

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2022.04.008

· 综述 ·

人工智能技术在口腔正畸诊疗中的应用研究进展

马建斌, 薛超然, 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】 近年来,人工智能技术发展迅速,已逐渐应用于临床影像资料处理、辅助诊断及预后评估等领域,研究表明,其能简化医生临床任务,快速提供分析处理结果,具有较高的准确性。在口腔正畸诊疗方面,人工智能可辅助用于二维及三维头影测量快速定点,此外,也广泛应用于三维牙模信息的高效处理与分析,并在决策正畸治疗是否需要拔牙、辅助判断生长发育阶段及正畸预后和美学评估中具有优势。尽管目前人工智能技术的应用受限于训练数据资料的数量与质量,但将其与正畸临床诊疗相结合,可提供更快更有效的分析诊断,为更准确的诊疗决策提供支持。本文就目前人工智能技术在口腔正畸诊疗中的应用进行综述,以期正畸医生在临床中理性看待和合理使用人工智能技术,让人工智能更好服务于正畸临床诊疗,以促进口腔正畸智慧化诊疗流程进一步发展。

【关键词】 人工智能; 机器学习; 卷积神经网络; 人工神经网络; 支持向量机; 正畸诊疗; 自动定点; 分牙

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2022)04-0278-05

【引用著录格式】 马建斌,薛超然,白丁.人工智能技术在口腔正畸诊疗中的应用研究进展[J].口腔疾病防治,2022,30(4):278-282. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2022.04.008.

Progress on application of artificial intelligence technology in orthodontic diagnosis and treatment MA Jianbin, XUE Chaoran, 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】 In recent years, artificial intelligence technology has developed rapidly and has been gradually applied to the fields of clinical image data processing, auxiliary diagnosis and prognosis evaluation. Research has shown that it can simplify doctors' clinical tasks, quickly provide analysis and processing results, and has high accuracy. In terms of orthodontic diagnosis and treatment, artificial intelligence can assist in the rapid fixation of two-dimensional and three-dimensional cephalometric measurements. In addition, it is also widely used in the efficient processing and analysis of three-dimensional dental molds data, and shows considerable advantages in determining whether orthodontic treatment needs tooth extraction, thus assisting in judging the stage of growth and development, orthodontic prognosis and aesthetic evaluation. Although the application of artificial intelligence technology is limited by the quantity and quality of training data, combining it with orthodontic clinical diagnosis and treatment can provide faster and more effective analysis and diagnosis and support more accurate diagnosis and treatment decisions. This paper reviews the current application of artificial intelligence technology in orthodontic diagnosis and treatment in the hope that orthodontists can rationally treat and use artificial intelligence technology in the clinic, and make artificial intelligence better serve orthodontic clinical diagnosis and treatment, so as to promote the further development of intelligent orthodontic diagnosis and treatment processes.

【Key words】 artificial intelligence; machine learning; convolutional neural network; artificial neural network; support vector machine; orthodontic diagnosis and treatment; automatic landmarking; tooth segmentation

【收稿日期】 2021-03-12; **【修回日期】** 2021-12-04

【基金项目】 科技部科技基础资源调查专项(2018FY10100003)

【作者简介】 马建斌, 医师, 硕士, Email: 2240237621@qq.com

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



微信公众号

J Prev Treat Stomatol Dis, 2022, 30(4): 278-282.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from Special Foundation for National Science and Technology Basic Research Program of China (No. 2018FY10100003).

近年来,人工智能(artificial intelligence, AI)技术的发展为实现快速、精准的医学诊疗带来希望,作为利用计算机研究、模拟、延伸和扩展人的智能的技术, AI在医学诊疗中的优势在于能够分析并处理大量临床数据以实现疾病的预测和诊断,提高临床诊疗效率并降低误差^[1]。其子领域机器学习(machine learning, ML)及其分支如人工神经网络(artificial neural network, ANN)、卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)、深度学习(deep learning, DL)、支持向量机(support vector machine, SVM)等已被广泛应用于正畸临床影像资料处理、辅助诊断等领域,协助正畸医生进行分析诊断及制定治疗计划,可显著提升医疗水平及效率^[1-2]。本文就目前AI技术在口腔正畸临床诊疗中的应用进行阐述。

1 AI在辅助二维头影测量中的应用

二维头影测量是通过X线侧位片中的点、线、角等进行标记与测量,辅助分析颅面结构特征的常规诊断过程。其中头影测量标志点的准确定位是影响分析诊断的重要因素。传统的头影测量标志点定位多受医生经验与偏好的影响,有很大个体差异^[3]。而一些用于自动定点的软件准确率有待提高(约75%),与之相比,用ML定位标志点的准确率可提高5%~15%,并降低耗时,提高医生诊疗效率^[3]。有研究使用CNN定位23个常用标志点,平均误差为(1.37 ± 1.79) mm,准确率达88.43%^[4]; Lee等^[5]应用CNN对18个标志点自动定位,平均误差(1.53 ± 1.74) mm,在2、3、4 mm误差可接受范围内,定位准确率分别为82.11%、92.28%和95.95%,与Song等^[6]的研究结果一致,而对于定位较为困难的上牙槽座点、下颌角点等的定位准确率也有显著提高^[5]。也有学者利用SVM自动定位蝶鞍点、下牙槽座点等5个标志点,平均准确率达98%^[7]。上述研究表明,基于AI的自动化定点系统具有较高的准确度,可以作为正畸头影测量分析的辅助工具,提高头影测量定点及分析效率^[6,8]。然而侧位片解剖影像重叠影及用以学习训练的侧位片数量会影响其定位准确性,因此,在训

练数据量较少或变异较大的情况下达到所需准确度仍是一大挑战。

2 AI在辅助三维CT影像分析中的应用

2.1 AI与CT分牙

从计算机断层扫描(computed tomography, CT)影像分牙是重建牙齿三维模型、进行计算机辅助诊断和治疗的基本步骤。目前在CT影像分割牙齿具有如下难点:①正常咬合接触时,上下牙齿重叠部分由于灰度值变化不明显,导致上下牙分割不清;②牙根与周围牙槽骨密度接近,很难将两者完全分开;③高度相似邻牙相互干扰,导致牙齿识别有误^[9-10]。传统分牙技术,如水平集法、基于模版的拟合法等,需要较多的人工交互,分牙准确性及效率都不甚理想^[9,11],与之相比,利用AI技术可在CT影像中实现自动、准确的牙齿分割。目前在分牙方面应用最多的AI技术是CNN,平均准确率可达94.17%,且能通过优化算法,解决CT影像强度不均^[11]、周围解剖结构及牙齿边界不清^[10-12]、解剖形态和位姿不同^[9]以及修复体金属伪影^[13]对分牙的影响,提高分牙的准确性和普适性,实现临床分牙操作全自动化^[9-10,13]。用于训练的数据集是影响AI性能的一大因素,增大数据集虽可提高分牙准确率,但也会增加计算负荷,降低其实用性, AI技术与传统分牙技术的结合可能会是提高分牙准确率的有效途径^[12]。

2.2 AI与三维头影测量定点

在三维头影测量中,人工定点较为费时且十分依靠医生经验,传统的自动定点方法^[14-15],虽较人工定点显著降低操作时间,但由于个体解剖学差异而缺乏灵活性,并且容易受到数据多样性的影响,导致定位偏差较大^[16]。

研究表明,应用ML可自动、快速地在CT影像中定位标志点,此类方法具有较高的灵活性,能兼顾多个标志点的空间位置关系,降低计算负荷^[17-18]。但对于定位准确性,有研究应用ML对14个标志点定位,平均偏差达3.40 mm,高于手工定点(1.41 mm)^[15],这与Yun等^[19]的研究结果一致;

而Ma等^[18]应用CNN对13个常用标志点定位,平均误差高达5.78 mm;此外Lachinov等^[17]应用CNN定位眶下点及耳点,结果表明在4 mm误差范围内,定位准确率达97%,然而在2 mm误差范围内,准确率降至78%。

由此可见AI在CT定位标志点的准确性不足以达到临床需求^[16]。这可能与如下因素有关:①一些标志点本身影像结构重叠不清或无明显图形特征;②用于训练的数据集有限。因此仅推荐将现有的AI技术用于标志点的初步定位,在进行进一步测量分析之前,须手动校准。

3 AI在辅助三维数字化牙模分析中的应用

三维数字化牙颌模型可通过口内扫描仪或牙科模型扫描仪获取,其通过对扫描数据处理及曲面重建,再现牙列三维信息,具有高精度性、可重复性的特征。对三维数字化牙模进行分牙是利用正畸CAD软件进一步加工与设计,辅助医生诊断及制定治疗方案的基础环节,如测量牙齿参数、模拟牙齿运动以及排牙实验等。以往的CAD/CAM软件,如3Shape、Implant3D和OrthoCAD等,虽然在一定程度上实现了自动化牙齿分割,但由于正畸CAD系统中交互操作的复杂性和高度的人工干预导致其分牙效率较低^[20];同时对于牙列拥挤、牙齿缺失和边界重叠等问题缺乏鲁棒性^[21],分牙效果不理想^[1]。

AI技术在医学诊疗中具有降低时间成本和人工交互方面的优势,可以显著提高准确性和效率。Tian等^[20]研究表明,应用CNN在数字化牙模分牙准确率达89.81%,具有较好的稳健性;Xu等^[21]在CNN基础之上,采用模糊聚类法细化牙齿边界,分牙准确率达99.06%。而Hao等^[22]基于DL的分牙模型,仅需24 s即可完成分牙操作,显著低于手工分牙(约15 min),且准确率达96.9%。

由此可见,AI在数字化牙模分牙具有高精度、高鲁棒性、较少的人工干预等优势,能显著提高分牙效率,对提高正畸CAD系统的智能水平具有重要意义。但目前应用也有一定局限性,如对于形态极复杂牙齿、高度相似牙齿等分牙水平有限。

4 AI在辅助判断骨性分类与生长发育阶段的应用

在正畸临床中,准确诊断患者错颌畸形类型及明确其所处于的生长发育阶段,对于确定矫治

时机、判断畸形程度、选择合适的治疗方案及判断预后具有重要意义。

有学者应用CNN辅助诊断垂直向和矢状向骨性分类,平均准确率分别达96.40%和95.70%^[23],这种高性能表现说明AI在此领域具有很大应用潜力。此外,由于SVM在解决分类及回归问题上的优越性,其在辅助诊断骨性分类方面也具有应用价值,准确率可达74.51%^[24]。对于生长发育阶段,有研究应用ANN在侧位片分析颈椎生长发育阶段,平均准确率为77.02%^[25],与Makaremi等^[26]应用CNN对颈椎发育的研究结果相似,准确率虽有待提高,但也在一定程度上表明AI可以辅助正畸医生对生长发育阶段做出准确评估^[25]。

5 AI在辅助制定正畸拔牙方案的应用

制定拔牙方案是正畸临床常见难题之一,不仅取决于客观测量分析,更与医生临床经验、专业知识等紧密相关,因此不同医生所做的拔牙诊断有所差异,对于没有经验的年轻医生,制定拔牙方案更具一定难度。

研究表明可利用AI技术建立辅助诊断模型,帮助医生制定拔牙方案。有学者应用ANN建立专家系统,通过对23项分析指标计算,判断11~15岁青少年患者是否需要拔牙矫治,准确率达80%^[27];Jung等^[28]基于ML的诊断模型准确率可达93%。此外,利用ML诊断Ⅱ、Ⅲ类错颌畸形手术患者是否需要拔牙,准确率分别为97%、88%^[29]。准确率的提升一方面源于AI性能的不断优化,另一方面则源于训练集的数量大小、分析指标的选择等不同。对于拔牙方案的选择,目前研究仅限于常规拔牙模式,即第一、二前磨牙对称拔除与否,准确率达84%^[28,30]。

上述研究表明AI在制定拔牙方案方面具有良好的辅助诊断能力,可降低医生治疗决策的主观性,在正畸临床具有较大的应用价值。但是AI辅助制定拔牙方案也有局限性,如病例类型、拔牙方案选择有限等。纳入更多的影响因素,如患者主诉、错颌类型、非常规拔牙等,能综合提升AI在此领域的性能,更好的服务于正畸临床。

6 AI在辅助预后及颜面部美学评估中的应用

6.1 AI与正畸治疗预后评估

AI在正畸治疗预后评估方面的主要应用之一是对软组织治疗结果的预测。有研究利用ANN预

测拔牙与非拔牙矫治后上下唇曲度的变化,对上唇和下唇的预测值和实际值的差异分别为29.6%和7%,均优于传统的基于线性回归的预测方法^[31]。而利用ANN对Ⅱ类患者治疗后正畸疗效评价标准(peer assessment rating index, PAR)指数进行预测,其准确率可达94%,也优于传统的线性回归预测模型(82%)^[32]。

6.2 AI与颜面部美学评估

在颜面部美学评估方面,传统的颜面部美观根据患者或正畸医生的主观评分来衡量。首先,颜面部协调美观的标准并不能反映人们对美观的具体感知力;其次,美观评估所涉及的主观性太强,影响因素众多,难以做到协调统一。

研究表明AI可以通过表征特定面部特征及其组合,对颜面部美学进行客观、可重复的评估^[42]。有学者利用CNN对正颌手术前后患者的颜面美观变化进行量化评分,结果表明术后美观评分提升74.7%,与术前有显著性差异^[33]。此外,应用SVM在颜面美学评估的一致性与69名正畸专家相比可达71.8%,具有一定的可靠性,是一种有前景的面部美学评估方法^[34]。由于对颜面部美观的判断与评估本质上是主观的,可靠的美学标准需要大量的评分数据,因此基于AI的美学评分系统需要进一步完善和细化。

7 其他

随着无托槽隐形矫治技术的不断发展,上述AI技术在正畸诊疗中的应用也得以综合体现。结合数字化口腔大数据,如X线侧位片、CT影像、三维数字化模型等,AI技术可综合应用于二维及三维影像分析、数字化模型处理、辅助诊断、排牙设计、医患交互等整个无托槽隐形矫治流程,提高诊疗效率及信息交互的有效性、准确性。

如时代天使A-Tree系统,应用ML收集标准牙齿形态信息,建立标准牙齿模型库,然后用实际模型与牙齿库模型的配准关系自动识别咬合特征点,实现精准的诊断排牙,而不受医生技术条件限制。又如masterEngine人工智能多模态生物数据平台、智能根骨系统等更高智能化的平台,能够帮助医生更方便、更准确地完成矫治前期诊断、矫治目标设计、矫治过程监控等高技能工作。

8 总结与展望

将快速发展的AI技术与正畸临床诊疗相结

合,可提供更快更有效的分析诊断,为更准确的诊疗决策提供支持。数据资料的丰富性仍是AI应用中的一大限制因素,有待拓展和完善,以不断提高AI系统的准确度。ML基于人类开发的知识进行运作,故AI并不能代替人类,人类须在分析、诊断、规划中发挥主导作用。对AI引导的正畸诊疗模式进行大样本临床研究,以期建立一套规范、完整的口腔正畸智慧化诊疗流程,是未来研究的主要方向。

[Author contributions] Ma JB wrote the article. Xue CR, Bai D revised the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

参考文献

- [1] Sun ML, Liu Y, Liu G, et al. Application of machine learning to stomatology: a comprehensive review[J]. IEEE Access, 2020, 8: 184360-184374. doi: 10.1109/access.2020.3028600.
- [2] Khanagar SB, Al-Ehaideb A, Vishwanathaiah S, et al. Scope and performance of artificial intelligence technology in orthodontic diagnosis, treatment planning, and clinical decision-making--a systematic review[J]. J Dent Sci, 2021, 16(1): 482-492. doi: 10.1016/j.jds.2020.05.022.
- [3] Leonardi R, Giordano D, Maiorana F, et al. Automatic cephalometric analysis[J]. Angle Orthod, 2008, 78(1): 145-151. doi: 10.2319/120506-491.1.
- [4] Kim H, Shim E, Park J, et al. Web-based fully automated cephalometric analysis by deep learning[J]. Comput Methods Programs Biomed, 2020, 194: 105513. doi: 10.1016/j.cmpb.2020.105513.
- [5] 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.
- [6] Song Y, Qiao X, Iwamoto Y, et al. Automatic cephalometric landmark detection on X-ray images using a deep-learning method [J]. Appl Sci, 2020, 10(7): 2547. doi: 10.3390/app10072547.
- [7] Banumathi A, Raju S, Abhaikumar V. Diagnosis of dental deformities in cephalometry images using support vector machine [J]. J Med Syst, 2011, 35(1): 113-119. doi: 10.1007/s10916-009-9347-9.
- [8] Schwendicke F, Golla T, Dreher M, et al. Convolutional neural networks for dental image diagnostics: a scoping review[J]. J Dent, 2019, 91: 103226. doi: 10.1016/j.jdent.2019.103226.
- [9] Cui Z, Li C, Wang W. ToothNet: Automatic tooth instance segmentation and identification from cone beam CT images[C]. 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2019: 6361-6370.
- [10] Rao Y, Wang Y, Meng F, et al. A symmetric fully convolutional residual network with DCRF for accurate tooth segmentation[J]. IEEE Access, 2020, 8: 92028-92038. doi: 10.1109/access.2020.

- 2994592.
- [11] Wu X, Chen H, Huang Y, et al. Center-sensitive and boundary-aware tooth instance segmentation and classification from cone-beam CT[C]. IEEE 17th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), 2020: 939-942.
- [12] Yang Y, Xie R, Jia W, et al. Accurate and automatic tooth image segmentation model with deep convolutional neural networks and level set method[J]. Neurocomputing, 2021, 419: 108-125. doi: 10.1016/j.neucom.2020.07.110.
- [13] Chung M, Lee M, Hong J, et al. Pose-aware instance segmentation framework from cone beam CT images for tooth segmentation[J]. Comput Biol Med, 2020, 120: 103720. doi: 10.1016/j.combiomed.2020.103720.
- [14] Montufar J, Romero M, Scougall - Vilchis RJ. Automatic 3-dimensional cephalometric landmarking based on active shape models in related projections[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2018, 153(3): 449-458. doi: 10.1016/j.ajodo.2017.06.028.
- [15] Shahidi S, Bahrapour E, Soltanimehr E, et al. The accuracy of a designed software for automated localization of craniofacial landmarks on CBCT images[J]. BMC Med Imaging, 2014, 14: 32. doi: 10.1186/1471-2342-14-32.
- [16] Hung K, Yeung A, Tanaka R, et al. Current applications, opportunities, and limitations of AI for 3D imaging in dental research and practice[J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17(12): 4424. doi: 10.3390/ijerph17124424.
- [17] Lachinov D, Getmanskaya A, Turlapov V. Cephalometric landmark regression with convolutional neural networks on 3D computed tomography data[J]. Pattern Recognit, 2020, 30(3): 512-522. doi: 10.1134/s1054661820030165.
- [18] Ma Q, Kobayashi E, Fan B, et al. Automatic 3D landmarking model using patch-based deep neural networks for CT image of oral and maxillofacial surgery[J]. Int J Med Robot, 2020, 16(3): e2093. doi: 10.1002/res.2093.
- [19] Yun HS, Jang TJ, Lee SM, et al. Learning-based local-to-global landmark annotation for automatic 3D cephalometry[J]. Phys Med Biol, 2020, 65(8): 085018. doi: 10.1088/1361-6560/ab7a71.
- [20] Tian S, Dai N, Zhang B, et al. Automatic classification and segmentation of teeth on 3D dental model using hierarchical deep learning networks[J]. IEEE Access, 2019, 7: 84817-84828. doi: 10.1109/access.2019.2924262.
- [21] Xu X, Liu C, Zheng Y. 3D tooth segmentation and labeling using deep convolutional neural networks[J]. IEEE Trans Vis Comput Graph, 2019, 25(7): 2336-2348. doi: 10.1109/TVCG.2018.2839685.
- [22] Hao J, Liao W, Zhang Y, et al. Clinically applicable system for 3D teeth segmentation in intraoral scans using deep learning[J]. Res Square, 2020. doi: 10.21203/rs.3.rs-103285/v1.
- [23] Yu HJ, Cho SR, Kim MJ, et al. Automated skeletal classification with lateral cephalometry based on artificial intelligence[J]. J Dent Res, 2020, 99(3): 249-256. doi: 10.1177/0022034520901715.
- [24] Niño-Sandoval TC, Guevara Pérez SV, González FA, et al. Use of automated learning techniques for predicting mandibular morphology in skeletal Class I, II and III [J]. Forensic Sci Int, 2017, 281(187): e1-e7. doi: 10.1016/j.forsciint.2017.10.004.
- [25] Kok H, Acilar AM, Izgi MS. Usage and comparison of artificial intelligence algorithms for determination of growth and development by cervical vertebrae stages in orthodontics[J]. Prog Orthod, 2019, 20(1): 41. doi: 10.1186/s40510-019-0295-8.
- [26] Makaremi M, Lacaule C, Mohammad - Djafari A. Deep learning and artificial intelligence for the determination of the cervical vertebra maturation degree from lateral radiography[J]. Entropy, 2019, 21(12): 1222. doi: 10.3390/e21121222.
- [27] Xie X, Wang L, Wang A. Artificial neural network modeling for deciding if extractions are necessary prior to orthodontic treatment [J]. Angle Orthod, 2010, 80(2): 262-266. doi: 10.2319/111608-588.1.
- [28] Jung SK, Kim TW. New approach for the diagnosis of extractions with neural network machine learning[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2016, 149(1): 127-133. doi: 10.1016/j.ajodo.2015.07.030.
- [29] Choi HI, Jung SK, Baek SH, et al. Artificial intelligent model with neural network machine learning for the diagnosis of orthognathic surgery[J]. J Craniofac Surg, 2019, 30(7): 1986-1989. doi: 10.1097/SCS.0000000000005650.
- [30] Li P, Kong D, Tang T, et al. Orthodontic treatment planning based on artificial neural networks[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 2037. doi: 10.1038/s41598-018-38439-w.
- [31] Nanda SB, Kalha AS, Jena AK, et al. Artificial neural network (ANN) modeling and analysis for the prediction of change in the lip curvature following extraction and non-extraction orthodontic treatment[J]. J Dent Spec, 2015, 3(2): 130-139. doi: 10.5958/2393-9834.2015.00002.9.
- [32] Zarei A, El-Sharkawi M, Hairfield M, et al. An intelligent system for prediction of orthodontic treatment outcome[C]. The 2006 IEEE International Joint Conference on Neural Network Proceedings, 2006: 2702-2706. doi: 10.1109/IJCNN.2006.247173.
- [33] Patcas R, Bernini DAJ, Volokitin A, et al. Applying artificial intelligence to assess the impact of orthognathic treatment on facial attractiveness and estimated age[J]. Int J Oral and Maxillofac Surg, 2019, 48(1): 77-83. doi: 10.1016/j.ijom.2018.07.010.
- [34] Yu X, Liu B, Pei Y, et al. Evaluation of facial attractiveness for patients with malocclusion: a machine - learning technique employing Procrustes[J]. Angle Orthod, 2014, 84(3): 410-416. doi: 10.2319/071513-516.1.

(编辑 张琳)



官网