

- 配[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(9): 1384-1391.
- [14] El-Baz A, Elnakib A, El-Ghar EM, et al. Automatic detection of 2D and 3D lung nodules in chest spiral CT scans [J]. Int J Biomed Imaging, 2013, 2013: 1-11.
- [15] Li Q, Li F, Doi K. Computerized detection of lung nodules in thin-section CT images by use of selective enhancement filters and an automated rule-based classifier [J]. Acad Radiol, 2008, 15(2): 165-175.
- [16] Chen B, Kitasaka T, Honma H, et al. Automatic segmentation of pulmonary blood vessels and nodules based on local intensity structure analysis and surface propagation in 3D chest CT images [J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2012, 7(3): 465-482.
- [17] Riccardi A, Petkov TS, Ferri G, et al. Computer-aided detection of lung nodules via 3D fast radial transform, scale space representation, and Zernike MIP classification [J]. Med Phys, 2011, 38(4): 1962-1971.
- [18] Li B, Zhang J, Tian LF, et al. Intelligent recognition of lung nodule combining rule-based and C-SVM classifiers [J]. Int J Comput Intel System, 2011, 4(5): 960-976.
- [19] Gurcan MN, Sahiner B, Petrick N, et al. Lung nodule detection on thoracic computed tomography images; Preliminary evaluation of a computer-aided diagnosis system [J]. Med Phys, 2002, 29(11): 2552-2558.
- [20] Aggarwal T, Furqan A, Kalra K. Feature extraction and LDA based classification of lung nodules in chest CT scan images [C]// Jaime LM. Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2015 International Conference on, IEEE, Kochi, India, 2015. United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2015: 1189-1193.
- [21] Soltaninejad S, Keshani M, Tajeripour F. Lung nodule detection by KNN classifier and active contour modelling and 3D visualization [C]// Khayatian AR. 16th CSI International Symposium on Artificial Intelligence and Signal Processing, AISP 2012, Fars, Iran, 2012. United States: IEEE Computer Society, 2012: 440-445.
- [22] Dandil E, Cakiroglu M, Eksi Z, et al. Artificial neural network-based classification system for lung nodules on computed tomography scans [C]// Takagi H. 6th International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition, SoCPaR 2014, Fukuoka, Japan, 2015. United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2014: 382-386.
- [23] Shi Z, Ma J, Feng Y, et al. Evaluation of MTANNs for eliminating false-positive with different computer aided pulmonary nodules detection software [J]. Pak J Pharm Sci, 2015, 28(6 Suppl): 2311-2316.
- [24] Lee S, Kouzani A, Hu E. Hybrid classification of pulmonary nodules [C]// Li ZH. Computational Intelligence and Intelligent Systems: 4th International Symposium, ISICA 2009, Huangshi, China, 2009. Germany: Springer Verlag, 2009: 472-481.
- [25] Krishnaiah V, Narsimha DG, Chandra D. Diagnosis of lung cancer prediction system using data mining classification techniques [J]. Int J Comput Sci Informa Tech, 2013, 4(1): 39-45.
- [26] Liang M, Tang W, Xu DM, et al. Low-Dose CT screening for lung cancer: computer-aided detection of missed lung cancers [J], 2016, 281(1): 279-288.
- [27] Retico A, Bagagli F, Camarlinghi N, et al. A voxel-based neural approach (VBNA) to identify lung nodules in the ANODE09 study [C]// Nico K. SPIE Medical Imaging 2009: Computer-Aided Diagnosis, Florida, United States, 2009. United States: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2009: 72601S1-72601S8.

(收稿日期: 2016-10-08 修回日期: 2016-11-17)

• 综述 • doi: 10.3969/j.issn.1671-8348.2017.06.040

三维头影测量系统建立的研究进展*

张涛综述, 周诺[△]审校

(广西医科大学附属口腔医院口腔颌面外科, 南宁 530021)

[关键词] 三维头影测量; 三维图像; 坐标系; 定点

[中图分类号] R782.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2017)06-0842-03

自从美国 Broadbent 和欧洲的 Hofrath 提出 X 射线头影测量技术以来, 头影测量一直是口腔正畸和正颌对畸形诊断、分析及治疗前后疗效评价的重要手段。但是传统的头影测量存在对三维立体空间体现不足, 部分标志点的定位不准, 图像易变形失真等问题。同时, 由于颌面部软组织、颌面部骨骼及

牙列可以认为是构成颅颌面部的三个元素, 是三位一体的, 传统的投影测量未能同时考虑三个要素。随着三维技术的发展, 建立一个新的三维头影测量系统成为必然。目前还没有任何一种成像技术可以同时显示三要素且让三者达到最佳效果, 只能通过不同方法分别获取三者的图像, 通过融合技术来创造一

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81360166)。 作者简介: 张涛(1990-), 住院医师, 硕士, 主要从事口腔颌面外科三维数字化研究。 [△] 通信作者, E-mail: nuozhou@hotmail.com。

个同时包含三者的虚拟头像。

建立三维头影测量分析系统,包括三维数据的获取、三维数据的整合、三维坐标系的选择及三维头影测量系统的定点。

1 三维数据的获取

1.1 颌面部骨骼结构的获取 从二维到三维是一个巨大的进步,CT 是目前对微小的骨骼结构进行研究的最好技术。关于 CT 影像测量的可信度方面,早有研究证明了其测量精确性高且可重复性好^[1]。但是 CT 对面部扫描的不足在于:(1)费用较高;(2)辐射较大;(3)口内金属物体存在干扰;(4)在殆面及颞骨区域分辨率不够。为了克服这些缺点,低花费且低辐射的在颅骨产生高分辨率图像的设备锥形束(CBCT)出现了。Dilenseger 等^[2]从测量线距、几何准确性、同质性和空间分辨率几个方面比较后认为在颌面部区域 CBCT 是螺旋 CT(MSCT)较好的替代选择。国内外大量研究已经表明,CBCT 的准确性和可靠性可以用于临床^[3]。同时 CBCT 最重要的优势是在个人电脑上展示和处理 3D 数据。CBCT 作为一个里程碑式的发明,为颌面部骨骼的获取提供了新的契机。

1.2 颌面部软组织的获取 三维头影测量基于 CBCT 影像,但由于 CT 或 CBCT 对软组织成像差且不能包含皮肤的色彩纹理信息,因此需要同其他颌面部外形轮廓及纹理色彩数据结合起来,才能得到完整的软组织信息。这些技术包括激光扫描,立体摄影技术,结构光技术等。

激光扫描可以在较小的损伤下获得颌面部的外形,但是激光扫描存在以下问题:扫描时间过长,扫描过程中头位的移动会影响结果;对眼睛的伤害,尤其是发育期的儿童;不能扫描到表面的色彩纹理信息,对某些基于表面色彩确定的标志点带来定点困难。

立体摄影技术指在同一个平面从 2 个不同位置对同一个物体进行拍摄,然后重建出三维表面的过程。目前立体摄影技术已经较为广泛地应用于临床。但是因为组织的反光,头发和眉毛的干预,拍摄过程中位置的变化均会影响面部图像的准确性。因为光不能进入弯曲的和反光的物体表面,特定的结构如眼睛和耳朵,成像质量会较差。

结构光技术同样可以获得颌面部的三维外形,临床常规采用的是光面结构光技术。将二维的结构光图案投射到待测物体表面上,数码相机获取待测物体的表面图像,同时结构光获取待测物体表面不同的深度值,基于结构光图案与待测物表面的点在三维坐标系中的置换就可以实现三维重建。最初的结构光技术只要一台相机和光源即可完成,但是往往很难获得从一侧耳朵到另一侧 180°范围的图像。Curry 等^[4]将结构光技术同立体摄影相结合,采用两台照相机和一个投影仪获得了可应用于临床的三维面部数据。

1.3 牙列的获取 由于 CBCT 重建后的牙列模型不能准确反映颊侧牙槽骨^[5],因此需要与外源的牙列数据相结合。相比于石膏模型分析,数字化的牙列模型分析能够带来更多复杂、精细的分析方法。

获取牙列三维模型最常用的方法为 micro-CT 重建或者牙列扫描系统。micro-CT 重建可扫描整个牙列模型包括牙齿下面的区域,但是重建的时候需要医生自己确定区分阈值,同时 micro-CT 对常规临床应用太贵,限制了它的使用。牙列扫描系统则分为直接法和间接法^[6]。间接法主要是通过扫描印模材料或者石膏模型获得,而直接法则是用口内扫描器直接扫描口内牙列^[7-8]。随后对二者进行数据处理和曲面重建,获得一个接近真实牙列、包含形状信息的三维数字化牙颌模型^[9]。

最早的设备均采用间接法,随着设备的改进及算法的完善,出现了口内牙列扫描器。van der Meer 等^[10]和 Akyalcin 等^[8]通过口内扫描机器得到了牙列的三维数据。Seelbach 等^[11]测试了 3 款口内牙列扫描仪器,结果显示即使是口内有固定修复体的复杂情况下,依然可以获得数据。Kihara 等^[12]则证明了使用非接触式扫描系统可以精确地获得虚拟颌间记录,可以用于临床。基于表面扫描算法的不同,不同的扫描设备会有技术差异^[8,13]。目前研究表明,数字化牙列作为正畸检查模型分析的重要资料,在进行牙的大小、牙列拥挤度、牙列间隙、尖牙间牙弓宽度、磨牙间牙弓宽度、Bolton 分析等常规在石膏模型上进行的测量分析时,其与传统石膏牙颌模型相比,二者测量数据的差异无统计学意义^[14]。

2 三维数据整合

成像和图像结合技术用于正畸治疗和正颌手术领域面部侧貌、面部骨骼和牙列已经超过一个世纪了。最初使用石膏模型来进行术前设计,至今仍然是设计术后咬合的“金标准”。之后临床开始应用测量学、照片、牙齿和面部的石膏模型结合来做治疗计划。随着头影测量的提出,由于更加准确地显示了牙列和颌面部骨骼的关系,成为了正畸、正颌治疗的金标准。从这方面来说,人们从三个元素中的其中两个即牙列和颌面部骨骼开始关注,随着人们认识到容貌和咬合同等重要,各种关于侧貌的研究方法开始提出,开始将三者结合起来分析。

三维数据整合是未来三维技术需要解决的一项关键技术,也是三维头影测量成为一项真正技术的重要步骤。目前三维多源数据配准的算法原理可大致分为两类:(1)基于标志点的配准;(2)迭代最近点配准算法。对于配准方法的选取,赵一姣等^[15]认为标志点配准法可操作性较强,标志点的选择、固定和转移操作简单,对使用者软件处理水平的要求不高,适用于对精度要求不高的领域。特别在成像质量不高的情况下,标志点配准方法是较合适的选择方案。迭代最近点配准算法适用于成像质量较高的配准。各项研究表明,目前的多源三维数据配准精确性已可以应用于临床^[16]。

3 三维坐标系的选择

在侧位头影测量中,通常以眶耳连线定义基准水平面作为 X 轴,再以过鼻根点的垂线作为 Y 轴,而在正位头影中以两侧颧额缝连为 X 轴,以过鸡冠中心点的垂线为 Y 轴。两个测量坐标系的基准平面和原点并不统一,并且正常的正位片图像会显示出定向的不对称性,侧位片不能反映此种不对称性,这样双侧对应的点到正中矢状面距离将不同。因此,在三位头影测量中需要建立新的坐标系。

Paul Simon 在殆面畸形的系统性诊断的基本原则中阐述了诊断所需的三维平面,包括眶耳平面、正中矢状面及眶耳平面^[17]。虽然 Simon 的部分理论被证明是片面的^[18],但是他提出的三维层面的分析仍然有其积极意义。Simon 眶耳平面选择双侧眶下点及双侧耳点的中点,眶耳平面则是通过双侧眶下点且垂直于眶耳平面,正中矢状面则是通过双侧眶下点的中点且同时垂直于前面两个平面,Nagasaka 等^[19]利用 Simon 提出的坐标系建立了可靠的头影测量系统。Park 等^[20]建立以鼻根点作为原点的三维坐标系对正常人颅面结构进行测量和验证后认为,三维 CT 测量可以获得更准确和全面的诊断信息,有利于术前设计。

4 三维头影测量系统的定点

目前对于建立准确的三维模型进行了大量的研究,但是对于测量最基本的定点却成了容易忽略的问题。三维头影测量系

统中的定点分为颌面部骨骼定点、颌面部软组织定点及牙列三维模型定点。

4.1 颌面部骨骼定点 三维图像是在二维的显示器上显示出深度而出现的,所以三维定点存在视觉误差,而且定点易受观测者主观判断的影响,同时三维空间与二维平面存在差别。比如颞下点,在二维坐标系可以很明确地确定,在真实颅骨上却是难以定位的。还有在真实的颅骨上并不存在下颌角点等。

因此三维测量与传统头影测量在标志点的选择、标志点的定义及标志点的定位方法上都是有所不同的,需要建立一套新的标志点的定位要求。Naji 等^[3]研究显示,CBCT 影像中可靠性和可重复性最高的解剖标志点是颞孔、眶下孔、翼突沟下段、枢椎齿突、寰椎横突孔、下颌骨髁突内部及外部、床突上部、中床突。

4.2 软组织定点 明度、对比度等的不同均会影响定点的准确性,何颖等^[21]测试了 59 个样本的 23 个软组织标记点,发现软组织标记点定位重复性最差的依次为颞下点,颞突点和下颌角点。

4.3 牙列三维模型定点 Hayashi 等^[6]研究认为标准化的定点可以消除部分人为误差,可以提高测量精度。但是,目前尚未得出统一的定点标准,这需要在临床工作中积极地探索与进一步研究。

5 临床应用与展望

通过颌面部的骨骼、软组织及牙颌的三维数字化模型建立,借助融合交互技术,可以准确地将三种数字化三维信息整合,除了可以使医生对牙颌面畸形做出更全面精确的判断与分析、进行模拟治疗、为教学和科研提供丰富的资料等外,随着精准医学的发展,未来每个患者都将建立一个“虚拟的自身”,任何的医学操作都可以模拟以后再行。

作者认为未来三维头影测量系统的发展方向依赖于高精度大范围低放射量的 CBCT 的发展,图像交互融合配准算法的进步及三维显示技术的发展。最终达到一次成像即可获得精准的颌面部骨骼、颌面部软组织及牙列的数据。

参考文献

- [1] Hildebolt CF, Vannier MW, Knapp RH. Validation study of skull three-dimensional computerized tomography measurements[J]. *Am J Phys Anthropol*, 1990, 82(3): 283-294.
- [2] Dillenseger J, Matern J, Gros C, et al. MSCT versus CBCT: evaluation of high-resolution acquisition modes for dento-maxillary and skull-base imaging[J]. *Eur Radiol*, 2015, 25(2): 505-515.
- [3] Naji P, Alsufyani NA, Lagravere MO. Reliability of anatomic structures as landmarks in three-dimensional cephalometric analysis using CBCT[J]. *Angle Orthod*, 2014, 84(5): 762-772.
- [4] Curry S, Baumrind S, Carlson S, et al. Integrated three-dimensional craniofacial mapping at the Craniofacial Research Instrumentation Laboratory/University of the Pacific[J]. *Semin Orthod*, 2001, 7(4): 258-265.
- [5] Patcas R, Müller L, Ullrich O, et al. Accuracy of cone-beam computed tomography at different resolutions assessed on the bony covering of the mandibular anterior teeth[J]. *Am J Orthod Dentofac*, 2012, 141(1): 41-50.
- [6] Hayashi K, Chung O, Park S, et al. Influence of standardization on the precision (reproducibility) of dental cast analysis with virtual 3-dimensional models[J]. *Am J Orthod Dentofac*, 2015, 147(3): 373-380.
- [7] Grünheid T, Patel N, De Felipe NL, et al. Accuracy, reproducibility, and time efficiency of dental measurements using different technologies[J]. *Am J Orthod Dentofac*, 2014, 145(2): 157-164.
- [8] Akyalcin S, Cozad BE, English JD, et al. Diagnostic accuracy of impression-free digital models[J]. *Am J Orthod Dentofac*, 2013, 144(6): 916-922.
- [9] Kim J, Heo G, Lagravere MO. Accuracy of laser-scanned models compared to plaster models and cone-beam computed tomography[J]. *Angle Orthod*, 2014, 84(3): 443-450.
- [10] van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, et al. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology[J]. *PLoS One*, 2012, 7(8): e43312.
- [11] Seelbach P, Brueckel C, Wöstmann B. Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow[J]. *Clin Oral Investig*, 2013, 17(7): 1759-1764.
- [12] Kihara T, Yoshimi Y, Taji T, et al. Accuracy of a three-dimensional dentition model digitized from an interocclusal record using a non-contact surface scanner[J]. *Eur J Orthod*, 2016, 38(4): 435-439.
- [13] Akyalcin S. Are digital models replacing plaster casts[J]. *Dentistry*, 2011, 1: e102.
- [14] Lighthead KG, English JD, Kau CH, et al. Surface analysis of study models generated from OrthoCAD and cone-beam computed tomography imaging[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012, 141(6): 686-693.
- [15] 赵一姣, 原福松, 谢晓艳, 等. 牙颌模型激光扫描数据与锥形束 CT 数据配准方法的精度比较[J]. *中华口腔医学杂志*, 2013, 48(3): 173-176.
- [16] Rosati R, De Menezes M, Rossetti A, et al. Digital dental cast placement in 3-dimensional, full-face reconstruction: A technical evaluation[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010, 138(1): 84-88.
- [17] Lewis AB. The impact of cephalometry orthodontic concepts[J]. *Angle Orthod*, 1950, 20(2): 67-73.
- [18] Connolly J. Fundamental principles of a systematic diagnosis of dental anomalies[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1927, 13(10): 1084-1090.
- [19] Nagasaka S, Fujimura T, Segoshi K. Development of a non-radiographic cephalometric system[J]. *Eur J Orthod*, 2003, 25(1): 77-85.
- [20] Park SH, Yu HS, Kim KD, et al. A proposal for a new analysis of craniofacial morphology by 3-dimensional computed tomography[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2006, 129(5): 600-623.
- [21] 何颖, 王晓霞, 刘筱菁, 等. 常用正颌外科三维头影测量标志点的可重复性研究[J]. *中华口腔正畸学杂志*, 2013, 20(2): 95-99.