

[文章编号] 1000-1182(2010)02-0119-05

基于CT数据的三维配准技术在正畸中的应用

刘东旭 刘洪 吕涛

(山东大学口腔医学院 山东省口腔生物医学重点实验室, 山东 济南 250012)

[摘要] 介绍目前医学三维图像配准技术的发展与临床需求,重点从口腔医学尤其是从口腔正畸学角度说明三维图像特征性标志点配准技术的临床应用价值,通过临床研究分类阐述配准技术在探索正畸作用机制和评价正畸治疗效果中的作用。通过治疗前后的CT数据配准,评价正畸治疗后牙齿的移动形式,牙槽骨的改建状况,以及软组织的适应性改变。三维配准技术为研究正畸的作用机制和治疗效果提供了一种可靠的研究手段,对于促进口腔医学临床三维评价有一定的指导意义。

[关键词] 口腔正畸; 图像配准; 应用研究

[中图分类号] R 783.5 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.3969/j.issn.1000-1182.2010.02.002

Application of three dimensional registration based on CT data for orthodontics LIU Dong-xu, LIU Hong, LÜ Tao. (Shandong Provincial Key Laboratory of Oral Biomedicine, College of Stomatology, Shandong University, Jinan 250012, China)

[Abstract] In recent years, three dimensional imaging registration has been developed rapidly in clinics. Medical image registration plays an important role in the research of orthodontic image processing field. In this study, we introduce the applications of CT registration on several clinical cases. After the registration of the pre- and post-treatment CT data, the position changes of teeth and the modeling of alveolar bone and the adaptive changes of soft tissue can be assessed precisely respectively. The three dimensional registration provides us a new and precise method to study the outcome and mechanism of orthodontics. And more studies of three dimensional registration should be performed to promote three dimensional oral medical assessment researches.

[Key words] orthodontics; imaging registration; application study

近20年来,医学影像学已成为医学技术中发展最快的领域之一。医学影像在诊断疾病、制定治疗计划以及评价治疗效果中发挥重要作用。在进行医学图像分析时,经常要将同一患者的几幅图像放在一起进行分析,以得到该患者多方面的综合信息,从而提高医学诊断和治疗的水平。在对几幅不同的图像作定量分析前,要将这几幅图像严格对齐,这就是图像的配准。本文介绍了目前医学三维图像配准技术的发展与临床需求。

1 口腔医学三维配准技术发展的背景

传统的图像配准多为二维配准。现在绝大多数

的图像数据均为二维化断层数据,并不足以立体地再现组织解剖形态学的整体形态及其变化。从20世纪90年代中期到现在,随着成像设备如计算机体层摄影术(computed tomography, CT)、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)和激光扫描技术的发展,针对高维数据的医学图像分析和研究逐步成为主流^[1-2]。目前,三维立体化是影像学技术发展的重点,它可以提供更加直观的图像和更为准确的定量分析结果,为临床诊断及治疗提供更准确的依据。CT扫描是目前医学放射检查最主要的手段之一,具有放射剂量低且分辨率高等特点^[3-4]。它克服了传统X线的一些缺点^[5],如减少了结构的重叠、具有高软硬组织对比度、分辨率高达亚毫米级、几乎不存在几何误差等,可以真实重现活体各组织器官的解剖形态学结构,并进行有效地三维测量。数据采集的高维化,导致依靠软件图像和三维配准重建并评价观察对象的三维空间结构及其变化成为可能。目前,医学图像分析在理论方法和应用上都取得了

[收稿日期] 2009-04-27; [修回日期] 2009-08-18

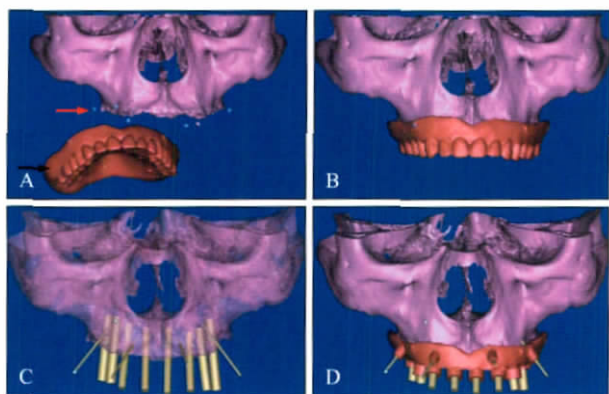
[基金项目] 山东省科技厅2008年科技攻关基金资助项目(2008GG-30002019, 2008GG30001001); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金资助项目(2005BS01005); 2009年山东大学口腔医学院基金资助项目(P2009009, P2009010)

[作者简介] 刘东旭(1963—),男,山东人,教授,博士

[通讯作者] 刘洪, Tel: 0531-88382070

长足的进步，其研究对象已经扩展到多种不同器官的解剖形态和功能变化过程，并开始使用自动、精确、定量的计算机辅助图像分析方法。医学图像三维配准技术是医学图像处理的一个重要分支，主要讨论的是数据获取后的配准，也称作回顾式配准。Brown^[6]于1992年发表了有影响的图像配准综述。目前，关于医学图像配准的研究集中在断层扫描图像的配准，如CT、MRI、单光子发射计算机断层摄影术(single photon emission computed tomography, SPECT)、正电子发射体层摄影术(position emission tomography, PET)等。

在口腔医学领域，三维配准技术可广泛用于正畸、正颌外科治疗效果，以及植骨和关节修复后效果的评价^[7-13]。尽管国内医学图像分析及配准研究起步较晚，但在较高的起点上取得了一定的成绩。图像配准已在制作口腔种植导板和手术导航上获得实际应用，由山东大学及同济大学研制的国产化计算机辅助设计和制造(computer aided design/computer aided manufacture, CAD/CAM)种植导板不仅达到国外同类产品的精度，其价格仅为国外产品的1/5，在开展微创手术、提高口腔种植手术的安全性及准确性中发挥了很大的作用。该类导板设计制作的重要步骤之一是二次CT数据(患者头骨和放射导板)的配准，其配准及制作过程如图1所示。放射导板与患者颌骨的配准精度决定了种植导板的精度。



A: 利用放射标记点将放射导板(黑色箭头示)与上颌骨(红色箭头示)进行配准; B: 配准完成; C: 放置虚拟种植体; D: 以虚拟种植体为参考制作种植导板。

图 1 CAD/CAM种植导板的制作

Fig 1 Manufacture of CAD/CAM template

口腔医学观察及评价的对象涉及颅颌面牙齿、骨骼及软组织，而颅颌及口腔结构是人体最为复杂的部分之一。三维配准技术可以满足对颅颌面牙齿、骨骼及软组织内部结构变化进行定性及定量评价的需求。经过三维配准后的可视化图像可使医生及患者很容易看到实际的结果，对于诊断疾病、提高疗效、减少副作用以及增进医患沟通有实际的指

导意义。从口腔正畸学角度来说，三维配准技术有以下意义。首先，该技术可以评价口腔正畸后颅颌面牙齿、骨骼、软组织三维空间结构的变化，可以对组织内部的结构变化进行定性定量评价，而不再仅仅局限于观察牙齿位置的变化。传统的二维影像存在结构上的重叠及几何放大误差，例如切牙内收量常受到舌侧骨量的限制，片面追求牙移动量会导致舌侧骨开裂，而这一现象在头影测量片中因骨结构的重叠而不易看到。其次，使用该技术可以探讨患者的生长发育及矫正机制。目前临床矫治器种类繁多，矫治机制及牙颌反应各不相同，例如内收前牙及快速扩弓对牙槽骨变化的评价，如何精确植入微种植体以提供支抗等都需要三维图像配准技术。

2 医学图像配准技术的分类

20世纪80年代后期，学者们^[6,14-15]将医学图像配准技术进行了分类归纳，总结如下。

2.1 按照研究对象分类

2.1.1 患者自身图像配准(intra-subject) 对同一患者某一解剖部位不同时间段的图像进行配准，从而评价疾病发展过程及治疗效果。

2.1.2 不同人之间的图像配准(inter-subject) 将受试者的图像与正常人相同部位的图像进行配准，以确定受试者是否正常，为不同人之间的图像配准。由于个体解剖的差异，不同人之间的图像配准难于自身图像配准。

2.2 按照配准的模式信息分类

2.2.1 单模(monomodality)医学图像配准 指待配准的2幅图像是用同一种成像设备获取的，这种配准常用于探讨生长发育的机制、评价治疗效果及减影成像技术。

2.2.2 多模(multimodality)医学图像配准 对来源于不同成像设备的2幅图像进行配准，是医学图像配准的主要模式。每种影像技术有其固有的优点和缺点，利用影像融合技术可以整合不同技术的优点，提供更加有价值的图像信息。PET-CT技术是该模式的典型代表。PET可以提供分子水平的成像信息，但是图像空间分辨率差；CT空间分辨率极高，但显示病变组织的能力不如PET。PET-CT技术将二者融合起来，可以获得高分辨率解剖背景下的病变的分子水平的图像。

2.3 按照配准所基于的图像特征分类

2.3.1 基于外部特征(external feature)的图像配准方法 该方法通常是在研究对象上设置一些标志点，使这些标志点能在不同的影像模式中显示出来，然后再用自动、半自动或交互式方法用这些标志点将

图像配准。目前这种方法仅适用于刚体的研究对象，只能用于同一患者的不同影像模式之间的配准，不适用于患者之间和患者图像与图谱之间的配准。制作CAD/CAM种植导板使采用的是该配准方法。

2.3.2 基于内部特征(internal feature)的图像配准方法 该方法又可分为基于标记的图像配准方法、基于分割图像内部特征的配准方法及基于体素相似性的图像配准方法。

本文介绍的基于CT数据的特征点配准方法涉及上述2种方法，具有以下优点：点配准将三维图像配准简化为点的匹配，可以进行回顾性研究，不会造成患者不适；该配准法属于自动算法，在物体表面轮廓相似并且清晰的情况下，结合直观面配准，效果很好。其缺点为：很难将不同模式的图像进行准确地图像分割，如PET-CT图像，由于器官的轮廓差异较大，难于作到精确匹配；此外，医生对特征点的判断可以影响到配准精度，为了克服人为误差，需要多次重复操作，以平均值作为最终结果。

3 口腔三维图像处理方法及其应用举例

目前的医学三维图像信息多来自于CT、MRI和激光扫描等。在正畸学领域，多数三维信息来自于CT扫描数据。现在CT后处理技术发展迅速，处理软件众多，可实现对三维数据的重建、测量分析和手术模拟等过程。患者经CT扫描后，其三维数据以DICOM格式导入三维重建软件中，通过阈值选择调整，获得不同组织的三维模型。三维模型建立后，根据不同需要可以进行不同的后续测量和手术模拟。在正畸学领域，探讨正畸治疗前后牙齿和颌骨的变化是研究正畸作用机制的基础，利用CT配准技术可对不同组织治疗前后的变化进行直观而准确地评价。

在正畸学领域，利用CAD/CAM技术制作微螺钉种植导板是三维重建和配准技术的成功应用之一。微螺钉常规植入部位骨量有限，易伤及牙根导致种植失败；借助三维重建技术设计并制作CAD/CAM导板可实现微螺钉的精确植入。微螺钉的制作方法跟种植导板类似，即利用放射标记物作为参考，在虚拟状态下放置微螺钉，配准后将微螺钉的位置信息转移至放射导板三维模型中，完成导板的设计(图2)。对导板精度进行评价更加依赖于配准技术。植入微螺钉前后的CT数据经三维重建后，利用颅骨表面特征性解剖标志点进行配准。选择的标志点要求明显且易于识别，前后模型的配准标志点需选择同一位置，以减少配准误差。利用标志点粗略配准

后，将植入后的三维模型(STL数据格式)与治疗前的CT分层数据进行配准。在粗略配准后，可以利用软件进行小范围调整以提高配准精度(图3)。

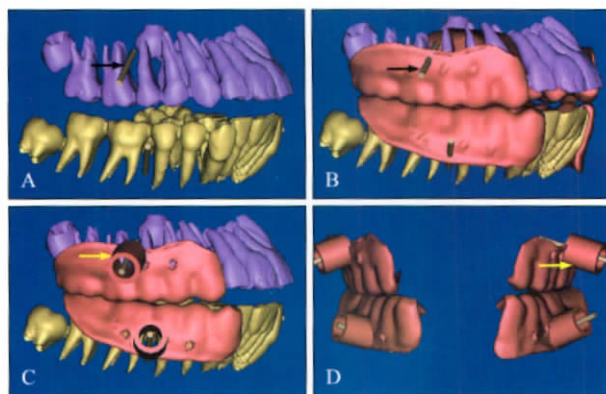


图2 利用CAD/CAM技术设计微螺钉种植导板
A: 牙齿经三维重建后，在最佳位置虚拟放置微螺钉(黑色箭头)；B: 利用放射标记点将放射导板与牙齿和颌骨配准；C: 设计植入导向孔道(黄色箭头)；D: 完成导板设计。

图2 利用CAD/CAM技术设计微螺钉种植导板

Fig 2 The miniscrew template was designed by CAD/CAM technique

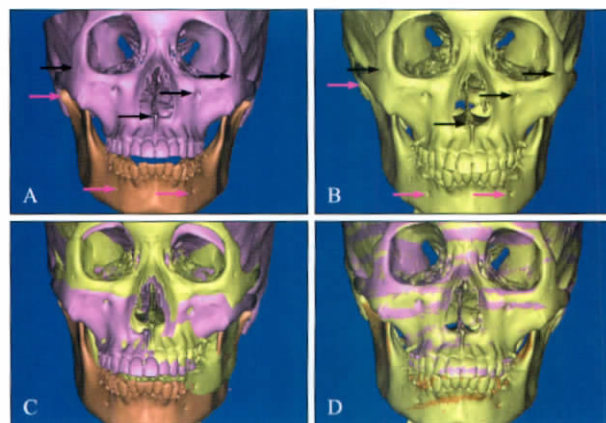


图3 微螺钉植入前后，选择特征性解剖标志点为配准标志点进行配准，评价导板的精度
A: 植入前的三维模型；B: 植入后的三维模型；C: 植入前后数据配准前的三维模型；D: 数据配准后实现三维重合；黑色箭头：上颌配准标志点；红色箭头：下颌配准标志点。

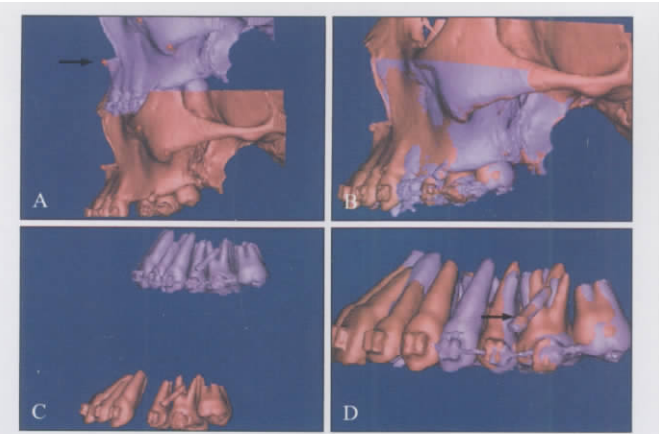
图3 微螺钉植入前后，选择特征性解剖标志点为配准标志点进行配准，评价导板的精度

Fig 3 The registration was performed with the landmarks of the salient points to assess the accuracy of template

对于正畸治疗而言，配准技术最广泛的应用在于评价治疗前后的矫治效果，以及矫治对牙齿、颌骨及软组织的不同影响，从而对正畸治疗的作用机理进行深入的研究，充实正畸理论。

以微螺钉作为强支抗内收前牙已在临床得到广泛应用。通过对治疗前后CT数据的配准研究，可对该方法的作用机理、稳定性及其对牙齿和颌骨的作用效果进行系统评价。正畸治疗前后的CT配准与导板设计时放射导板的配准、植入微螺钉前后的CT配准不同，因为正畸治疗可使患者颌面部的形态发生部分改变，无疑增加了配准难度。为了保证配准精度，需扩大CT扫描范围，以颅骨等不变部位为参考

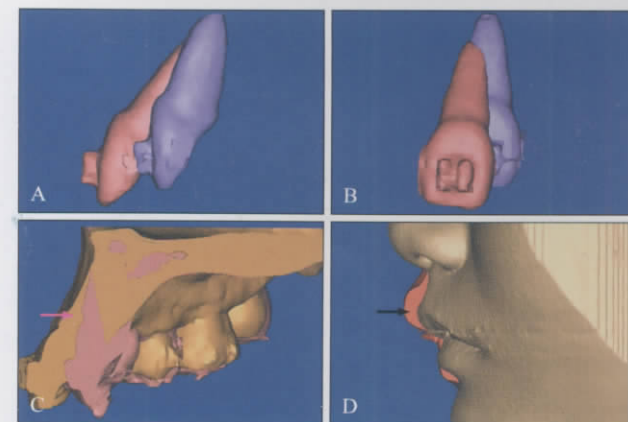
点，从而实现精确配准，以评价变化部位的变化量(图4)。正畸治疗前后的CT数据经三维配准后，可以评价微螺钉是否发生移动(图4C、D)，牙齿的移动方式尤其是前牙内收压低等的移动方式，牙根的吸收状况(图5A、B)，还可对内收力作用下前牙牙槽骨唇侧和舌侧的形态变化(包括厚度和高度变化)进行量化(图5C)。这些研究均有助于研究骨改建理论，指导临床治疗。在内收力的作用下，颌面部软组织会随着牙齿的内收和颌骨的改建而发生相应的变化，这种变化同样可以通过治疗前后的配准实现量化而直观的评价(图5D)。



A: 在治疗前后的三维模型上选取相同的解剖标志点(箭头示); B: 完成治疗前后模型的配准; C、D: 通过颌骨的配准实现牙齿的配准, 评价牙齿位移以及种植体支抗是否发生位移(箭头示)。

图4 选择不变部位的特征性解剖标志点来实现颌骨和牙齿的配准

Fig 4 The teeth, miniscrews, maxillary were registered respectively with the surface points which did not change after orthodontics treatment as landmarks

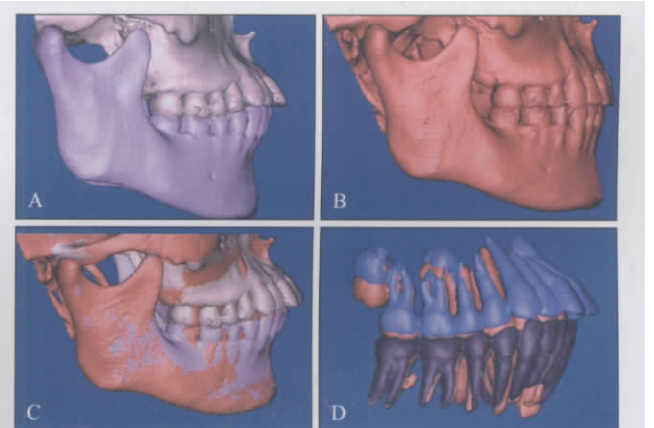


A: 上颌切牙的垂直向、唇舌向移动形式及牙根吸收量; B: 中线调整后上颌切牙的近远中移动; C: 牙槽骨的唇舌向适应性改建(红色箭头); D: 软组织的适应性改建(黑色箭头)。

图5 通过配准精确评价正畸治疗前后的牙齿移动、骨改建形式以及软组织的适应性变化

Fig 5 The position changes of teeth and the modeling of alveolar bone and the adaptive changes of soft tissue were assessed by registration of the pre- and post- 3D models

对正畸治疗前后的CT数据进行配准可以评价类牵引的作用效果。类牵引治疗对于下颌平面和下颌后牙的垂直向位置、下颌骨位置、前牙牙轴等均会产生明显的影响。患者治疗前后均以咬合位置拍摄CT片，经配准后可以评价下颌骨及下颌牙齿的变化。在评价下颌骨以及下颌平面位置的变化时，下颌骨与上颌骨以相同的配准标志点进行配准；但在评价下颌牙齿相对于下颌骨位置的变化时，应排除下颌骨自身位置的变化导致的牙齿位置的变化，此时应利用下颌骨的特征性、不变的标志点单独进行配准，从而评价下颌牙齿的移动量。以1例类牵引关闭间隙的患者为例，类牵引垂直向的分力导致上颌前牙和下颌后牙伸长，从而改变了下颌平面的位置，同时导致下颌骨以髁突为轴向后向下旋转。在评价下颌骨位置的变化时，要以上颌骨及颅骨的不变结构为配准参考；而评价牙齿在下颌骨内的移动量时，需将治疗前后的下颌骨单独进行配准，从而避免下颌骨位置变化对测量的干扰。三维配准有助于精确而有效地量化分析类牵引对牙齿和颌骨位置变化的不同影响(图6)。



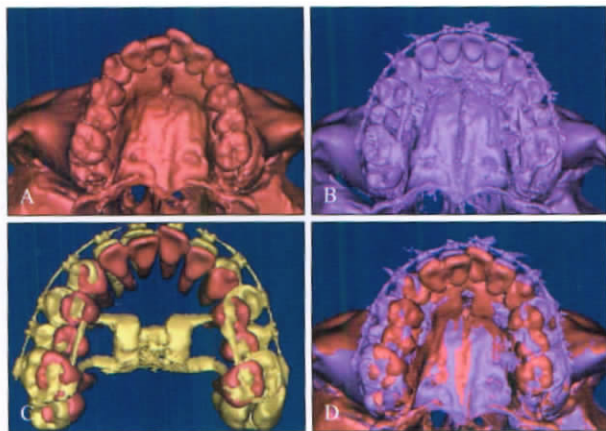
A: 治疗前的三维颌骨模型, 上下颌骨分别重建以便分别配准; B: 治疗后的三维颌骨模型; C: 以上颌骨为参考, 配准后评价治疗前后下颌骨及咬合平面的变化; D: 下颌骨单独配准以评价牙齿位移。

图6 通过治疗前后的CT配准评价II类牵引对牙齿、颌骨和咬合平面的影响

Fig 6 The effect of II inter-maxillary traction for teeth, maxillary, occlusal plane was evaluated after registration

扩弓治疗是常见的正畸治疗手段，但其作用机制尚未完全明确。扩弓治疗对牙齿、牙槽骨、腭中缝的作用效果尚缺乏系统性的研究和评价，而对扩弓治疗前后的数据进行CT配准研究，为探索其作用提供了新的思路和途径。因为扩弓作用会影响颧弓的宽度，所以一般在颧弓以上的颅骨部分选择配准标志点。配准完成后，可以分别评价牙齿的颊向移动量和腭中缝的扩大量，利用差值可以计算后段牙齿在牙槽骨中的位移量(图7)。牙齿颊向移动超过

一定程度,会导致牙槽骨开窗开裂,影响治疗的稳定性和安全性。



A: 扩弓前上颌骨形态; B: 扩弓后上颌骨形态; C: 配准后牙齿的位置变化; D: 配准后颌骨的形态变化。

图7 通过配准评价扩弓治疗对牙齿、牙槽骨和腭中缝的影响

Fig 7 The changes of teeth, alveolar bone, palatal nature after arch expansion were evaluated by measurements after registration

以上的CT配准技术均是基于颅骨部位的标志点来完成的。对于快速生长期儿童,治疗前后的CT配准应基于早期生长完毕的组织结构(如颅底骨)的标志点来完成。对于儿童纵向的CT对比研究有助于理解儿童生长发育的特点,完善正畸的生长发育理论;对采用twin-block、肌激动器和前牵引装置治疗前后的CT配准分析有助于研究功能矫治器的作用机理和效果。因为存在放射剂量过大等原因,所以这些方面的研究目前尚未开展,但其研究价值不可否认。

4 口腔正畸三维配准技术的应用前景

图像配准技术是图像处理领域的一项基本内容,涉及图像分割、特征提取、模式识别和优化理论等多项关键技术,而这些技术的进展直接影响着配准技术的发展。随着成像设备的完善和配准精度的提高,医学图像必将达到更直观、更清晰的效果,同时检查时的放射剂量更低,安全性提高。由此可见,三维配准技术必将在口腔医学中发挥重要作用。

[参考文献]

[1] 赵志河. 口腔正畸学的临床与基础研究进展[J]. 华西口腔医学杂志, 2008, 26(3) 229-232.

ZHAO Zhi-he. Progress of orthodontics in the clinical and basic research[J]. West China J Stomatol, 2008, 26(3) 229-232.

[2] Isambert A, Bonniaud G, Lavielle F, et al. A phantom study of the accuracy of CT, MR and PET image registrations with a block matching-based algorithm[J]. Cancer Radiother, 2008, 12(8) 800-808.

[3] Hilgers ML, Scarfe WC, Scheetz JP, et al. Accuracy of linear temporomandibular joint measurements with cone beam computed tomography and digital cephalometric radiography[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2005, 128(6) 803-811.

[4] Ludlow JB, Gubler M, Cevidanes L, et al. Precision of cephalometric landmark identification: Cone-beam computed tomography vs conventional cephalometric views[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009, 136(3) 312.e1-e10.

[5] Halazonetis DJ. From 2-dimensional cephalograms to 3-dimensional computed tomography scans[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2005, 127(5) 627-637.

[6] Brown LG. A survey of imaging registration techniques[J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4) 325-376.

[7] Quereshy FA, Savell TA, Palomo JM. Applications of cone beam computed tomography in the practice of oral and maxillofacial surgery[J]. J Oral Maxillofac Surg, 2008, 66(4) 791-796.

[8] Schendel SA, Chris L. 3D orthognathic surgery simulation using image fusion[J]. Semin Orthod, 2009, 15(1) 48-56.

[9] Lane C, Harrell W Jr. Completing the 3-dimensional picture[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2008, 133(4) 612-620.

[10] Ruppin J, Popovic A, Strauss M, et al. Evaluation of the accuracy of three different computer-aided surgery systems in dental implantology: Optical tracking vs stereolithographic splint systems [J]. Clin Oral Implants Res, 2008, 19(7) 709-716.

[11] 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 Oral Maxillofac Surg, 2008, 37(7) 641-646.

[12] Rangel FA, Maal TJ, Bergé SJ, et al. Integration of digital dental casts in 3-dimensional facial photographs[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2008, 134(6) 820-826.

[13] Nagao M, Sohmura T, Kinuta S, et al. Application of dentition and facial morphology integration system for occlusal correction [J]. Dent Mater J, 2004, 23(1) 24-30.

[14] 陈昱, 庄天戈. 医学影像中的图像配准和融合技术研究[J]. 中国医疗器械杂志, 1999, 23(3) :134-138.

CHEN Yu, ZHUANG Tian-ge. A review on registration and fusion of medical images[J]. Chin J Medical Instrumentation, 1999, 23(3) :134-138.

[15] Zitová B, Flusser J. Image registration methods: A survey [J]. Image Vis Comput, 2003, 21(11) 977-1000.

(本文编辑 胡兴戎)