

人工智能在口腔正畸中的应用探索

曹 丛

山东大学口腔医院, 山东 济南

收稿日期: 2022年6月19日; 录用日期: 2022年7月11日; 发布日期: 2022年7月21日

摘 要

近年来, 人工智能(AI)给口腔医学领域带来了历史性的变革。本文详细阐述了人工智能模型在口腔正畸诊断、治疗计划和预测预后的应用现状, 以期为该领域临床诊疗提供参考。

关键词

人工智能, 正畸, 拔牙, 手术, 头影测量

Applications of Artificial Intelligence in Orthodontics

Cong Cao

Stomatology Hospital of Shandong University, Jinan Shandong

Received: Jun. 19th, 2022; accepted: Jul. 11th, 2022; published: Jul. 21st, 2022

Abstract

In recent years, artificial intelligence (AI) has brought historic changes to the field of dentistry. This paper elaborates the application status of artificial intelligence models in orthodontic diagnosis, treatment planning and prognosis prediction, in order to provide reference for clinical diagnosis and treatment in this field.

Keywords

Artificial Intelligence, Orthodontics, Extraction, Surgery, Lateral Cephalometric

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

过去几十年,以人工智能、计算机信息技术与新材料为代表的第四次工业革命迅猛发展,在此新科技革命背景下,人工智能(artificial intelligence, AI)作为一门模拟和扩展人智能的前沿科学与口腔正畸学深度交叉融合[1],逐步改变传统的以经验为基础的正畸诊疗模式,推动了口腔正畸向智能化、精准化和微创化发展,最终实现精准口腔正畸诊疗模式。

人工智能的主要目标是为机器提供拥有自己智能的能力。换句话说,人工智能的目标是让机器能够通过数据学习,自己解决问题。人工智能有许多子领域,它们主要包括机器学习(Machine learning, ML)、人工神经网络(Artificial neural network, ANN)、深度学习(Deep learning, DL)。^[2] ^[3]机器学习(ML)是人工智能的主要支柱。它依靠算法根据数据集预测结果,它的目的是促进机器从数据中学习,这样就可以在不需要人工输入的情况下解决问题。其中,卷积神经网络(Convolutional neural networks, CNNs)是最常用的 ML 技术之一。人工神经网络(ANN)是一套通过人工神经元计算信号的算法,这些神经元试图模仿人类神经元的功能。深度学习(DL)是学习记忆的一个重要组成部分。它使用深度神经网络中具有不同计算机层的网络来分析输入数据。它的目的是建立一个可以自动识别模式的神经网络,以改进特征检测。本文详细阐述了人工智能模型在口腔正畸诊断、治疗计划和预测预后的应用现状,以期为该领域临床诊疗提供参考。

2. 拔牙与非拔牙治疗决策中的应用

ANN 模型是通过模拟人的神经系统具有处理非线性关系和学习能力的神经网络。2010 年 Xie ^[4]等人利用人工神经网络构建了 11~15 岁患者的正畸拔牙决策专家系统,确定正畸治疗是否需要拔牙。该研究选择 200 名患者(120 例拔牙病例,80 例非拔牙病例)。针对每位患者选择了 23 个指标,并将患者的指标作为输入数据,计算提取或非提取作为输出数据。建立了反向传播神经网络模型,在 200 名患者中,180 名作为训练数据,20 名作为测试数据。该研究所构建的人工神经网络在测试集上的准确率为 80%。此外,“开唇露齿”和“IMPA (L1-MP)”对输出数据贡献最大,FMA (FH-MP)贡献最小。Xie 等研究者建模过程中未将训练数据进一步划分为训练数据和验证数据。开发模型时需要调节模型配置,这个调节过程需要使用模型在验证数据上的性能作为反馈信号,验证数据的缺乏会影响建模的准确性。因此,我们需要在建模过程中将训练数据划分为训练数据和验证数据。

建模过程中做预测分析时,会将数据分为两大部分。一部分是训练数据,用于构建模型,一部分是测试数据,用于检验模型。但是,有时候模型的构建过程中也需要检验模型,辅助模型构建,所以会将训练数据在分为两个部分训练数据和验证数据。验证数据用于负责模型的构建。具体的是通过训练数据用于模型构建;验证数据用于辅助模型构建,可以重复使用;测试数据用于检测模型构建,此数据只在模型检验时使用,用于评估模型的准确率。绝对不允许用于模型构建过程,否则会导致过拟合。

2016 年 Jung ^[5]等人通过神经网络机器学习构建一个人工智能专家系统,用于拔牙治疗和拔牙方式的决策。共有 156 名患者参加了这项研究。研究选取 12 个头影测量变量和 6 个指标作为输入数据,将提取或非提取和提取模式设置为输出数据。治疗方案由一名正畸专家决定。与 Xie 的研究不同的是,它将训练数据进一步划分为训练数据和验证数据。迭代学习在验证集的最小误差点停止,以防止过拟合。模

型对拔牙或非拔牙的诊断成功率为 93%，对拔牙方式的选择成功率为 84%。该文章指出适当选择输入数据、适当组织建模和适当的参数可以提高模型的性能。

ANN 模型的建立的意义在于通过模仿经验丰富的专家的决策，构建人工智能专家系统，可以作为经验较少的正畸医生在诊疗中的参考。临床医生可以根据患者的主诉、实际情况选择是否遵循人工智能专家系统。此外，还可以使用各种诊断原理来制作专家系统。Jung 等研究者构建的专家系统具有较高的性能。

但上述 ANN 模型只能简单的判定拔牙或者不拔牙，是二元决策，即一级决定。模型建立需要的参数(拥挤或牙齿倾斜)较少且未标准化，场景简单，无法确定具体拔牙位置。并且拔牙的诊断仅限于非手术治疗，对于牙齿缺失、非常规拔牙、面部不对称等病例上述模型无法有效诊断。研究者们需要在正畸正颌联合治疗和其他错颌畸形的诊断和治疗方面进一步研究，以此建立一个涵盖所有案例的完整模型。

3. 手术中的应用

2019 年 Choi [6] 等研究人员开发一种新的手术/非手术决策和提取决策的人工智能模型，样本包括 316 名患者，其中 160 人计划接受手术治疗，156 人计划接受非手术治疗。人工神经网络的输入值由 12 个头颅侧位片测量值和 6 个附加指标组成。机器学习的人工智能模型由一个隐含层的两层神经网络组成。学习分 3 个阶段进行，采用 4 个表现最好的模型计算了手术/非手术、拔牙/非拔牙的决策成功率。该模型对手术/非手术决策的诊断正确率为 96%，对手术类型和拔牙决策的诊断正确率为 91%。II 类手术误诊 10 例，III 类手术误诊 3 例。这反映了许多骨性 II 类错牙合病例可以通过非手术掩饰治疗，而对于骨性 III 类患者，掩饰治疗的程度是受限的。在手术类型的决策中显示了 100% 的成功率。这是因为骨性 II 类和骨性 III 类之间的差异非常明显。有人可能认为这一步可以省略。然而，II 类手术和 III 类手术的拔牙决定因素有很大的不同。通过增加划分手术类型的步骤，可以使系统更加简化，具有更高的准确度和适应性。II 类手术患者的拔牙决定成功率高达 97%。这意味着对 II 类手术案件的拔牙决定相对容易判断。另一方面，III 类手术患者的拔牙决定成功率最低为 88%。最大的原因是，考虑宽度，不需要拔牙，但是考虑到前牙唇倾度是需要拔牙的。并且微种植体支抗的应用可以在不拔牙的情况下调整前牙的唇倾度。

Knoops [7] 等人开发了一个机器学习框架，用于整形和重建外科的自动诊断和计算机辅助规划。他们提出了大规模临床 3D 变形模型，这是一个由表面 3D 扫描构建的包括监督学习的机器学习框架。对健康志愿者和正颌外科患者的 4261 张人脸进行了训练。通过自动图像处理，它以 95.5% 的敏感度和 95.2% 的特异度提供是否应该转介给专家的二元结果。然后，专家可以自动生成手术后结果的 3D 模拟，平均精度为 1.1 ± 0.3 mm，而不需要传统的耗时的计算机辅助手术模拟。然而，在本研究中仅使用表面扫描，因此需要根据软组织的移动来计算其下方的骨移动在当今仍然是一个难题。

与 Knoops 使用 3D 变形模型得出诊断结果的研究相比，Choi [6] 等人应用 ANN 从 12 个头颅侧位片测量值和 6 个附加指标中获得机器学习模型由一个隐含层的 2 层神经网络组成。样本包括 316 名患者，其中 160 人计划接受手术治疗，156 人计划接受非手术治疗。该模型对患者是否需要手术治疗的 success 率为 96%，对手术类型和拔牙决定的详细诊断的成功率为 91%。这两项研究的成功率是相当的。

Niño-Sandoval [8] 等人尝试利用神经网络对基于上颌骨形态的下颌骨形态进行预测。299 例哥伦比亚患者的头颅侧位片在 X 和 Y 坐标上有 19 个标志点。

结果表明，所选模型具有较高的可预测性。

Patcas [9] 等人通过人工智能技术评估正颌治疗对面部吸引力和估计年龄的影响。为了估计年龄，CNN 模型用从互联网电影数据库和维基百科获得大于 50 万张带有年龄标签的面部图像进行训练。对于吸引力预测，美国有线电视新闻网的模型是根据一家约会网站的数据进行训练的，该网站拥有大于 13000 张面孔图片和大于 1700 万分的吸引力评分。这项研究收集了 146 名正颌患者的手术前和手术后的照片。根据

算法, 66.4%的患者在治疗后有所改善, 外观年轻了近1年。研究表明, 人工智能可能是从审美改善的角度来评估治疗结果的客观方法。

4. 在头影测量中的应用

Arik [10]首次将 CNN 应用于自动头颅侧位片的测量指标的识别。Park [11]和 Hwang [12]使用深度学习法训练了 1028 张头颅侧位片, 80 个标志点。人工智能与人类平均检测误差为 1.46 ± 2.97 mm。KUNZ [13]采用开源 CNN 深度学习算法对 12 种常用的正畸参数进行自动识别, 对 50 张头影测量 X 线片进行了分析。AI 与人类黄金标准之间的平均差异在角度参数上小于 0.37° , 在测量参数上小于 0.20 mm, 在比例参数面部高度上小于 0.25%。Nishimoto [14]在个人电脑和通过互联网收集的侧位头影测量 X 光片上使用 CNN, 仍然得到了人工智能和手绘头影测量标志物之间没有显著差异的结果。

5. 在生长预测中的应用

Spampinato [15]使用深度学习方法通过手腕 X 光片评估骨骼年龄。数据集包含 1391 张 18 岁以下儿童的 X 射线左手扫描照片, 骨龄值由两名专业放射科医生提供。结果显示, 手动和自动评估之间的平均偏差约为 0.8 年。Kok [16]等人比较了不同的人工智能算法在颈椎分期中的应用。对 29 种 K 近邻、朴素贝叶斯、决策树、人工神经网络、支持向量机、随机森林和 Logistic 回归算法进行了精度测试。人工神经网络的结果最稳定, 是判定颈椎分期的首选方法。

6. 颞下颌关节的分型

Shoukri [17]等人应用神经网络对颞下颌关节骨关节炎(TMJOA)患者的髁突形态进行分期。对 259 个髁突进行神经网络训练, 然后对 TMJOA 分期进行检测和分类, 并与临床专家分类进行比较。根据 CBCT 图像将髁状突形态分为 6 组。与重复的临床医生共识相比, 人工智能对 TMJOA 分期的预测分析显示出 73.5%和 91.2%的准确率。结果表明, 人工智能可以较全面地对 TMJOA 的形态进行分类。

7. 总结

目前应用于正畸中的人工智能模型大多是基于人工神经网络(ANN)或卷积神经网络(CNN)的模型。人工智能技术已广泛应用于头影测量标志识别、正畸拔牙的决策、颈椎成熟程度判定、正畸手术后面部形态的预测、正畸治疗方案设计等方面。人工智能技术已越来越多地应用于正畸治疗领域。实践证明, 它是一种可靠、省时的工具。未来可以在创建基于云的数据集成和共享平台方面做出努力。考虑到数据是构建良好模型的基础, 具有高质量和高数量的数据, 通过机器学习过程可以获得更高的预测结果和图像解释的精度。在正畸研究方面, 一个训练有素的 AI 模型不仅可以帮助诊断, 还可以帮助进行各种线性和角度测量以及体积测量。人工智能技术还可以提高正畸治疗的诊断准确性, 从而帮助正畸医生更准确、更高效地工作。

参考文献

- [1] Katne, T., Kanaparathi, A., Srikanth Gotoor, S., Muppurala, S., Devaraju, R. and Gantala, R. (2019) Artificial Intelligence: Demystifying Dentistry—The Future and Beyond. *International Journal of Contemporary Medicine, Surgery and Radiology*, **4**, D6-D9.
- [2] Khanagar, S.B., Al-Ehaideb, A., Maganur, P.C., et al. (2021) Developments, Application, and Performance of Artificial Intelligence in Dentistry—A Systematic Review. *Journal of Dental Sciences*, **16**, 508-522. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.06.019>
- [3] Jordan, M.I. and Mitchell, T.M. (2015) Machine Learning: Trends, Perspectives, and Prospects. *Science*, **349**, 245-260. <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>

- [4] Xie, X., Wang, L. and Wang, A. (2010) Artificial Neural Network Modeling for Deciding If Extractions Are Necessary Prior to Orthodontic Treatment. *The Angle Orthodontist*, **80**, 262-266. <https://doi.org/10.2319/111608-588.1>
- [5] Jung, S.K. and Kim, T.W. (2016) New Approach for the Diagnosis of Extractions with Neural Network Machine Learning. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **149**, 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.07.030>
- [6] Choi, H.I., Jung, S.K., Baek, S.H., Lim, W.H., Ahn, S.J., Yang, I.H., *et al.* (2019) Artificial Intelligent Model with Neural Network Machine Learning for the Diagnosis of Orthognathic Surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*, **30**, 1986-1989. <https://doi.org/10.1097/SCS.00000000000005650>
- [7] Knoop, P.G.M., Papaioannou, A., Borghi, A., Breakey, R.W.F., Wilson, A.T., Jeelani, O., *et al.* (2019) A Machine Learning Framework for Automated Diagnosis and Computerassisted Planning in Plastic and Reconstructive Surgery. *Scientific Reports*, **9**, Article No. 13597. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49506-1>
- [8] Niño-Sandoval, T.C., Guevara Pérez, S.V., González, F.A., Jaque, R.A. and Infante-Contreras, C. (2017) Use of Automated Learning Techniques for Predicting Mandibular Morphology in Skeletal Class I, II and III. *Forensic Science International*, **281**, 187.e1-e7. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.10.004>
- [9] Patcas, R., Bernini, D.A.J., Volokitin, A., Agustsson, E., Rothe, R. and Timofte, R. (2019) Applying Artificial Intelligence to Assess the Impact of Orthognathic Treatment on Facial Attractiveness and Estimated Age. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **48**, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2018.07.010>
- [10] Arik, S.Ö., Ibragimov, B. and Xing, L. (2017) Fully Automated Quantitative Cephalometry Using Convolutional Neural Networks. *Journal of Medical Imaging*, **4**, Article ID: 014501. <https://doi.org/10.1117/1.JMI.4.1.014501>
- [11] Park, J.H., Hwang, H.W., Moon, J.H., Yu, Y., Kim, H., Her, S.B., *et al.* (2019) Automated Identification of Cephalometric Landmarks: Part 1-Comparisons between the Latest Deep-Learning Methods YOLOV3 and SSD. *The Angle Orthodontist*, **89**, 903-909. <https://doi.org/10.2319/022019-127.1>
- [12] Hwang, H.W., Park, J.H., Moon, J.H., Yu, Y., Kim, H., Her, S.B., *et al.* (2020) Automated Identification of Cephalometric Landmarks: Part 2-Might It Be Better than Human? *The Angle Orthodontist*, **90**, 69-76. <https://doi.org/10.2319/022019-129.1>
- [13] Kunz, F., Stellzig-Eisenhauer, A., Zeman, F. and Boldt, J. (2020) Artificial Intelligence in Orthodontics: Evaluation of a Fully Automated Cephalometric Analysis Using A Customized Convolutional Neural Network. *Journal of Orofacial Orthopedics*, **81**, 52-68. <https://doi.org/10.1007/s00056-019-00203-8>
- [14] Nishimoto, S., Sotsuka Y , Kawai, K., Ishise, H. and Kakibuchi, M. (2019) Personal Computer-Based Cephalometric Landmark Detection with Deep Learning, Using Cephalograms on the Internet. *Journal of Craniofacial Surgery*, **30**, 91-95. <https://doi.org/10.1097/SCS.00000000000004901>
- [15] Spampinato, C., Palazzo, S., Giordano, D., Aldinucci, M. and Leonardi, R. (2017) Deep Learning for Automated Skeletal Bone Age Assessment in X-Ray Images. *Medical Image Analysis*, **36**, 41-51. <https://doi.org/10.1016/j.media.2016.10.010>
- [16] Kök, H., Acilar, A.M. and Izgi, M.S. (2019) Usage and Comparison of Artificial Intelligence Algorithms for Determination of Growth and Development by Cervical Vertebrae Stages in Orthodontics. *Progress in Orthodontics*, **20**, Article No. 41. <https://doi.org/10.1186/s40510-019-0295-8>
- [17] Shoukri, B., Prieto, J.C., Ruellas, A., Yatabe, M., Sugai, J., Styner, M., *et al.* (2019) Minimally Invasive Approach for Diagnosing TMJ Osteoarthritis. *Journal of Dental Research*, **98**, 1103-1111. <https://doi.org/10.1177/0022034519865187>