tomography, CBCT) 于上世纪 90 年代末应用于临床,具有精度高、辐射小、各向同性、价格低廉等诸多优点,被认为“能够真实地反映解剖结构,展现物体本来的面貌”<sup>[4]</sup>。尽管 CBCT 具有诸多优势,但由于 CBCT 对软组织成像精确性欠佳且无法逼真地反映面部形态,限制了它在颌面部软组织三维研究方面的应用,而在面部软组织重建和测量方面,于 20 世纪 90 年代出现的三维立体摄影技术以其无创、高速、高精度、直观逼真等特点,在口腔颌面外科有着很大的应用价值<sup>[5-6]</sup>,由于二者的优缺点可以互补,本研究旨在将 CBCT 和三维面像融合,探讨其用于正颌术后软硬组织变化的可行性。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

选取 2012 年 7 月至 2013 年 1 月于北京大学口腔医院正颌外科行正颌手术的牙颌面畸形患者 10 例,年龄 22~35 岁,平均年龄(25.6±5.8)岁。

本研究开始前经过北京大学口腔医院伦理委员会审查批准(PKUSSIRB-2012075),所有研究对象均签署知情同意书。

纳入标准:(1)需行正颌手术矫正牙颌面畸形的中国患者;(2)术前面型对称,牙列整齐,咬合基本正常,双侧第一磨牙为中性关系;(3)手术术式为“上颌 Le Fort I 型截骨术+双侧下颌升支矢状劈开截骨术(bilateral sagittal split ramus osteotomy, BSS-RO)+颧成形术”;(4)固定方式为坚固内固定。

排除标准:(1)严重的面部不对称畸形;(2)各种综合征性颌骨畸形。

### 1.2 研究方法

分别于术前(T0)和术后 3 个月(T1)拍摄大视野 CBCT 和三维面像,通过三维处理软件将所得图像进行处理融合,生成同时具有 CBCT 骨组织和三维面像软组织的三维虚拟模型,在此基础上进行定点和坐标系的建立。

#### 1.2.1 拍摄方法

拍摄设备及条件如下:(1)CBCT:使用 DCT Pro (Vatech, Korea)条件为 75 kV, 6.5 mAs, 24 s;(2)三维面像:3dMD face 系统,该系统由 6 个照相机组成,每侧 3 个(包括 1 台彩色照相机和 2 台黑白照相机),自带 3dMD patient 软件包。

拍摄体位:患者全身放松,双眼平视前方,处于自然头位,咬合处于正中殆位,面部表情自然,上下唇尽量放松,不作吞咽动作。为保证拍摄体位的一致性,每位研究对象均在研究者的监督下进行拍摄。

#### 1.2.2 图像处理过程

##### 1.2.2.1 CBCT 和三维面像的处理和数字化

CBCT 数据以 Dicom 格式存储,使用 MIMICS 10.01 软件进行三维重建,以 STL 格式存储,通过阈值分割分别获取 CBCT 骨组织和 CBCT 软组织;3dMD 数据以 .wrl 格式存储,使用 Geomagic Studio 2012 软件进行后续处理。

1.2.2.2 生成同时具有 CBCT 骨组织和三维面像的三维虚拟模型(术前) 首先,将 CBCT 软组织与 3dMD 进行融合,融合过程分两步:第一步,选取双侧内外眦进行粗配准;第二步,选取额部、颊部区域进行精确配准,配准时通过软件迭代算法(iterative closest point algorithm, ICP),得出两个面的最小距离,这一过程由软件自动运算(图 1)。其次,由于 CBCT 软组织和 CBCT 骨组织来自同一影像(图 2),具有相同的空间位置,因此将配准之后的 3dMD 软组织与 CBCT 骨组织数据同时输入到 Geomagic 软件中,二者即可自动融合,生成同时具有 CBCT 骨组织和 3dMD 软组织的术前三维虚拟模型(图 3A)。

1.2.2.3 生成同时具有 CBCT 骨组织和三维面像的三维虚拟模型(术后) 方法如前,即可生成术后三维虚拟模型(图 3B)。

1.2.2.4 术前术后三维虚拟模型的配准 通过体素配准,选取颅底和颧弓进行术前术后 CBCT 骨组织的配准,由于 3dMD 软组织与 CBCT 骨组织已进行融合,这样就可以将手术前后的各项三维数据

(术前 3dMD 软组织、术前 CBCT 骨组织、术后 3dMD 软组织、术后 CBCT 骨组织)均置于同一个空间坐标系中,用以后续的定点和测量(图 4)。

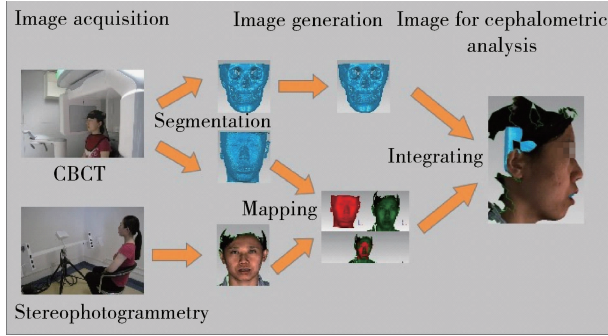
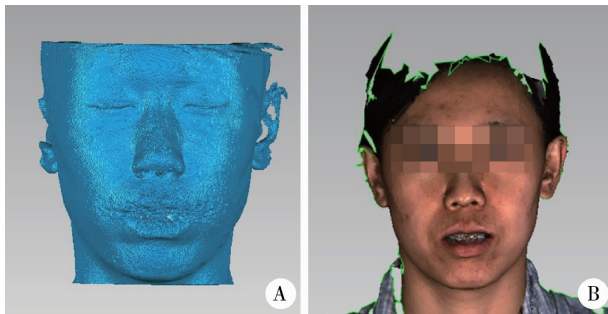


图 1 CBCT 和 3dMD 影像获取及配准融合过程

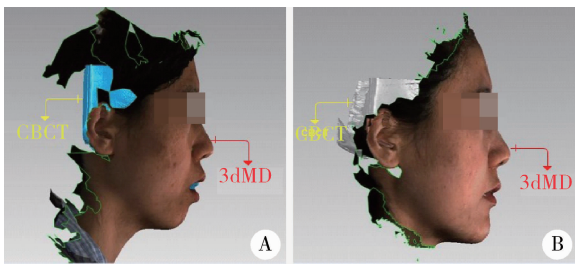
Figure 1 Protocol for image acquisition and generation of 3D models



A, CBCT soft tissue; B, 3 dMD.

图 2 CBCT 软组织和三维面像

Figure 2 CBCT soft tissue and 3dMD

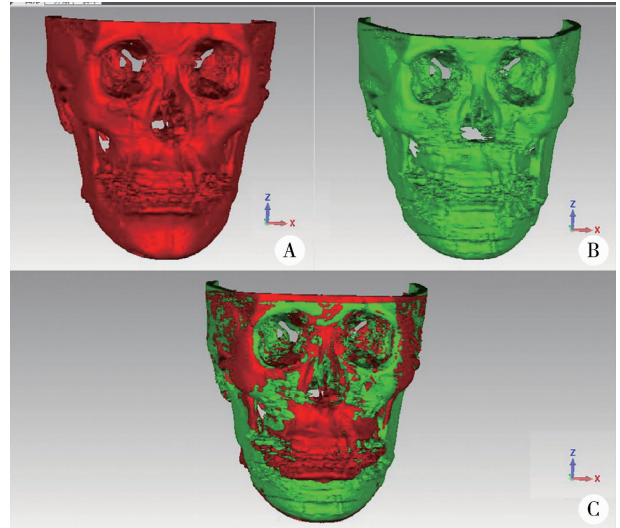


A, pre-surgery; B, post-surgery.

图 3 术前和术后三维虚拟模型

Figure 3 3D virtual models

**1.2.2.5 建立空间测量坐标系** 通过多平面重建图像(multiplanar reconstruction image, MPR)和任意角度观察颅颌面结构的立体影像,绘制影像(volumetric rendering view)确定相关解剖标志点的位置(表 1)。空间测量平面的建立(图 5):(1)水平面:眶耳平面(frankfort horizontal plane, FH 平面)过左侧耳点 PoL、右侧耳点 PoR 及正中眶点 MOr 所构成的平面;(2)冠状面:眶耳平面绕左右侧耳点连线为轴旋转 90°生成的平面。



A, pre-surgery hard tissue; B, post-surgery hard tissue; C, registration; red, pre-surgery; green, post-surgery.

图 4 术前术后 CBCT 骨组织配准

Figure 4 Registration of CBCT hard tissues before and after surgery

表 1 软硬组织标志点

Table 1 Identification of soft and hard tissue landmarks

Landmarks	Identification
Po	Porion
Or	Infraorbital point
ANS	Anterior nasal spine
A	Subspinale
UIE	Upper incisor edge
Pmn	Pronasale
Sn	Subnasale
Ls	Labrale superior

1.2.3 配准误差分析

使用 3D color map 和测量平均距离对 CBCT 与三维面像配准过程的误差(CBCT 软组织和 3dMD、术前术后 CBCT 骨组织)进行定性和定量分析。

1.2.4 测量各解剖标志点手术前后的变化

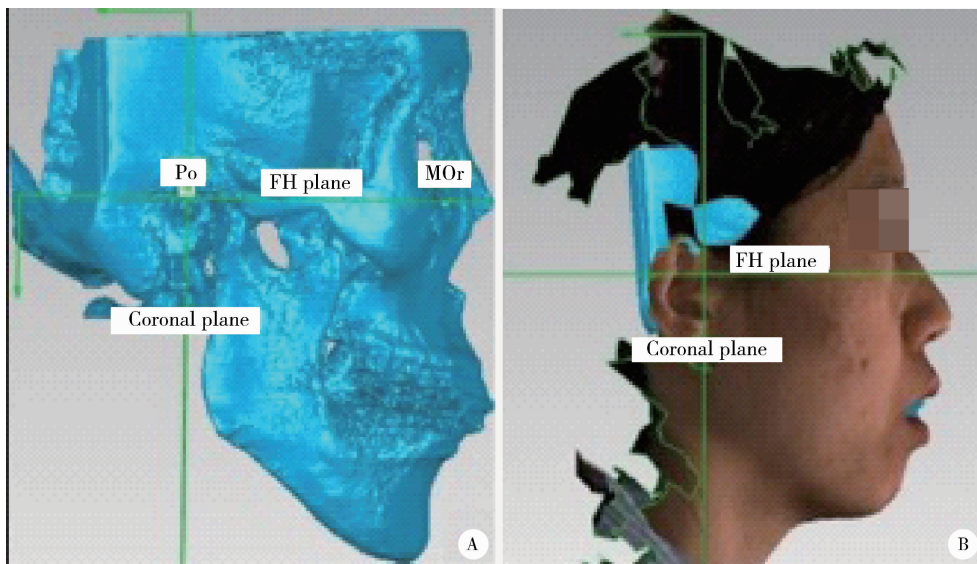
分别测量各软硬组织标志点手术前后在矢状方向的距离变化,如图 6。

1.2.5 可重复性检验

为了检验整个过程的可重复性并与传统 X 线头影测量方法进行比较,分别使用传统 X 线头影测量技术和本研究方法间隔两周进行前后两次定点和测量,并将前后两次测量的结果进行配对 t 检验,比较二者的可重复性。

2 结果

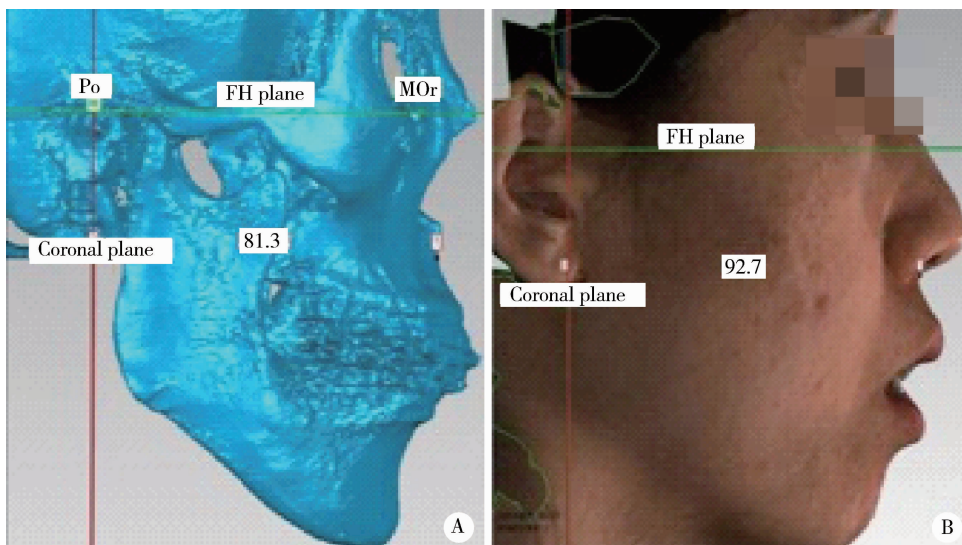
2.1 CBCT 融合三维面像配准过程中的误差分析



A, hard tissue; B, soft tissue; FH plane, frankfort horizontal plane; Po, porion; MOr, infraorbital plane.

图 5 参考平面的建立

Figure 5 Planes for cephalometric analysis



A, hard tissue; B, soft tissue; FH plane, frankfort horizontal plane; Po, porion; MOr, infraorbital plane.

图 6 各软硬组织标志点手术前后的位置变化

Figure 6 Changes of hard and soft tissue landmarks

### 2.1.1 CBCT 软组织与三维面像配准误差

定量分析可以看出(表 2), 10 例研究对象的 CBCT 和三维面像配准后的平均距离均在 0.1 ~ 0.2 mm。

定性分析通过偏差分析进行, 通过 3D 色谱分析可以看到, 面部区域配准良好, 个别区域如眶区存在较大误差(图 7)。

### 2.1.2 术前术后 CBCT 骨组织配准误差

对 10 例研究对象的术前术后骨组织 CBCT 的配准图像进行色谱分析, 结果显示, 上下颌区域术后位置发生明显改变, 而颅骨、颧骨等其它未行手术区域术前术后配准精确(图 8)。

表 2 CBCT 软组织和 3dMD 配准后的平均距离与标准差(定量分析)

Table 2 Mean distances between CBCT soft tissue and 3dMD (quantitative analysis)

Objectives	$\bar{x} \pm s$
1	0.24 ± 0.38
2	0.28 ± 0.44
3	0.18 ± 0.32
4	0.16 ± 0.30
5	0.20 ± 0.36
6	0.19 ± 0.36
7	0.21 ± 0.34
8	0.26 ± 0.37
9	0.23 ± 0.40
10	0.24 ± 0.40

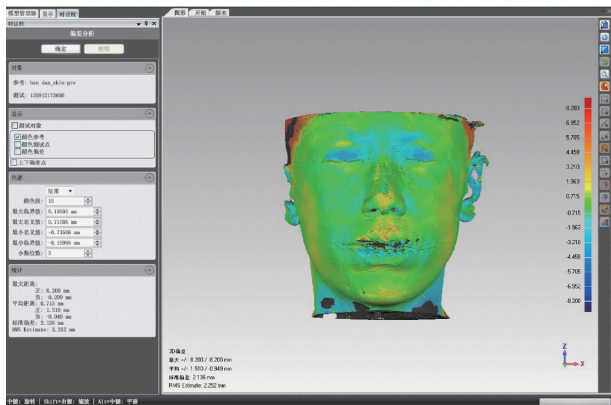


图 7 CBCT 软组织与三维面像融合偏差分析(定性分析)

Figure 7 Variance analysis between CBCT soft tissue and 3dMD

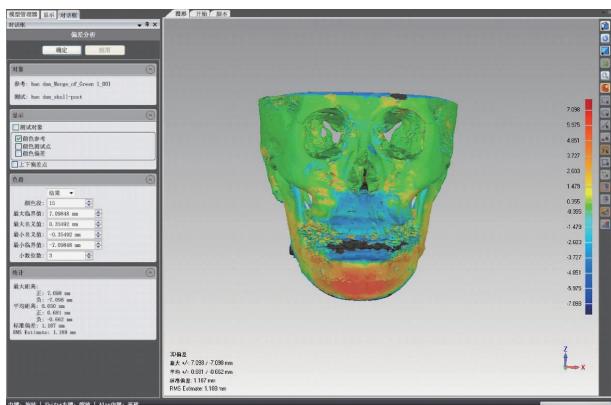


图 8 术前后 CBCT 骨组织配准偏差分析

Figure 8 Variance analysis between CBCT hard tissues before and after surgery

## 2.2 手术前后各标志点的变化(表 3)

表 3 各软硬组织标志点手术前后的位置变化

Table 3 position changes of soft and hard tissue landmarks

Landmarks	$\bar{x} \pm s$	95% confidence interval	P value
Prn	0.04 ± 0.66	(-0.43, 0.51)	0.84
Sn	-0.01 ± 1.18	(-0.85, 0.83)	0.98
Ls	2.50 ± 1.50	(1.43, 3.58)	<0.001
ANS	4.23 ± 1.69	(3.02, 5.43)	<0.001
A	3.42 ± 0.87	(2.80, 4.05)	<0.001
UIE	4.03 ± 0.74	(3.50, 4.55)	<0.001

### 3.1.2 术前后 CBCT 配准的可行性及误差

将 CBCT 骨组织进行配准的研究目前主要用于评估生长发育状况<sup>[11]</sup>、正畸治疗<sup>[12]</sup>、正颌手术<sup>[13]</sup>等。颅底是进行配准最常选用的区域。Cevidan 等<sup>[14]</sup>选取颅底作为配准区域对正颌患者术前后的 CBCT 进行配准,结果显示配准误差仅为 0.02 mm。Nada 等<sup>[15]</sup>对比了分别选取颧弓和颅底配准的差异,结果显示两种方法的配准差异在 0.2 mm

手术前后,上下颌软硬组织各标志点发生了显著的位置变化,这与预期一致,而鼻部的标志点 Prn、Sn 变化不明显,提示鼻部软组织受正颌外科手术的影响较小。

### 2.3 测量可重复性检验

通过前后两次结果的配对 t 检验可以看出,使用 CBCT 与三维面像融合方法得出的结果为 (0.08 ± 0.98) mm 较传统 X 线头影测量方法的 (0.24 ± 1.85) mm 小,差异有统计学意义 (P < 0.001),可重复性好。

## 3 讨论

### 3.1 CBCT 融合三维面像用于评估正颌术后软硬组织变化的可行性及误差

#### 3.1.1 CBCT 软组织与三维面像配准的误差

CBCT 和三维面像各自的高精度已有大量研究<sup>[6-10]</sup>,因此 CBCT 融合三维面像的主要误差来源是配准误差。本研究 CBCT 和三维面像的拍摄时间相距较短,且由同一研究者进行严格监督控制,因此很大程度上避免了由于面部表情和体位变化带来的误差。除眶周和鼻唇区域以外的面部软组织常被用来进行 CBCT 和三维面像的配准融合,眶周和鼻唇区由于容易受到面部表情的影响不作为配准区域<sup>[8]</sup>。本研究选取额头、鼻根、颧骨区作为配准区域进行配准,结果显示,配准误差在 0.3 mm 以内,能够满足临床需要。

以内,不具有临床意义。本研究综合了既往研究结果,选取颅底和颧弓共同作为配准区域,通过将术前后的 CBCT 骨组织配准实现了两次 CBCT 的空间配准,使得术前和术后的三维信息位于同一位置空间中,方便了后续的测量。通过对术前后的图像进行偏差分析显示配准精度很高,未手术区域几乎可以完全匹配。

### 3.2 CBCT 融合三维面像用于研究正颌术后软硬

## 组织变化的优点

正颌术后软硬组织变化的三维影像学研究最初采用螺旋 CT 与三维面像融合。Ayoub 等<sup>[16]</sup>将 6 例患者的三维面像和螺旋 CT 进行融合,配准方法与本研究方法基本相同,研究发现二者的配准误差为  $\pm 1.5$  mm,此外,该作者通过色谱分析发现,颊部的配准误差最大,分析其原因是拍摄 CT 时取卧位而拍摄 3dMD 取坐位,重力作用导致的颊部软组织变形给配准带来较大误差。与传统螺旋 CT 相比,CBCT 拍摄取坐位,与三维面像拍摄体位相同,扫描速度更快、放射剂量小、价格更为低廉。更重要的一点是,CBCT 获取的三维影像是各向同性的,可以 1:1 真实反映解剖结构,对解剖结构的三维测量比传统 CT 更为准确<sup>[4]</sup>,基于以上诸多优点,目前的研究大多采用 CBCT 与三维面像进行融合。

与传统 X 线头影测量分析比较,应用 CBCT 与三维面像融合得出的结果可重复性更好,尤其是前鼻棘点 ANS 和上齿槽座点 A 这两个在头颅侧位片上容易显示不清晰的标志点。传统头影测量分析很大程度上依赖研究者的经验,而 CBCT 与三维面像无论从影像获取、数据处理还是测量分析方面对软件的依赖性更强,得出的结果相对来说更客观。

### 3.3 正颌术后软硬组织的变化

软组织的变化量从鼻尖、鼻底到上唇,依次增大,说明牙颌面畸形患者正颌术后唇部形态变化大于鼻部。由于唇部软组织直接覆盖在硬组织表面,硬组织的移动会直接影响唇部软组织,鼻部软组织受到鼻软骨的支撑,变化较小,鼻底部分的变化较复杂,且受肿胀程度影响甚大。

### 3.4 本研究存在的不足

本研究对于应用三维技术分析正颌术后软硬组织的变化进行了探讨,样本量较小,因而得出的结论更加适用于定性分析而非定量比较,尚待今后扩大样本量、量化各过程的误差以得出更为可信的软硬组织变化规律。

综上所述,本研究通过将 CBCT 和三维面像融合,术前术后 CBCT 配准,建立测量平面,初步建立了评估正颌术后软硬组织变化的三维方法,关于后续测量有待进一步扩大样本量进行更深入的研究。

究。

## 参考文献

- [1] Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to orthodontia[J]. Angle Orthod, 1931, 1(1): 45-46.
- [2] Trpkova B, Major P, Prasad N, et al. Cephalometric landmarks identification and reproducibility: a meta analysis[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1997, 112(2): 165-170.
- [3] 马绪臣. 口腔颌面医学影像学[M]. 北京:北京大学医学出版社, 2006: 41.
- [4] Framan AG, Scarfe WC. The basics of maxillofacial cone beam computer tomography[J]. Semin Orthod, 2009, 15(1): 2-13.
- [5] Kau CH, Richmond S, Incrapera A, et al. Three-dimensional surface acquisition systems for the study of facial morphology and their application to maxillofacial surgery[J]. Int J Med Robot, 2007, 3(2): 97-110.
- [6] Maal TJ, Plooi JM, Rangel FA, et al. The accuracy of matching three-dimensional photographs with skin surfaces derived from cone-beam computed tomography[J]. Int J of Oral and Maxillofac Surg, 2008, 37(7): 641-646.
- [7] Jayaratne YS, McGrath CP, Zwahlen RA. How accurate are the fusion of Cone-Beam CT and 3-D Stereophotographic Images[J]. PLoS One, 2012, 7(11): e49585.
- [8] Trotman CA, Faraway JJ, Silvester KT, et al. Sensitivity of a method for the analysis of facial mobility. I. Vector of displacement[J]. Cleft Palate Craniofac, 1998, 35(2): 132-141.
- [9] Cheung LK, Chan YM, Jayaratne YS, et al. Three-dimensional cephalometric norms of Chinese adults in Hong Kong with balanced facial profile[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2011, 112(2): e56-e73.
- [10] Aldridge K, Boyadjiev SA, Capone GT, et al. Precession and error of three-dimensional phenotypic measures acquired from 3dMD photogrammetric images[J]. Am J Med Genet A, 2005, 138(3): 247-253.
- [11] Cevidanes LH, Heymann G, Cornelis MA, et al. Superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models of growing patients[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009, 136(1): 94-99.
- [12] Cevidanes LH, Motta A, Proffit WR, et al. Cranial base superimposition for 3-dimensional evaluation of soft-tissue changes[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2010, 137(4 Suppl): S120-S129.
- [13] da Motta AT, de Assis Ribeiro Carvalho F, Oliveira AE, et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models in orthognathic surgery[J]. Dental Press J Orthod, 2010, 15(2): 39-41.
- [14] Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker GR Jr, et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients[J]. Dento Maxillofac Radiol, 2005, 34(6): 369-375.
- [15] Nada RM, Mall TJ, Breuning KH, et al. Accuracy and reproducibility of voxel based superimposition of cone beam computed tomography models on the anterior cranial base and the zygomatic arches[J]. PLoS One, 2011, 6(2): e16520.
- [16] Ayoub AF, Xiao Y, Khambay B, et al. Towards building a photo-realistic virtual human face for craniomaxillofacial diagnosis and treatment planning[J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2007, 36(5): 423-428.

(2015-07-02 收稿)  
(本文编辑:王 蕾)