

DOI:10.16781/j.CN31-2187/R.20220313

· 综述 ·

无托槽隐形矫治技术早期矫治儿童错殆畸形的应用研究进展

王彦萼¹, 汪沛², 蔚一博^{1*}

1. 海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院口腔科, 上海 200433

2. 海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院虹口区院区口腔科, 上海 200081

[摘要] 无托槽隐形矫治技术是一种新兴的口腔正畸治疗技术, 随着材料学和生物力学的不断发展完善, 该技术治疗错殆畸形的适应证范围逐渐扩大。相较于传统固定矫治技术, 无托槽隐形矫治技术具有美观舒适、数字化诊断设计精确、疗效可预测、复诊间隔周期长的特点, 近年来受到高度关注。儿童错殆畸形早期矫治存在生长发育的不可预测性、混合牙列间隙的管理、肌肉功能性治疗、矫形治疗的复杂性等特点, 而隐形矫治力主要用于牙齿的移动, 目前临床上对儿童错殆畸形早期矫治常需要结合传统矫治器来进行。本文综述无托槽隐形矫治技术早期矫治儿童错殆畸形的临床应用现状, 以为儿童错殆畸形早期矫治提供一种新的简便高效、安全的治疗方式。

[关键词] 儿童; 错殆畸形; 正畸学; 无托槽隐形矫治; 早期矫治; 功能性矫治; 矫形治疗; 混合牙列

[中图分类号] R 783.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-1338(2022)11-1322-07

Application of clear aligner therapy in early correction of children's malocclusion: research progress

WANG Yan-en¹, WANG Pei², WEI Yi-bo^{1*}

1. Department of Stomatology, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

2. Department of Stomatology, Hongkou Branch of The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200081, China

[Abstract] Clear aligner therapy is a new orthodontic treatment. Its indications have been extended with the development of biomaterials and biomechanics. Compared with the traditional fixed orthodontic appliances, clear aligner therapy has attracted great attention in recent years because of the superior aesthetics and comfort, the accuracy and predictability of digital planning, and long interval between each revisit. Clear aligner is mainly used for tooth movement, usually combined with conventional appliances for the treatment of early malocclusions in children involving many complexities such as the unpredictability of growth, dentition replacement monitoring, muscle functional adjustment, orthopedic treatment, etc. This article reviews the clinical application of clear aligners for early malocclusion in children, hoping to provide a new, simple, efficient and safe method for early orthodontic treatment.

[Key words] child; malocclusion; orthodontics; clear aligner therapy; early orthodontic treatment; functional adjustment; orthopedic treatment; mixed dentition

[Acad J Naval Med Univ, 2022, 43(11): 1322-1328]

无托槽隐形矫治技术作为一种新兴的口腔正畸治疗技术, 自问世至今已有 20 余年的发展史。该技术作为数字化革命的产物, 通过数字化三维牙颌模型进行诊断分析、确定目标位、制定治疗方案, 预成透明矫治器利用膜片的弹性改变来施力产生牙齿移动^[1-2]。随着材料学和生物力学的不断发展、大量基础和临床研究的反馈积累和不断

深入, 无托槽隐形矫治技术经过不断改进, 已经从被质疑发展到目前适应证范围进一步放宽^[3], 也逐渐被更多的口腔正畸医师所接受。与传统固定矫治器相比, 无托槽隐形矫治器的主要优点是美观舒适、良好的口腔自洁性、数字化诊断设计更精确、疗效可预测性及临床复诊少^[4-5], 越来越受到成年人和儿童青少年患者的青睐。鉴于隐形透明矫治器

[收稿日期] 2022-04-18 [接受日期] 2022-10-25

[作者简介] 王彦萼, 硕士, 主治医师. E-mail: jiuyehui521@sina.cn

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-31162490, E-mail: weiyibo1982@126.com

材料的弹性性能问题和矫治技术尚未成熟, 其适应证范围具有一定局限性, 对牙列轻中度拥挤、牙间隙、前牙开殆等错殆畸形的矫治效果较好, 不宜牙齿长距离前后向移动、控根移动、扭转及磨牙大量近移等^[6-8]。

近年来儿童及家长对颜面管理的需求也逐年增大, 儿童错殆畸形早期矫治成为临床口腔正畸的热点。儿童错殆畸形早期矫治通常指在牙颌面早期生长发育阶段, 一般指青春生长发育高峰期前即乳牙期和替牙期, 针对牙颌畸形的病因、机制及发生、发展过程, 通过预防、阻断、诱导和矫治实现患儿颌面功能与美观的协调与平衡^[9]。我国儿童隐形矫治技术的开展与国际同步, 在国内正畸专家和医师的共同努力下, 遵循循证医学的原则逐渐克服隐形矫治器主要用于牙齿移动的局限性, 结合传统功能矫治器的原理研发了具有前导下颌作用的隐形功能矫治器, 其作用原理与双殆垫 (twin-block, TB) 矫治器相似, 通过在活动透明牙套上设计前导结构 (放置在牙套第一磨牙和前磨牙颊面位置上的精密咬合翼托、上下殆板) 引导下颌向前向上咬合, 促进了髁突改建和下颌骨生长发育^[10], 但目前尚缺乏长期稳定性的临床研究。通过将早期错殆畸形的功能性、矫形治疗和牙齿移动结合起来, 儿童隐形矫治器在调整颌骨关系的同时可以矫正错位牙、管理替牙间隙, 提高矫治效率, 缩短治疗时间。

1 无托槽隐形矫治技术早期矫治儿童错殆畸形的特点

儿童错殆畸形的早期矫治应遵循牙颌面生长发育规律, 重在预防、意在阻断, 创造有利于口颌系统的良好发育环境, 并做到因势利导, 从而达到阶段性治疗目的。处于生长发育早期的儿童, 组织细胞代谢最活跃, 牙周组织及颌骨的可塑性大, 对矫治力的反应好, 适应性强, 改建快^[11-12]。因此, 儿童隐形牙套早期矫治的矫治力应更轻柔, 矫治器材料可以更薄、弹性更好, 还可以在设计时略微减少移动步距达到这一目的。儿童错殆畸形早期矫治有其生长潜力的优势, 但乳牙期和替牙期由于咬合发育的阶段性而不可避免地导致隐形治疗期间设计方案的重新制定和重启。另外, 治疗前期常需要配合活动或固定的功能矫形矫治器来早期干预中、重度

口颌肌肉功能不调和上下颌骨性畸形问题。

2 无托槽隐形矫治技术早期矫治儿童错殆畸形的适应证

正畸医师在诊断、制定早期矫治方案时, 应注意乳牙期和替牙期牙颌发育的不稳定性, 明确早期矫治是阶段性的、短期的, 并不是最终矫治, 双期矫治不能避免, 牙颌的发育需进一步观察。早期矫治的治疗目标不应是追求牙列排齐和完美的咬合关系, 而是消除不利因素, 降低后续治疗的难度^[13-14]。

2.1 替牙间隙的管理 在乳牙期及混合牙列期, 大面积乳牙龋坏、牙外伤导致的乳牙早失经常会造成混合牙列期间隙的丢失; 此外, 恒牙异位萌出, 乳牙滞留、相邻牙根挤压导致的恒牙迟萌, 口腔不良习惯造成的牙弓形态狭窄等, 均会造成替牙间隙不足的问题。临床上可用唇挡、带推簧的局部活动或固定矫治器、口外弓等来远移近中移动的恒磨牙, 使用固定丝圈式、舌弓式牙列保持器或可摘义齿式保持器来维持缺牙间隙。相较于这些传统的矫治方法, 无托槽隐形矫治技术可以通过较准确的数字化设计和精确移动牙齿的能力来预测继承恒牙萌出所需间隙来调整牙弓替牙间隙, 维持正常牙弓长度, 同时解决恒磨牙近移、恒牙轴不正导致的邻牙迟萌、轻度牙弓狭窄等牙列间隙不足问题。

2.2 早期干预矢状向问题

2.2.1 II类错殆畸形的早期矫治 混合牙列期以下颌后退为主的颌位性和轻度骨性II类错殆畸形多由遗传因素和环境因素造成, 其中后天环境因素包括口呼吸、吮物、异常吞咽等口腔不良习惯。长期口呼吸可导致下颌向下、向后旋转, 上牙弓狭窄, 出现腺样体面容, 前牙深覆殆、深覆盖也容易导致腭侧黏膜和上下前牙咬合创伤^[15-16]。因此应尽早去除上气道阻塞、破除口腔不良习惯, 利用肌张力和生长发育潜力, 采用功能矫形的一期治疗前导下颌, 协调上、下颌骨位置关系。临床上常用的功能矫治器包括简单的上颌斜面导板、头帽肌激动器 (activator)、功能调节器、TB矫治器、Frankel-II、Herbst前导矫治器等。大量国内外研究表明, 这些咬合前导型功能矫治器能够促进II类一分类混合牙列期患儿牙槽骨的改建, 刺激颌骨生长, 明显减小前牙深覆殆、深覆盖, 改善磨牙关系, 有效促进面下1/3高度的生长, 还可以通过前

导下颌增加上气道体积,协助破除口呼吸^[17-20]。对于生长发育期患儿行前导下颌的功能矫形治疗,能刺激髁突软骨内成骨,从而促进下颌骨生长而重新构建盘-突-窝关系,而不仅仅是下颌颌位的前移^[10,21-22]。

相比传统功能矫治器,隐形功能矫治技术将传统的双期治疗——矫形和矫治治疗合二为一,能在前导下颌的同时排齐上下牙列,协调上下牙弓,同时减少了矫治时间,大大提高了矫治效率^[23]。对于Ⅱ类二分类错殆畸形,隐形矫治器在唇倾上前牙的同时又能推磨牙远中移动,节省了后牙支抗,提高了矫治效率。对患者而言,隐形矫治器舒适美观,可以早期获得良好的侧貌改善,提高患儿的矫治信心。尤其对于垂直生长型的骨性Ⅱ类高角患者,传统治疗需要结合使用高位口外弓,而隐形矫治器通过牙套包裹整个牙列,能够有效避免后牙垂直高度的增加,在下颌前导治疗中,可过矫正设计压低上磨牙,有利于下颌的前上旋转^[24]。伴有上前牙前突、轻度上牙列拥挤的下颌后缩患者,在前导下颌的同时还可设计磨牙的远中移动,这是单一传统功能矫治器很难做到的。无托槽隐形矫治远移上颌磨牙的远移实现率达87%,能够实现至少1.5 mm的磨牙整体远移^[25-26]。Caruso等^[27]的回顾性对照研究表明,与TB矫治器相比,隐形下颌前导矫治器同样能前导下颌、减小前牙覆盖,但是仍需加额外转矩控制上前牙唇倾。Ravera等^[28]的前瞻性队列研究发现,隐形下颌前导矫治器能明显改善生长发育高峰期患儿的下颌后缩,使下颌骨位置前移,下颌升支高度明显增加,刺激产生的骨性效应速率约为每年5.8 mm。Staderini等^[29]研究发现对于Ⅱ类一分类的青少年患者,隐形下颌前导矫治器能有效压低下前牙、升高前磨牙来整平下颌Spee曲线,前导下颌,通过殆垫作用控制磨牙高度,增加面下1/3高度并改善侧貌,头颅侧位片显示治疗11个月后患者的ANB角、Wits值、U1-SN角及前牙覆盖殆覆盖均明显减小;另外,该矫治器对下颌切牙的控制相对较好,没有发生不良的唇倾作用。然而,传统的前导型功能矫治器容易造成下前牙唇侧骨板的吸收,产生下前牙唇倾^[30]。周力等^[31]采用A6隐形功能矫治器对Ⅱ类一分类水平生长型的青少年患者进行一期治疗,治疗8个月后患者的前牙覆盖殆覆盖减小,磨牙近中性或轻度远中。

沈刚^[32]团队研发的隐形矢向导引型互阻式矫形器(sagittal-guidance twin-block appliance, SGTB)对颌位性下颌后退患儿的下颌前导效果明显,其主要的是使颞下颌关节盘-突-窝局部结构发生适应性改变。

2.2.2 Ⅲ类错殆畸形的早期矫治 Ⅲ类错殆畸形可分为牙性、功能性、骨性。前两者多由后天环境因素(包括不正确的奶瓶喂养姿势、下颌前伸习惯、舌体低位、异常吞咽、扁桃体肥大及咬合干扰等)导致,而骨性Ⅲ类错殆具有明显的遗传倾向,治疗前需明确病因是上颌发育不足还是下颌发育过度或是两因素共存。Ⅲ类错殆畸形的治疗需要趁早进行,一般在乳牙列期就要开始早期干预牙性反殆,以免发展成严重的骨性畸形。传统治疗方法包括:

(1)采用简单的活动矫治器(包括上颌殆垫式双曲舌簧、下前牙连冠式斜面导板等)和局部固定矫治器(2×4局部固定技术)纠正牙性反殆(上前牙较直立或舌倾,反覆盖较浅),同时注意下颌前伸习惯的纠正(配合使用颌兜)。(2)对于功能性(上下前牙较直立或轻微舌倾,下颌能后退到对刃)或上颌发育不足的Ⅲ类错殆,首先去除下颌前伸的病因(包括咬合干扰、扁桃体肥大、舌系带过短等),乳牙列期就可以开始FR-Ⅲ型功能调节治疗或上颌前方牵引配合颌兜治疗(可持续治疗到儿童生长发育高峰期结束),来刺激上颌向前生长。

(3)对于伴有上前牙唇倾、下前牙舌倾、反覆盖大的骨性Ⅲ类错殆畸形,主张延迟治疗,以持续观察为主,在发育高峰后期行综合性掩饰治疗或待发育结束后行正颌正畸联合治疗。然而这些传统或局部固定矫治器存在体积太大及全天佩戴时间长的缺点,影响患儿舒适度、面部美观、发音和口腔卫生,患儿依从性较差,导致佩戴时间短而影响矫治效率。

隐形矫治器的明显优势在于仅覆盖牙列,明显减少了传统矫治器的大体积塑料基托带来的异物不适感,美观且不影响发音,对口腔卫生影响小、降低了牙齿龋坏风险,患儿的接受度大大提高从而延长了佩戴时间。研究表明,隐形矫治器治疗替牙期咬合干扰导致的单纯牙性反殆和偏殆的治疗时间及治疗效果类似于传统活动或固定矫治器^[33]。Zhang等^[34]在隐形矫治器的后牙咬合面设计了咬合板,通过设计唇倾上前牙和逐步降低咬合板高度来解

决由于咬合干扰引起的乳前牙反殆, 避免了传统殆垫矫治器需要定期复诊调磨殆垫和舌簧加力的临床操作, 大大节省了患儿就医时间。他还提出对于轻度下颌骨性畸形的患儿, 可在殆板的咬合面设计解剖形态来后退下颌咬合, 使髁突产生适应性改建, 及时调整成合适的盘-髁突-下颌窝位置关系。然而目前的隐形矫治器多采用热塑压膜技术, 殆板和牙列压膜使用的是同一种膜片, 强度不够, 在咬合力作用下容易变形。因此, 未来隐形矫治技术的改革创新主要有赖于数字化 3D 打印具有不同弹性模量的复合材料来提高膜片性能^[35], 以满足不同位点的应力需求。目前对于功能性和骨性反殆, 临床上建议一期进行功能性、上颌前牵引加快速扩弓治疗后, 二期可使用隐形矫治器来调整咬合、排齐牙列, 提高矫治效率。

2.3 早期干预垂直向问题 由于牙、颌、面是一个整体, 其在矢状向、垂直向、横向三维方向上互相制约与协调, 垂直向控制应贯穿整个正畸治疗的始终。隐形矫治器包裹全牙列且有一定厚度, 伴随患者后牙的咬合力, 具有“殆垫效应”, 在压低后牙、控制垂直向高度具有优势, 因此多用于治疗后牙区牙槽骨垂直向生长过度引起的前牙开殆、错殆畸形。Harris 等^[36]的回顾性研究表明, 对于轻中度牙性开殆患者, 隐形矫治器能明显压低上颌磨牙, 一定程度上伸长、内收上下前牙使下颌发生一定的逆时针旋转。Moshiri 等^[37]认为使用隐形矫治器治疗轻度前牙开殆患者时, 通过设计过矫正压低下颌磨牙、伸长下前牙使下颌产生了逆旋。然而, 目前尚缺乏大样本量临床随访研究来证实隐形矫治器治疗开殆患者效果的长期稳定性。

研究表明隐形矫治器压低下前牙的效率约为 25%~47%, 产生的绝对压低量为 0.72 mm, 但是不适用于牙齿的伸长移动^[26,38]。因此, 临床上应该过矫正设计前牙压低量, 具体过矫正设计量与患者年龄、牙根长短、深覆殆程度、前牙内收距离都有关系, 建议至少过矫正设计 30% 的压低量。矫治器的前牙舌侧也可设计类似前牙平导效果的空泡, 有一定程度压低下前牙的效果, 但仅适合 3 mm 以内的覆盖关系。另外, 分步交替设计压低尖牙和切牙, 或借助种植支抗辅助压低尖牙和切牙, 有助于节省后牙支抗和提高压低效率^[39]。

2.4 早期干预横向问题 上颌横向发育不足多由

口呼吸、吮物、异常吞咽等引起, 分为牙性、牙槽骨性、上颌骨性狭窄。治疗前应先诊断分析患者是否存在后牙舌腭侧倾斜或后牙转矩正常但仍存在后牙反殆, 或后牙颊倾代偿明显伴随上颌腭穹隆高拱狭窄, 明确上颌狭窄分型, 然后选择不同的上颌扩弓方式, 实现牙齿、牙槽骨弓与上颌基骨间及上下颌骨/牙弓间的协调、匹配。儿童牙弓发育与颅面发育一样, 按牙弓宽度、长度及高度的顺序依次完成。因此, 应尽早进行横向不足的干预才能产生较为稳定的扩弓效果, 一般建议在 6 岁以后开始, 以免影响鼻部形态。

上颌扩弓是治疗上颌骨横向发育不足的主要手段, 上颌尖牙及后段牙弓的扩宽能为上颌牙的萌出提供更多间隙, 内收前突的上前牙, 同时可解除对下牙弓的闭锁作用。传统扩弓矫治器主要有 Hass 型、hyrax 型、quad-helix 型、“W”形扩弓器、磁力扩弓器。腭中缝的闭合随青春生长高峰期结束而完成, 生长发育高峰期前(约 10 岁前)上颌扩弓矫治能打开尚未闭合的腭中缝, 产生骨性效应, 随着年龄的增长更多的是产生牙齿的倾斜作用。

牙颌基骨锥形线束计算机断层扫描(cone beam computed tomography, CBCT)三维影像分析显示, 上颌快速扩弓打开生长发育期患儿腭中缝产生的骨性效应占产生的整个牙、牙槽骨、骨性扩宽效应的 20%~50%^[40-41]。研究表明早期慢速扩弓治疗可使牙弓扩大 4~6 mm, 牙弓周长增加约 4 mm, 且随访 2~3 年后的扩弓效果相对稳定(稳定性约为 85%)^[42]。Pereira 等^[43]的随机临床试验对 8 岁左右的患儿经过上颌快速扩弓治疗 3 周(每天早、晚各加力 1/4 圈, 每天约打开 0.4 mm)或慢速扩弓治疗 20 周(每周加力 2 次, 约隔 2 d 加力 1 次, 每周打开 0.4 mm)2 种扩弓方式的效果进行对比, 结果显示只有快速扩弓能产生骨性效应, 快速扩弓明显促进了磨牙的颊倾, 两者都能促进上后牙牙槽骨的扩宽改建且差异无统计学意义。

无托槽隐形矫治器充分利用扩弓、推磨牙向后的技术优势, 在一定程度上缓解了牙量和骨量不调的问题, 减少了拔牙临界患者的拔牙率。无托槽隐形矫治器的扩弓效果主要是产生牙齿的颊侧移动及颊倾, 上下牙列扩弓的实现率达 85% 以上, 而且从尖牙和前磨牙到第一、二磨牙的整体移动效率逐渐降低, 第一磨牙产生的颊倾比较明显^[44-45]。因

此,临床上建议过矫正设计颊侧移动量,可以预设置较多的根颊侧转矩,另外可设计磨牙不动来获得较多的尖牙及前磨牙扩弓量,这样也可以提高扩弓矫治效率^[46-48]。Levrini等^[49]发现对伴有4 mm以内的轻度拥挤和上颌横向发育不足的替牙期儿童,隐形矫治器治疗能明显扩宽上牙弓宽度、增加牙弓长度、促进乳尖牙和前磨牙的颊侧移动,达到慢速扩弓的矫治效果。Lione等^[50]的前瞻性研究发现隐形矫治器对于牙齿颊侧移动效率较高,能扩宽替牙期儿童的双侧乳尖牙间、第一乳磨牙间、第二乳磨牙间、第一磨牙近中的牙弓宽度,获得更多替牙间隙来排齐牙齿。

然而,对于伴有骨性狭窄或中重度牙弓狭窄的儿童,需要结合辅助扩弓装置进行双期矫治,同时配合肌功能训练改善口颌系统肌力的平衡。一期先行活动或固定上颌扩弓治疗,然后使用隐形矫治器在维持扩弓疗效的同时远移磨牙、调整咬合、获得更多替牙间隙来解除拥挤前突、促进后续恒牙在正常位置萌出,或进行下颌前导的功能矫治等。

3 无托槽隐形矫治技术在儿童错殆畸形早期矫治中的局限性

由于儿童生长发育变化较快,正畸治疗计划需要动态结合继承恒牙的萌替及对生长潜能的动态预测,调整治疗计划的可能性会增大,然而在临床治疗过程中很难去灵活调整已经确定的治疗计划,只能重启制定新的治疗计划、生产加工新的矫治器,从而拖延了正畸治疗周期。Haouili等^[51]研究表明,Invisalign矫治器移动所有牙齿的平均效率约为50%,牙冠颊舌向倾斜移动表达率最高约为56%,而旋转移动实现率最低约为46%,上颌切牙伸长表达率高达56%,然而上下颌中切牙压低表达率较低(33%),另外下第二磨牙压低实现率为51%,而伸长表达率为37%,因此隐形矫治器不适宜前牙深覆殆的纠正。替牙期儿童的牙冠较短且牙面圆钝,隐形矫治器对其固位力相对较差,进一步降低了牙齿三维准确移动的实现率,因此,建议基于多颗牙设计大体积固位附件、移动的步距要小、要设计过矫正。儿童的依从性是使用可摘隐形矫治器进行矫治最大的考验,若隐形矫治器的佩戴时间过短或患儿不能遵从医嘱牵拉橡皮筋的话,牙齿容易出现严重脱套和治疗方案重启的可能,会导致患儿中途放

弃正畸治疗。

总之,无托槽隐形矫治用于早期错殆畸形的治疗尚未成熟,关于隐形矫治的治疗效果尚未有统一标准的系统评价,仍需要配合其他辅助手段来完成错殆畸形的治疗,未来需要进行更多的前瞻性随机临床试验,以可靠的科学证据来支持隐形矫治策略。正畸医师应严格把控早期干预适应证,对于乳替牙期暂时性的错殆畸形应定期随访观察,避免过度干预。为了适应正畸治疗中的不同应力需求,进一步提高牙齿移动的准确性表达、更好地实现牙齿控根移动,应将优化附件的设计和隐形矫治器复合膜片的材料性能作为正畸材料学和3D打印技术研发的重点和方向。随着计算机测量、分析技术的进步,期望能够实现CBCT牙根数据与临床牙冠数字模型的整合,能更精确地分析与控制牙根在颌骨中的位置及移动。

[参考文献]

- [1] HAJEER M Y, MILLETT D T, AYOUB A F, SIEBERT J P. Applications of 3D imaging in orthodontics: part II [J]. *J Orthod*, 2004, 31: 154-162.
- [2] LAGRAVÈRE M O, FLORES-MIR C. The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: a systematic review[J]. *J Am Dent Assoc*, 2005, 136: 1724-1729.
- [3] HENNESSY J, AL-AWADHI E A. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement[J]. *J Orthod*, 2016, 43: 68-76.
- [4] ZHENG M, LIU R, NI Z, YU Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: a systematic review and meta-analysis[J]. *Orthod Craniofac Res*, 2017, 20: 127-133.
- [5] ROSVALL M D, FIELDS H W, ZIUCHKOVSKI J, ROSENSTIEL S F, JOHNSTON W M. Attractiveness, acceptability, and value of orthodontic appliances[J]. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 2009, 135: 276-277.
- [6] 白玉兴. 无托槽隐形矫治技术快速发展中的思考[J]. *中华口腔正畸学杂志*, 2017, 24: 62-64.
- [7] WOMACK W R. Four-premolar extraction treatment with Invisalign[J]. *J Clin Orthod*, 2006, 40: 493-500.
- [8] BOYD R L. Complex orthodontic treatment using a new protocol for the Invisalign appliance[J]. *J Clin Orthod*, 2007, 41: 525-547.
- [9] 赵志河. 口腔正畸学[M]. 7版. 北京:人民卫生出版社, 2020: 146.
- [10] 沈刚. SGTB矫形诱发髌突改建的生物机制及临床意义[J]. *上海口腔医学*, 2018, 27: 225-229.
- [11] BRIDGES T, KING G, MOHAMMED A. The effect

- of age on tooth movement and mineral density in the alveolar tissues of the rat[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1988, 93: 245-250.
- [12] KYOMEN S, TANNE K. Influences of aging changes in proliferative rate of PDL cells during experimental tooth movement in rats[J]. *Angle Orthod*, 1997, 67: 67-72.
- [13] 傅民魁. 口腔正畸学[M]. 6版. 北京:人民卫生出版社, 2012:28-29.
- [14] 李小兵. 儿童错颌畸形早期矫治的必要性和方法[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2013, 6: 709-717.
- [15] GÓIS E G, RIBEIRO-JÚNIOR H C, VALE M P, PAIVA S M, SERRA-NEGRA J M, RAMOS-JORGE M L, et al. Influence of nonnutritive sucking habits, breathing pattern and adenoid size on the development of malocclusion[J]. *Angle Orthod*, 2008, 78: 647-654.
- [16] DIMBERG L, LENNARTSSON B, ARNRUP K, BONDEMARK L. Prevalence and change of malocclusions from primary to early permanent dentition: a longitudinal study[J]. *Angle Orthod*, 2015, 85: 728-734.
- [17] TULLOCH J F, PHILLIPS C, PROFFIT W R. Benefit of early class II treatment: progress report of a two-phase randomized clinical trial[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1998, 113: 62-74.
- [18] CAMPBELL C, MILLETT D, KELLY N, COOKE M, CRONIN M. Frankel 2 appliance versus the modified twin block appliance for phase 1 treatment of class II division 1 malocclusion in children and adolescents: a randomized clinical trial[J]. *Angle Orthod*, 2020, 90: 202-208.
- [19] MOHAMED R N, BASHA S, AL-THOMALI Y. Changes in upper airway dimensions following orthodontic treatment of skeletal class II malocclusion with twin block appliance: a systematic review[J]. *Turk J Orthod*, 2020, 33: 59-64.
- [20] 陈楠,熊斌,章婷,夏文倩,陆建锋,高美琴. 夜间打鼾青少年安氏II类错患者应用SGTB功能矫治前、后上气道的变化[J]. *上海口腔医学*, 2021, 30: 273-277.
- [21] SHEN G, DARENDELILER M A. The adaptive remodeling of condylar cartilage—a transition from chondrogenesis to osteogenesis[J]. *J Dent Res*, 2005, 84: 691-699.
- [22] AJAMI S, MOROVVAT A, KHADEMI B, JAFARPOUR D, BABANOURI N. Dentoskeletal effects of class II malocclusion treatment with the modified twin block appliance[J/OL]. *J Clin Exp Dent*, 2019, 11: e1093-e1098. DOI: 10.4317/jced.56241.
- [23] BORDA A F, GARFINKLE J S, COVELL D A, WANG M S, DOYLE L, SEDGLEY C M. Outcome assessment of orthodontic clear aligner vs fixed appliance treatment in a teenage population with mild malocclusions[J]. *Angle Orthod*, 2020, 90: 485-490.
- [24] RAVERA S, CASTROFLORIO T, GARINO F, DAHER S, CUGLIARI G, DEREGIBUS A. Maxillary molar distalization with aligners in adult patients: a multicenter retrospective study[J/OL]. *Prog Orthod*, 2016, 17: 12. DOI: 10.1186/s40510-016-0126-0.
- [25] SIMON M, KEILIG L, SCHWARZE J, JUNG B A, BOURAUUEL C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique: regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization[J/OL]. *BMC Oral Health*, 2014, 14: 68. DOI: 10.1186/1472-6831-14-68.
- [26] ROSSINI G, PARRINI S, CASTROFLORIO T, DEREGIBUS A, DEBERNARDI C L. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review[J]. *Angle Orthod*, 2015, 85: 881-889.
- [27] CARUSO S, NOTA A, CARUSO S, SEVERINO M, GATTO R, MEULI S, et al. Mandibular advancement with clear aligners in the treatment of skeletal class II. A retrospective controlled study[J]. *Eur J Paediatr Dent*, 2021, 22: 26-30.
- [28] RAVERA S, CASTROFLORIO T, GALATI F, CUGLIARI G, GARINO F, DEREGIBUS A, et al. Short term dentoskeletal effects of mandibular advancement clear aligners in class II growing patients. A prospective controlled study according to STROBE Guidelines[J]. *Eur J Paediatr Dent*, 2021, 22: 119-124.
- [29] STADERINI E, VENTURA V, MEULI S, MALTAGLIATI L Á, GALLENZI P. Analysis of the changes in occlusal plane inclination in a class II deep bite “teen” patient treated with clear aligners: a case report[J/OL]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19: 651. DOI: 10.3390/ijerph19020651.
- [30] ZHANG C X, SHEN G, NING Y J, LIU H, ZHAO Y, LIU D X. Effects of twin-block vs sagittal-guidance twin-block appliance on alveolar bone around mandibular incisors in growing patients with class II division 1 malocclusion[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2020, 157: 329-339.
- [31] 周力,王艳民,张澜,姚洁. 隐形功能矫治器矫治青少年II类错颌畸形[J]. *华西口腔医学杂志*, 2019, 37: 236-241.
- [32] 沈刚. 矢向导型互阻式矫形技术治疗突面畸形——演化、变革与创新[J]. *上海口腔医学*, 2015, 24: 513-518.
- [33] STADERINI E, PATINI R, MEULI S, CAMODECA A, GUGLIELMI F, GALLENZI P. Indication of clear aligners in the early treatment of anterior crossbite: a case series[J]. *Dental Press J Orthod*, 2020, 25: 33-43.
- [34] ZHANG J Y, YANG Y Z, HAN X, LAN T T, BI F, QIAO X C, et al. The application of a new clear removable appliance with an occlusal splint in early anterior crossbite[J/OL]. *BMC Oral Health*, 2021, 21:

36. DOI: 10.1186/s12903-021-01393-7.
- [35] BOLLEN A M, HUANG G, KING G, HUJOEL P, MA T. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 1: ability to complete treatment[J]. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 2003, 124: 496-501.
- [36] HARRIS K, OJIMA K, DAN C, UPADHYAY M, ALSHEHRI A, KUO C L, et al. Evaluation of open bite closure using clear aligners: a retrospective study[J/OL]. *Prog Orthod*, 2020, 21: 23. DOI: 10.1186/s40510-020-00325-5.
- [37] MOSHIRI S, ARAÚJO E A, MCCRAY J F, THIESEN G, KIM K B. Cephalometric evaluation of adult anterior open bite non-extraction treatment with Invisalign[J]. *Dental Press J Orthod*, 2017, 22: 30-38.
- [38] CHARALAMPAKIS O, ILIADI A, UENO H, OLIVER D R, KIM K B. Accuracy of clear aligners: a retrospective study of patients who needed refinement[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2018, 154: 47-54.
- [39] LIU Y, HU W. Force changes associated with different intrusion strategies for deep-bite correction by clear aligners[J]. *Angle Orthod*, 2018, 88: 771-778.
- [40] BAZARGANI F, FELDMANN I, BONDEMARK L. Three-dimensional analysis of effects of rapid maxillary expansion on facial sutures and bones[J]. *Angle Orthod*, 2013, 83: 1074-1082.
- [41] LAGRAVERE M O, MAJOR P W, FLORES-MIR C. Long-term skeletal changes with rapid maxillary expansion: a systematic review[J]. *Angle Orthod*, 2005, 75: 1046-1052.
- [42] HUYNH T, KENNEDY D B, JOONDEPH D R, BOLLEN A M. Treatment response and stability of slow maxillary expansion using Haas, hyrax, and quad-helix appliances: a retrospective study[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009, 136: 331-339.
- [43] PEREIRA J D S, JACOB H B, LOCKS A, BRUNETTO M, RIBEIRO GLU. Evaluation of the rapid and slow maxillary expansion using cone-beam computed tomography: a randomized clinical trial[J]. *Dental Press J Orthod*, 2017, 22: 61-68.
- [44] HOULE J P, PIEDADE L, TODESCAN R Jr, PINHEIRO F H S L. The predictability of transverse changes with Invisalign[J]. *Angle Orthod*, 2017, 87: 19-24.
- [45] VIDAL-BERNÁRDEZ M L, VILCHES-ARENAS Á, SONNEMBERG B, SOLANO-REINA E, SOLANO-MENDOZA B. Efficacy and predictability of maxillary and mandibular expansion with the Invisalign® system[J/OL]. *J Clin Exp Dent*, 2021, 13: e669-e677. DOI: 10.4317/jced.58315.
- [46] 赵祥,汪虹虹,杨一鸣,唐国华.无托槽隐形矫治上颌扩弓效率及期影响因素初探[J].*中华口腔医学杂志*, 2017, 25: 543-548.
- [47] ZHOU N, GUO J. Efficiency of upper arch expansion with the Invisalign system[J]. *Angle Orthod*, 2020, 90: 23-30.
- [48] LIONE R, PAOLONI V, BARTOLOMMEI L, GAZZANI F, MEULI S, PAVONI C, et al. Maxillary arch development with Invisalign system[J]. *Angle Orthod*, 2021, 91: 433-440.
- [49] LEVRINI L, CARGANICO A, ABBATE L. Maxillary expansion with clear aligners in the mixed dentition: a preliminary study with Invisalign® First system[J]. *Eur J Paediatr Dent*, 2021, 22: 125-128.
- [50] LIONE R, CRETTELLA LOMBARDO E, PAOLONI V, MEULI S, PAVONI C, COZZA P. Upper arch dimensional changes with clear aligners in the early mixed dentition: a prospective study[J/OL]. *J Orofac Orthop*, 2021. DOI: 10.1007/s00056-021-00332-z.
- [51] HAOUILI N, KRAVITZ N D, VAID N R, FERGUSON D J, MAKKI L. Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2020, 158: 420-425.

[本文编辑] 魏学丽