

- hADSCs/hNSCs spheroids combined with 3D printed M-shaped GelMA/Pu Scaffolds: Creating histologically biomimetic engineered cartilage that meets the characteristics of alar cartilage[J]. Biomaterials, 2026,326:123691.
- [32] Gensch A, Damle A, Sonsöz O, et al. Migration and chondrogenesis of cells from minced nasal cartilage in Type I collagen hydrogel: A workflow for one-step engineering of injectable grafts[J]. Gels, 2026,12(3):190.
- [33] Al Abid I K, Alghoul W I, Agha A A, et al. From models to implants: The expanding role of 3D printing in orthopedic care[J]. Cureus, 2025,17(11):e97992.
- [34] Bannink T, de Ridder M, Bouman S, et al. Computer-aided design and fabrication of statistically shaped nasal prostheses: A feasibility study[J]. J Prosthet Dent, 2025,134(6):2615-2622.
- [35] 闫怡轩, 陈宇翔, 黄群. 计算机辅助下单侧完全性唇腭裂术前矫治器应用过程中的鼻托调整对矫正鼻孔形态效果的研究[J]. 口腔医学研究, 2022,38(3):234-237.
- [36] Wen Aonan, Zhang Xiaohui, Zhu Yajia, et al. Establishment of a three-dimensional face template dataset with different nasal morphologies and its application in fabricating nasal defect prostheses[J]. J Dent, 2025,159:105834.
- [37] Shokri A, Ramezani K, Jamalpour M R, et al. In vivo efficacy of 3D-printed elastin-gelatin-hyaluronic acid scaffolds for regeneration of nasal septal cartilage defects[J]. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 2022,110(3):614-624.
- [38] Zare P, Pezeshki-Modaress M, Davachi S M, et al. An additive manufacturing-based 3D printed poly ε-caprolactone/alginate sulfate/extracellular matrix construct for nasal cartilage regeneration[J]. J Biomed Mater Res A, 2022,110(6):1199-1209.
- [39] 王一名, 安阳, 刘恋, 等. 基于三维有限元模型分析鼻部软组织形变并优化牵缩鼻畸形机械牵拉治疗方案[J]. 中华整形外科杂志, 2024,40(8):819-828.
- [40] Sun Yidan, Wu Siqiao, Wang Zheng, et al. A safe technique for excising the perpendicular plate of the ethmoid bone in patients with crooked nose: A finite element analysis[J]. Aesthetic Plast Surg, 2024,48(6):1084-1093.
- [41] An Yang, Shu Fan, Zhen Yonghuan, et al. The ethmoid bone is the ideal graft to strengthen nasal septum L-strut among different grafts: An evaluation based on finite element analysis[J]. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2022,75(11):4304-4311.

[收稿日期]2025-04-14

本文引用格式: 杨帆, 廖泽, 吕仁鹏, 等. 外鼻缺损修复方法的研究进展[J]. 中国美容医学, 2026,35(7):190-194.

隐形矫治上颌扩弓效率及影响因素的研究进展

孙博文¹ 综述, 熊晖² 审校

(1.湖北职业技术学院口腔临床教研室 湖北 孝感 432000; 2.武汉大学口腔医院正畸一科 湖北 武汉 430079)

[摘要] 隐形矫治技术的出现为正畸治疗提供了新的理念和手段, 极大地满足了患者对美观和舒适性的需求。然而, 在使用隐形矫治器进行上颌扩弓时, 实际矫治效果常因多种因素与设计目标存在差距。本文综述了隐形矫治上颌扩弓的作用机制、扩弓效率, 还探讨了不同矫治器材料、移动量和移动方式对扩弓效率的影响, 并分析了药物对牙槽骨改建和牙齿移动的潜在作用, 以为临床医生提供优化隐形矫治上颌扩弓治疗的参考依据, 提高矫治效率和临床效果。

[关键词] 隐形矫治; 上颌扩弓; 口腔正畸; 扩弓效率; 牙槽骨改建; 牙齿移动

[中图分类号] R783.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-6455 (2026) 07-0194-04

Research Progress on the Efficiency and Influencing Factors of Maxillary Expansion with Invisible Orthodontics

SUN Bowen¹, XIONG Hui²

(1. Department of Clinical Dentistry, Hubei Polytechnic Institute, Xiaogan 432000, Hubei, China; 2. Department of Orthodontics 1, Hospital of Stomatology, Wuhan University, Wuhan 430079, Hubei, China)

通信作者: 熊晖, 武汉大学口腔医院正畸一科副主任、主任医师; 研究方向为口腔正畸学。E-mail: xionghui76@163.com

第一作者: 孙博文, 主治医师; 研究方向为口腔正畸学。E-mail: sbowen@163.com

Abstract: The advent of invisible orthodontic technology has provided new concepts and means for orthodontic treatment, and has greatly met patients' demands for aesthetics and comfort. However, when using invisible appliances for maxillary expansion, the actual treatment outcomes often deviate from the designed goals due to various influencing factors. This review summarizes the mechanism of action, expansion efficiency, and influencing factors of maxillary expansion with invisible orthodontics. This article also explores the impact of different appliance materials, movement amounts, and movement methods on expansion efficiency, and analyzes the potential effects of medications on alveolar bone remodeling and tooth movement. Through a systematic analysis of these factors, this review provides clinical references for optimizing maxillary expansion treatment with invisible orthodontics, with the aim of improving treatment efficiency and clinical outcomes.

Key words: invisible correction; maxillary expansion; orthodontics; expansion efficiency; alveolar bone reconstruction; tooth movement

自20世纪初以来,口腔正畸技术不断发展,临床工作者在提升治疗效果的同时,也满足了患者对美学的需求。上颌扩弓技术最早由“正畸之父”Angel医师于1860年提出,用于矫治上颌横向发育不足。隐形矫治技术通过后牙颊向移动和牙槽骨改建解决上颌宽度不足问题,在不同年龄段患者中应用均有一定效果。该技术经过20多年的发展,因其舒适、美观、可摘戴等优势,已在临床中广泛应用,尤其适用于轻度拥挤和后牙反𪙇患者。然而,如何进一步提高隐形矫治的效率、降低成本,使其更加“隐形”和操作简便,仍是当前的研究热点。本文综述了隐形矫治上颌扩弓的发展历史、作用机制、扩弓效率及影响因素,旨在为临床应用提供参考。

1 隐形矫治的机制

1.1 隐形矫治的作用原理:隐形矫治技术基于“就位”和“矫治力”两大原理。矫治器设计时与患者牙齿位置存在偏差,通过变形产生的回弹性形成持续矫治力,推动牙齿移动,实现目标效果^[1]。临床医生需根据患者牙颌特征制定个性化方案。首先,分析关键参数并数字化处理;其次,分阶段设计并利用数字化技术制作矫治模型和装置,通常上颌扩弓每副牙套设计牙齿颊向移动0.2 mm^[2-3]。治疗遵循渐进原则,患者按照医嘱佩戴矫治器,持续佩戴至治疗结束,最终达到预期目标。

1.2 隐形矫治的生物力学机制:牙、颌、面为整体结构,在三维空间上的生长发育存在相互促进、相互制约的联系,只有三维空间内的力真正达到平衡,才可使口颌系统维持稳定、健康和美观。大多数以矢状位不平衡为主要特征的患者往往伴随牙弓、颌骨的横向宽度失衡,而且横向失衡亦可能是矢状位失衡的重要因素。在矫治过程中,由于矫治力的施加,患者牙周组织会产生相应的矫治力反应,从而形成牙齿移动,这是矫治的生物力学基础。施加矫治力的方式存在差异,牙周组织的反应亦随之变化,牙齿则会形成不同方式的移动,如近远中移动、唇舌向移动、垂直向移动等,从而引起牙齿应力的变化^[1]。

2 隐形矫治上颌扩弓的效率

隐形矫治器与传统快速扩弓器在扩弓机制上存在差

异。隐形矫治器通过推动临床牙冠实现牙弓形态改变,主要表现为牙齿移动,而传统快速扩弓器作为骨性矫治器,主要作用于骨性结构。隐形矫治扩弓治疗替牙期儿童上颌牙弓宽度狭窄具有一定效果,赵一松等^[4]研究表明,隐形矫治可显著增加替牙期上颌各牙位宽度。吕秦毅等^[5]有限元实验分析替牙期的隐形矫治上颌扩弓数据,不同牙齿颊向移动效率不同,通过目标位过矫治设计和牙根颊向转矩设计可显著提高扩弓效率。对于成年人行隐形矫治上颌扩弓,郭人铭等^[6]和Tien等^[7]研究发现,上颌扩弓效率从近中至远中逐步下降,不同牙位的扩展效率存在差异,后牙呈颊向倾斜。具体而言,扩弓后各牙位的牙弓宽度显著增加,其中第一前磨牙的扩弓效率最高,其次为尖牙、第二前磨牙、第一磨牙和第二磨牙。一项meta分析^[8]纳入年龄17~61岁的青春期末期的青少年及成人患者,排除了生长发育高峰期对牙弓、颅颌面生长及下颌颌位的影响,结果显示无托槽隐形矫治技术可以有效地对生长发育晚期青少年及成年人进行上颌扩弓。王璐瑶等^[3]研究发现,通过对比青少年和成年人使用隐形矫治上颌扩弓的牙齿移动数据,前者扩弓效率高于后者。因此,在儿童和青少年临床诊疗中,通过医生与患者及家长密切配合,并对患者进行口腔卫生宣教和矫治器佩戴指导,以确保扩弓治疗的持续性和效果。

3 隐形矫治上颌扩弓效率的影响因素

3.1 矫治设计

3.1.1 佩戴时间:隐形矫治器因材料的黏弹性,在应力作用下会发生松弛效应,导致牙齿实际移动与预设目标存在偏差,影响治疗效果。研究表明,矫治器应力在佩戴初期快速衰减,第2天即降至初始状态的67%,随后保持稳定^[9]。此外,隐形矫治器的矫治力量较弱,牙齿移动滞后,需更长时间达到目标。Al-Nadawi等^[10]对比不同佩戴时间的牙齿移动效率,发现7 d和14 d的佩戴时间在牙齿移动精确度上相似,但在控制后牙转矩和扭转时,14 d佩戴方式更精准。因此,口腔科医生通常要求患者每天佩戴矫治器不少于22 h,每7~14 d更换一次矫治器,以确保矫治效果。患者需在吃饭和刷牙外佩戴矫治器,良好的依从性是达到良好预后的

关键^[11]。延长佩戴时间可提升治疗效果,可能与牙冠移动速率高于牙根有关。为确保牙齿整体远中移动,建议适当增加单副矫治器的佩戴周期,使牙根获得充分矫治力。研究显示,隐形矫治过程中临床紧急情况发生率低,若矫治器丢失或损坏,可在持续佩戴前2周内更换或重新制作,每2.5个月复诊一次^[12]。

3.1.2 附件设计:在隐形矫治扩弓中,矫治器主要施加将牙冠推向颊侧的力量,后牙矫治器脱位趋势大于前牙^[13]。董唯吉^[14]的研究表明,附件放置于牙冠的唇腭侧时,可显著增强矫治器的固位效果,更有效地推动磨牙向唇颊侧移动。进一步研究发现,在排除咬合干扰的情况下,将水平矩形附件置于上颌第一磨牙的舌侧,能够更有效地助力隐形矫治器实现扩弓效果。杨莹^[15]与唐倩等^[16]研究结果相同,在后牙颊舌侧均设计扩弓优化附件能有效减少后牙牙冠颊向倾斜,扩弓时趋近于整体移动。对于牙冠短、体积小自身无法提供足够固位力的磨牙,可通过在牙面增加附件数量的方式提升隐形矫治装置的固位效果,从而确保矫治力的有效传递,促进牙齿的整体移动^[17]。

3.1.3 磨牙转矩设计:在隐形矫治上颌牙性扩弓中,上颌牙列颊侧移动时,后牙可能出现颊向倾斜和腭尖下垂,导致咬合不紧密,并可能引发咀嚼障碍、关节肿胀和疼痛等问题。唐子尉等^[18]研究发现,磨牙冠根比、转矩设计对上颌第一磨牙扩弓效率有显著提高。Houle等^[11]研究指出,不同倾斜程度的后牙需设计不同量的转矩,过大可能导致骨开窗或骨开裂,过小则导致牙齿颊倾。张彦琦^[2]研究表明,随着后牙转矩逐渐增加,其扩弓效率逐步降低,牙齿颊向倾斜幅度减小。设计时应结合CBCT影像评估牙根颊侧骨厚度,使牙移动与骨量匹配^[3]。因此,为控制后牙腭尖下垂,需设计合适的后牙牙根颊向转矩,以提升牙齿颊向整体移动。

3.1.4 腭部装置设计:传统上颌扩弓器虽然能够有效扩宽上颌宽度,但较大的体积易在治疗初期给患者带来明显的异物感和不适。为了提升患者在扩弓过程中的舒适度和治疗效果,有学者尝试在隐形矫治器中设计腭部装置提高扩弓效率。Sul^[19]对上颌后牙扩弓数据的对比分析发现,横腭杆设计可增强隐形矫治器的扩弓效果,但其位置直接影响力的分布,需结合临床需求选择合适的设计方案。Patel^[20]则在热成型隐形矫治器中设计了两种装置用于辅助上颌后牙扩弓,一种是腭部全覆盖装置,另一种是部分覆盖装置。研究发现,腭部全覆盖装置能够更好地控制后牙的转矩,而部分覆盖装置则能产生更强的颊向力。未来研究应补充临床数据,以优化力学传递效率及牙齿移动控制。

3.1.5 矫治器移动量和移动方式:隐形矫治器扩弓效率与预置移动量呈现负相关关系。赵祥等^[21]研究发现,磨牙预置扩弓量小于2 mm时,前磨牙扩弓效率更高。Solano-Mendoza等^[22]研究指出,磨牙预置扩弓量会影响整体移动效率,预置量大时效率较低。在隐形矫治器设计中,仅使

前磨牙和磨牙进行牙性扩弓,而尖牙和切牙保持不动,但实际操作中央尖牙仍会发生移动^[2]。因此,临床中需优化扩弓方案,维持尖牙宽度,或在尖牙区预置转矩以优化扩弓形态。与传统矫治技术不同,隐形矫治器可单独设计单颗牙的移动,可通过先移动磨牙、再移动前磨牙的分步设计达到扩弓目的^[2]。有学者^[23]通过对比实验研究表明,上颌后牙段先移动、前牙段后移动的扩弓效率高于前牙段和后牙段整体扩弓效率。在设计扩弓方案时,还需关注牙根颊侧骨量,避免因移动量过大导致骨开窗或骨开裂。

3.1.6 隐形矫治器材料:隐形矫治器由热压膜材料制作,其硬度水平、厚度规格及弹性模量等参数均会产生系统性影响^[24]。隐形矫正装置的力学性能与其材料特性密切相关,随着材料厚度和硬度的增加,所产生的矫治力相应增大,从而提升治疗效果。但过大的厚度和硬度参数会导致局部应力集中,可能对牙周支持组织造成负面影响,而硬度过低则会降低对牙齿的控制力。为优化这种材料特性,国内研发的双模矫治器在临床应用中展现出良好效果^[25]。石佳怡等^[26]通过对比0.38 mm、0.625 mm和0.76 mm三种厚度的热压膜材料,发现0.38 mm厚度材料热成型后弹性模量增加最大。弹性模量作为材料抵抗抗变能力的指标,其数值与牙齿控制力呈正相关,但过高的弹性模量可能增加牙周负担并影响装置耐久性^[27]。值得注意的是,廖慧明等^[28]研究发现矫治力呈现间歇性指数变化特征,瞬时过大的作用力在临床上可能不会造成显著影响。然而,临床操作中仍需关注应力集中区域的牙周膜反应。通过三维有限元分析,张宁等^[29]证实弹性模量与牙齿旋转中心位置存在相关性,弹性模量越大,旋转中心距根尖越远,对牙齿的控制效能越强。此外,廖慧明等^[28]的研究进一步表明,高弹性模量材料(816.31 MPa)在上颌第一磨牙间宽度扩展方面具有显著优势。方世殊等^[30]研究表明,新型缓释过氧化氢热压模材料隐形矫治器具有长期美白牙齿作用和良好的透光性,作用于牙齿有良好的力学性能,在口腔环境中表现出良好的生物相容性。因此,临床医生需要清楚矫治器材料性质,选择合适的矫治器进行正畸治疗。

3.2 患者自身因素

3.2.1 依从性:患者的依从性也是影响矫治效率的重要因素。无托槽隐形矫治器作为一种可自行摘戴的矫治器,其矫治效果高度依赖于患者的配合程度^[31]。患者不当的佩戴时长或隐形矫治器遗失均会显著影响力学传递效率,导致延长治疗周期。在固定矫治过程中,患者的矫治器械无法自行摘下,可降低美观度,且给进食和生活的舒适度带来负面影响,患者依从性较差,而隐形矫治器可以自行摘戴,进食时对咀嚼没有特殊要求,正常食物均可摄入,这在一定程度上提高了患者坚持佩戴的依从性。Invisalign矫治器与固定矫治器相比,美观度、可拆卸性和小尺寸使其在功能和心理社会方面具有优越性,并显著减少了疼痛,同样可提高依从性^[32]。

3.2.2 牙周组织:青少年患者佩戴无托槽隐形矫治器后牙龈指数、菌斑指数、龈沟出血指数均显著低于固定矫治器,其中龈沟液IL-6、TNF- α 、IL- β 水平更低,牙周并发症发生率仅7.41%,能更好地维护口腔卫生,降低牙周炎风险。随着年龄增长,成年患者的牙周组织逐渐老化,表现为牙槽骨骨密度降低、牙槽嵴高度下降,牙周膜胶原纤维增多且厚度变薄,改建能力减弱,牙龈上皮角化程度降低且结缔组织细胞数量减少。这些变化导致骨组织代谢减缓,牙齿移动速度变慢,改建适应时间延长,使得成年患者正畸治疗周期及保持时间通常比青少年更长^[33]。尽管隐形矫治器被推荐用于有牙周炎风险的成人正畸患者,并且在12个月的研究中显示出比固定矫治器更好的牙周改善效果和更低的牙周病细菌水平,但部分成年患者因牙槽骨吸收和牙龈退缩,出现骨量减少和临床冠根比失调^[34]。这种解剖结构改变增加了牙齿移动的生物力学难度,同时患者表现出牙周再生能力减退和矫治力耐受阈值下降,可能增加牙周组织受损的风险^[35]。针对牙齿周围组织状况欠佳的患者,建议临床医生根据患者情况制定牙周系统治疗,正畸方案设计少量牙齿移动方案以实现轻力矫治,并通过长期稳定保持以预防复发。

3.3 药物和生物制剂影响:牙齿矫治过程实际是牙槽骨改建的过程,矫治器械佩戴后,牙周组织处于机械应激状态,在这种状态下,压力侧的牙槽骨破骨细胞生成加快,而张力侧的成骨细胞生成增加,骨吸收与新骨形成维持在一种动态平衡之中。因此,任何能够影响骨组织溶解和形成的药物都有可能对矫治过程中的牙齿移动产生作用。部分激素、细胞因子、西药和中药等可以影响成骨细胞和破骨细胞的生成和活性,进而影响牙齿移动效率^[36]。部分正畸患者在治疗过程中服用止痛药,不同的止痛药抑制前列腺素的作用水平不同,这些差异可能会影响牙齿移动。Arias等^[37]研究表明,阿司匹林、布洛芬、双氯酚酸、罗非考昔等非甾体抗炎药均可通过抑制前列腺素分泌,导致老鼠牙齿移动距离减小。因此,在正畸治疗期间,应谨慎服用消炎镇痛药。一项Meta分析结果亦显示^[38],阿司匹林、布洛芬、双氯芬酸钠和选择性环氧合酶-2抑制剂等药物均可导致牙齿移动减少。其他常用西药对正畸牙齿移动速率的影响也受到关注。例如,地西洋(镇静药)、泮托拉唑(抑酸药)以及维生素C可加速正畸牙齿的移动速率^[39];而辛伐他汀和阿托伐他汀(降脂药)、钙化合物、雷奈酸锶(抗骨质疏松药)、普萘洛尔(抗心律失常药)、沙坦类(抗高血压药)、法莫替丁(抑酸药)、西替利嗪(抗过敏药)以及二甲双胍(降血糖药)则可能减缓正畸牙齿的移动速率;苯妥英(抗癫痫药)、苯巴比妥(镇静药)和锌化合物对正畸牙齿的移动速率无显著影响^[39]。此外, Lu等^[40]研究表明,甲状旁腺激素或甲状旁腺素相关蛋白能够参与破骨细胞的形成与活化过程,聚集破骨细胞,从而加快牙齿移动速率。然而,这些激素若使用剂量过高,可能

引发肾脏和骨骼的不可逆病理性变化。正畸牙齿移动的机制依赖于牙槽骨的改建过程。活血化瘀类中药在促进牙周组织血液循环方面具有显著作用,能够加速破骨细胞的形成并增强骨小梁的改建功能。朱文倩等^[41]研究表明,骨碎补、川续断、丹参、淫羊藿等中药成分能够显著增加新骨沉积、成骨细胞分布密度以及新生小血管的数量,进而提高大鼠牙齿的移动距离。因此,临床医生需要清楚患者身体状况和服药情况,对正畸牙齿移动效率提供判断依据。

4 小结

综上所述,无托槽隐形矫治器具有美观舒适、方便和保持口腔卫生等多方面优势,但与传统扩弓器相比,其扩弓实现率仍有所不足。附件设计、横腭杆设计、转矩控制、牙齿移动量、移动步骤设计、矫治器材料、患者年龄、牙周健康状况以及药物使用等多种因素均可能对隐形矫治的扩弓效率产生影响。目前相关研究结果表明,上颌牙性扩弓效率由于牙齿的位置不同而不一样;上颌后牙扩弓的模式会影响尖牙宽度;后牙初始颊向转矩和预设置的扩弓量与后牙整体颊向扩弓效率呈反比。上颌后牙扩弓设计牙根颊向转矩和腭部装置可有效提高扩弓效率。除此之外,附件、扩弓移动方式、材料、年龄和牙周组织对上颌牙性扩弓效率的影响不明显,需要进一步实验研究。因此,临床医生在矫治前需根据患者具体情况,谨慎筛选适应证,并对整个矫治过程进行全面规划。同时,应对可能出现的问题进行充分评估与预测,并制定相应的解决方案,以最大限度地提高扩弓效率。

【参考文献】

- [1]程钰迅,金作林,马艳宁,等.无托槽隐形矫治生物力学研究进展[J].中华口腔正畸学杂志,2022,29(3):169-172.
- [2]张彦琦.无托槽隐形矫治扩弓中不同步幅及转矩补偿的三维有限元分析[D].北京:中国人民解放军空军军医大学,2024.
- [3]王璐瑶,侯彦,刘娜.无托槽隐形矫治中扩弓效果影响因素研究进展[J].河北医科大学学报,2024,45(7):866-869.
- [4]赵一松,张馨匀.无托槽隐形矫治器对替牙期上颌横向发育不足患者的扩弓效果分析[J].中国美容医学,2024,33(8):123-126.
- [5]吕秦毅,高子琦,冯青辰,等.替牙期无托槽隐形矫治器扩弓治疗改良设计的有限元分析[J].上海交通大学学报(医学版),2024,44(8):935-943.
- [6]郭人铭,李艺博,刘盼明,等.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.
- [7]Tien R, Patel V, Chen T, et al. The predictability of expansion with Invisalign: A retrospective cohort study[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2023,163(1):47-53.
- [8]张悦.无托槽隐形矫治上颌扩弓效率的系统评价[D].济南:山东大学,2020.

- [9]李惠琴,王春娟,王禹,等.无托槽隐形矫治器治疗下颌不同形态扭转牙的三维有限元分析[J].中国组织工程研究,2023,27(7):1050-1054.
- [10]Al-Nadawi M, Kravitz N D, Hansa I, et al. Effect of clear aligner wear protocol on the efficacy of tooth movement: A randomized clinical trial[J]. Angle Orthod, 2021,91(2):157-163.
- [11]Houle J P, Piedade L, Todescan Jr R, et al. The predictability of transverse changes with Invisalign[J]. Angle Orthod, 2017,87(1):19-24.
- [12]Miller K B, McGorray S P, Womack R, et al. A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2007,131(3):302.e1-302.e9.
- [13]林青,邹玉春,许家辉,等.无托槽隐形矫治器用于上颌磨牙组牙扩弓的三维有限元分析[J].实用口腔医学杂志,2022,38(3):353-358.
- [14]董唯吉.隐形矫治牙性扩弓最佳转矩设计初探: Typodont研究[D].济南:山东大学,2019.
- [15]杨莹.无托槽隐形矫治器扩展上颌牙弓的三维有限元分析[D].辽宁:大连医科大学,2022.
- [16]唐倩,欧晓丽,方志欣,等.无托槽隐形矫治器扩展上颌牙弓时附件差异对后牙位移的三维有限元分析[J].中国美容医学,2024,33(6):117-120.
- [17]雷泽华,杜庆玲,邹明媛,等.隐形矫治中不同附件及位置矫治扭转尖牙的三维有限元分析[J].口腔医学,2022,42(5):451-455.
- [18]唐子尉,晋瑜,赖文莉.无托槽隐形矫治上颌扩弓效率的影响因素[J].国际口腔医学杂志,2025,52(6):748-754.
- [19]Sul W. Forces and moments generated during palatal expansion using 3d-printed aligners with a transpalatal arch[D]. Philippines: Saint Louis University, 2023.
- [20]Patel H. Forces and moments generated by 3d-printed partial palatal coverage aligners during expansion[D]. Philippines: Saint Louis University, 2024.
- [21]赵祥,汪虹虹,杨一鸣,等.无托槽隐形矫治上颌扩弓效率及其影响因素初探[J].中华口腔医学杂志,2017,52(9):543-548.
- [22]Solano-Mendoza B, Sonnemberg B, Solano-Reina E, et al. How effective is the Invisalign® system in expansion movement with Ex30' aligners?[J]. Clin Oral Investig, 2017,21:1475-1484.
- [23]祖丽胡马尔·努尔艾合买提.无托槽隐形矫治器牙性扩弓效率及其影响因素分析[D].乌鲁木齐:新疆医科大学,2020.
- [24]廖晓玲,文志鑫,周志迎.无托槽隐形矫治器临床性能及影响因素的研究进展[J].海南医学,2022,33(19):2582-2584.
- [25]苏滨婷. Invisalign和时代天使对安氏Ⅰ类成人患者扩弓效率的对比研究[D]. 郑州:郑州大学,2020.
- [26]石佳怡,张一苇,徐宝华.热成形时间对正畸热压膜材料厚度和弹性模量的影响[J].中国医药导报,2023,20(24):117-120.
- [27]苏涛,王星星,向彪,等.不同刚度的无托槽隐形矫治器扩大上颌牙弓的有限元分析[J].口腔医学研究,2020,36(5):454-458.
- [28]廖慧明.无托槽隐形矫治器扩大上颌第一磨牙间宽度的三维有限元研究[D].郑州:郑州大学,2021.
- [29]张宁,白玉兴,张昆亚,等.不同厚度热压膜材料厚度稳定性的研究[J].华西口腔医学杂志,2010,28(1):99-101.
- [30]方世殊,刘传宏,刘倩,等.一种新型缓释过氧化氢隐形矫治器材料力学及生物性能的实验研究[J].实用口腔医学杂志,2022,38(3):290-293.
- [31]孙琦.无托槽隐形矫治器与固定矫治器在口腔正畸治疗中的效果比较[J].医学信息,2021,34(17):132-134.
- [32]Karkhanechi M, Chow D, Sipkin J, et al. Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy[J]. Angle Orthod, 2013,83(1):146-151.
- [33]易颖煜,赵宁,沈刚.牙周组织老龄化变化及其对正畸牙移动的影响[J].国际口腔医学杂志,2014,41(4):492-496.
- [34]Buschang P H, Chastain D, Keylor C L, et al. Incidence of white spot lesions among patients treated with clear aligners and traditional braces[J]. Angle Orthod, 2019,89(3):359-364.
- [35]寇雅婷,樊永杰.无托槽隐形矫治牙齿移动效率的影响因素[J].包头医学院学报,2022,38(6):41-45.
- [36]Choy K, Pae E K, Park Y, et al. Effect of root and bone morphology on the stress distribution in the periodontal ligament[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2000,117(1):98-105.
- [37]Arias O R, Marquez-Orozco M C. Aspirin, acetaminophen, and ibuprofen: their effects on orthodontic tooth movement[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006,130(3):364-370.
- [38]Correa A S, Almeida V L, Lopes B, et al. The influence of non-steroidal anti-inflammatory drugs and paracetamol used for pain control of orthodontic tooth movement: A systematic review[J]. Anais Acad Bras Cienc, 2017,89:2851-2863.
- [39]Makrygiannakis M A, Kaklamanos E G, Athanasiou A E. Does common prescription medication affect the rate of orthodontic tooth movement? A systematic review[J]. Eur J Orthod, 2018,40(6):649-659.
- [40]Lu Wenxin, Li Xue, Yang Yan, et al. PTH/PTHrP in controlled release hydrogel enhances orthodontic tooth movement by regulating periodontal bone remodeling[J]. J Periodont Res, 2021,56(5):885-896.
- [41]朱文倩,唐国华.药物对正畸牙移动的影响[J].口腔医学研究,2013,29(6):590-592.

[收稿日期]2025-05-17

本文引用格式: 孙博文,熊晖.隐形矫治上颌扩弓效率及影响因素的研究进展[J].中国美容医学,2026,35(7):194-198.