

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2025.03.044

•综述•

不同年龄推断方法在儿童与青少年正畸治疗中的应用与发展趋势

开吾赛尔·吐尔逊^{1,2}, 刘佳^{1,2}

[1. 新疆医科大学第一附属医院(附属口腔医院)儿童口腔科, 新疆 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆维吾尔自治区口腔医学研究所, 新疆 乌鲁木齐 830054]

[摘要] 年龄推断在口腔医学中,特别是儿童与青少年正畸治疗中,具有重要的临床应用价值。通过牙龄和骨龄评估,临床医生可精准判断生长发育阶段,从而优化矫治时机与治疗方案。然而,目前年龄推断方法在区域适用性、预测精度及技术集成等方面仍存不足,亟需优化。本文综述了不同年龄推断方法的原理、发展现状及其在正畸治疗中的应用,分析现有研究不足,探讨未来优化方向,为正畸治疗的精准化与个性化提供科学依据。

[关键词] 年龄推断; 牙龄; 骨龄; 正畸治疗; 个性化矫治

[中图分类号] R783.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2025)03-0175-04

Application and Development Trend of Different Age Estimation Methods in Pediatric and Adolescent Orthodontic Treatment

Kaiwusaier·Tursun^{1,2}, LIU Jia^{1,2}

[1. Department of Pediatric Stomatology, the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University (Affiliated Stomatological Hospital), Urumqi 830054, Xinjiang, China;

2. Xinjiang Uygur Autonomous Region Stomatology Research Institute, Urumqi 830054, Xinjiang, China]

[Abstract] Age estimation has important clinical application value in stomatology, especially in pediatric and adolescent orthodontic treatment. Through the assessment of dental age and bone age, clinicians can accurately determine the growth and development stage, so as to optimize the timing of treatment and treatment scheme. However, the current age estimation methods still have deficiencies in aspects such as regional adaptability, prediction accuracy, and technology integration, and thus urgently need to be optimized. This article reviews the principle, development status and application of different age estimation methods in orthodontic treatment, analyzes the deficiencies of current research, discusses the future optimization direction, and provides scientific basis for the precision and personalization of orthodontic treatment.

[Key words] Age estimation; Dental age; Bone age; Orthodontic treatment; Personalized correction

正畸治疗(orthodontic treatment)不仅是改善儿童与青少年牙齿排列与咬合功能的重要手段,更与个体的生长发育密切相关。研究表明^[1],治疗时机的选择对治疗效果的稳定性与长期性具有决定性作用,特别是快速生长期与青春期生长高峰期的干预,可显著提高疗效。然而,如何精准判断个体的生长发育阶段,仍是当前正畸治疗中

的核心挑战^[2]。年龄推断作为评估个体生长发育阶段的关键方法,在正畸治疗中具有重要应用价值。牙龄和骨龄推断法通过量化牙齿与骨骼的发育状态,为优化矫治时机与个性化治疗方案提供了科学依据^[3]。尽管现有研究取得了显著进展,但在区域适用性、预测精度及技术集成方面仍存在一些不足,限制了其在不同人群和临床实践中

第一作者:开吾赛尔·吐尔逊(1999.3-),男,新疆乌鲁木齐人,硕士研究生,主要从事儿童口腔相关工作

通讯作者:刘佳(1982.8-),女,新疆乌鲁木齐人,博士,副教授,主要从事儿童口腔相关工作



的广泛应用^[4, 5]。本文综述了牙龄与骨龄推断的原理与发展现状,重点探讨其在儿童与青少年正畸治疗中的具体应用。同时,通过分析现有研究的局限性,并从区域特异性模型优化、技术集成与多方法联合等方向,展望未来发展趋势,旨在为正畸治疗的精准化与个性化提供理论支持和科学依据。

1 年龄推断方法概述

年龄推断在正畸治疗中具有重要的临床意义,通过对牙齿或骨骼的发育状态进行量化评估,从而确定个体的生物年龄,为矫治时机的选择提供科学依据^[1]。目前常用的方法主要包括牙龄推断法、骨龄评估等^[6, 7]。以下对其原理、特点及适用范围进行阐述。

1.1 牙龄推断法

牙龄推断法基于牙齿发育状态推断生物年龄,因其直观性和非侵入性,在儿童及青少年的正畸治疗中得到广泛应用。该方法通过评估牙齿矿化发育的不同阶段,帮助临床医生判断患者的生长发育状况,从而优化矫治时机的选择。

在牙龄推断研究中,不同方法各具优势。Demirjian法^[8]通过分析下颌七颗恒牙的矿化发育阶段(标记为A至H)推断牙龄,具有较高的重复性,被广泛用于儿童早期矫治的生长监测。然而,由于牙齿发育受到种族和个体差异的影响,研究表明Demirjian法在不同人群中的预测误差范围约为0.20~1.00岁,部分地区甚至更高^[9]。因此,结合本土化校正模型以提高其应用精度尤为重要。相比之下,Willems法^[10]对Demirjian法进行了简化和优化,降低了计算复杂性,并提升了临床便捷性和实用性。例如,在北印度7~14岁儿童的研究中,Willems法的预测精度显著优于Demirjian法^[10]。此外,Cameriere法^[11]近年来备受关注,该方法通过量化牙根尖孔的开度及其与牙齿长度的比值,进一步提高了牙龄推断的精确性。虽然这一方法在欧洲人群中的应用研究较为成熟,但在非欧洲地区(如华南地区)的研究显示,其预测结果可能因区域特异性而出现低估,提示需开发针对特定人群的区域校正公式。

整体而言,牙龄推断法以其简单高效的特点成为正畸治疗中评估生长发育的重要工具。然而,由于不同人群间存在遗传和环境差异,其准确性在特定人群中的适用性仍需进一步验证

和优化。

1.2 骨龄评估

骨龄评估通过分析骨骼发育状态推断生物年龄,是正畸治疗中预测青春期生长高峰的重要工具。目前常用的骨龄评估方法包括手腕骨X线评估法^[7]和颈椎骨龄测量法^[6],两者各具特点,并在临床实践中得到广泛应用。

手腕骨X线评估法以左手及腕关节的骨化中心为主要观察部位,通过分析手腕诸骨及掌指骨骨化中心的数量、形态和融合情况来评估骨龄^[7]。该方法在复杂错殆畸形的矫治规划中尤为适用。然而,由于需要额外进行X线检查,其在儿童和青少年中的应用受到限制,尤其是在需要频繁监测生长发育的情况下,因增加辐射暴露而存在一定局限性。

相比之下,颈椎骨龄评估法通过观察头颅侧位片中第二至第四颈椎的形态变化来推断骨龄。该方法以低辐射和便捷性为特点,可在正畸常规影像检查中完成骨龄评估,因此在临床中得到了越来越多的关注。研究表明^[12],颈椎骨的成熟度是上下颌骨生长阶段的可靠指标,可为正畸治疗方案的制定提供科学指导。此外,通过对第四颈椎的分形分析,可以更加客观地评估青春期生长突增,为正畸治疗计划提供进一步支持^[13]。尽管如此,颈椎骨龄评估仍受到个体差异和外部环境因素(如营养状况、遗传背景等)的影响,其预测精度可能在不同地区或种族中表现出差异^[14]。因此,未来研究需进一步开发针对不同地区、种族和性别的本地化评估工具,以提高骨龄评估的适用性和准确性。

总体而言,骨龄评估方法在正畸治疗中的个性化方案制定中发挥着重要作用。尽管手腕骨X线评估法在传统应用中具有显著价值,但颈椎骨龄评估法因其更低的辐射风险和更高的便捷性,已逐渐成为临床优选方案。同时,牙龄与骨龄评估在区域适用性上的差异表明,未来应结合多种方法,并开发区域特异性模型,以进一步提升综合应用效果。

2 年龄推断在正畸治疗中的应用

2.1 矫治时机的选择

治疗时机的选择在儿童和青少年正畸治疗中至关重要,尤其是在快速生长期和青春期生长高峰期,早期干预可显著提升治疗效果^[2]。牙龄和骨龄评估作为科学判断矫治时机的重要工具,在优化治疗策略中发挥了关键作用。

颈椎骨龄评估法通过分析头颅侧位片中第二至第四颈椎椎体的形态变化,能够精准预测生长高峰的起始与持续时间^[15]。相较于手腕骨X线评估,颈椎骨龄评估无额外辐射,操作简便,更适合儿童和青少年。研究表明^[15],颈椎骨发育第3阶段为下颌骨青春期生长突增的重要预测指标,女性约在12岁,男性约在13岁进入此阶段,未达到该阶段的患者生长高峰的发生概率显著降低。因此,在颈椎骨发育第3阶段开展正畸干预能够有效抓住生长高峰期,优化治疗效果。

手腕骨评估法同样可用于生长高峰期的预测,研究发现其分期结果与颈椎骨分期高度一致,特别是在早期及后期阶段分期的匹配度较高^[16]。此外,该方法通过观察籽骨出现及尺骨融合等关键指标,进一步提升了矫治时机选择的准确性。

牙龄推断法在快速生长期预测中也具有重要价值。研究显示^[17], Demirjian法和Willems法通过分析下颌恒牙的矿化阶段的定量分析,能够为正畸医生提供快速生长期到来的精准参考。这些方法在儿童早期干预中尤为重要。例如,在牙列拥挤病例中,早期扩弓治疗可在快速生长期前有效缓解牙列拥挤,减少后续正畸治疗的复杂性^[18]。此外,一项针对上海地区的研究表明^[19], Willems牙龄推断法在预测生长高峰期方面表现出更高的精度,其误差小于颈椎骨龄评估法。这可能归因于牙齿发育主要受遗传因素调控,个体间变异较小;而颈椎骨发育则易受外部环境和生物力学因素的影响。

2.2 生长潜力的预测 除了矫治时机的选择,生长潜力的准确评估对正畸治疗方案的制定和长期稳定性至关重要。牙龄与骨龄的联合评估为患者剩余生长量的科学预测提供了重要依据^[20]。

颈椎骨龄评估法在青春期生长高峰预测中展现出显著优势。通过分析第二至第四椎体的形态及其分形特征,该方法不仅能评估上下颌骨的生长阶段,还可帮助医生精确推断患者的剩余生长量^[12, 13]。这一评估方法对骨性错殆畸形患者的矫治方案设计尤为重要。例如,对于下颌发育不足的骨性Ⅱ类错殆患者,快速生长期(颈椎骨发育第3至6阶段)进行综合评估与干预,可实现最佳治疗效果^[21]。

此外,牙龄推断法同样为生长潜力的评估提供了重要支持。研究显示^[22],牙齿钙化阶段与不同骨龄阶段具有显著对应关系,例如尖牙与磨牙

在特定骨龄阶段的钙化状态可作为评估生长潜力的参考指标。通过结合牙齿发育与骨龄数据,医生能够更全面地掌握患者的生长状态,为精准化治疗提供科学依据。

这种评估对骨性错殆畸形患者的矫治方案设计具有重要意义,特别是在下颌骨前移手术时机的判断上,可显著提高治疗效果的稳定性。此外,牙龄推断法也为生长潜力的评估提供了重要支持。

3 年龄推断技术的未来发展方向

年龄推断技术在正畸治疗中虽已取得显著进展,但在准确性、适用性和技术集成方面仍存不足。牙龄和骨龄推断法因种族与环境差异在不同人群中表现出显著偏差,且现有技术多依赖人工分析,评估效率与精度亟待提升。针对牙龄推断法,未来需开发区域特异性校正模型,结合不同地区和种族的生长特征,建立更加精准的预测公式。在骨龄评估方面,改进颈椎骨龄测量算法及标准化流程,可有效减少影像质量和个体差异对结果的影响。数字化与人工智能技术的引入为技术升级带来了新契机,例如,卷积神经网络(convolutional neural networks, CNN)在骨龄评估中的潜力已被证实,通过自动识别关键发育特征,显著提高了评估效率和精度^[23]。同时,将牙龄的直观性与骨龄的系统性相结合,多方法联合评估有助于提升快速生长期预测和剩余生长量判断的准确性^[24]。此外,跨区域的大规模样本数据库可有效描述多样化的生长模式,并为机器学习算法提供高质量的数据支持,从而进一步增强模型的普适性与鲁棒性。

4 总结

年龄推断在正畸治疗中已显示出广泛的应用潜力,但其适用性和准确性仍受种族、环境及技术条件的限制。未来研究需结合数字化技术、区域特异性模型和多中心数据库,推动牙龄与骨龄评估向精准化和个性化发展。同时,强化医学与人工智能的多学科协作,探索技术在更复杂临床场景中的应用,将进一步提升正畸治疗的科学性和高效性。

[参考文献]

[1]Durka-Zajac M,Derwich M,Mitus-Kenig M,et al.Analysis

- of Dental Maturation in Relation to Sagittal Jaw Relationships[J].*Pol J Radiol*,2017,82:32-37.
- [2]白玉兴.适时、适宜、适度地开展错殆畸形的早期防与治[J].*中华口腔医学杂志*,2022,57(8):789-793.
- [3]Mostafavi M,Razeghinejad MH,Shahi S,et al.Accuracy of Dental Calcification Stages in Predicting the Peak Pubertal Stage of Females[J].*Turk J Orthod*,2024,37(1):56-62.
- [4]Chandrasekar R,Chandrasekhar S,Sundari KKS,et al. Development and validation of a formula for objective assessment of cervical vertebral bone age[J].*Prog Orthod*,2020,21(1):38.
- [5]AlOtaibi NN,AlQahtani SJ.Performance of different dental age estimation methods on Saudi children[J].*J Forensic Odontostomatol*,2023,41(1):27-46.
- [6]Dadgar S,Hadian H,Ghobadi M,et al.Correlations among chronological age, cervical vertebral maturation index, and Demirjian developmental stage of the maxillary and mandibular canines and second molars[J].*Surg Radiol Anat*,2021,43(1):131-143.
- [7]Kim H,Kim CS,Lee JM,et al.Prediction of Fishman's skeletal maturity indicators using artificial intelligence[J].*Sci Rep*,2023,13(1):5870.
- [8]Demirjian A,Goldstein H.New systems for dental maturity based on seven and four teeth[J].*Ann Hum Biol*,1976,3(5):411-421.
- [9]王茜莹,王茜,祖丽乎马尔·帕尔哈提,等.三种牙龄推断法在乌鲁木齐儿童及青少年中的应用[J].*现代口腔医学杂志*,2023,37(4):224-229.
- [10]Chandail K,Goyal V,Kaul M,et al.Estimation of dental age using Willems method and comparing it with Demirjian's method in 7-14-year-old children of Uttarakhand[J].*J Indian Soc Pedod Prev Dent*,2022,40(1):43-47.
- [11]Yang Z,Wen D,Xiao J,et al.Application of Cameriere's method for dental age estimation in children in South China[J].*Forensic Sci Res*,2021,7(2):106-114.
- [12]Manabe A,Ishida T,Kanda E,et al.Evaluation of maxillary and mandibular growth patterns with cephalometric analysis based on cervical vertebral maturation:A Japanese cross-sectional study[J].*PLoS One*,2022,17(4):e0265272.
- [13]Pamukcu U,Ispir NG,Akay G,et al.Evaluation of the compatibility of C2, C3, and C4 fractal dimension values with hand-wrist and cervical vertebra maturation methods in determining skeletal maturation[J].*Dentomaxillofac Radiol*,2022,51(7):20220113.
- [14]Mânica S,Wong FSL,Davis G,et al.Estimating age using permanent molars and third cervical vertebrae shape with a novel semi-automated method[J].*J Forensic Leg Med*,2018,58:140-144.
- [15]Franchi L,Nieri M,Lomonaco I,et al.Predicting the mandibular growth spurt[J].*Angle Orthod*,2021,91(3):307-312.
- [16]Jeon JY,Kim CS,Kim JS,et al.Correlation and Correspondence between Skeletal Maturation Indicators in Hand-Wrist and Cervical Vertebra Analyses and Skeletal Maturity Score in Korean Adolescents[J].*Children (Basel)*,2021,8(10):910.
- [17]Litsas G,Athanasίου AE,Papadopoulos MA,et al.Dental calcification stages as determinants of the peak growth period. Phasen in der dentalen Kalzifikation als Determinanten der Hauptwachstumsperiode[J].*J Orofac Orthop*,2016,77(5):341-349.
- [18]张赞,李小兵.上颌扩弓疗效评价的临床意义及发展方向[J].*口腔医学*,2022,42(7):659-663.
- [19]王妙辰,沈诗慧,白雪冰,等.颈椎骨龄与牙龄推断上海地区儿童年龄的准确性比较[J].*上海口腔医学*,2022,31(1):89-95.
- [20]Gupta S,Mehendiratta M,Rehani S,et al.Age estimation in Indian children and adolescents in the NCR region of Haryana:A comparative study[J].*J Forensic Dent Sci*,2015,7(3):253-258.
- [21]Guinot F,Ferrer M,Díaz-González L,et al.Effects of Orthodontic Functional Appliances in Relation to Skeletal Maturation of Cervical Vertebrae In Class II Malocclusion[J].*J Clin Pediatr Dent*,2022,46(1):62-69.
- [22]Ojha A,Chawla R,Sihag T,et al.Relationship between skeletal maturity indicators and dental calcification stages in a sample pediatric population[J].*Indian J Dent Res*,2023,34(2):150-154.
- [23]Nogueira-Reis F,Cascante-Sequeira D,Farias-Gomes A,et al.Determination of the pubertal growth spurt by artificial intelligence analysis of cervical vertebrae maturation in lateral cephalometric radiographs[J].*Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*,2024,138(2):306-315.
- [24]Litsas G,Lucchese A.Dental and Chronological Ages as Determinants of Peak Growth Period and Its Relationship with Dental Calcification Stages[J].*Open Dent J*,2016,10:99-108.