

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2019.01.011

· 综述 ·

隐形矫治中对上前牙转矩调控的相关影响因素

钟立东¹, 孔卫东²

1. 暨南大学口腔医学院, 广东 广州(510632); 2. 暨南大学附属第一医院口腔正畸科, 广东 广州(510630)

【摘要】 隐形矫治技术是一种借助计算机辅助设计及高分子材料实现更加美观和舒适化治疗的新型矫治技术。与传统唇侧托槽矫治相比, 隐形矫治最大的优点即美观。正畸过程中, 对上前牙转矩的调控是否精确, 往往直接影响患者术后侧貌的好坏。然而, 在临床应用中, 与传统唇侧托槽矫治相比, 隐形矫治对于上前牙转矩的调控能力, 仍有较大不足, 其中, 不同类型的托槽与弓丝组合、牙齿移动方式、Clincheck设计的附件形态与位置均与上前牙转矩表达效率相关。本文就隐形矫治中的舌侧矫治及无托槽矫治在上前牙转矩调控的相关影响因素作一综述。

【关键词】 舌侧矫治; 无托槽矫治; 上前牙转矩; CAD/CAM; Power ridge; 隐形矫治

【中图分类号】 R783.5 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2019)01-0056-05

【引用著录格式】 钟立东, 孔卫东. 隐形矫治中对上前牙转矩调控的相关影响因素[J]. 口腔疾病防治, 2019, 27(1): 56-60.

Factors related to the control of maxillary anterior teeth torque in invisible appliances ZHONG Lidong¹, KONG Weidong². 1. School of Stomatology, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 2. Department of Oral Orthodontics, Affiliated First Hospital of Ji'nan University, Guangzhou 510630, China

Corresponding author: KONG Weidong, Email: tkongwd@jnu.edu.cn, Tel: 0086-13392692193

【Abstract】 Invisible appliance technology is a novel orthodontic technology that uses computer aided design and polymer materials to achieve a more aesthetic and comfortable treatment. Compared with traditional lip-bracket orthodontic treatments, the greatest advantages of an invisible appliance are aesthetics. In the orthodontic process, the control of the anterior teeth may not be accurate, which often directly affects the patient's postoperative side appearance; however, in clinical practice, there is still a large deficiency in the control of the anterior tooth torque by an invisible appliance compared to traditional lip-bracket orthodontic treatments. The factors related to the expression efficiency of anterior tooth torque include the combination of morphology and position of different types of brackets and wires, the tooth movement mode and clincheck design. This article reviews the factors that influence lingual orthodontics and clear aligner therapy in the treatment of anterior tooth torque.

【Key words】 Lingual orthodontics; Invisalign; Maxillary incisor torque; CAD/CAM; Power ridge; Invisible orthodontics

21世纪以来, 人们对美观的需求不断提高。传统的唇侧矫治器已不能满足人们对美的追求。

尤其是成年正畸患者, 不但要求矫治后可以达到满意的外貌, 同时也希望在矫治过程中达到美的标准。1999年Align公司推出Invisalign, 2003年Wiechnann研发出个性化舌侧矫治; 倾向使用这类矫治器的人群, 大多数是注重美观、重视微笑以及要求高质量生活的成年患者^[1-3]。然而, 对于上前牙转矩的调控, 无论是舌侧矫治还是无托槽矫治都是一个难题。舌侧矫治的转矩调控涉及托槽类型、弓丝材质及两者的相互作用; 无托槽矫治对转矩调控则依赖于附件的类型。本文将对舌侧矫治

【收稿日期】 2017-10-17; **【修回日期】** 2018-01-17

【基金项目】 广东省科技计划项目(2016A020220015); 广东省科技计划项目(2014A020215018)

【作者简介】 钟立东, 医师, 硕士研究生, Email: 2571601012@qq.com

【通信作者】 孔卫东, 教授, 博士, Email: tkongwd@jnu.edu.cn, Tel: 0086-13392692193

及无托槽矫治对上前牙转矩调控的相关因素作一综述。

1 隐形矫治的生物力学基础

1.1 舌侧矫治中的生物力学

在固定矫治中,舌侧矫治与唇侧矫治相比,无论是在牙体解剖结构还是在矫治力学系统上,都有着本质的区别。因此,对于临床上舌侧矫治而言,明确舌侧独有的生物力学规律是相当有必要。Sendyk等^[4]研究得出,上颌中切牙腭部牙槽骨厚度大于唇侧,且下颌前牙的唇侧牙槽骨较薄。

在力学系统上,舌侧矫治内收前牙时,合力位于前牙阻抗中心的舌侧,使前牙转矩的控制较唇侧矫治更易丢失^[5]。

1.2 无托槽矫治中的生物力学

无托槽矫治与传统矫治相比,最大的区别在于可自行摘带以及矫治器材料为高分子材料。无托槽矫治是通过矫治器的被动弹性形变,并将形变后的反作用力施加于牙齿各面,进而使牙齿发生移动^[6]。

2 隐形矫治中对上前牙转矩的调控

2.1 舌侧矫治对上前牙转矩的调控

由于舌侧矫治的力学系统的特征,使得舌侧矫治内收前牙的过程中很容易丢失前牙转矩。在临床操作中,正畸医师对于舌侧矫治的前牙转矩调控,难以把握。Mathew等^[7]认为,在舌侧矫治控制上前牙转矩时,应增加根舌侧转矩、加大垂直向压入力以及减小水平内收力。

2.1.1 托槽对上前牙转矩的影响 ①托槽的类型,舌侧矫治中,托槽的可分为自锁托槽和传统结扎托槽。相比之下,传统托槽的弓丝以结扎方式入槽,容易造成因结扎不紧或操作不慎导致转矩表达欠佳甚至无法表达。而主动自锁托槽比被动自锁托槽更能使转矩精确表达。临床上,运用舌侧主动自锁托槽将能更好地进行转矩调控。②水平槽沟与垂直槽沟,槽沟形式的不同,也会影响矫治过程中上前牙转矩的表达。有研究证明,垂直槽沟比水平槽沟在前牙转矩控制上更能体现优势。Yue等^[8]研究表明,槽沟方向对舌侧托槽的转矩性能有影响,且垂直槽沟的转矩力矩为水平槽沟的1~2倍,证实了较小的转矩角度可以实现较高的转矩效能。临床上,运用垂直槽沟更有利于转矩精细调控。③托槽的定位,在固定矫治中,托槽的

定位对于正畸疗效而言是十分重要。Pai等^[9]研究得出,随着冠根角的增大,旋转中心的位置会沿着牙颈部改变,且舌侧矫治的改变较唇侧矫治更为明显。21世纪CAD/CAM技术在口腔领域的应用,舌侧矫治的托槽定位得到了质的飞跃。通过三维的扫描,计算机软件的设计以及3D打印技术的运用,从而产生了个性化舌侧托槽,且具有牙冠表面解剖结构的特异性定位^[3]。个性化舌侧矫治具有特异性的托槽底板,能精确吻合牙齿舌面,消除了由于定位不准导致的前牙转矩调控不佳等问题。④托槽的粘接,舌侧矫治中,托槽的粘接一直是临床操作上的一个难点。并且托槽粘接的精确性,往往与前牙转矩的精确表达相关。以往的直接粘接和间接粘接都会造成托槽底板粘接剂厚度不一,从而影响托槽定位及转矩调控。而个性化设计的托槽底板能很好的解决这个难题。由于个性化舌侧托槽是利用3D打印技术制造,可通过定制的转换导板进行间接粘接。Paul等^[10]等研究发现,对间接粘接模板进行分段,有助于提高托槽定位对上前牙转矩的调控。因此,临床上利用个性化设计的托槽底板能更直接有效的对转矩调控。

2.1.2 弓丝对上前牙转矩的影响 舌侧矫治中所使用的弓丝类型为带状弓。瞿杨^[11]对带状弓与水平弓的比较研究中得出,其他因素一致的情况下,带状弓的转矩调控性能高于水平弓,而且当施加较小的转矩角度于带状弓时即可获得较大的转矩表达,且弓丝末端所产生的反作用力较水平弓小。而弓丝的尺寸和材质都会对转矩调控产生影响。

①不同尺寸的弓丝当带状弓与垂直槽沟舌侧托槽匹配时,相同材质的0.43 mm × 0.56 mm尺寸弓丝的转矩力矩约为0.41 mm × 0.56 mm的尺寸弓丝的1~2.5倍;证明弓丝尺寸与槽沟尺寸越接近,所产生的有效转矩力值越大^[8]。

②不同材质的弓丝当弓丝尺寸不变,弓丝材质改变时,弹性模量越大,转矩力矩越大。以垂直槽沟舌侧托槽为例,弹性模量差异越大,转矩力矩倍数变化越大,从2.5~7倍不等^[8]。Papageorgiou等^[12]研究发现,从生物力学角度而言,TMA丝的材料力学性质介于NiTi丝和不锈钢丝之间,比较适合转矩的精细调控。

总体而言,弓丝对转矩调控具有较直观的影响,在临床上可考虑选用全尺寸的TMA材质带状弓,即施加较小的转矩角度情况下,满足更精细的

转矩调控。

2.1.3 托槽与弓丝间的余隙角 托槽槽沟与弓丝的尺寸应相互匹配。若槽沟与弓丝间出现较大的余隙角,则无论是对转矩的调控还是表达都存在必不可少的影响。余隙角的大小对转矩调控的影响,Brown等^[13]人研究表明,若槽沟与弓丝间存在0.001英寸的间隙,那么将丢失5°的有效转矩。因此,在临床操作中,应注意尽量减少槽沟与弓丝间的间隙,使有效转矩最大化。

2.1.4 滑动法内收上前牙时转矩调控 在临床上,舌侧矫治关闭间隙时采用种植支抗以滑动法内收前牙。内收的过程中,往往需要在前牙加入一个合适的垂直压入力($F_{\text{垂直}}:F_{\text{水平}}=2.2:1$),使其整体移动,从而获得一个较好的前牙转矩^[14]。此外,有研究表明,在拔出上颌双尖牙并滑动内收前牙时,可对前牙施加13°的额外正转矩,同样可获得较好的前牙转矩^[15]。因此,临床上舌侧矫治滑动法内收前牙时,应对前牙加入一个垂直向的力或额外转矩,达到前牙整体移动。

2.1.5 微种植支抗与牵引钩对转矩的影响 Mo等^[16]对腭部种植支抗以及牵引钩的位置与长度的研究得出,当腭部种植支抗位置不变时,牵引钩位置放在上颌中切牙远中比放在侧切牙远中的疗效更佳;但如果放在侧切牙远中时,牵引钩的长度必须增加,而不至于内收前牙时使上前牙过度舌倾,从而达到控根移动。Szczupakowski等^[17-18]研究发现,当微种植支抗于牙槽嵴顶上6 mm处植入,且运用9 mm的长牵引钩整体内收前牙时,前牙更倾向于整体移动并更有利于转矩的调控。上述研究表明,临床上舌侧矫治运用较长牵引钩,可使内收作用力的垂直向更接近阻抗中心,从而更好的令牙齿发生整体移动,达到转矩的调控。

2.1.6 CAD/CAM技术中个性化舌侧矫治系统对上前牙转矩调控 在数字化矫治时代,CAD/CAM技术以及3D打印技术已经普遍运用于口腔领域。而个性化舌侧矫治技术则是借助CAD/CAM技术,进行对牙齿精准矫治。Pauls等^[19]对个性化舌侧矫治进行回顾性研究得出,通过对5例安氏Ⅰ类、13例安氏Ⅱ类和2例安氏Ⅲ类的错殆运用个性化舌侧矫治,发现矫治前与矫治后切牙转矩均值相差2.96°、轴倾度均值相差2.04°;同时,也指出个性化舌侧矫治在矫治前对转矩、轴倾度的设置以及矫治后的表达具有高度一致性。黄宁等^[20]研究表明,当0.48 mm×0.63 mm不锈钢弓丝施加约15.33°

正转矩时能产生20 N·mm最佳转矩力值。而对于临床上预设转矩的问题,黄跃等^[21]实验得出,当上中切牙托槽预置转矩角度为20°时,则中切牙能达到所需的转矩力矩。由于个性化舌侧矫治所用的弓丝为全尺寸弓丝,则不存在余隙角消耗转矩。根据上述研究,在临床上可考虑在定制的个性化舌侧托槽中预设15°~20°的冠唇向转矩,进而获得20 N·mm的有效转矩力值,使内收前牙时尽可能整体移动,达到较好的转矩调控。

2.2 无托槽矫治对上前牙转矩的调控

无托槽矫治作为一项新兴的矫治技术,无论是理念、设计、诊断以及治疗方案等方面都与固定矫治存在一定的差异。随着无托槽矫治的较广泛应用,其矫治疗效也越来越受关注。总体而言,Djeu等^[22]发现,Invisalign的优势在于前牙的压低以及后牙边缘嵴的整平;然而对于内收上前牙关闭间隙时,转矩控制仍不如固定矫治。Weir^[23]提出无托槽矫治对上前牙转矩调控的难度范围分类,轻度为0°~10°、中度为10°~15°、重度为大于15°。

2.2.1 无托槽矫治器的厚度对上前牙转矩的影响 不同厚度的矫治器,所产生的弹性形变不同,即所产生的矫治力有所不同。肖子轶^[24]则对同种不同厚度矫治器所施加于牙面矫治力的大小进行研究,内收前牙及舌向移动时,牙面各区应力大小并不相同。而且,无托槽矫治器是靠牙套的卡抱固位,牙面各区应力大小不同,导致牙齿的移动方式不一致。以上对厚度的研究中并未涉及转矩调控,因此在厚度不同的因素中,对上前牙转矩调控的临床意义甚少。

2.2.2 无托槽矫治器的附件对上前牙转矩的影响 在无托槽隐形矫治技术中,附件是一种粘结在牙冠唇面或舌面的树脂结构。附件的作用既能对无托槽隐形矫治器进行固位,避免矫治器的脱落;又能通过与矫治器附件空腔之间一定位置的差异,利用矫治器材料本身的弹性进行对某个方向的施力,使每步矫治器上设计的牙齿移动得到表达^[25]。

①附件的种类 附件的种类有固位附件和功能性附件。对于单根牙的控根及转矩调控,可添加相应的控根附件,从而对转矩进行控制^[26]。近年来,出现了一种预设于无托槽矫治器上的功能结构附件,称为Power Ridge。Castroflorio等^[26]研究发现,当临床上需要10°转矩调控时,Power Ridge的使用能几乎避免转矩丢失,且与传统托槽预置

转矩相比,更具有临床意义。但 Simon 等^[27]对 14 例需调整前牙转矩且调整幅度大于 10° 的患者进行无托槽矫治发现, Invisalign 在内收前牙时,无论是预设在牙面的转矩附件还是 Power Ridge,都存在平均 50% 的转矩消耗。因此,在临床上,对前牙转矩的调控应注意病例的选择,无托槽矫治对前牙 10° 以内的转矩调控较好,超过 10° 则存在 50% 的转矩消耗。

②附件的大小与形状 附件形状的不同,对无托槽矫治器的固位以及治疗过程中牙移动的方式具有差异性影响。张凤丹^[28]研究发现,矩形附件与双附件结合使用,可以形成力偶来使牙根移动,且主要用于单根牙的正轴移动。但附件体积应小于 1 mm,避免影响牙移动的精确性。而 Power Ridge 是设置在矫治器上的功能结构附件,其形状类似于水平的椭圆形附件^[28]。提示在临床上运用附件进行对牙齿转矩的调控时,Power Ridge 可作为一个不错的选择。

③附件的个数与粘接位置 附件的单颌数量不宜超过 6 个,否则将导致固位力过大,使矫治器难以摘戴,导致矫治器变形及附件脱落等情况,最终影响矫治器作用的发挥。附件不同的放置方式可产生不同的矫治效果,例如水平放置可以辅助实现前磨牙的伸长、压低及转矩的控制,垂直放置的附件可以控制尖牙的旋转及前牙的整体移动。除此之外, Simon 等^[29]在对比优化附件与 Power Ridge 调控上前牙转矩的研究得出,两者施加于上前牙的力矩分别为 6.7 N·mm 和 7.9 N·mm;且在 12°~30° 的调控范围时,Power Ridge 每个步数提供 1.1° 而优化附件则为 1.2°。因此,临床上附件的位置放置设计不同,所产生的力学效应也不同,且 Power Ridge 对转矩的调控优于其他附件。

2.2.3 无托槽矫治在 Clincheck 软件设计过矫治对上前牙转矩的影响 利用 Clincheck 软件对矫治方案预设上前牙过矫正,是为了避免内收上前牙时,转矩丢失过多而导致舌倾。

①Clincheck 中过矫正设计的选择 对于无托槽矫治中,适当的过矫正是有必要。Rossini 等^[30]研究表明,纠正大于 15° 的扭转牙时,除了使用相应附件外,还需在 ClinCheck 软件中设置一定的过矫正。Drake 等^[31]研究发现,对于上前牙轻度拥挤的病例中,上前牙移动表达效率可达 50%。李德水^[32]对需要拔除 4 颗第一前磨牙的双颌前突、前牙重度拥挤病例研究发现,设置过矫正方案可使转

矩调控效率提高 39%。除此之外,张凤丹^[28]研究发现,无托槽矫治的上前牙转矩调控与牙齿颊舌向移动量高度相关;颊向移动效能为 69%、舌向为 68%,而转矩移动效能为 67%。因此,临床上在 Clincheck 方案中通过冠唇向移动的过矫正,可以对内收上前牙时的转矩进行补偿,避免转矩丢失过多。

②Clincheck 中过矫正的设定 无托槽矫治器设置过矫正对转矩的调控效率,国内外学者均有研究。Simon 等^[27]研究表明 Invisalign 矫治器控制上切牙转矩平均效率为 42%。李德水^[32]的研究结果表明,对于前牙重度拥挤且双颌前突的拔牙病例,在牙齿理想转矩上预设 25%~30% 的过矫正,对比不设过矫正方案,上前牙转矩调控可提高 39%。但过矫正与附件相比,对于上前牙转矩调控并非理想,且附件对转矩调控的效率是过矫正的 1.6 倍;在上前牙转矩调控方面,过矫正不能替代附件^[32]。因此,在临床上,对于上前牙转矩需要调控的患者,除设置相应的过矫正量及方向外,还应考虑相关优化附件。

3 小 结

综上所述,个性化舌侧矫治影响前牙转矩的调控因素包括托槽类型、槽沟方向、定位和粘接;弓丝的尺寸和材质;托槽与弓丝的密合度以及支抗和牵引钩位置等。这些因素中,弓丝因素占主导地位,根据上述研究,若在弓丝上预设 15°~20° 正转矩,内收前牙时能使倾斜移动变为整体移动,从而达到调控转矩的目的。无托槽矫治中,对前牙转矩的调控因素,附件的种类占主要因素。但对于病例的选择具有局限性。当转矩调控小于 10° 时,运用 Power Ridge 可以达到较理想的前牙转矩调控疗效;但所需调控的转矩大于 10° 时,附件的转矩调控将消耗约 50%。除此之外,在 Clincheck 软件中设置上前牙过矫正,亦可调控转矩。但临床上,除了需要设计过矫正外还需要设置 Power Ridge 等辅助附件以加强对前牙转矩的控制,避免矫治后前牙转矩丢失过多。总体而言,隐形矫治仍有很多值得探究的地方。但在未来的正畸领域中,隐形矫治技术将无疑是集正畸与美观于一身的主流正畸治疗手段。

参考文献

- [1] Kuncio D, Maganzini A, Shelton C, et al. Invisalign and traditional

- orthodontic treatment postretention outcomes compared using the American Board of Orthodontics Objective Grading System[J]. *Angle Orthodontist*, 2007, 77(5): 864-869.
- [2] Pabari S, Moles DR, Cunningham SJ. Assessment of motivation and psychological characteristics of adult orthodontic patients[J]. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 2011, 140(6): E263-E272.
 - [3] Wiechmann D, Rummel V, Thalheim A, et al. Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2003, 124(5): 593-599.
 - [4] Sendyk M. Correlation between buccolingual tooth inclination and alveolar bone thickness in subjects with Class III dentofacial deformities[J]. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 2017(1): 66-79.
 - [5] Geron S, Romano R, Brosh T. Vertical forces in labial and lingual orthodontics applied on maxillary incisors--a theoretical approach [J]. *Angle Orthod*, 2004, 74(2): 195-201.
 - [6] 胡海楠, 张晓蓉. 隐形矫治技术生物力学研究进展[J]. *医用生物力学*, 2014, 29(4): 84-87.
 - [7] Mathew RN, Aneesh K, Ashutosh S, et al. Effect of increasing the vertical intrusive force to obtain torque control in lingual orthodontics: a three-dimensional finite element method study[J]. *Indian J Dent Res*, 2016, 27(2): 163.
 - [8] Yue H, Huang SY, Yang QU, et al. Three-dimensional finite element analysis on torque performance of lingual brackets with slot in different directions[J]. *J Med Biomech*, 2017, 32(1): 54-59.
 - [9] Pai S, Panda S, Pai V, et al. Effects of labial and lingual retraction and intrusion force on maxillary central incisor with varying columanglles: a three-dimensional finite elemental analysis[J]. *J Indian Orthod Soc*, 2017, 51(1): 28.
 - [10] Paul R, Ligil A, Vineeth V, et al. Modified precision lingual bonding technique:A step-wise approach with torque angulation device-bracket positioning device[J]. *APOS Trends Orthod*, 2017, 7(4): 199-203.
 - [11] 瞿杨. 影响带状弓与水平弓的唇舌侧托槽转矩性能因素的三维有限元对比分析[D]. 泸州: 西南医科大学, 2016.
 - [12] Papageorgiou SN, Keilig L, Vandevska - Radunovic V, et al. Torque differences due to the material variation of the orthodontic appliance: a finite element study[J]. *Prog Orthod*, 2017, 18(1): 6.
 - [13] Brown P, Wagner W, Choi H. Orthodontic bracket slot dimensions as measured from entire bracket series[J]. *Angle Orthod*, 2015, 85(4): 678-682.
 - [14] Mehrotra R, Jaiswal RK, Mehrotra P, et al. Evaluation of the torque control of the maxillary incisors in lingual orthodontics during retraction:A finite -element analysis[J]. *J Indian Orthod Soc*, 2015 (49): 183-187.
 - [15] Kim KA, Kim KB, Oh SW, et al. Control of anterior torque with a fully customized lingual appliance[J]. *J Indian Orthod Soc*, 2016, 50(5): 62-67.
 - [16] Mo SS, Kim SH, Sung SJ, et al. Torque control during lingual anterior retraction without posterior appliances[J]. *Korean J Orthod*, 2013, 43(1): 3-14.
 - [17] Szczupakowski A, Reimann S, Dirk C, et al. Friction behavior of self-ligating and conventional brackets with different ligature systems[J]. *J Orofac Orthop*, 2016, 77(4): 287-295.
 - [18] Papadogiannis D, Iliadi A, Bradley TG, et al. Viscoelastic properties of orthodontic adhesives used for lingual fixed retainer bonding [J]. *Dent Mater*, 2017, 33(1): e22-e27.
 - [19] Pauls A, Nienkemper M, Schweska-Polly R, et al. Therapeutic accuracy of the completely customized lingual appliance WIN:A retrospective cohort study[J]. *J Orofac Orthop*, 2017, 78(1): 52-61.
 - [20] 黄宁, 辜岷, 韩向龙, 等. 正畸方丝转矩力的分析[J]. *华西口腔医学杂志*, 2008, 26(2): 152-155.
 - [21] 黄跃, 黄思源, 瞿杨, 等. 不同槽沟方向舌侧托槽转矩控制性能三维有限元分析[J]. *医用生物力学*, 2017, 32(1): 54-59.
 - [22] Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2005, 128(3): 292 - 298; discussion 298.
 - [23] Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment[J]. *Aust Dent J*, 2017, 62(1): 58-62.
 - [24] 肖子轶. 不同厚度无托槽隐形矫治器力学特性的实验测定[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
 - [25] Tuncay OC. 主编. 白玉兴. 主译. 口腔正畸无托槽隐形矫治临床指南[M]. 北京: 人民军医出版社, 2008: 77-98.
 - [26] Castroflorio T, Garino F, Lazzaro A, et al. Upper-incisor root control with Invisalign appliances[J]. *J Clin Orthod*, 2013, 47(6): 346.
 - [27] Simon M, Keilig L, Schwarze J, et al. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique--regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization[J/OL]. *BMC Oral Health*, 2014, 14: 68.
 - [28] 张凤丹. 国产无托槽隐形矫治器牙齿移动效能的评价[D]. 贵阳: 贵州医科大学口腔医学, 2017.
 - [29] Simon M, Keilig L, Schwarze J, et al. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: incisor torque, premolar derotation, and molar distalization[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2014, 145(6): 728-736.
 - [30] Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, et al. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review[J]. *Angle Orthod*, 2015, 85(5): 881-889.
 - [31] Drake CT, Mcgorray SP, Dolce C, et al. Orthodontic tooth movement with clear aligners[J]. *ISRN Dent*, 2012(4): 657973.
 - [32] 李德水. 无托槽隐形矫治器过矫正设计牙齿移动效率的对比研究[D]. 济南: 山东大学, 2016.

(编辑 张琳, 张晟)