

基于深度学习的头颅侧位片分析在正畸中的应用

张忆轩

东南大学，江苏省南京市，210096；

摘要：深度学习技术近年来在医学影像分析，特别是正畸领域取得了显著的进步。作为重要的口腔科影像工具，头颅侧位片的分析对于正畸的诊治意义重大。本文概述头颅侧位片的特性及其在正畸中的重要性，并对深度学习在该领域的具体应用进行探讨。目前的研究显示，在正畸诊断和治疗规划方面，深度学习技术显示出了较好的应用前景。

关键词：深度学习；头颅侧位片；正畸分析；医学影像

DOI:10.69979/3029-2808.24.12.026

引言

在正畸矫正的诊断和治疗规划中，头颅侧位片扮演着重要的角色，它不仅可以提供有关颌面部构造和关系的关键信息，还可以帮助正畸医师制定个性化的治疗方案。但是，传统的头颅侧位片分析方法，往往要靠人工标注和人工测量，不仅耗时长，而且主观因素也很容易影响头颅侧位片的测量，造成偏差，不同医师往往存在诊断不一致的现象。随着深度学习技术的迅速发展，为正畸领域带来了新机遇。

1 头颅侧位片的特点与重要性

1.1 头颅侧位片的基本构造与成像原理

头颅侧位片主要用于对头、颅面结构及形态的评估，是影像学中常用检查方法。这种影像检查的基本结构包括解剖结构的影像，如前额、鼻部及下颌等，一般在患者头部侧面拍摄。它的成像原理是以在X射线的透射特性的基础上，当X射线穿过头部时，就会吸收骨骼和软组织的一些射线，从而形成不同的影像对比度。在成像过程中，为了保证形象的清晰度和精确度，X射线源与接收器的距离保持恒定。医生通过分析这些影像，可以获得正畸治疗和颅面外科手术所具有的颅骨几何、骨骼角度、长度、位置等几何信息，具有重要的临床价值。

1.2 头颅侧位片在正畸中的应用场景

头颅侧位片在正畸学的广泛应用于患者初期评定，制订治疗方案，监视治疗效果等方面。通过对颅侧位片的解剖分析，正畸医生能识别患者骨关系、牙齿排列以及对面部美学情况，从而对患者的骨骼关系起到很好的鉴别作用。例如，医生可以通过测量ANB、SNA和SNB

等角度来评估上颌和下颌的相对位置，从而判断患者是否存在骨骼性错牙合问题。此外，治疗中的头颅侧位片定期拍摄还可以用于监测治疗过程中骨骼和牙齿的变化，帮助医生及时调整治疗方案，以达到最佳的治疗效果。

1.3 与其他影像技术的比较

与其他影像技术相比，头颅侧位片具有其独特的优势和局限性。与全景X光片相比，头颅侧位片能够提供更详细的颅面骨骼结构信息，尤其是在评估骨骼关系和面部比例方面具有不可替代的作用。然而，头颅侧位片的二维成像特性可能导致某些三维结构的重叠和失真，这在某些情况下可能影响诊断的准确性。相比之下，锥形束计算机断层扫描(CBCT)能够提供高分辨率的三维影像，减少图像重叠的可能性，然而其辐射剂量相对较高，尤其对儿童患者而言，使用时需谨慎。因此，在选择影像技术时，医生需根据患者的具体情况和临床需求，综合考虑不同影像技术的优缺点，以制定最佳的诊断和治疗方案。

2 深度学习在头颅侧位片分析中的应用

2.1 深度学习算法基础

深度学习是以人工神经网络为依托的机器学习方法，可以进行大规模数据集的处理。在医学影像分析中，通过特征的自动提取，深度学习可以显著提高诊断的精确性及效率。近年来，在头颅侧位片分析中使用深度学习逐步增多，特别是在自动化标记、图像分类及病理检测等方面，深度学习的应用越来越广泛。研究显示，在处理头颅侧位片时，深度学习算法可以有效的减少人为

的误差，使诊断的一致性、可靠性得到提高。例如，卷积神经网络（CNN）可以对头颅侧位片的关键解剖结构进行自动识别和定位，从而为临床诊断提供支持。

2.2 颈椎成熟度评估

颈椎成熟度的评估在正畸治疗中扮演着至关重要的角色，这一过程能够协助医生评估患者的生长潜力，并据此制定合适的治疗方案。然而，进行颈椎成熟度评估（CVM）是一项复杂且耗时的任务，需由经验丰富的专业人士来完成。尽管有学者提出了基于第二（C2）、第三（C3）及第四（C4）颈椎的CVM方法的改进版，CVM分类的准确性仍然对专家的临床经验高度敏感，掌握这一方法需要较长的时间。

近年来，深度学习技术被广泛应用于颈椎成熟度的自动评估。有研究通过训练和比较4种不同的U-Net模型，实现了X射线图像中颈椎和颅骨关键结构的自动分割。后续研究开发了增强型U2-Net架构，采用可分离残差U形模块和嵌入式卷积注意力模块进行编解码，并对粗分割结果进行细化处理。另有研究提出基于PointNet++网络的三步分割法，显著提升了单个椎骨分割的准确性。在临床分期应用方面，新型人工智能模型在确定颈椎成熟度分期时展现出更高准确性，而创新的多尺度注意力机制的监督学习方法则通过模拟医生诊断模式，实现了侧位X光图像的六分类识别。这些端到端学习框架通过直接提取原始图像的复杂特征，有效提升了颈椎结构分割的效率和评估精度^[1]。

利用深度学习模型对头颅侧位片中的颈椎影像进行分析，能够实现对颈椎成熟度的高效分类，这种自动化评估不仅提高了效率，还减少了由于人为因素导致的评估误差，为临床决策提供了可靠的数据支持。

2.3 头影测量关键点检测

头影测量涉及对头颅影像中的关键点进行精确定位。在正畸学中，对颅面骨骼轮廓进行评估的最重要的工具之一就是头影测量分析。它不但能帮助医生对患者的骨骼结构进行评估，而且还能提供牙齿的排列、咬合情况的相关信息。医生通过对头颅侧面片进行分析，可以对患者的有无牙拥挤、错位或其它咬合的问题进行识别。此外，通过分析影像中所示的角度和距离，医生可以判断判断下颌骨的生长方向及其与上颌骨的关系。传统的手动测量方法费时费力而且容易出现误差，而引入

的深度学习则给这个领域带来了改变。

在医学影像领域具有重要影响力的ISBI（International Symposium on Biomedical Imaging）会议于2015年发布了头影测量基准数据集，该会议全称为国际生物医学影像研讨会，发布的公开数据集包含400例6-60岁患者的头颅X线影像，原始图像分辨率达2400×1935（像素间距0.1mm），所有样本均包含19个关键解剖标志点的专家标注。该数据集按150/150/100的比例划分为训练集、测试集1和测试集2，已成为评估自动定位算法性能的基准测试平台，广泛应用于模型验证与比较研究。

通过训练深度学习模型，研究人员能够实现对头影测量关键点的自动检测。基于深度学习的关键点检测技术显著提升了正畸测量的效率和一致性。有研究采用YOLOv3和Mask R-CNN等算法进行模型训练，在临床数据集上实现了关键点检测误差低于2mm的精度，具有重要应用价值。新型多头注意力神经网络通过特征加权融合机制，在公开测试集中达到1.15-1.43mm的均值误差，2mm范围内的检测成功率达76.32-87.61%。另有研究构建多尺度图卷积框架，通过分层图像采样、空间特征生成和三阶段坐标解码，在相同数据集上将误差进一步降低至1.06-1.37mm，检测成功率提升至76.11-87.93%。这些自动化深度学习模型通过端到端等特征学习方法，为临床治疗提供了可靠的二维定位新方式^[2]。

2.4 其他临床分析应用

深度学习在头颅侧位片分析中，除颈椎成熟度评估和头影测量外的其他临床应用也在逐步增加。例如，研究显示，深度学习可用于自动化识别非综合征性颅缝早闭（NSCS），并在图像中实现高达100%的分类准确度^[3]。这一结果显示了深度学习在正畸影像分析中，对头颅侧位片图像特征提取和分类的临床应用潜力。

此外，头颅侧位片在性别估算、年龄预测等领域也应用了深度学习。例如，VGG16模型在利用深度学习对头部轮廓进行性别推断的研究中，在侧面投影的准确率达到了89.8%^[4]。一项利用深度学习模型分析头颅X光片的研究，以高达84.2%的准确率对12个月以下婴儿的出生后年龄进行了成功预测^[5]。这些研究成果表明，深度学习不仅可以提高图像分析的效率，而且可以作为可靠的辅助支持，给正畸治疗等相关领域的临床场景提供了新方法、新途径。

3 未来的发展方向与挑战

3.1 多模态影像融合的可能性

多模影像融合技术在口腔正畸领域大有可为。传统的正畸诊断多依赖于头颅侧位片、口腔内扫描和三维锥束计算机断层扫描(CBCT)等单一的影像资料。但单一影像的局限性，常造成资料不足，不能全面反映患者口腔健康状况。通过整合不同类型的影像资料，多模态影像融合技术可以提供更全面、准确的诊断资讯。例如，结合CBCT与传统的二维头颅侧位片的多模态影像数据，能有效增强对颅面结构的认识，进而获得对临床诊断更为可靠支持的优化治疗方案。

3.2 深度学习技术的伦理与临床转化

深度学习技术应用于口腔正畸领域时，仍面临伦理和临床转化挑战，首先在资料私密性、安全性方面，由于需要大量的患者影像资料以及相关的健康资料，需要对这些敏感资料进行可靠的存储、传送。此外，现有的深度学习方法往往只能近似人类高级医师的水平，因此可以提供给患者一定的借鉴意义和辅助诊疗。然而，要取代人类医师还需要进一步提高诊断的准确率和一致性。

深度学习技术用于口腔正畸还存在偏见与公平性问题。头颅侧位片的样本数据集可能包括不同种族、性别和年龄段，如果训练数据集没能均衡不同人群的分布，那么基于这些资料所训练出来的模型就可能对于特定人群产生高估、低估，准确率下降等问题，这使医疗服务的公正性受到影响。

4 结论

深度学习技术在颈椎成熟度评估、头影测量关键点检测及其他正畸影像分析应用中展现了良好的应用前景。在颈椎成熟度评估中，深度学习模型能够高效分类并提供可靠的数据支持。在头影测量中，深度学习技术

通过自动检测关键点，提高了诊断的效率和一致性。此外，深度学习还在识别非综合征性颅缝早闭、性别推断、年龄预测等领域展示了其临床应用潜力。这些研究成果表明，深度学习在头颅侧位片分析中可以实现自动化诊断。未来，随着技术的发展，深度学习将在正畸领域发挥更大作用，为患者提供更加便捷和个性化的科学治疗方案。

参考文献

- [1]Kazimierczak W, Jedliński M, Issa J, et al. Accuracy of Artificial Intelligence for Cervical Vertebral Maturation Assessment—A Systematic Review[J]. Journal of Clinical Medicine, 2024, 13(14): 4047.
- [2]曹凌云, 颜家榕, 汤博钧, 等. 深度学习在头影测量中的应用研究进展[J]. 口腔疾病防治, 2023, 31(1): 58-62.
- [3]Mizutani K, Miwa T, Sakamoto Y, et al. Application of deep learning techniques for automated diagnosis of non-syndromic craniosynostosis using skull[J]. Journal of Craniofacial Surgery, 2022, 33(6): 1843-1846.
- [4]Seo T, Yoon Y, Kim Y, et al. Sex estimation using skull silhouette images from postmortem computed tomography by deep learning[J]. Scientific reports, 2024, 14(1): 22689.
- [5]Lee H S, Kang J, Kim S E, et al. Estimating infant age from skull X-ray images using deep learning[J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 16600.

作者简介：张忆轩（2000），男，汉，江苏苏州，在读硕士研究生，研究方向：生物医学图像分析。