

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2022.10.009

· 综述 ·

正畸治疗中利用锥形束CT测量牙根位置方法的研究进展

陈佳君, 薛超然, 王沛棋, 白丁

口腔疾病研究国家重点实验室 国家口腔疾病临床医学研究中心 四川大学华西口腔医院正畸科, 四川 成都 (610041)

【摘要】 牙根位置对于正畸治疗的健康、稳定、美观具有重要意义。过去应用二维放射影像评估牙根位置的准确性、精度不佳。近年来,利用锥形束CT(cone beam CT, CBCT)及其重建影像测量牙根三维空间位置及角度已经成为主流。牙根位置主要通过颊舌向、垂直向、近远中向三个方向上测量牙根与邻近结构的关系及测量牙根角度来描述。牙根颊舌侧的牙槽骨厚度代表颊舌向位置,牙根在牙槽骨中的垂直高度及与上颌窦的距离关系代表垂直向位置,根间牙槽骨厚度代表牙根近远中向位置,牙根角度则多以传统的二维测量中的下颌中切牙-下颌平面角、轴倾角、转矩等角度表示。拟合CBCT和数字化模型数据能监测正畸治疗中的牙根与牙槽骨位置关系,但需要更为全面、规范的牙根位置三维测量方法,以充分利用CBCT提供的牙根数据研究相对于不同层次解剖结构的牙根最佳位置,从而与计算机技术结合优化正畸诊疗数字化设计。

【关键词】 牙根位置; 锥形束CT; 数字化模型; 数字化设计; 正畸; 三维测量; 牙长轴; 牙槽骨厚度; 牙槽骨高度; 轴倾角; 转矩; 上颌窦

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2022)10-0740-06

【引用著录格式】 陈佳君,薛超然,王沛棋,等.正畸治疗中利用锥形束CT测量牙根位置方法的研究进展[J].口腔疾病防治,2022,30(10):740-745. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2022.10.009.



微信公众号

Research progress on root position measurement methods in orthodontic treatment using cone beam CT

CHEN Jiajun, XUE Chaoran, WANG Peiqi, BAI Ding. State Key Laboratory of Oral Diseases & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Department of Orthodontics, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Corresponding author: BAI Ding, Email: baiding@scu.edu.cn, Tel: 86-28-85503645

【Abstract】 Root position plays an important role in healthy, stable, and aesthetic orthodontic treatment. In the past, two-dimensional radiographic images were used to assess the accuracy and precision of tooth root positions. In recent years, the use of cone beam CT (CBCT) and its reconstructed images to measure the three-dimensional spatial position and angle of root position has become mainstream. The root position is mainly described by measuring the relationship between the root and adjacent structures in the buccolingual, vertical, and mesiodistal directions as well as the root angle. The thickness of the alveolar bone on the buccolingual side of the root represents the buccolingual position, the vertical height in the alveolar bone and the relationship between apex and maxillary sinus represents the vertical position, the interroot alveolar bone thickness represents the mesiodistal position of the root, and the root angle is mostly based on incisal mandibular plane angle, angulation, torque, and other angles in the traditional two-dimensional measurement. Fitting CBCT and digital model data can be used to monitor the relationship between root and alveolar bone during orthodontic treatment, but a more comprehensive, standardized three-dimensional tooth root position measurement method is

【收稿日期】 2021-09-17; **【修回日期】** 2021-12-02

【基金项目】 四川省科技创新苗子工程(20-YCG045); 中华口腔医学会口腔正畸专委会中青年临床-科研项目(COS-C2021-02); 四川大学华西口腔医院交叉学科创新项目(RD-03-202108); 四川大学华西口腔医院探索与研发项目(LCYJ-2022-YY-3)

【作者简介】 陈佳君, 住院医师, 硕士研究生, Email: liviachan54@outlook.com

【通信作者】 白丁, 教授, 博士, Email: baiding@scu.edu.cn, Tel: 86-28-85503645

required to make full use of the root data provided by CBCT to study the relative optimal position of the tooth root at different anatomical levels, which combines with computer technology to optimize the digital design of orthodontic diagnosis and treatment.

【Key words】 root position; cone beam CT; digital model; digital design; orthodontic; three-dimensional measurement; long axis of teeth; alveolar bone thickness; alveolar bone height; angulation; inclination; maxillary sinus

J Prev Treat Stomatol Dis, 2022, 30(10): 740-745.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grant of Miaozi Project in Science and Technology Innovation Program of Sichuan Province(No.20-YCG045); the Clinical Research Program for Young Scholar of the Orthodontics Committee of the Chinese Association of Stomatology(No. COS-C2021-02); the Interdisciplinary Innovation Project of West China Hospital of Stomatology, Sichuan University(No. RD-03-202108); the Research and Development Program of West China Hospital of Stomatology, Sichuan University(No. LCYJ-2022-YY-3).

准确评估牙根位置对于保障正畸整体疗效、提高牙移动效率、维护牙体牙周健康具有重要意义。全口曲面断层片、头颅侧位片和根尖片等二维放射片常被用于估计牙根位置,但其线距、角度测量易受拍摄投照角度、头位等因素^[1]。相较于二维影像,锥形束CT(cone beam CT, CBCT)可测量三维向位置关系,与金标准物理测量比较,利用CBCT测量角度和线距的差异在1 mm和1°以内,具有高精度和可靠重复性^[2]。随着口腔正畸学数字化技术转型的纵深推进,牙根信息已成为数字化排牙、正畸正颌联合治疗目标预测、托槽虚拟粘接、正畸疗效监测等的重要依据。本文将从依据邻近结构评估牙根位置、牙根角度测量及正畸治疗中的牙根位置测量三方面综述利用CBCT测量牙根位置的方法。

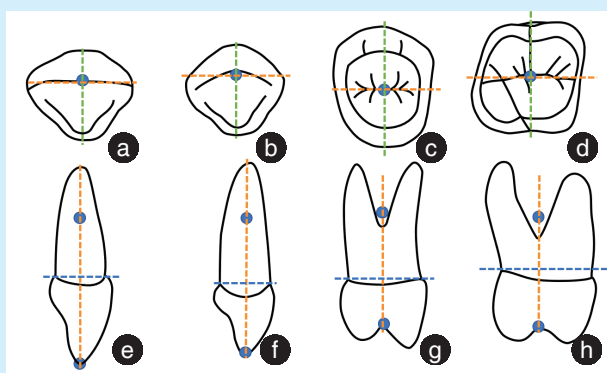
1 依据邻近结构评估牙根位置

在测量牙根与邻近解剖结构的位置关系前,首先需建立牙的局部三维坐标系。常根据牙齿长轴建立牙齿局部坐标系(图1):连接牙齿冠中心

点、根中心点确定牙齿长轴,通常切牙冠中心点和根中心点分别为切缘中点和根尖点,尖牙冠中心点和根中心点分别为牙尖点及根尖点,后牙冠中心点为水平面上颊舌长轴和近远中长轴的交点;单根前磨牙的根中心点为根尖点,而双根前磨牙根中心点可以是颊根根尖点或是根分叉点,磨牙根中心点可以为根分叉点或上颌磨牙腭根、下颌磨牙近中根或近颊根的根尖点^[3-4]。在磨牙也可根据牙根长轴建立局部坐标系:以牙根的冠方和根方顶点连线为长轴,冠方顶点为牙根冠方水平截面中心点,根方顶点可位于根尖点,或是位于根中分或根尖1/3处水平截面的中点,从而避免因常见的根尖弯曲导致牙根长轴偏移。通过长轴且与牙弓切线垂直的唇舌面为牙的矢状面,通过长轴的近远中面为牙的冠状面,水平面与这两个平面相垂直^[4]。在这三个平面上可以对牙根的三维向位置进行测量。

1.1 牙根的颊舌向位置及临床意义

牙根的颊舌向位置测量常以其颊舌侧牙槽骨骨皮质为参考,表示牙齿在颊舌向移动的范围。



a-d: horizontal cross section; e-h: buccolingual cross section. Green line: sagittal plane; blue line: horizontal plane; yellow line: coronal plane. a & e: incisor; b & f: canine; c & g: premolar; d & h: molar

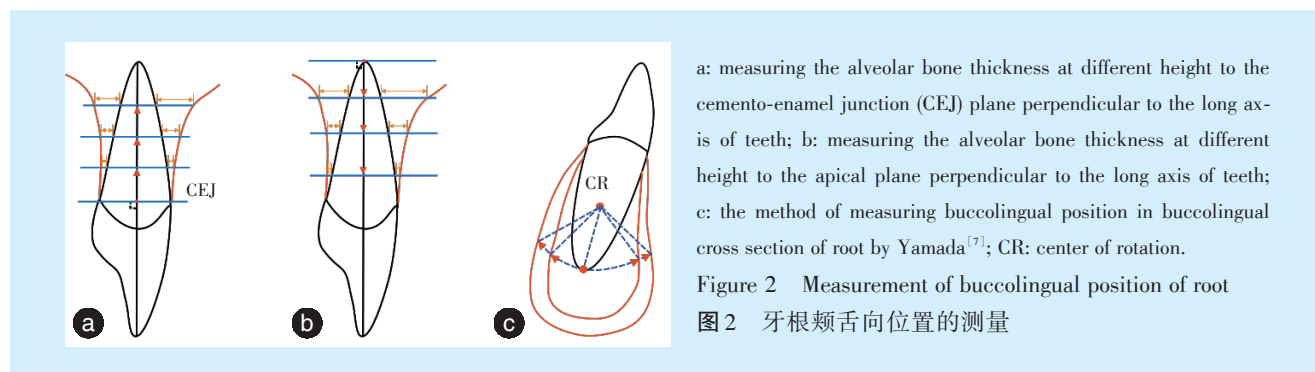
Figure 1 The establishment of teeth local coordinate system based on the crown center point and the root center point in mid-root

图1 以冠中心点和根中份的根中心点连线建立牙齿局部坐标系

最普遍使用的测量方法是在牙根颊舌向正中轴面上测量牙根表面到颊舌侧骨皮质的距离,即牙槽骨厚度。由于牙槽骨厚度从冠方至根方不恒定,故以垂直于牙齿长轴的根尖或釉牙骨质界平面为起始平面(图2a、2b),在距起始平面不同高度的平面进行测量^[5-6]。

Yamada等^[7]的测量方法评估牙齿在倾斜移动

时牙根在颊舌方向的移动范围(图2c):在下中切牙唇舌向正中矢状面上测量,若牙扭转则在与正中矢状面平行的颊舌向截面上测量,以牙根在牙槽骨中的中点为旋转中心,并以此旋转中心为圆心,旋转中心到根尖的距离为半径作弧线与颊舌侧牙槽骨骨皮质内外侧相接触,牙槽骨厚度为根尖点到颊舌侧牙槽骨骨皮质接触点的距离。



a: measuring the alveolar bone thickness at different height to the cemento-enamel junction (CEJ) plane perpendicular to the long axis of teeth; b: measuring the alveolar bone thickness at different height to the apical plane perpendicular to the long axis of teeth; c: the method of measuring buccolingual position in buccolingual cross section of root by Yamada^[7]; CR: center of rotation.

Figure 2 Measurement of buccolingual position of root

图2 牙根颊舌向位置的测量

1.2 牙根的垂直向位置及临床意义

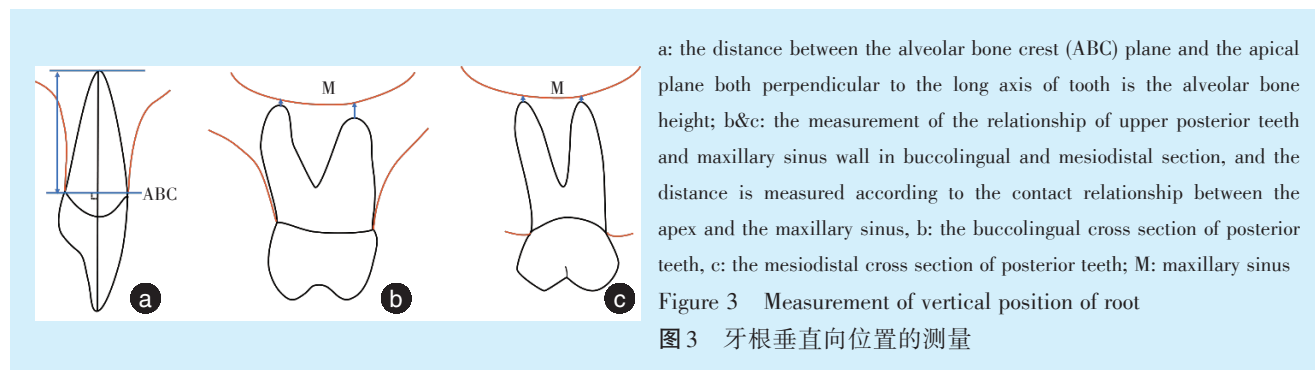
牙根的垂直向位置包括牙根在牙槽骨中的高度以及后牙根尖与上颌窦之间的距离关系。牙根在牙槽骨中的高度决定其阻力中心,准确判断阻力中心位置,有利于正畸医师选择合适力系统矫治。在牙齿颊舌向截面上和冠状面能测量颊舌侧和近远中的牙槽骨高度,为根尖水平面到牙槽骨嵴顶水平面的距离(图3a)^[8-9]。

后牙根尖与上颌窦底壁的距离关系影响着后牙的矢状向和垂直向移动。牙根与上颌窦底壁接触形成骨皮质支抗致使牙移动缓慢或发生倾斜移动。尽管使用轻中度的正畸力移动牙齿经过上颌窦可诱导窦壁成骨维持骨厚度,但牙根吸收风险较高^[10]。因此,在后牙需要进行垂直向和矢状向移动时,须关注根尖与上颌窦底壁的距离关系。在牙的近远中面、颊舌冠状面、水平面三个方向测量根尖与上颌窦底之间的距离与接触关系(图3b、

3c)^[11]。垂直生长型患者比水平生长型和平均生长型患者的后牙根尖距上颌窦底距离更接近^[12]。因此,在设计垂直生长型患者的磨牙矢状向及垂直向移动前应关注牙根与上颌窦底间的关系。

1.3 牙根近远中向位置及与种植支抗之间距离关系的测量及临床意义

在使用种植支抗前,常规需拍摄放射片测量相邻两牙牙根水平间距从而确定种植支抗植入的位置及方向,避免种植支抗与牙根间距过近增加种植支抗植入失败风险。使用根尖片评估相邻牙牙根间距的准确性受到投照角度的影响^[13],而CBCT不受此干扰。Lee等^[14]测量了上后牙各牙根间水平距离(图4a-4c):以通过后牙牙体长轴的颊舌向截面为冠状面,以通过尖牙到第二磨牙的牙槽嵴长轴和后牙牙体长轴的平面为矢状面,以后牙颊舌侧釉牙骨质界平面为水平面,在距水平面不同高度的水平截面上测量牙根间距。而Yang



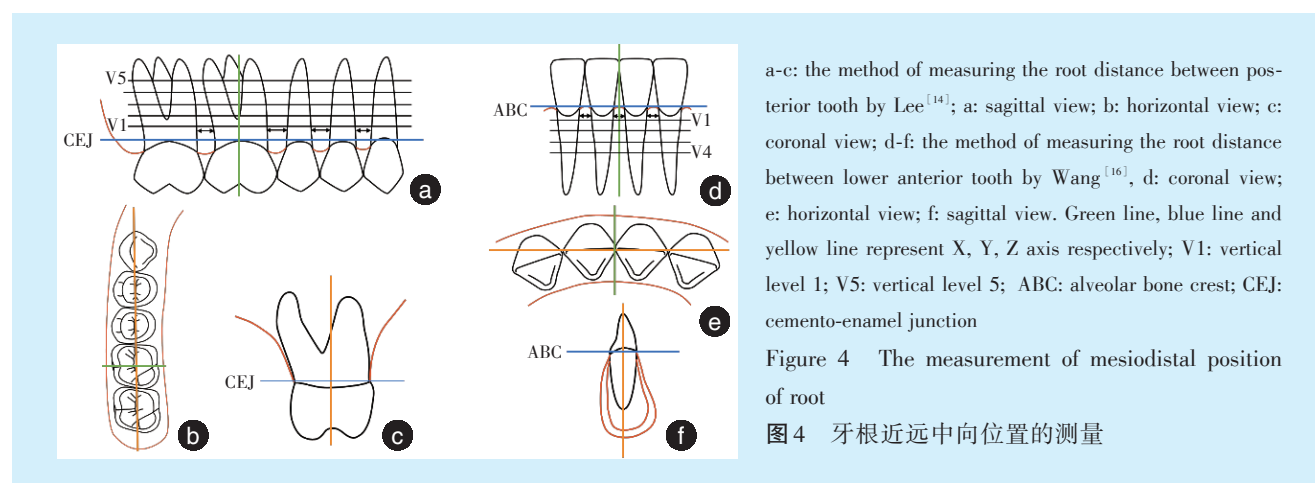
a: the distance between the alveolar bone crest (ABC) plane and the apical plane both perpendicular to the long axis of tooth is the alveolar bone height; b&c: the measurement of the relationship of upper posterior teeth and maxillary sinus wall in buccolingual and mesiodistal section, and the distance is measured according to the contact relationship between the apex and the maxillary sinus; b: the buccolingual cross section of posterior teeth; c: the mesiodistal cross section of posterior teeth; M: maxillary sinus

Figure 3 Measurement of vertical position of root

图3 牙根垂直向位置的测量

等^[15]测量上后牙牙根间距时定义的水平面为与殆平面平行并通过相邻两牙釉牙骨质界中点的平面,在平行于水平面不同高度的水平截面上进行测量,以相邻两牙牙根之间最窄的间距为牙根间距,发现种植支抗的最适植入部位在第一磨牙与第二磨牙间,角度与颌骨矢状面呈 58° 最佳。Wang等^[16]在下前牙区将与相邻两牙牙槽嵴顶平齐的平面定义为水平面,矢状面定义为与下前牙牙体长轴平行的颊舌向平面,冠状面定义为在近远中向通过下前牙区牙槽嵴的平面,在冠状截面上与水

平面平行的不同高度测量下前牙牙根间距(图4d-图4f),发现下前牙区种植支抗最佳植入位点为侧切牙与尖牙间的牙槽嵴下8 mm。结合CBCT提供的牙根数据、计算机辅助设计与制造(computer-aided design/computer-aided manufacturing, CAD/CAM)和3D打印进行种植支抗手术植入导板设计,能实现安全、准确和稳定的种植支抗植入^[17]。另外, CBCT还能判断种植支抗与牙根的接触关系。由于金属影响成像准确性, CBCT判断牙根与种植支抗接触的敏感性较高、特异性较低。



2 牙根角度的测量

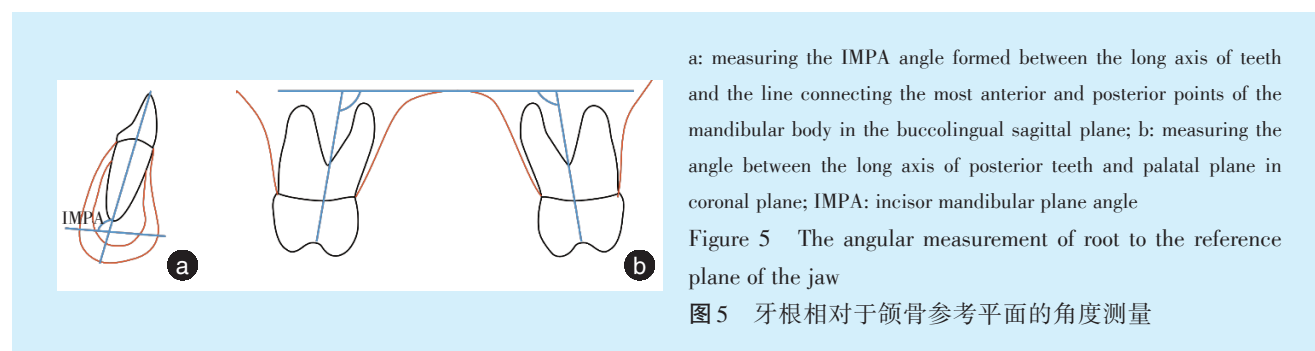
2.1 牙根相对于颌骨参考平面所成的角度测量方法及临床意义

应用头颅侧位片测量中切牙颊舌向倾斜度和磨牙近远中向倾斜度的准确性受重叠解剖结构的影响。而在CBCT重建影像中通过调整头位能测量不同牙位的角度。Srebrzynska-Witek等^[19]在CBCT中以下前牙的牙体长轴与下颌体下缘截面前后最突点连线的后上角代表IMPA(图5a),测量出的IMPA与二维头影测量参考数据相似,且尖牙较切牙有更大倾斜度;还在颌骨水平面以牙根颊舌向长轴与中线的夹角表示牙齿在殆内的旋转角

度。Moon等^[20]在颌骨冠状面测量上后牙长轴与平行于腭平面的水平面所成的角表示后牙颊舌向倾斜度的变化,以此评估扩弓的牙性效应(图5b)。

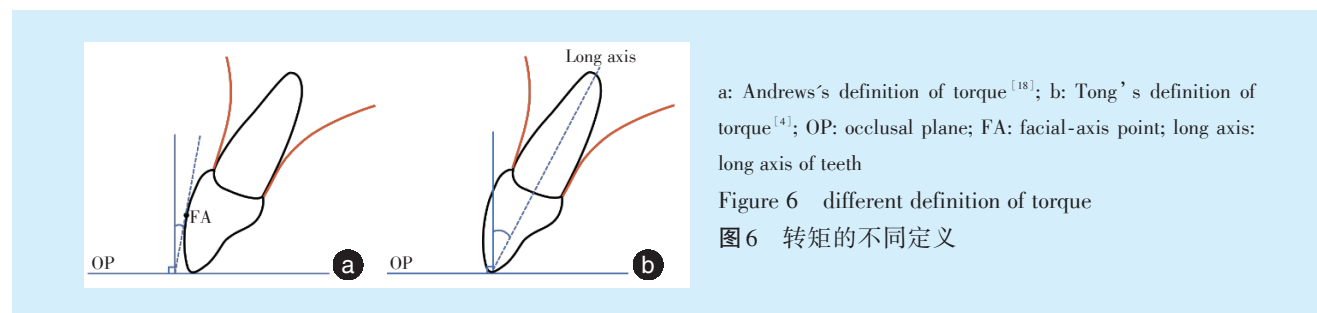
2.2 牙根相对于殆平面的轴倾角、转矩测量方法及临床意义

Andrews^[18]所定义的轴倾角为牙冠长轴与殆平面垂线所成的角度,转矩为过冠中心点(FA点)的切线与殆平面的垂线所成的角度。Tong等^[4]在Dolphin软件中开发了应用CBCT半自动测量牙齿角度的程序。CBCT重建后首先手动建立颌骨三维坐标系、牙齿的个别坐标系。通过牙齿长轴与牙弓线切线相垂直的平面确定牙齿的颊舌向坐



标,通过牙齿近远中长轴且与颊舌面垂直的面为近远中面,通过牙齿冠中心点的平面为水平面。确定每颗牙齿的三维坐标系后,程序会自动计算每颗牙齿的轴倾角和转矩。在CBCT重建影像中绘制牙齿长轴较绘制过FA点的切线更为简便且

具有较好重复性。Tong与Andrews对转矩的定义不同(图6),故获得的正常殆牙齿转矩范围与Andrews的存在些许差异,并且该测量方法局限于正常殆或近正常殆的患者,不适用于牙弓不对称及深覆殆的患者。



3 正畸治疗中牙根位置变化的测量方法

牙根转矩变化使牙根发生唇舌向倾斜移动,若变化幅度过大则会增加骨缺损的风险,为了在最小辐射暴露下进行正畸治疗中的牙根位置的监测,避免造成医源性骨缺损,学者们通过各种方法拟合治疗前大视野CBCT与数字化模型中牙齿数据以分析根骨位置关系。临床医师可在隐形矫治重启时、改正牙齿转矩时等情形下,应用此方法分析牙根位置。由于体素大小、照射时间影响CBCT精度,应用于牙根位置分析的CBCT体素大小在0.25~0.39 mm之间,照射时间在9 s以上。近来有研究显示低剂量CBCT与标准剂量CBCT重建的头颅侧位片相比能获得精度相似的测量结果^[21],但低剂量CBCT的精度能否满足临床应用的需求仍有待研究。

Lee等^[22]利用Anatomodel软件分割治疗前CBCT的牙齿数据与治疗中数字化模型中的牙齿数据,在3-matic软件中使用“N点配准”将CBCT分割的牙齿叠加到数字化模型分割出的牙冠上,获得的预期牙根位置与相对应的CBCT中实际牙根位置差异较小,能用于监测正畸治疗中的牙根位置变化。但手动分割牙齿耗时并依赖于操作者的经验,冠根之间分割也较为粗糙导致不同牙齿的釉牙骨质界不一致。

Staderini等^[23]在Lee的基础上简化了流程,使牙齿分割半自动化。首先在Amira软件中用阈值分割CBCT扫描中的根冠数据,再手动细化分割阈值,在OnyxCeph软件中分割治疗后数字化模型中的牙齿,在Geomagic软件中通过双向顺序配准程序将治疗前CBCT与治疗中数字化模型牙齿配准

获得预期牙根位置,其与实际牙根位置之间的角度误差小,能满足临床需求,但此研究样本量较小,临床推广前仍需进一步简化流程。

4 小结

测量牙根位置有助于深化对牙根最适位置的认识,依据CBCT提供的根骨关系设计最优牙移动路径和目标位。目前三维影像测量中的标志点、参考系的定义是传统二维头影测量分析法的延伸,缺乏规范和标准的三维头影测量分析法来描述牙齿在唇颊向、近远中向、垂直向、偏航方向、俯仰方向、滚转方向的六向位置。常用的参考系常局限于牙根附近的解剖结构,制定标准参考系说明牙根在牙列、牙槽骨、颌骨、软组织等不同解剖层次的位置关系,有利于达成牙根位置测量的规范和共识。选择冠中心点和根中部根中心点连线确定的牙体长轴更接近真实长轴,但相较于选择根尖顶点等明确的解剖标志点,主观判断影响结果,而利用算法自动计算牙长轴,能减少手工定点的繁琐和误差。将标准化的牙根位置测量方法与计算机技术、有限元分析等结合,获得更准确的牙根位置、牙阻力中心测量,有利于正畸诊疗技术的智能化、自动化、精准化发展。

【Author contributions】 Chen JJ wrote the article. Xue CR, Wang PQ, Bai D reviewed the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

参考文献

- [1] Mckee IW, Glover KE, Williamson PC, et al. The effect of vertical and horizontal head positioning in panoramic radiography on mesiodistal tooth angulations[J]. Angle Orthod, 2001, 71(6): 442-451.

- doi: 10.1043/0003-3219(2001)071<0442:TEOVAH>2.0.CO;2.
- [2] Lagravère MO, Carey J, Toogood RW, et al. Three-dimensional accuracy of measurements made with software on cone-beam computed tomography images[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2008, 134(1): 112-116. doi: 10.1016/j.ajodo.2006.08.024.
- [3] Lim SW, Park H, Lim SY, et al. Can we estimate root axis using a 3-dimensional tooth model via lingual-surface intraoral scanning? [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2020, 158(5): e99-e109. doi: 10.1016/j.ajodo.2020.07.032.
- [4] Tong H, Kwon D, Shi J, et al. Mesiodistal angulation and faciolingual inclination of each whole tooth in 3-dimensional space in patients with near-normal occlusion[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012, 141(5): 604-617. doi: 10.1016/j.ajodo.2011.12.018.
- [5] Mao H, Yang A, Pan Y, et al. Displacement in root apex and changes in incisor inclination affect alveolar bone remodeling in adult bimaxillary protrusion patients: a retrospective study[J]. *Head Face Med*, 2020, 16(1): 29. doi: 10.1186/s13005-020-00242-2.
- [6] Ma H, Li W, Xu L, et al. Morphometric evaluation of the alveolar bone around central incisors during surgical orthodontic treatment of high-angle skeletal class III malocclusion[J]. *Orthod Craniofac Res*, 2021, 24(1): 87-95. doi: 10.1111/ocr.12408.
- [7] Yamada C, Kitai N, Kakimoto N, et al. Spatial relationships between the mandibular central incisor and associated alveolar bone in adults with mandibular prognathism[J]. *Angle Orthod*, 2007, 77(5): 766-772. doi: 10.2319/072906-309.
- [8] Casanova-Sarmiento JA, Arriola-Guillén LE, Ruíz-Mora GA, et al. Comparison of anterior mandibular alveolar thickness and height in young adults with different sagittal and vertical skeletal relationships: a CBCT study[J]. *Int Orthod*, 2020, 18(1): 79 - 88. doi: 10.1016/j.ortho.2019.10.001.
- [9] Guerino P, Marquezan M, Mezomo MB, et al. Tomographic evaluation of the lower incisor's bone limits in mandibular symphysis of orthodontically untreated adults[J]. *Biomed Res Int*, 2017: 9103749. doi: 10.1155/2017/9103749.
- [10] Sun W, Xia K, Huang X, et al. Knowledge of orthodontic tooth movement through the maxillary sinus: a systematic review[J]. *BMC Oral Health*, 2018, 18(1): 91. doi: 10.1186/s12903-018-0551-1.
- [11] Qin Y, Shu G, Xu T. Evaluation of the relationship between maxillary sinus wall and maxillary canines and posterior teeth using cone - beam computed tomography[J]. *Med Sci Monit*, 2020, 26: e925384. doi:10.12659/MSM.925384.
- [12] Costea MC, Bondor CI, Muntean A, et al. Proximity of the roots of posterior teeth to the maxillary sinus in different facial biotypes[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2018, 154(3): 346-355. doi:10.1016/j.ajodo.2018.01.006.
- [13] Barros SE, Abella M, Janson G, et al. X-ray beam angulation can compromise 2 - dimensional diagnosis of interradicular space for mini-implants[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2019, 156(5): 593-602. doi: 10.1016/j.ajodo.2018.11.012.
- [14] Lee JA, Ahn HW, Oh SH, et al. Evaluation of interradicular space, soft tissue, and hard tissue of the posterior palatal alveolar process for orthodontic mini-implant, using cone-beam computed tomography[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2021, 159(4): 460 -469. doi: 10.1016/j.ajodo.2020.01.019.
- [15] Yang L, Li F, Cao M, et al. Quantitative evaluation of maxillary interradicular bone with cone-beam computed tomography for bicortical placement of orthodontic mini-implants[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2015, 147(6): 725 - 737. doi: 10.1016/j.ajodo.2015.02.018.
- [16] Wang Y, Shi Q, Wang F. Optimal implantation site of orthodontic micro-screws in the mandibular anterior region based on CBCT[J]. *Front Physiol*, 2021, 12: 630859. doi: 10.3389/fphys.2021.630859.
- [17] Qiu L, Xu H, Feng P, et al. Clinical effectiveness of orthodontic miniscrew implantation guided by a novel cone beam CT image-based computer aided design and computer aided manufacturing (CAD-CAM) template[J]. *Ann Transl Med*, 2021, 9(12): 1025. doi: 10.21037/atm-21-2575.
- [18] Andrews LF. The six keys to normal occlusion[J]. *Am J Orthod*, 1972, 62(3): 296-309. doi: 10.1016/s0002-9416(72)90268-0.
- [19] Srebrzyńska-Witek A, Koszowski R, Różyło-Kalinowska I. Relationship between anterior mandibular bone thickness and the angulation of incisors and canines-a CBCT study[J]. *Clin Oral Investig*, 2018, 22(3): 1567-1578. doi: 10.1007/s00784-017-2255-3.
- [20] Moon HW, Kim MJ, Ahn HW, et al. Molar inclination and surrounding alveolar bone change relative to the design of bone-borne maxillary expanders: a CBCT study[J]. *Angle Orthod*, 2020, 90(1): 13-22. doi:10.2319/050619-316.1.
- [21] Van BR, Dijkstra P, Dieters A, et al. Precision of orthodontic cephalometric measurements on ultra low dose-low dose CBCT reconstructed cephalograms[J]. *Clin Oral Investig*, 2022, 26(2): 1543 - 1550. doi: 10.1007/s00784-021-04127-9.
- [22] Lee RJ, Pi S, Park J, et al. Accuracy and reliability of the expected root position setup methodology to evaluate root position during orthodontic treatment[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2018, 154(4): 583-595. doi: 10.1016/j.ajodo.2018.05.010.
- [23] Staderini E, Guglielmi F, Cornelis M, et al. Three-dimensional prediction of roots position through cone-beam computed tomography scans - digital model superimposition: a novel method[J]. *Orthod Craniofac Res*, 2019, 22(1): 16-23. doi: 10.1111/ocr.12252.

(编辑 周春华)



官网