

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2026.12.048

无托槽隐形矫治对口腔菌群影响的研究进展

郝英淇, 徐 驰

(山东医药大学口腔医院/烟台市口腔医院, 山东 烟台 264008)

[摘要] 无托槽隐形矫治器凭借其优异的美学效果与佩戴舒适性, 已成为当代错𪙇畸形治疗的重要方式之一, 在正畸临床与患者群体中均获得高度认可。目前, 围绕该技术的适应证范围、牙齿移动效率及牙根外吸收风险等议题, 已有大量研究积累了较为充分的循证依据。与此同时, 正畸治疗期间牙龈炎、牙周炎及龋病等常见口腔疾病的发生, 往往以口腔菌群结构的改变与微生态失衡为始动环节, 这使得矫治过程中口腔微生态的动态变化日益受到学界关注。基于此, 本文系统回顾相关文献, 就隐形矫治期间口腔菌群的变化特征进行综述, 以期为临床实践提供参考; 同时结合现有研究证据, 进一步提出优化策略, 旨在提升治疗效果与患者体验。

[关键词] 错𪙇畸形; 无托槽隐形矫治; 口腔菌群; 口腔健康

[中图分类号] R783.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949 (2026) 12-0195-04

Research Progress on Effect of Bracketless Invisible Orthodontic Treatment on Oral Microbiota

HAO Yingqi, XU Chi

(Stomatological Hospital of Shandong Medical and Pharmaceutical University/Yantai Stomatological Hospital, Yantai 264008, Shandong, China)

[Abstract] With excellent aesthetic effects and wearing comfort, bracketless invisible orthodontic treatment has become one of the important methods for the treatment of modern malocclusion and is highly recognized in orthodontic clinical practice and among patients. At present, a large number of studies have accumulated sufficient evidence-based data regarding the indications, tooth movement efficiency, and root external resorption risk of this technology. Meanwhile, the occurrence of common oral diseases such as gingivitis, periodontitis and dental caries during orthodontic treatment is usually initiated by structural changes of oral microbiota and oral microecological imbalance, which has attracted increasing academic attention to the dynamic changes of oral microecology during orthodontic treatment. Based on relevant literature, this paper systematically reviews the variation characteristics of oral microbiota during bracketless invisible orthodontic treatment to provide references for clinical practice. Furthermore, optimization strategies are proposed based on existing research evidence, aiming to improve clinical treatment efficacy and patient experience.

[Key words] Malocclusion; Bracketless invisible orthodontic treatment; Oral microbiota; Oral health

错𪙇畸形 (malocclusion) 是指累及牙列排列与咬合关系的一类常见口腔疾病, 全球患病率约为56%^[1], 可对口腔局部环境及全身健康产生不良影响。目前, 其矫治主要依赖多种矫治器, 其中传统固定矫治技术因适应证广泛、疗效稳定而成为主流方案; 与此同时, 无托槽隐形矫治器凭借其美观性与舒适性优势, 日益受到广泛关注^[2]。

自隐形矫治器获批用于正畸临床以来, 相关研究已从适应证选择、牙齿移动的效率与可靠性, 以及正畸相关性牙根外吸收等多个维度展开, 积累了较为丰富的循证依据^[3]。值得关注的是, 正畸治疗过程中, 由于矫治器需长期就位于口内, 易导致牙面菌斑生物膜积聚, 加之清洁难度增加, 可诱发口腔菌群结构紊乱及致龋菌、牙周致病菌

第一作者: 郝英淇 (1998.7-), 女, 山东烟台人, 本科, 初级, 主要从事儿童口腔医学及口腔早期矫治方面工作

通讯作者: 徐驰 (1999.5-), 男, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 初级, 主要从事口腔微生物学相关方面研究

数量上升,从而显著提高了龋病、牙龈炎及牙周炎等菌斑相关疾病的发病风险^[4]。基于此,本文就隐形矫治期间患者口腔微生物菌群的变化进行综述,并在此基础上结合现有证据提出相应的干预策略,以期优化隐形矫治器的临床应用、改善患者治疗效果与矫治体验提供参考。

1 隐形矫治前后的口腔菌群变化

1.1 非正畸治疗人群的口腔菌群构成 人类口腔定植着约700余种细菌,共同构成一个复杂的微生态系统^[5]。生理状况下菌群内部各物种之间及菌群与宿主之间相互制约、协同作用,共同维持微生态的相对稳态。当口腔局部环境发生改变或宿主免疫防御功能下降时,上述平衡被打破,可导致菌群失调,进而成为龋病、牙周炎等口腔感染性疾病的重要诱因^[6]。健康人群的口腔菌群组成在门与属水平上具有较高的相似性。一项基于5名恒牙列健康受试者的研究显示^[7],通过对颊黏膜及牙面菌斑样本进行16S rDNA测序,共鉴定出11个菌门,以厚壁菌门、变形菌门、拟杆菌门、放线菌门和梭菌门为优势门类;在属水平上则检出143个属,其中奈瑟菌属、链球菌属、嗜血杆菌属、韦荣球菌属和罗氏菌属为优势属。而在罹患牙周炎的乳牙列与恒牙列个体中,该菌群结构均出现显著失调,表现为特定优势致病菌的过度富集^[8]。

1.2 隐形矫治患者的菌群以及口腔健康状况的改变情况 口腔矫治器的佩戴是诱导口腔常驻菌群失调的因素之一,无托槽隐形矫治器在佩戴短期内会引起口腔常驻菌群的菌群失调^[9],但该改变未必导致宏观菌斑生物膜的过度积累,其原因可能与隐形矫治器可自由摘戴、便于口腔卫生维护有关。关于隐形矫治过程中牙周致病菌的变化,Francesca MS等^[10]采用实时PCR比较了隐形矫治患者与非正畸患者之间总细菌负荷(TBL)及牙周病原菌的变化。结果显示,两组间TBL的变化无统计学显著差异,且红色复合体(牙龈卟啉单胞菌、齿垢密螺旋体、福赛坦纳菌)和橙色复合体(中间普雷沃菌、具核梭杆菌)的比例亦无显著变化。类似的,Lombardo L等^[11]采用相同方法评估了正畸患者治疗前6个月内龈下微生物的变化,其结果与Francesca MS等^[10]相似,即隐形矫治患者的TBL随时间无显著变化。然而,橙色复合体成员之一——弯曲菌在治疗期间有所增加。这些结果提示隐形矫治对牙周组织健康的整体影响似乎

较为有限。在龋病相关菌群方面,Zhao R等^[12]发现,远缘链球菌、血链球菌及唾液链球菌在治疗前后保持稳定。Albhaisi Z等^[13]通过定量光诱导荧光技术评估了固定矫治与隐形矫治患者白垩斑的数量,发现多托槽固定矫治组患者白垩斑数量最多,但两组病变范围存在细微差异:固定组以点状病变为主,多位于托槽侧面(菌斑积聚较多处);而隐形组病变覆盖范围更为广泛。这表明隐形矫治可能因其长时间覆盖牙面,降低了牙面与唾液流的接触,从而削弱了唾液的缓冲及再矿化潜力。隐形矫治过程中口腔菌群的改变情况在不同的检测部位也可能有不同的结果。Rouzi M等^[14]发现隐形矫治过程中,龈下菌斑样本微生物群的 α 多样性和 β 多样性在治疗前后无显著差异;但是在矫治器内表面发现链球菌属相对丰富度增加,且微生物群落的丰富度及多样性随治疗时间延长而显著降低。这也印证了佩戴可摘式矫治器也能够对口腔菌群产生显著影响。除了隐形矫治器外,传统活动矫治器也可引起类似的改变,尽管有所差异,但二者均可在微生物层面升高患龋风险。此外,关于固定矫治器与隐形矫治器的对比,Shokeen B等^[15]发现二者在临床指标方面差异较为明显:固定矫治器更容易引起PI的升高;在微生物群方面,二者 α 多样性无明显差异,且隐形矫治器内表面也出现了独特的菌斑群落:链球菌属和颗粒链菌属的相对丰度显著升高,这些改变使得矫治器可能成为病原菌的滞留位点和储存库。除了常驻优势菌群类别以外,隐形矫治过程中的“小众菌群”也可出现显著的改变,Wang Q等^[16]对固定与隐形矫治患者唾液样本进行16S rRNA高通量焦磷酸测序,发现两组均出现菌群失调。门水平分析结果显示,隐形矫治组厚壁菌门丰富度显著低于固定组,糖杆菌门则显著高于固定组;作为健康受试者优势菌门以外的“小众菌群”——糖杆菌门(曾称TM7)常被认为丰富度升高与牙周炎及牙龈炎严重程度相关。然而,Chipashvili O等^[17]在动物实验中发现,TM7可抑制胶原结合及真核唾液酸利用等骨吸收关键步骤,从而减轻炎症及牙槽骨丧失,提示TM7可能具有保护作用。具体而言,糖杆菌门可能通过影响宿主细菌的生理状态、抑制其生长动态或通过直接杀伤影响宿主的相对丰度,进而调节口腔微生物组的结构层次和功能,从而影响口腔微生态^[18]。

2 改善隐形矫治对口腔菌群影响的措施

鉴于隐形矫治过程中从矫治器本身及患者双联因素对口腔菌群造成的影响, 现有许多有效措施针对上述两方面入手, 优化矫治过程中对口腔菌群微生物及口腔健康的影响。

2.1 强化口腔卫生教育与行为干预 患者依从性是影响隐形矫治期间口腔微生态的关键因素。正畸医师在治疗过程中提供详尽的口腔卫生指导 (OHI) 已被证实能显著提升患者的清洁意识与执行水平^[2]。在隐形矫治开始阶段, 应向患者系统地介绍包括牙刷、牙线的使用等口腔卫生清洁措施, 治疗过程中可尝试向患者发放口腔卫生习惯记录表格, 从行为心理学层面增强其自我管理动力, 以促使其严格遵循OHI进行日常维护^[12]。

2.2 优化矫治器设计 隐形矫治器每日佩戴时长接近22 h, 虽便于餐后清洁, 但长时间覆盖牙面可能削弱唾液对牙面及龈缘的物理冲刷与自洁作用。为减轻这一不利影响, 以隐适美 (Invisalign) 为代表的主流矫治系统已采用更短的边缘设计, 以减少矫治器对牙面的覆盖面积, 从而有助于维护局部微生态环境^[19]。在优化矫治器几何设计之外, 其表面改性以获得抗菌性能亦成为领域内的研究热点。鉴于矫治器组织面与牙冠表面长期紧密贴合, 赋予其表面抗菌功能有望从源头减少菌斑生物膜的形成。Worreth S等^[20]在矫治器用纤维素材料表面涂覆不同浓度的肉桂醛, 发现该涂层可有效抑制表皮葡萄球菌、变异链球菌及轻型链球菌的生长速率并延长滞后期, 且效应呈浓度依赖性。Xie Y等^[21]则采用季铵修饰的金纳米簇 (QA-GNCs) 对矫治器表面进行涂层处理, 显著抑制了变异链球菌的生物膜形成与增殖, 从而降低正畸治疗期间的龋病风险。在此基础上, Yang F等^[22]进一步拓展了材料改性的技术路径, 通过热压成膜技术简便制备了含聚丙烯 (PP)、热塑性聚氨酯 (TPU) 及聚六亚甲基胍盐酸盐-硬脂酸钠 (PHMG-SS) 的抗菌复合膜 (ACMs), 其对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌及变形链球菌的杀菌率均超过99.99%, 显示出广谱且高效的抗菌性能。由此可见, 对矫治器材料本身进行抗菌功能化改性, 是减少矫治器相关菌群紊乱的重要技术方向。随着相关材料科学与表面工程技术的不断进步, 此类优化策略有望在临床实践中获得广泛应用。

2.3 优化矫治器清洁措施 在矫治器日常清洁方

面, 单纯流水冲洗效果有限, 联合超声荡洗或阳离子清洁剂处理已被证明更为有效。Lombardo L等^[23]发现, 在润洗矫治器时添加阳离子清洁剂或采用超声荡洗, 可显著减少菌斑生物膜的积聚。Shpack N等^[24]亦证实, 联合振荡冲洗与清洁晶体溶液处理矫治器表面, 能够有效抑制菌斑的附着与富集。因此, 单一物理冲洗难以满足矫治器的日常清洁需求, 而多模式联合清洁方案具有较高临床应用价值。

3 总结与展望

无托槽隐形矫治器的出现是口腔正畸学发展进程中的重要里程碑, 该技术凭借卓越的美观性与舒适度, 已得到临床广泛应用。但在口腔微生态与健康维度, 现有证据尚存分歧: 多数研究表明隐形矫治全程未对口腔菌群及临床健康指标产生显著不利影响, 但亦有研究指出矫治器的介入可诱发局部菌群的特征性重塑。总之, 得益于其可摘戴性与清洁便利性, 隐形矫治器在宏观临床指标 (如菌斑指数、探诊出血率) 上的表现显著优于传统固定矫治器, 未呈现明确的致病风险。值得注意的是, 现有研究在时间维度与对象维度上均存在明显局限。一方面, 大多数研究观察期不足1年, 难以全面反映持续数年的完整矫治周期内菌群的演替规律; 另一方面, 当前工作多聚焦于口腔常驻优势菌群, 而大量具有潜在生物学功能的低丰度菌群长期处于认知“黑箱”之中。随着微生物分析技术的迭代, 这些既往被忽视的菌群生物学功能及其对口腔健康的潜在作用会逐步明晰。因此, 除继续关注牙周致病菌、致龋性链球菌等经典致病菌外, 未来亟需拓展对非优势菌群动态变化的系统监测。此外, 各研究间检测策略的异质性 (如单纯依赖测序或传统培养) 亦可能导致方法学偏倚。为提升数据的可比性与可重复性, 后续研究应优先采用标准化流程, 推荐以16S rRNA基因 (V3-V4区) 高通量测序为核心手段解析菌群结构, 并辅以qPCR技术对关键菌种进行绝对定量分析。在临床应对层面, 针对患者行为管理与矫治器改性的双向干预策略已取得初步成效。未来, 随着矫治器抗菌功能化材料技术的成熟及个体化OHI体系的持续完善, 隐形矫治有望在舒适性、美观性与口腔健康性3个方面实现协同提升, 从而为患者提供更为优质的治疗体验。

[参考文献]

- [1]Chen H,Lin L,Chen J,et al.Prevalence of Malocclusion Traits in Primary Dentition,2010-2024:A Systematic Review[J].Healthcare (Basel),2024,12(13):1321.
- [2]Wang Y,Long H,Zhao Z,et al.Expert consensus on the clinical strategies for orthodontic treatment with clear aligners[J].Int J Oral Sci,2025,17(1):19.
- [3]Baneshi M,O'Malley L,El-Angebawi A,et al.Effectiveness of Clear Orthodontic Aligners in Correcting Malocclusions:A Systematic Review and Meta-Analysis[J].J Evid Based Dent Pract,2025,25(1):102081.
- [4]Zhao M,Yu C,Su C,et al.Dynamic effects of fixed orthodontic treatment on oral health and oral microbiota:a prospective study[J].BMC Oral Health,2024,24(1):1537.
- [5]Baker JL,Mark Welch JL,Kauffman KM,et al.The oral microbiome:diversity,biogeography and human health[J].Nat Rev Microbiol,2024,22(2):89-104.
- [6]Hajishengallis G,Lamont RJ,Koo H.Oral polymicrobial communities:Assembly,function,and impact on diseases[J].Cell Host Microbe,2023,31(4):528-538.
- [7]Liu Y,Qiao F,Wang Z,et al.Analysis of the microbial community diversity in various regions of the healthy oral cavity[J].BMC Oral Health,2024,24(1):978.
- [8]Koo SS,Fernandes JG,Li L,et al.Evaluation of microbiome in primary and permanent dentition in grade C periodontitis in young individuals[J].J Periodontol,2024,95(7):650-661.
- [9]Lucchese A,Marcolina M,Mancini N,et al.A comparison of the alterations of oral microbiome with fixed orthodontic therapy and clear aligners:a systematic review[J].J Oral Microbiol,2025,17(1):2372751.
- [10]Francesca MS,Andrea B,Pietro MD,et al.Microbiological Changes during Orthodontic Aligner Therapy:A Prospective Clinical Trial[J].Applied Sciences,2021,11(15):6758-6758.
- [11]Lombardo L,Palone M,Scapoli L,et al.Short-term variation in the subgingival microbiota in two groups of patients treated with clear aligners and vestibular fixed appliances:A longitudinal study[J].Orthod Craniofac Res,2021,24(2):251-260.
- [12]Zhao R,Huang R,Long H,et al.The dynamics of the oral microbiome and oral health among patients receiving clear aligner orthodontic treatment[J].Oral Dis,2020,26(2):473-483.
- [13]Albhaishi Z,Al-Khateeb SN,Abu Alhaija ES.Enamel demineralization during clear aligner orthodontic treatment compared with fixed appliance therapy,evaluated with quantitative light-induced fluorescence:A randomized clinical trial[J].Am J Orthod Dentofacial Orthop,2020,157(5):594-601.
- [14]Rouzi M,Jiang Q,Zhang H,et al.Characteristics of oral microbiota and oral health in the patients treated with clear aligners:a prospective study[J].Clin Oral Investig,2023,27(11):6725-6734.
- [15]Shokeen B,Viloria E,Duong E,et al.The impact of fixed orthodontic appliances and clear aligners on the oral microbiome and the association with clinical parameters:A longitudinal comparative study[J].Am J Orthod Dentofacial Orthop,2022,161(5):e475-e485.
- [16]Wang Q,Ma JB,Wang B,et al.Alterations of the oral microbiome in patients treated with the Invisalign system or with fixed appliances[J].Am J Orthod Dentofacial Orthop,2019,156(5):633-640.
- [17]Chipashvili O,Utter DR,Bedree JK,et al.Episymbiotic Saccharibacteria suppresses gingival inflammation and bone loss in mice through host bacterial modulation[J].Cell Host Microbe,2021,29(11):1649-1662.e1647.
- [18]Bor B,Bedree JK,Shi W,et al.Saccharibacteria (TM7) in the Human Oral Microbiome[J].J Dent Res,2019,98(5):500-509.
- [19]Weir T.Clear aligners in orthodontic treatment[J].Aust Dent J,2017,62 Suppl 1:58-62.
- [20]Worreth S,Bieger V,Rohr N,et al.Cinnamaldehyde as antimicrobial in cellulose-based dental appliances[J].J Appl Microbiol,2022,132(2):1018-1024.
- [21]Xie Y,Zhang M,Zhang W,et al.Gold Nanoclusters-Coated Orthodontic Devices Can Inhibit the Formation of Streptococcus mutans Biofilm[J].ACS Biomater Sci Eng,2020,6(2):1239-1246.
- [22]Yang F,Wu C,Jiang Y,et al.Development of an antibacterial polypropylene/polyurethane composite membrane for invisible orthodontics application[J].Front Bioeng Biotechnol,2023,11:1233398.
- [23]Lombardo L,Martini M,Cervinara F,et al.Comparative SEM analysis of nine F22 aligner cleaning strategies[J].Prog Orthod,2017,18(1):26.
- [24]Shpack N,Greenstein RB,Gazit D,et al.Efficacy of three hygienic protocols in reducing biofilm adherence to removable thermoplastic appliance[J].Angle Orthod,2014,84(1):161-170.

收稿日期: 2026-6-3 编辑: 扶田