

数字化口腔正畸矫治器迭代设计与方法

黎炜健

广州瑞通生物科技有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025010023

摘要： 随着数字化技术的快速发展，口腔正畸领域正经历着一场革命。本文旨在探讨数字化口腔正畸矫治器的迭代设计与方法，分析当前发展现状，提出迭代设计的原则与策略，并通过案例分析展示迭代设计的实际应用。通过综合运用数字化建模、人工智能、材料科学、生物力学以及人机工程学等技术，本文旨在为口腔正畸矫治器的设计提供新的思路和方法，以期达到更高效、更个性化、更舒适的矫治效果。

关键词： 数字化口腔正畸；迭代设计；人工智能

Iterative Design and Methods of Digital Orthodontic Appliances

Li Weijian

Guangzhou Ruitong Biotechnology Co., LTD., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： With the rapid development of digital technology, the field of orthodontics is undergoing a revolution. This paper aims to explore the iterative design and methods of digital orthodontic appliances, analyze the current development status, propose the principles and strategies of iterative design, and demonstrate the practical application of iterative design through case analysis. By comprehensively applying technologies such as digital modeling, artificial intelligence, materials science, biomechanics and ergonomics, this paper aims to provide new ideas and methods for the design of orthodontic appliances, with the expectation of achieving more efficient, more personalized and more comfortable orthodontic effects.

Keywords： digital orthodontics; iterative design; artificial intelligence

引言

口腔正畸作为一门旨在改善牙齿排列不齐、咬合异常等口腔问题的学科，随着技术的进步，正逐步从传统的金属托槽矫治器向数字化矫治器转变。数字化矫治器以其美观、舒适、高效的特点，越来越受到患者的青睐。本文将探讨数字化口腔正畸矫治器的设计与迭代方法，以期推动该领域技术的发展。

一、数字化口腔正畸矫治器发展现状

（一）数字化口腔正畸矫治器概述

1. 定义与分类

数字化口腔正畸矫治器是指利用计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）和计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing, CAM）技术，结合数字化口腔扫描、三维重建、快速成型等技术制作的矫治器。根据其结构和功能的不同，主要可以分为隐形矫治器、数字化托槽矫治器和数字化舌侧矫治器等类型。隐形矫治器通常由透明的医用高分子材料制成，通过一系列个性化的透明牙套逐步矫正牙齿；数字化托槽矫治器则是在传统托槽矫治的基础上，利用数字化技术进行托槽的个性化设计和

定位，提高矫治效率和精度；数字化舌侧矫治器则是将托槽和弓丝隐藏在牙齿内侧，兼顾美观和功能^[1]。

2. 工作原理与基本结构

数字化矫治器的核心在于其精确的三维建模和模拟技术。首先，通过数字化口腔扫描设备获取患者口腔的三维数据，然后利用专业的正畸软件进行数据处理和三维重建，模拟牙齿移动的过程。根据模拟结果，设计出一系列按顺序使用的矫治器，每个矫治器都对应着牙齿移动的一个阶段。这些矫治器通常采用透明的医用高分子材料制成，通过精确控制矫治器的形状和力度，逐步引导牙齿移动到预期的位置。数字化托槽矫治器则通过 CAD/CAM 技术，根据每个患者的牙齿形态和矫治需求，设计和制造个性化的托槽，并将其精确地定位在牙齿表面，再配合弓丝施加力

作者简介：黎炜健（1995.04-），男，汉族，广东广州人，本科，医疗器械助理工程师，目前是初级医疗器械助理工程师，研究方向：单医疗器械、机械、机械设计与制造、口腔正畸矫治器产品，结构设计、材料选择、生产工艺改进等。

量，实现牙齿的移动^[2]。

（二）现有技术的优势与不足

1. 现有数字化口腔正畸矫治器的优点

数字化口腔正畸矫治器相较于传统矫治器具有明显的优势。一方面，提高矫治精度：数字化技术可以精确地获取患者口腔的三维数据，进行个性化的矫治器设计和制造，使得矫治过程更加精准，能够更好地控制牙齿的移动。另一方面，缩短治疗周期：由于数字化矫治器可以精确控制矫治力度和方向，避免了传统矫治器调整过程中的试错时间，从而可以缩短整体的治疗周期^[3]。此外，提升患者舒适度和美观度：隐形矫治器采用透明的材料，几乎不可见，极大地满足了患者对美观的需求；同时，其光滑的表面减少了对口腔黏膜的刺激，提高了佩戴的舒适度。数字化托槽矫治器通过个性化设计，可以更好地贴合牙齿表面，减少不适感。最后，方便医患沟通：数字化技术可以直观地展示矫治方案和预期效果，方便医生与患者进行沟通，提高患者的治疗依从性。

2. 现有数字化口腔正畸矫治器的缺点与局限性

数字化口腔正畸矫治器也存在一些缺点和局限性。成本较高：数字化矫治器的制作过程涉及先进的设备和技术，其材料和加工成本相对较高，导致整体治疗费用高于传统矫治器。对复杂病例的适应性有限：对于一些严重的骨骼畸形或复杂的牙齿错位问题，数字化矫治器的矫治能力可能受到限制，仍然需要结合传统的正畸治疗方法。对医生操作技能要求较高：数字化矫治器的应用需要医生具备一定的计算机操作能力和数字化思维，能够熟练使用相关软件进行方案设计和矫治器调整。此外，数据的准确性和安全性也是需要关注的问题，需要确保数据的采集、处理和存储过程符合相关标准和规范。材料的生物相容性和长期稳定性也需要进一步研究，以确保矫治器的安全性和有效性^[4]。

二、数字化口腔正畸矫治器迭代设计原则与策略

（一）迭代设计的概念与内涵

迭代设计是一种基于用户反馈和测试结果，通过反复循环的设计过程来不断改进和优化产品的方法。其核心在于将复杂的设计问题分解为多个阶段，每个阶段都进行设计、原型制作、测试和评估，并根据反馈结果进行修改和完善，逐步逼近最优设计方案^[5]。在数字化口腔正畸矫治器的设计中，迭代设计能够有效地整合患者需求、临床经验和最新技术，提高矫治器的性能和用户体验。

（二）数字化口腔正畸矫治器迭代设计原则

迭代设计应遵循以下原则：以患者为中心，充分考虑患者的个性化需求和体验，确保矫治方案的安全性和有效性；确保矫治效果，通过精确的数字化建模和仿真技术，预测牙齿移动轨迹，制定科学合理的矫治方案；提高矫治器的舒适度和美观度，优化矫治器的结构设计和材料选择，减少对口腔组织的刺激，提升患者的佩戴舒适度；降低生产成本，通过优化设计流程和制造工艺，提高生产效率，降低材料消耗，实现经济效益的最大化^[6]。

（三）数字化口腔正畸矫治器迭代设计策略

为实现上述设计原则，可以采取以下策略：采用模块化设计，将矫治器分解为多个功能模块，便于单独设计和升级，提高设计的灵活性和可维护性；集成最新技术，积极引入数字化建模、人工智能、材料科学等领域的最新成果，提升矫治器的性能和功能；强化个性化定制，利用数字化技术采集患者的口腔数据，进行个性化设计和制造，确保矫治器与患者牙齿的完美贴合；优化矫治方案，通过大数据分析和机器学习算法，不断优化矫治方案，提高矫治效率和成功率。

三、数字化口腔正畸矫治器迭代设计方法

（一）数字化建模与仿真技术

数字化建模与仿真技术是数字化口腔正畸矫治器设计的基础。通过采用先进的三维扫描技术，如口内扫描仪，可以精确获取患者的口腔数据，精度可达到0.01mm。利用这些数据，可以构建高精度的数字化模型，包括牙齿、颌骨和周围软组织的三维模型。基于这些模型，可以应用有限元分析、生物力学仿真等技术，模拟牙齿移动过程，预测矫治效果。例如，通过有限元分析，可以模拟不同矫治力作用下牙齿的位移、应力和应变分布，从而优化矫治器的设计参数，确保矫治力的合理分布和传递。数字化建模与仿真技术可以减少对物理模型的依赖，缩短设计周期，提高设计精度，并降低开发成本^[7]。

（二）人工智能与机器学习技术

人工智能与机器学习技术在数字化口腔正畸矫治器设计中发挥着越来越重要的作用。通过应用人工智能算法，可以对大量的正畸病例数据进行分析和学习，建立牙齿移动预测模型。例如，利用深度学习算法，可以对数千例正畸病例的牙齿移动数据进行分析，建立预测模型，预测不同矫治方案下的牙齿移动轨迹和最终位置。利用机器学习技术，可以根据患者的口腔数据和个人情况，自动生成个性化的矫治方案，并预测牙齿移动效果。例如，通过机器学习算法，可以根据患者的年龄、性别、错畸形类型等特征，自动推荐最优的矫治方案^[8]。人工智能与机器学习技术可以提高矫治方案的制定效率和准确性，减少试错成本，并提升治疗效果。

（三）材料科学与生物力学技术

材料科学与生物力学技术是提升数字化口腔正畸矫治器性能的关键。研究和应用新型材料，如形状记忆合金、生物降解材料等，可以提高矫治器的弹性和耐用性，实现矫治力的精准控制和释放。例如，形状记忆合金可以根据体温变化调整形状，提供持续的矫治力；生物降解材料可以在矫治过程中逐渐降解，避免二次手术取出。通过生物力学分析，可以优化矫治器的结构设计，确保矫治力的合理分布和传递，提高矫治效果。例如，通过有限元分析，可以优化托槽的底板形状和尺寸，提高托槽的粘接强度；优化弓丝的截面形状和尺寸，提高弓丝的矫治效率。材料科学与生物力学技术可以为矫治器的设计提供新的思路和方法，提升矫治器的性能和可靠性^[9]。

（四）人机工程学与用户体验设计

人机工程学与用户体验设计在数字化口腔正畸矫治器设计中同样重要。关注患者使用感受，从人机工程学的角度出发，设计易于佩戴和摘除的矫治器，减少患者的操作难度。例如，通过优化矫治器的边缘设计，避免对口腔软组织的刺激；通过设计易于抓握的矫治器边缘，方便患者佩戴和摘除^[10]。通过用户体验设计，优化矫治器的的外观、颜色、纹理等，提升患者的满意度和接受度。例如，通过提供多种颜色的矫治器，满足患者的个性化需求；通过设计美观的矫治器外观，提升患者的自信心。人机工程学与用户体验设计可以提高患者的治疗依从性，促进治疗效果的实现，并提升患者的整体满意度。

四、数字化口腔正畸矫治器迭代设计案例分析

（一）案例一：某品牌隐形矫治器的迭代升级

某知名品牌隐形矫治器在市场上已广泛应用，但随着正畸技术的不断发展，针对复杂病例的矫治需求日益凸显。为了进一步提升矫治效果和扩大适用范围，该品牌决定对现有产品进行迭代升级。迭代过程首先聚焦于数据采集和分析环节，采用更先进的口内扫描技术，获取患者口腔的三维数据，精度高达0.01mm。其次，引入人工智能算法，对海量正畸案例进行学习，优化矫治方案的设计。通过模拟牙齿移动的动力学模型，预测并调整每一步的矫治力度，确保矫治过程的精准性和舒适性。此外，新材料的应用也提升了矫治器的生物相容性和耐用性。经过多轮迭代测试，最终产品在复杂病例矫治成功率上提升了15%，矫治周期平均缩短了20%，患者舒适度反馈提高了10个百分点。该案例证明了迭代设计在提升隐形矫治器性能方面的有效性。

（二）案例二：基于 AI 技术的智能矫治器设计

随着人工智能技术的快速发展，将其应用于口腔正畸领域已成为新的趋势。本案例旨在设计一款基于 AI 技术的智能矫治器，实现矫治过程的自动化和智能化。设计团队首先构建了一个包含数千例正畸案例的数据库，用于训练 AI 模型。通过深度学习算法，AI 模型能够学习不同错畸形的矫治规律，并预测牙齿移动的

轨迹。智能矫治器内部集成了微型传感器，可实时监测牙齿的位置和移动速度，并将数据传输至 AI 系统。AI 系统根据实时数据，动态调整矫治器的施力方向和力度，确保矫治过程始终处于最优状态。此外，智能矫治器配备患者交互界面，通过手机 APP 查看进度和接收远程指导，提升矫治效率和医患互动。但面临数据隐私和算法可靠性挑战，需进一步研究解决。

（三）案例三：针对特定错畸形类型的矫治器定制化设计

针对特定类型的错畸形，如骨性反颌、深覆颌等，传统的矫治方法往往难以达到理想的效果。本案例旨在通过数字化技术，为这些特定类型的错畸形设计定制化的矫治器。首先，通过三维扫描获取患者口腔的精确数据，并利用 CAD 软件进行个性化设计。针对骨性反颌，设计团队采用了一种特殊的矫治器结构，能够精准控制下颌骨的生长方向。对于深覆颌，则设计了一种能够有效压低前牙的矫治器。在材料选择上，采用生物相容性良好的医用高分子材料，确保矫治器的安全性和舒适性。通过有限元分析，对矫治器的结构进行优化，确保矫治力的合理分布。临床测试表明，定制化矫治器在针对特定错畸形的矫治中，能够显著提高矫治效果，缩短矫治周期。该案例展示了数字化技术在实现正畸治疗个性化方面的巨大潜力。

五、结语

综上所述，数字化口腔正畸矫治器在正畸领域展现出独特的优势与潜力，但其发展也面临诸多挑战。迭代设计作为一种科学有效的方法，为矫治器的持续优化提供了重要途径。通过遵循相关原则和策略，运用各类先进技术，结合实际案例不断探索，矫治器的性能、舒适度、矫治效果和个性化程度均得到显著提升。未来，随着技术的不断进步和创新，数字化口腔正畸矫治器有望在设计上实现更大突破，更加精准、智能、舒适，为患者提供更加优质的正畸体验。同时，对于成本控制、复杂病例适应性、数据安全、材料性能等方面的问题也需要进一步深入研究和解决，以推动数字化口腔正畸矫治行业迈向新的高度。

参考文献

- [1] 刘涛, 金伟, 顾园颖, 徐晔. 一种基于配准融合的三维牙齿模型重建方法 [J]. 生物医学工程与临床, 2022, 26(5): 549-555.
- [2] 郭人铭, 李艺博, 刘盼明, 李政泽, 崔淑霞. 无托槽隐形矫治上颌扩弓精准控制的初探 [J]. 临床口腔医学杂志, 2021, 37(10): 602-605.
- [3] 游恺, 张宁. 数字化口内扫描技术的研究进展 [J]. 北京口腔医学, 2024, 32(5): 376-380.
- [4] 许可, 陈定根, 李娜, 刘维翰. 3D 打印技术在口腔正畸领域的应用进展 [J]. 四川医学, 2024, 45(1): 68-72.
- [5] 杨锦涛, 范典, 苏明, 单丹妮, 郑凡凡, 陈红嫣, 杨新宇, 张良. 基于三维冠根整合模型在无托槽隐形矫治中的临床疗效研究 [J]. 口腔医学, 2023, 43(2): 125-129.
- [6] 朱玉佳, 刘真光, 温奥楠, 高梓翔, 秦庆钊, 傅湘玲, 王勇, 陈晋鹏, 赵一蛟. 基于深度学习点云配准的三维颌面正中矢状面构建算法研究 [J]. 中华口腔医学杂志, 2023, 58(11): 1178-1183.
- [7] 毛渤淳, 田雅婧, 李晶, 等. 基于生物学反应考量的下牙列轻力远移的有限元分析 [J]. 中华口腔正畸学杂志, 2023, 30(01): 18-21.
- [8] 田家良. 基于深度学习的正畸移动牙颌后面容生成方法研究 [D]. 北京邮电大学, 2023.
- [9] 李慧, 张栋梁. 基于自适应网格技术的牙齿移动骨重建过程模拟 [J]. 医用生物力学, 2023, 38(5): 894-898.
- [10] 徐晓强, 秦品乐, 曾建朝. 基于改进粒子群优化算法的牙齿正畸路径规划方法 [J]. 计算机应用, 2020.