

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2024.05.010

· 综述 ·

数字化正颌外科技术在临床实践中面临的挑战

闫佳恕, 李彪, 王旭东

上海交通大学医学院附属第九人民医院口腔颌面科, 上海交通大学口腔医学院, 国家口腔医学中心, 国家口腔疾病临床医学研究中心, 上海市口腔医学重点实验室, 上海市口腔医学研究所, 上海 (200011)

【摘要】 计算机辅助正颌外科经过多年的发展、完善, 其优势已被广泛认可, 但在临床实际应用中, 这项技术仍面临着诸多挑战。从影像数据采集、数字化技术的辅助诊断、数据处理及计算机辅助手术设计, 到最后将虚拟方案转移到实际手术中, 计算机辅助正颌外科流程中的每一步都可能产生误差, 诸多误差的累计、放大, 将会影响到最终的手术效果。目前正在探索的误差控制的思路包括: 使用数字化设备, 例如口内扫描仪; 使用自动化方法和算法; 使用个性化的骨块定位方式等。同时, 术后软组织的精准模拟、下颌骨功能性运动评估、可吸收内固定材料等难题尚未得到完善的解决。只有充分理解当下计算机辅助正颌外科存在的不足之处, 才能为继续优化现有方法提供方向, 同时在临床实际工作中规避潜在的风险, 充分发挥其优势, 得到最佳的治疗效果。个体化钛板、人工智能和手术机器人等新技术的应用与发展, 将进一步推动本学科的发展, 期待未来数字化正颌外科技术在自动化、智能化、个性化方面的革新。

【关键词】 正颌外科; 口腔外科; 牙颌面畸形; 计算机辅助设计; 计算机辅助手术; 三维打印; 计算机模拟; 人工智能; 数字化设备; 可视化

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2024)05-0395-06

【引用著录格式】 闫佳恕, 李彪, 王旭东. 数字化正颌外科技术在临床实践中面临的挑战[J]. 口腔疾病防治, 2024, 32(5): 395-400. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2024.05.010.



微信公众号

Challenges of computer-assisted orthognathic surgery in clinical application YAN Jiashu, LI Biao, WANG Xudong. Departments of Oral and Craniomaxillofacial Surgery, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine & College of Stomatology, Shanghai Jiao Tong University & National Center for Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Shanghai Key Laboratory of Stomatology & Shanghai Research Institute of Stomatology, Shanghai 200011, China

Corresponding author: WANG Xudong, Email: xudongwang70@hotmail.com, Tel: 86-21-53315488

【Abstract】 After years of development, the advantages of computer-assisted orthognathic surgery have been widely recognized. However, the clinical application of this technology is challenging. Each step may generate errors from data acquisition, computer-assisted diagnosis, and computer-assisted surgical design, causing errors to be transferred from the virtual surgical plan to the operation. The accumulation and amplification of errors will affect the final surgical effect. Currently, digital devices, such as intraoral scanners, are being explored for error control, utilizing automation methods and algorithms, and implementing personalized bone positioning methods. Moreover, there are still many problems that have not been fully resolved, such as precise simulation of postoperative soft tissue, functional assessment of mandibular movement, and absorbable internal fixation materials. Fully understanding computer-assisted orthognathic surgery's limitations could provide direction for optimizing existing methods while helping clinicians avoid risks and maximize its advantages to achieve the best outcome. Many emerging and cutting-edge technologies, such as personalized titanium plates, artificial intelligence, and surgical robots, will further promote the development of this discipline.

【收稿日期】 2023-05-03; **【修回日期】** 2023-08-01

【基金项目】 国家自然科学基金项目(82071096); 上海“科技创新行动”技术带头人项目(20XD1433100); 上海交通大学“交大之星”计划医工交叉研究基金(YC2022ZD014)

【作者简介】 闫佳恕, 硕士研究生, Email: yanjiashusara@qq.com

【通信作者】 王旭东, 主任医师, 博士, Email: xudongwang70@hotmail.com, Tel: 86-21-53315488

We can expect future optimization of digital orthognathic surgical technology by innovations in automation, intelligence, and personalization.

【Key words】 orthognathic surgery; oral surgery; dentofacial deformity; computer-aided design; computer-assisted surgery; 3D Printing; computer simulation; artificial intelligence; digital equipment; visualization

J Prev Treat Stomatol Dis, 2024, 32(5): 395-400.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 82071096); Program of Shanghai Academic/Technology Research Leader (No. 20XD1433100); the Interdisciplinary Program of Shanghai Jiao Tong University (No. YG2022ZD014).

自从1987年Hemmy^[1]首次将三维重建技术应用在正颌手术中,各医疗机构和团队尝试利用新技术对整个正颌手术规划的流程进行完善,以达到更安全、有效、准确的治疗效果。与传统方法相比,计算机辅助正颌外科具有许多优点^[2-3]。临床医生可以利用3D打印技术制作合板、手术导板等辅助装置,相较于传统方法有效节省了时间和人力。目前,计算机辅助正颌外科已凭借其诸多优越性获得了飞速的发展,利用计算机技术进行手术规划、手术操作模拟、手术效果预测的方法已广泛应用于临床^[4-5]。随着科技的发展,其他新技术也正被引入到正颌外科中,例如导航技术^[6]、人工智能(artificial intelligence, AI)技术^[7]、手术机器人等。本文将以计算机辅助工作流程为主线,总结目前计算机辅助技术在正颌外科各步骤应用中存在的潜在风险和挑战。

1 数据采集

为了在计算机上建立一个能准确还原患者面部形态的数字化仿真模型,需要尽可能准确地获取患者牙、颌骨和软组织的数据,以进行准确的手术模拟。这些数据一般包括:二维照片、三维照片、X线(X-ray)片;计算机断层扫描(computed tomography, CT)图像;石膏模型及扫描获得的数字模型。

1.1 数据本身的局限性

目前,对张口活动时关节及关节盘的运动轨迹、以及软组织运动状态的准确重现是比较困难的。髁突运动轨迹描记仪可以相对准确地记录髁突运动;颞下颌关节的动态磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)也可对髁突、关节盘的运动进行记录。但均由于设备复杂,操作繁琐,尚未被普及成为常规的检查方法。在临床实践中,往往需要配合临床检查,获取不同状态下的动态数

据来辅助完成计算机辅助手术设计。同时,由于CT灰度值数据固有的不均匀性,较难直接获取到神经的准确图像,只能依靠颌骨中的骨性神经管结构重现神经的走向。用于计算机辅助设计的CT数据,需要在患者术前正畸结束后进行采集,此时患者口中一般会安装有正畸托槽。金属托槽在CT上产生的伪影,可能会对数据采集和后续的三维重建处理带来困难和影响^[8-9]。

1.2 正中关系位与髁突位置的稳定性

颞下颌关节是颅颌面部唯一可动的双侧联动关节,使得下颌骨及髁突的位置多变。在采集患者CT数据时,希望患者的下颌骨及髁突处在一个可重复的位置,以免髁突位置变化造成手术结果的误差^[10]。尤其是对于上颌优先的手术,髁突的不稳定会严重影响上颌骨位置的准确性,使其偏离计划位置。

临床上采集CT数据时,一般要求患者取仰卧位,以保持髁突位于关节窝正中偏后方,下颌骨位于生理最后位,以获得可重复的髁突位置。虽然这种方法在临床上广泛应用,但是否达到要求,仍主要依靠技术人员的主观判断,难以制定出明确的客观标准。有研究表明,不同观察者对头部标准位置的感知存在差异,对于同一观察者而言,这种感受也会随着时间推移发生改变^[11]。

同时,对于存在关节基础问题的患者,往往很难确定下颌骨稳定可重复的位置。对于问题严重的病例,需要改变上下颌手术顺序来应对关节问题。另一方面,在需要进行正颌手术的适应证患者中,普遍存在着程度不一的错颌畸形,长期的咬合错乱会对关节产生影响。未来应尽可能降低计算机辅助设计对于髁突位置的敏感性,以减少患者自身关节状态对正颌术后效果产生的负面影响。目前已有报道投入临床使用的不基于咬合板的上颌骨骨块定位方式^[12-13],主要包括以下几种类

型:计算机辅助设计/计算机辅助制作技术(computer aided design/computer aided manufacturing, CAD/CAM)上颌骨定位导板、预成型钛板、3D打印的个性化钛板。它们都是通过骨面形态和预钻孔洞进行定位,从而最大程度避免髁突不稳定对颌骨定位产生影响。也有研究者同时使用传统咬合板与3D打印个性化钛板,以获得更高的手术准确性^[14]。

2 数字化技术辅助诊断

计算机辅助正颌外科的目的是为了更好地评估并解决颌骨三维层面上的畸形。Gateno等^[15]提出了三维头影测量方法,尝试从三维层面解决许多二维层面不能解决的问题。但是,在大多数临床实践中,主要使用的还是二维的侧位片的测量方法。尽管计算机辅助手术设计已经十分普及,但实际应用时仍离不开传统正颌外科技术和理念的辅助,尚未能形成一套足够完善的体系进行独立的诊断评价。

3 数据处理及计算机辅助手术设计

采集到需要的数据后,需要对数据进行处理、匹配,然后进行计算机辅助正颌手术设计,制定虚拟手术方案。主要过程包括:将CT数据三维重建,分离上下颌骨后得到虚拟头颅模型;将更加精细的牙列激光扫描数据与头颅模型进行匹配,替换牙齿部分,得到同时可以反应患者颌骨形态及精细牙列情况的三维模型;再根据临床检查结果和患者诉求进行手术设计,模拟截骨和骨块移动,制定虚拟手术方案。

3.1 三维重建

三维重建是使用软件提取特定骨的CT值的窟窿,重建颅骨模型。该过程不可避免地会造成部分颅骨形态细节的丢失。同时单纯利用CT重建出的牙列数据不够准确,不能满足临床要求^[16],因此需对患者的牙列进行再记录和扫描,组合得到最终的虚拟牙-骨模型。

3.2 费用及操作员因素

计算机辅助正颌手术设计需要专门的软件硬件设备,经费投入较高^[17]。熟练使用手术设计软件进行虚拟手术方案设计,有一定的学习成本^[10]。de Waard等^[18]开展了一项关于计算机辅助手术设计中操作员表现的研究,由经验丰富的医生与接触计算机辅助设计时间较短的学生,对同一病例分别进行2次设计,再分别对设计结果的相关指标

进行评估,发现两名操作员之间的评估结果存在显著差异。同时,同一操作员为同一病例分别制作的两次虚拟手术方案,也同样存在差异。这提示计算机辅助设计方案的可重复性不高。这些差异可能是设计人员自身的临床经验导致的,也可能是受到了主观判断的影响。未来应改进现有的手术设计软件,使整个计算机辅助设计的过程尽可能客观化,降低操作人员因素造成的手术效果的差异。

3.3 复杂病例的中线问题

确定正中矢状面是进行计算机辅助手术设计的关键步骤,严重面部不对称的患者正中矢状面的确定十分困难^[19]。对于上颌骨不对称、双侧眶下点相差较大的患者,临床检查确定的中线,与重建后基于虚拟头骨模型确定的中线可能存在较大差异。对于下颌骨不对称的患者,对称性调整会更加困难^[20]。目前,尚未有明确的中线判断方法。有研究者尝试使用数学算法辅助确定中线^[21],但在临床实践中,医生仍需要依据自身经验以及对美的主观感知来确定面中线。

3.4 术后效果模拟的局限性

在进行计算机辅助手术设计时,一方面是要对整个手术过程进行模拟,即骨骼模拟;另一方面是对术后效果进行模拟,即软组织模拟。

对正颌术后的软组织变化进行预测有十分重要的临床意义,对于希望通过正颌手术改善外形的患者而言,可视化的治疗目标更加直观和容易理解,可以帮助患者参与治疗方案的选择,这有利于医患间的交流。目前对软组织的准确预测仍有许多困难需要克服。相较于骨组织,面部软组织具有较高的可变性,尤其是在口周、下唇区域^[22]。因此,除手术影响外,扫描图像时患者的体位姿势、不稳定的面部表情、甚至体重变化,都可能引起软组织轮廓变化,导致预测误差。尤其是下唇在矢状面上的变化会更多,例如切牙的位置和角度、正畸托槽提供的额外支撑、软组织厚度和张力,口周肌肉组织和肌肉附着都可能会对唇部软组织的形态产生影响。在诸多因素的综合影响下,软组织的预测无法依靠简单的线性算法完成。目前有大量研究在尝试使用不同算法和模型对术后软组织形变进行预测^[23],往往都需要大量的时间和经济成本,难以运用在临床实践中。在积累足够的3D数据后,未来或许可以通过大数据的学习和整理,实现准确便捷的软组织模拟预测。

4 虚拟手术方案的转移

在利用计算机辅助虚拟手术规划确定手术方案后,就可以使用CAD/CAM技术设计并制作出术中需要用到的中间合板、终末合板以及手术导板,帮助手术医生在术中进行骨块定位。

4.1 术中可能出现的问题

在术中,预制的手术导板和合板几乎没有可修改的空间,除非提前准备好多个设计方案和对应的导板,否则无法改变截骨及移动方案^[2]。所以必须要在手术前仔细检查,准确规划,确认无误,才能保证手术达到预期效果。

4.2 3D打印合板的准确性

在设计咬合板,尤其是中间合板的数据时,有时需要在软件中模拟下颌运动打开咬合。颞下颌关节的运动方式是转动和滑动的结合运动,髁突有两个旋转中心,共同控制下颌骨进行开闭口运动。若要完全模拟髁突活动,须对患者的每侧髁突运动进行单独分析^[10]。目前往往通过假设的双侧髁突轴,依靠单纯的旋转运动来模拟开闭口运动。有研究表明下颌开口运动在20 mm以内时,可视为单纯的铰链旋转转动,因此对于一些小幅度的张口模拟,目前的简化方法尚可接受^[24]。但如果不能实现对髁突运动的更真实的个性化模拟,合板的设计和术中应用仍可能存在潜在误差,可能导致中间合板的不准确。

此外,3D打印技术本身也存在误差:打印材料的膨胀收缩特性可影响成品的精度,对于合板的表面处理、消毒等也可影响牙齿和合板的贴合度等。Andreß等^[25]对32个打印髁骨模型的准确性进行了验证,结果发现只有25%的模型没有发生明显形变,但由于这些形变不一定发生在重要区域,使用存在部分问题的3D打印部件一般不会产生明显的临床差错^[26]。

5 整体流程中的误差累计

纵观整个数字化正颌外科的流程,仍然是较为复杂、耗时的。对于一些特殊病例,例如分块截骨的患者,流程复杂性会显著增加。目前,很难使用一种方法同时获取到所需不同组织的数据,数据来源的不一致可能造成误差。在进行计算机辅助手术设计前,需要采集的数据包括:术前CT扫描;用弹性印模材料制取上下牙列印模,并灌制石膏模型;将石膏模型拼合到理想的终末咬合后,利用激光扫描仪扫描牙模以记录牙列形态和咬合位

置关系;然后对这些数据进行三维重建处理、组合,以进行手术设计。这些数据信息难以在同一时间点获取,来自于不同的扫描设备。目前主要依赖人工手动或半自动的方法对不同来源的数据进行匹配,例如将CT数据重建得到的三维颌骨模型与激光扫描得到的精细牙列模型的匹配过程,这些过程也可能会造成误差^[16]。

在整个设计流程中,每个步骤都可能产生误差,并导致误差的累积^[27],最终被转移到术中,影响手术效果。Ho等^[28]尝试使用口内扫描仪,扫描牙弓来代替传统的印模和石膏模型,使用全3D的数据进行数字规划。将传统的3D规划方法与全3D的数字化方法进行比较,结果显示虽然在最终手术效果上差异不显著,并且提高了整体费用,但具有更省时、更简单、患者主观体验更佳的优势^[29-30]。此外,也有文献报道了部分自动化方法:终末咬合的自动匹配^[31-32]、模型的自动分割与重建^[9, 33-34]、CT重建模型与牙列模型的自动匹配、标点自动选择^[35-37]、手术方案设计^[38]、自动头影测量等。有研究者尝试将计算机辅助设计中的不同步骤整合在一个软件中完成,简化步骤,减少整个流程的时长和复杂程度,平衡时间和经济成本,也可以减少不同步骤之间的误差累积^[39]。

6 讨论和展望

任何一项技术在创立之初都不可能是完美的,需要通过不断实践和反思逐渐补足、完善。思考和讨论当下存在的不足之处,实际是在为今后的发展寻找目标与方向。目前数字化正颌外科技术仍有许多难题尚未得到完善的解决,例如术后软组织的精准模拟、下颌骨功能性运动评估、可吸收内固定材料等^[40]。应不断尝试将最前沿的技术引入到本学科中:①利用个体化钛板(patient-specific implants, PSI)规避关节不稳定对手术准确性的影响;②利用人工智能技术,使用大量真实数据训练后,尝试用新的思路对术后软组织状态进行预测;③利用手术机器人实现更精确的骨块分割、移动,以更小的手术创伤完成手术。随着技术的不断革新,自动化、智能化的正颌手术全流程规划和设计将成为可能,进一步推动整个数字化正颌外科技术的发展和革新。

【Author contributions】 Yan JS, Li B conceptualized and wrote the article. Wang XD conceptualized and revised the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

参考文献

- [1] Hemmy DC. Wire mesh for cranial vault reconstruction [J]. *Plast Reconstr Surg*, 1987, 79(2): 306-307. doi: 10.1097/00006534-198702000-00042.
- [2] Donaldson CD, Manisali M, Naini FB. Three-dimensional virtual surgical planning (3D-VSP) in orthognathic surgery: advantages, disadvantages and pitfalls [J]. *J Orthod*, 2021, 48(1): 52-63. doi: 10.1177/1465312520954871.
- [3] Alkhayer A, Piffkó J, Lippold C, et al. Accuracy of virtual planning in orthognathic surgery: a systematic review [J]. *Head Face Med*, 2020, 16(1): 34. doi: 10.1186/s13005-020-00250-2.
- [4] Seo HJ, Choi YK. Current trends in orthognathic surgery [J]. *Arch Craniofac Surg*, 2021, 22(6): 287-295. doi: 10.7181/acfs.2021.00598.
- [5] Vyas K, Gibreel W, Mardini S. Virtual surgical planning (VSP) in craniomaxillofacial reconstruction [J]. *Facial Plast Surg Clin North Am*, 2022, 30(2): 239-253. doi: 10.1016/j.fsc.2022.01.016.
- [6] Lartizen R, Zaccaria I, Savoldelli C, et al. Learning condyle repositioning during orthognathic surgery with a surgical navigation system [J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2019, 48(7): 952-956. doi: 10.1016/j.ijom.2019.01.018.
- [7] Bouletreau P, Makaremi M, Ibrahim B, et al. Artificial intelligence: applications in orthognathic surgery [J]. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*, 2019, 120(4): 347-354. doi: 10.1016/j.jormas.2019.06.001.
- [8] Lee SJ, Yoo JY, Woo SY, et al. A complete digital workflow for planning, simulation, and evaluation in orthognathic surgery [J]. *J Clin Med*, 2021, 10(17): 4000. doi: 10.3390/jcm10174000.
- [9] Ayidh Alqahtani K, Jacobs R, Smolders A, et al. Deep convolutional neural network-based automated segmentation and classification of teeth with orthodontic brackets on cone-beam computed-tomographic images: a validation study [J]. *Eur J Orthod*, 2023, 45(2): 169-174. doi: 10.1093/ejo/cjac047.
- [10] Chow W, He Z, Liu Y, et al. Intraoperative condylar positioning techniques on mandible in orthognathic surgery [J]. *Orthod Craniofac Res*, 2022, 25(4): 449-458. doi: 10.1111/ocr.12568.
- [11] Sutton PH, Gateno J, English JD, et al. Both the observer's expertise and the subject's facial symmetry can affect anatomical position of the head [J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2019, 77(2): 406.e1-406. doi: 10.1016/j.joms.2018.09.037.
- [12] Li DTS, Leung YY. Patient-specific implants in orthognathic surgery [J]. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2023, 35(1): 61-69. doi: 10.1016/j.coms.2022.06.004.
- [13] Li B, Wei H, Jiang T, et al. Randomized clinical trial of the accuracy of patient-specific implants versus CAD/CAM splints in orthognathic surgery [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2021, 148(5): 1101-1110. doi: 10.1097/PRS.00000000000008427.
- [14] Wang R, Choi WS. Wafer as an adjunct to plating patient-specific implants for the multi-segment maxilla: a useful tool [J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2022, 51(8): 1055-1058. doi: 10.1016/j.ijom.2022.01.016.
- [15] Gateno J, Xia JJ, Teichgraber JF. New 3-dimensional cephalometric analysis for orthognathic surgery [J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2011, 69(3): 606-622. doi: 10.1016/j.joms.2010.09.010.
- [16] Zou B, Kim JH, Kim SH, et al. Accuracy of a surface-based fusion method when integrating digital models and the cone beam computed tomography scans with metal artifacts [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 8034. doi: 10.1038/s41598-022-11677-9.
- [17] Farrell BB. Evolving management of dentofacial deformities with digital planning and patient-specific fixation [J]. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2020, 28(2): 59-71. doi: 10.1016/j.cxom.2020.05.002.
- [18] de Waard O, Bruggink R, Baan F, et al. Operator performance of the digital setup fabrication for orthodontic - orthognathic treatment: an explorative study [J]. *J Clin Med*, 2021, 11(1): 145. doi: 10.3390/jcm11010145.
- [19] van Riet TCT, Klop C, Becking AG, et al. Management of asymmetry [J]. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2023, 35(1): 11-21. doi: 10.1016/j.coms.2022.06.013.
- [20] Yeung AWK, Wong NSM, Li DTS, et al. Is there a difference between the thicknesses of the rami in mandibular asymmetry? [J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2021, 50(6): 791-797. doi: 10.1016/j.ijom.2020.11.016.
- [21] Gateno J, Jajoo A, Nicol M, et al. The primal sagittal plane of the head: a new concept [J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2016, 45(3): 399-405. doi: 10.1016/j.ijom.2015.11.013.
- [22] Thomas PM. Three-dimensional soft tissue simulation in orthognathic surgery [J]. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2020, 28(2): 73-82. doi: 10.1016/j.cxom.2020.05.003.
- [23] Kim D, Kuang T, Rodrigues YL, et al. A novel incremental simulation of facial changes following orthognathic surgery using FEM with realistic lip sliding effect [J]. *Med Image Anal*, 2021, 72: 102095. doi: 10.1016/j.media.2021.102095.
- [24] Lemoine JJ, Xia JJ, Gateno J, et al. Radiographic analysis for jaw motion normalization [J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2005, 63(7): 961-967. doi: 10.1016/j.joms.2005.03.011.
- [25] Andreß S, Achilles F, Bischoff J, et al. A method for finding high accuracy surface zones on 3D printed bone models [J]. *Comput Biol Med*, 2021, 135: 104590. doi: 10.1016/j.combiomed.2021.104590.
- [26] De Riu G, Vaira LA, Ligas E, et al. New protocol for in-house management of computer assisted orthognathic surgery [J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2020, 58(10): e265-e271. doi: 10.1016/j.bjoms.2020.07.022.
- [27] Kwon TG, Lee ST, Choi SY, et al. Considerations for virtual surgical planning and simulation in orthognathic surgery—a narrative review [J]. *Front Oral Maxillofac Med*, 2020, 2: 27. doi: 10.21037/fomm-20-54.
- [28] Ho CT, Denadai R, Lin HH, et al. Three-dimensional computer-assisted orthognathic surgery: traditional hybrid versus full digital planning models [J]. *Ann Plast Surg*, 2021, 86(2S Suppl 1): S70-S77. doi: 10.1097/SAP.00000000000002622.
- [29] Stamm T, Böttcher D, Kleinheinz J. The University Münster model surgery system for orthognathic surgery - The digital update [J].

- Head Face Med, 2021, 17(1): 31. doi: 10.1186/s13005-021-00278-y.
- [30] Beek DM, Baan F, Liebrechts J, et al. Surgical accuracy in 3D planned bimaxillary osteotomies: intraoral scans and plaster casts as digital dentition models [J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2022, 51(7): 922-928. doi: 10.1016/j.ijom.2021.11.016.
- [31] Deng H, Yuan P, Wong S, et al. An automatic approach to establish clinically desired final dental occlusion for one-piece maxillary orthognathic surgery [J]. Int J Comput Ass Rad, 2020, 15(11): 1763-1773. doi: 10.1007/s11548-020-02125-y.
- [32] Wong S, Deng H, Gateno J, et al. Clinical evaluation of digital dental articulation for one-piece maxillary surgery [J]. J Oral Maxillofac Surg, 2020, 78(5): 799-805. doi: 10.1016/j.joms.2019.12.021.
- [33] Zhang J, Liu M, Wang L, et al. Context-guided fully convolutional networks for joint craniomaxillofacial bone segmentation and landmark digitization [J]. Med Image Anal, 2020, 60: 101621. doi: 10.1016/j.media.2019.101621.
- [34] Dot G, Schouman T, Dubois G, et al. Fully automatic segmentation of craniomaxillofacial CT scans for computer-assisted orthognathic surgery planning using the nnU-Net framework [J]. Eur Radiol, 2022, 32(6): 3639-3648. doi: 10.1007/s00330-021-08455-y.
- [35] Lang Y, Deng HH, Xiao D, et al. DLLNet: an attention-based deep learning method for dental landmark localization on high-resolution 3D digital dental models [J]. Med Image Comput Comput Assist Interv, 2021, 12904: 478-487. doi: 10.1007/978-3-030-87202-1_46.
- [36] Lee JH, Yu HJ, Kim MJ, et al. Automated cephalometric landmark detection with confidence regions using Bayesian convolutional neural networks [J]. BMC Oral Health, 2020, 20(1): 270. doi: 10.1186/s12903-020-01256-7.
- [37] Dot G, Schouman T, Chang S, et al. Automatic 3-dimensional cephalometric landmarking via deep learning [J]. J Dent Res, 2022, 101(11): 1380-1387. doi: 10.1177/00220345221112333.
- [38] Xiao D, Deng H, Lian C, et al. Unsupervised learning of reference bony shapes for orthognathic surgical planning with a surface deformation network [J]. Med Phys, 2021, 48(12): 7735-7746. doi: 10.1002/mp.15126.
- [39] Denadai R, Chen YR, Lo LJ. Three-dimensional computer-assisted single-splint 2-jaw cleft orthognathic surgery: toward patient-centered surgical rationale [J]. Cleft Palate Craniofac J, 2020, 57(12): 1428-1433. doi: 10.1177/1055665620949113.
- [40] Naini FB, Gill DS. Challenges and opportunities facing contemporary orthognathic surgery [J]. J Orthod, 2019, 46(1_suppl): 71-76. doi: 10.1177/1465312519840044.

(编辑 罗燕鸿)



Open Access

This article is licensed under a Creative Commons

Attribution 4.0 International License.

Copyright © 2024 by Editorial Department of Journal of
Prevention and Treatment for Stomatological Diseases

官网