

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2018.11.011

· 综述 ·

Invisalign 技术创新及牙移动效能

王硕, 孙雨虹 综述; 华先明 审校

武汉大学口腔医学院, 湖北 武汉(430079)

【摘要】 隐适美(Invisalign)正式应用到临床至今已有近二十年的历史。其隐形、舒适、美观的特点越来越受到医患的青睐。Invisalign 技术在不断创新,从最初简单牙齿的排齐(G1)、较复杂牙齿的移动(G2)、前牙牙齿转矩的控制(G3)、开骀的治疗(G4)、深覆骀的治疗(G5),到第一前磨牙拔除后的治疗(G6)、后牙开骀的治疗(G7),再到生长期骨性Ⅱ类错骀的矫正(MA),其适应证几乎覆盖了传统固定矫治的所有领域。但是,由于该技术仍然处于探索阶段,计算机设计的目标效果与矫治器的临床效能之间仍存在差异,特别是在实现牙的伸长、去扭转等方面,隐适美效能较低,但其在压低、倾斜移动以及远移磨牙上已表现优异性能。本文就 Invisalign G1~G7、Invisalign MA 的特点以及不同牙移动方式的效能进行综述。

【关键词】 无托槽隐形矫治; 隐适美; 附件; 矫治效能; 牙移动

【中图分类号】 R783.5 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2018)11-0743-06

【引用著录格式】 王硕,孙雨虹,华先明. Invisalign 技术创新及牙移动效能[J]. 口腔疾病防治, 2018, 26(11): 743-748.

Innovation of Invisalign technology and its efficacy for tooth movement WANG Shuo, SUN Yuhong, HUA Xianming. Department of Orthodontics, School & Hospital of Stomatology, Wuhan University, Wuhan 430079, China
Corresponding author: HUA Xianming, Email: hxm@whu.edu.cn, Tel: 0086-27-87686028

【Abstract】 The Invisalign system has been used in the clinic for nearly two decades and its invisible, comfortable and beautiful features are increasingly favored by doctors and patients. In recent years, Invisalign technology is constantly innovating from mild crowding (G1), relatively complicated tooth movement (G2), anterior tooth torque control (G3), anterior open bite (G4), deep overbite (G5), first four premolar extraction (G6), and posterior open bite (G7) to the correction of skeletal class Ⅱ malocclusion in adolescents. Its indications has covered almost all areas of traditional fixed orthodontics. However, as this technology is in the developmental stage, there is a discontinuity between the computer-designed positioning and the clinical results. Although Invisalign has manifested excellent performance in correcting tooth intrusion, tipping movement and distal movement, its ability to correct tooth rotation and extrusion still needs improvement. This paper reviews the characteristics of Invisalign G1-G7 and Invisalign MA and the efficacy of these systems in correcting different types of tooth movement.

【Key words】 Invisible orthodontic; Invisalign; Attachment; Treatment efficacy; Tooth movement

近年来,隐形矫治的临床应用范围得到了极大的提升^[1-2]。其隐形、舒适、美观的特点越来越受到医患的青睐^[3-4]。从最初用于精细调整的硬塑料

正位器(positioner)到最近隐适美(Invisalign)推出的具有下颌前导功能的Mandibular Advance(MA),隐形矫治技术经历了长达70年的发展。虽然,以隐适美(Invisalign)为代表的Invisalign G1到G7,极大地拓宽了隐形矫治的适应证,但是,其在临床治疗中,矫治器(aligner)引起的牙移动效能并不能完全表达^[5-6]。因此,本文拟对隐适美的技术创新、适应证和不同牙移动的效能进行综述,以为临床医生在进行三维动画设计时提供一定的理论指导。

【收稿日期】 2018-03-23; **【修回日期】** 2018-05-16

【基金项目】 武汉市科技计划项目(2015060101010052)

【作者简介】 王硕,医师,硕士,Email: brucewang@whu.edu.cn

【通信作者】 华先明,主任医师,博士,Email: hxm@whu.edu.cn, Tel: 0086-27-87686028

1 隐适美(Invisalign)技术创新和适应证

1940年,Kesling使用塑料正位器对矫正治疗进行最终的精细调整^[2],70~90年代,Sheridan等^[7-8]虽将其改进为负压保持器并配合邻面去釉,但仍不能精准的控制牙移动。1999年,爱齐公司推出了首款Invisalign系统。从此,矫治医师只需制取患者的初次印模,即可精确模拟患者牙齿矫治的每一步效果,进而取代了过去患者每次复诊都要取模的繁琐程序。

1.1 Invisalign G1~G2

早期的Invisalign G1还未采用辅助工具,只是单独依靠矫治器来完成矫治。虽然此时关于Invisalign的相关研究较少,但是Djeu等^[9]通过回顾性研究发现,在整平牙弓及纠正牙根轴倾度方面,Invisalign与固定矫治能达到类似的效果;而在调整颊舌向转矩,改善咬合以及纠正深覆盖等方面,固定矫治仍占有明显优势。因此,Invisalign G1的适应证是程度较轻的错颌畸形。

随着制造技术的不断发展,正畸医师在Invisalign G2时期已经可以要求添加树脂附件以及辅助颌间牵引。Kravitz等^[10]通过回顾性研究发现,Invisalign G2在去扭转方面只能达到35.8%的预期,在伸长方面只能达到29.6%的预期,但是在内收关闭间隙(lingual constriction)方面可达到41%的预期。Krieger等^[11]比较50例Invisalign患者的术后模型和ClinCheck® models发现,Invisalign能理想地解除下前牙的拥挤,但是却不能很好地纠正深覆盖。这些研究表明早期的Invisalign系统在控制牙移动的精确性上尚需提高。因此,Invisalign G2的适应证仍是轻度的错颌畸形,但其创新性地开发了附件以及辅助装置,进而为后期推出的智能力学系统(Smart Force)打下了基础。

1.2 Invisalign G3~G7

1.2.1 Invisalign G3 为了更好地对牙齿进行精确的三维移动,Invisalign G3通过Smart Force开发了优化附件(optimized attachment),并将其放置在特定的牙面上。同时为了加强Aligner对前牙转矩的控制,上下前牙的唇侧龈缘和舌侧切缘处可设计Power Ridge,其产生的力偶类似于固定矫治中的转矩力。因此,Invisalign G3主要用于控制前牙转矩。

1.2.2 Invisalign G4 2011年,爱齐公司发布Invisalign G4,其主要特点是更新了SmartForce® features以及贴合更精确、加力更持续的SmartTrack®。有学者在一项72例患者的疼痛问卷调查中证实

SmartTrack®相比于Ex-30疼痛感更轻微,对生活质量影响更小^[3]。但其牙移动效率是否较Ex-30提高,仍缺乏相关研究予以支持。Invisalign G4 SmartForce® features有以下三个特点:①组合性伸长前牙治疗开骀(multi-tooth anterior extrusion),即以后牙为支抗,整体伸长前牙,达到治疗开骀的效果;②在远中向直立尖牙牙根以及关闭中切牙间隙时,加强控根移动,避免倾斜移动(optimized root control attachment);③上颌侧切牙多平面牙移动(multi-plane movement feature),在纠正扭转的侧切牙同时不产生非预期的压力^[12]。因此,Invisalign G4的适应证为前牙开骀,并且其能在治疗过程中防止牙轴倾斜。

1.2.3 Invisalign G5 2014年,爱齐公司发布Invisalign G5^[1],其主要特点为:①在SmartForce® features中设置压力区(pressure areas)。压力区添加在矫治器的舌侧,可使Aligner产生的压入力与牙长轴保持一致。②在整个治疗过程中,通过上颌Aligner舌侧的隆起(bite ramp)使后牙分离同时能更有效地压低下切牙。③在整平Spee曲线时,通过设置优化附件伸长前磨牙并为前牙的压低提供支抗^[13]。Invisalign G5的适应证为前牙深覆骀。

1.2.4 Invisalign G6 2015年,爱齐公司发布Invisalign G6,其专为第一前磨牙拔除时获得强支抗而设计。主要包括Smart Stage技术即矫治器预支抗设计和创新的牙移动步骤。矫治器预支抗设计即当希望获得强支抗或后牙牙冠近中移动不超过2 mm时,Invisalign G6将自动设置后牙优化支抗附件以及前牙优化内收附件避免在关闭间隙过程中前牙的舌倾、伸长,和后牙的近中倾斜^[14]。但是也有医师在附件中设置深入龈方的动力臂(power arm),期望获得更又效的整体移动^[15]。创新的牙移动步骤即当尖牙远中移动1/3之后再开始前牙的整体内收,以期在初始阶段获得后牙的强支抗^[14]。

1.2.5 Invisalign G7 2016年,爱齐公司发布Invisalign G7,在继续完善上颌切牙的优化多平面牙移动功能后,Invisalign G7默认在矫治目标中对前牙预留0.5 mm覆盖,解决以往矫治结束时常出现的后牙开骀问题^[1]。并且在后牙内收的病例中,后牙设置优化支抗附件,防止内收过程中后牙的近中倾斜以及前牙转矩丢失。G7主要功能为防止前牙早接触所引起的后牙开骀。

1.3 Invisalign MA

2017 年,爱齐公司推出具有下颌前导功能的 Invisalign 矫治器,即 Invisalign MA,用于治疗生长发育期骨性Ⅱ类的青少年患者。MA 主要是利用位于第一磨牙和前磨牙颊侧的精密翼托(precision wings)导下颌向前。MA 治疗分为三个阶段:前导预备阶段,前导阶段和标准隐适美治疗阶段。①前导预备阶段是为了解除前导干扰。该阶段的矫治内容包括局部锁骀、反骀、深覆骀,同时

进行初步的排齐整平。当有足够间隙放置精密翼托且无前导干扰时,开始导下颌向前。②下颌前导阶段的矫治目标是纠正Ⅱ类关系,继续整平排齐。矫治器以 2 mm 为增量逐步实现下颌前导,同时协调上下牙弓。③前导到目标位置并稳定后重新取模,开始标准隐适美治疗阶段,完成精细调整^[16]。

综合以上文献,Invisalign G1-G7、Invisalign MA 的技术创新和优势见表 1。

表 1 Invisalign G1~G7、Invisalign MA 的技术创新和优势
Table 1 Innovations and advantages of Invisalign G1-G7 and Invisalign MA

Invisalign	技术创新	优势
G1	首款无托槽隐形矫治器	治疗轻度牙移位;倾斜移动牙齿
G2	开发传统附件	可进行较复杂的牙齿移动(技术明显进步)
G3	开发优化附件 开发 SmartForce® features 开发 Power Ridge	前牙转矩的控制,内收前牙
G4	更新 SmartForce® features 开发 SmartTrack	治疗前牙开骀
G5	更新 SmartForce® features 开发 Bite Ramp	治疗前牙深覆骀
G6	开发 SmartStage 技术 开发牙移动步骤技术	对拔除第一前磨牙病例的治疗,可获强支抗内收前牙。
G7	更新 SmartForce® features	防止前牙早接触所引起的后牙开骀
MA	首款下颌前导功能的 Invisalign 矫治器	对生长发育期骨性Ⅱ类错骀的青少年患者,进行导下颌向前治疗。

2 隐适美(Invisalign)牙移动的效能

隐适美的矫治效果已被大多数医生学者认同^[17-18],但其牙移动的效能方面的研究一直在进行。在对于 Invisalign 矫治器的牙移动效率进行评价时,不同学者采用了不同的模型配准方法。早期的牙移动效率评价方式大多是基于二维影像,同时其参考点多以假定磨牙或者前磨牙稳定不动为基础,存在着很大的局限性。近年来,有学者采用数字化模型的方式,通过腭部稳定解剖标志和 CBCT 颅颌骨稳定标志对图形进行重叠,大大提高了其研究方法的可靠性。为了让正畸医师能更快更好地掌握隐适美三维动画设计,并获得较好的临床治疗效果,现将隐适美牙移动的效能归纳如下。

2.1 压低(intrusion)

压低是 Invisalign 效能较高的移动方式。有学者通过对 39 例完成病例的回顾性研究发现,Invisalign 对前牙的平均压低量为 0.72 mm,其中压低上中切牙和下中切牙的效能最高,分别是 44.7%和

46.6%。上颌侧切牙的效能最低,仅为 32.5%,这可能是由于邻近上颌尖牙的真实移动与目标方案不一致所造成的^[18]。值得注意的是,尽管压低是一种可以预期的牙移动方式,但是大多数压低都是相对压低(relative intrusion),即伴随着前牙的唇倾。在一般情况下,前牙压低并不需要特殊的附件,但是前磨牙区域应设置水平矩形附件以增强支抗及固位。Khosravi 等^[19]通过对比 40 个深覆骀患者术前及术后头影测量后发现,咬合平均打开 1.5 mm,作者认为隐适美只能矫治轻到中度的深覆骀,但是,由于上述研究方法是基于二维影像来评估其效率,因此该研究的测量结果难以准确反映咬合打开的效果。虽然隐适美在前牙压低效率上存在争议^[18-19],但一些学者认为隐适美在后牙区由于具有“骀垫效应”,能在开骀的矫治中有效压低后牙^[20-21]。Moshiri 等^[22]通过对 30 例隐适美结束的患者头影测量重叠后发现:U6-PP 平均降低 0.4 mm, L6-MP 平均降低 0.6 mm, SN-MP 平均降低 0.9°。提示隐适美也可在高角病例中起到控制垂

直向的作用。

2.2 伸长(extrusion)

伸长是效能最低的牙移动方式^[18, 23]。在伸长形态较小的上颌侧切牙和下颌侧切牙时,由于Aligner不能完全抓紧牙体组织,牙齿很难随着矫治器同步伸长,因此有学者建议使用楔形附件来提高牙伸长移动的表达率^[24]。Guarneri等^[20]也报道通过在上前牙设置水平附件、下前牙设置椭圆附件辅助牙的伸长移动成功矫治了前牙4 mm的开骀病例。此外,Krieger等^[25]建议通过过矫正或垂直牵引来增强Aligner对上前牙垂直向的控制力。值得注意的是,Aligner是通过牙齿唇面的附件施力,因此牙齿伸长过程中会产生根的唇向移动。这可能使得牙根接近唇侧骨皮质,从而造成牙根吸收以及骨皮质穿孔^[26]。

2.3 旋转(rotation)

旋转移动在Invisalign中表达效率较低^[10, 16]。Nguyen等^[27-28]研究发现尖牙以及前磨牙的去扭转效能只能达到39%,而中切牙可以达到60%,作者推测这可能是由于尖牙和前磨牙的弧形牙体外形所致。Kravitz等^[10]将37例患者术后3D模型与Clincheck目标位的3D模型重叠后发现,在341颗扭转牙中,231颗牙可以达到5°以上的去扭转,但只有70颗牙能达到15°以上的去扭转。Boyd^[29]建议在对尖牙及前磨牙的去扭转矫治中给予10%的过矫正。Kravitz等^[10]也建议在矫治20°~30°的扭转牙时可以采用颊舌侧的矩形附件,在矫治30°以上扭转牙的过程中积极采取辅助牵引或配合固定矫治,但最后仍需精细调整(refinement)才能完全去扭转。

2.4 远中移动(distal movement)

正畸医师一直十分关注牙的远中向移动,因为其可以解决上下牙列前后向不调的问题。已经有大量病例和研究证实Invisalign通过序列远移后牙可以成功矫治Ⅱ类错骀畸形^[30]。Boyd等^[31]报告1例上颌后牙远中移动3 mm以上的安氏Ⅱ类2分类的病例。Simon等^[32]通过对比重叠30例隐适美患者术前与术后3D模型后发现,1.5 mm以下的远中移动表达效率可达88%。Ravera等^[30]推荐在后牙颊侧放置垂直矩形附件,从而使后牙整体后移。Morton等^[1]建议在Ⅱ类牵引作用下增强前牙支抗,支持磨牙远中移动。有研究表明:通过Invisalign进行后牙远移的患者中,其下面高并未发生显著变化,这可能与Invisalign自身厚度所产生的

合垫效应有关^[30]。

2.5 唇舌向倾斜移动(buccolingual tip movement)

倾斜移动在Invisalign中有着较高的效能^[33]。Schupp等^[34]报道他利用前牙的相对伸长(倾斜移动)能有效关闭前牙开骀。Kravitz等^[10]的研究证实,在上颌前牙区,牙舌向倾斜移动的效能可达到53.1%,而唇向的倾斜移动的效能只能达到37.6%,并推测Invisalign内收前牙的效能是唇展前牙的2倍。因此,我们应该对内倾型深覆骀患者的前牙进行唇展的过矫正,但在内收唇倾的前牙时,过矫正应谨慎应用,而且应将Power Ridge与舌侧压力点相结合保持前牙内收时的正常唇倾度。Hennesy等^[35]在一项随机临床试验中比较了22例Invisalign和22例固定矫治患者矫治结束后下中切牙唇倾度的改变,结果显示:Invisalign和固定矫治所产生的下切牙唇倾度改变差异无统计学意义。作者认为Invisalign在排齐轻中度拥挤时可达到与固定矫治类似的效果。但是,由于在头颅侧位片中下颌中切牙牙根定位的准确性尚不高,因此该结论仍有待进一步验证。

2.6 控根移动(root-control movement)

Invisalign控根可以通过附件、Power Ridge,以及改变Aligner的外形来施加转矩力。Aligner可通过粘接在牙表面的优化控根附件来控制牙根的近远中向的运动,也能在牙唇面龈缘和舌面切端制作的Power Ridge通过力偶系统使根唇向移动。Simon等^[36]研究证实:若Clincheck目标位的前牙根舌向转矩较初始3D模型大于10°,则术后3D模型存在着接近50%的转矩丢失,且Power Ridge与前牙放置横向椭圆附件在转矩表达上的差异无统计学意义。Grünheid等^[37]在一项30例Invisalign患者的回顾性研究中发现,术后模型的上颌中切牙切缘较Clincheck目标位更偏唇向和舌向,进一步证实Invisalign在控根运动过程中存在着转矩丢失。因此,在前牙内收的转矩控制时应适当考虑设计过矫正。Pavoni等^[38]通过Geomagic逆向工程软件比较Invisalign和自锁托槽的扩弓效应后发现,前者较后者在前磨牙和磨牙区分别多扩宽0.45 mm和0.50 mm。在固定矫治中,矫治力的作用线通常位于牙齿阻抗中心的骀方,在后牙段扩弓时容易造成腭尖下垂,而Aligner能全面包绕牙冠,在磨牙控根方面有独特的优势,但是较难控制牙弓远中游离端的牙。游离端后牙应设置附件和辅助装置。但Houle等^[39]指出:Invisalign在上颌扩

弓过程中,更多的是一种唇舌向的倾斜移动,而且随着扩弓部位的后移,扩弓的表达率显著降低,所以在扩弓时应给予足够的过矫正。值得关注的是,在以往牙周炎患者的固定矫治中,由于牙槽骨高度的降低,冠根比增大,牙旋转中心向根方偏移,极易造成牙的倾斜移动,这进一步促使了龈上菌斑向龈下迁移,加重牙周组织的破坏^[40-41]。而 Invisalign 可通过附件和过矫正设计,合理调节患牙 M/F 值,获得更有预期的整体性控根运动,有利于防止牙槽骨的继续吸收^[7,42]。同时, Invisalign 可通过 Clincheck 设计减慢牙移动的速度和减小每步矫治器的倾斜角度,有利于牙槽骨的改建^[43]。综合以上文献资料,可初步按如下方式归纳 Invisalign 中牙移动的效能(表2),并以其为基础,尝试推测运用 invisalign 治疗病例种类的难度划分等级(表3)。

表2 Invisalign 牙移动效能表

Table 2 Treatment efficacy of Invisalign for tooth movement	
可预测性	牙移动方式
高	唇舌向倾斜移动、远中整体移动
中	压低移动、控根移动
低	伸长移动、旋转移动

表3 Invisalign 治疗错殆难易程度表

Table 3 Difficulty assessment of correcting different malocclusions with Invisalign	
治疗难度	病例种类
易	轻度拥挤、轻度散在间隙、Ⅱ类磨牙关系改善等
中	轻、中度开殆;轻、中度深覆殆;小范围内控根移动;上牙弓狭窄扩弓等
难	重度开殆、重度深覆殆、重度扭转、拔牙矫治等

3 结束语

相比于早期的 Invisalign G1、G2, Invisalign 后续产品通过引入 Smart Force、Smart stage 以及 Smart Track,其在控根和整体移动等方面已经取得了长足的进步。虽然 Invisalign 在实现牙的伸长、去扭转等方面仍存在不足,但其在压低、倾斜移动以及远移磨牙上相对传统固定矫治已表现出优异的性能。需要指出的是,目前关于隐适美牙移动效能的研究存在着很大的局限性如:样本量较小、模型匹配标准不一致、未考虑患者依从性的差异等。此外,由于附件通常有复合树脂材料所制作,在患者正常饮食过程中不可避免的存在着附件的磨

损,以上所有研究均未考虑此因素,因此,附件的磨损是否对牙移动的效能存在影响有待进一步研究。治疗过程中,牙齿的骨开裂、骨开窗也要引起正畸医生的足够重视。综上所述,正畸医师在给患者行 Invisalign 矫治设计时,需在深刻理解其生物力学机制的前提下,并对其牙移动的局限性和优势有着全面的认识,并确保牙根留在牙槽骨内,才能获得最佳的疗效。

参考文献

[1] Morton J, Derakhshan M, Kaza S, et al. Design of the invisalign system performance[J]. Semin Orthod, 2017, 23(1): 3-11.

[2] Kesling HD. Coordinating the predetermined pattern and tooth positioner with conventional treatment[J]. Am J Orthod Oral Surg, 1946, 32(5): 285-293.

[3] Bräscher AK, Zuran D, Feldmann RE, et al. Patient survey on Invisalign® treatment comparen the Smart Track® material to the previous aligner material[J]. J Orofac Orthop, 2016, 77(6): 432-438.

[4] Fujiyama K, Honjo T, Suzuki M, et al. Analysis of pain level in cases treated with Invisalign aligner: comparison with fixed edge-wise appliance therapy[J]. Prog Orthod, 2014, 15(1): 64.

[5] Gu J, Tang JS, Skulski B, et al. Evaluation of invisalign treatment effectiveness and efficiency compared with conventional fixed appliances using the peer assessment rating index[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2017, 151(2): 259-266.

[6] 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(5): 1475-1484.

[7] Hennessy J, Al-Awadhi EA. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement[J]. J Orthod, 2016, 43(1): 68-76.

[8] Sheridan JJ, Ledoux W, McMinn R. Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention[J]. J Clin Orthod, 1993, 27(1): 37-45.

[9] 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.

[10] Kravitz ND, Kusnoto B, Begole E, et al. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009, 135(1): 27-35.

[11] Krieger E, Seiferth J, Marinello I, et al. Invisalign® treatment in the anterior region[J]. J Orofac Orthop, 2012, 73(5): 365-376.

[12] Align Technology. Invisalign G4 frequently asked questions[EB/OL]. <https://resources.invisalign.com/apac/zh-cn/Pages/Faqs.aspx>, 2017-05-21.

[13] Technology A. Deep bite frequently asked questions[EB/OL]. <https://resources.invisalign.com/apac/zh-cn/Pages/Faqs.aspx>, 2017-05-21.

[14] Align Technology. Invisalign G6 clinical innovations for orthodon-

- tic treatment of first premolar extractions[EB/OL]. <https://resources.invisalign.com/apac/zh-cn/Pages/Faqs.aspx>, 2017-05-21.
- [15] Womack WR. Four-premolar extraction treatment with Invisalign[J]. *J Clin Orthod*, 2006, 40(8): 493-500.
- [16] Technology A. Invisalign treatment with mandibular advancement[EB/OL]. https://resources.invisalign.com/maf/video_cn, 2018-05-15.
- [17] Azaripour A, Weusmann J, Mahmoodi B, et al. Braces *versus* Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study[J]. *BMC Oral Health*, 2015, 15(1): 69.
- [18] Rossini G, Parrini S, Castorflorio T, et al. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review[J]. *Angle Orthod*, 2015, 85(5): 881-889.
- [19] Khosravi R, Cohanin B, Hujoel P, et al. Management of overbite with the Invisalign appliance[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2017, 151(4): 691-699.
- [20] Guarneri MP, Oliverio T, Silvestre I, et al. Open bite treatment using clear aligners[J]. *Angle Orthod*, 2013, 83(5): 913-919.
- [21] Giancotti A, Garino F, Mampieri G. Use of clear aligners in open bite cases: an unexpected treatment option[J]. *J Orthod*, 2017, 44(2): 114-125.
- [22] Moshiri S, Araújo EA, McCray JF, et al. Cephalometric evaluation of adult anterior open bite non-extraction treatment with Invisalign[J]. *Dental Press J Orthod*, 2017, 22(5): 30-38.
- [23] Bowman SJ. Improving the predictability of clear aligners[J]. *Semin Orthod*, 2017, 23(1): 65-75.
- [24] Lagravère MO, Flores-Mir C. The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: a systematic review[J]. *J Am Dent Assoc*, 2005, 136(12): 1724-1729.
- [25] Krieger E, Seifert J, Saric I, et al. Accuracy of invisalign® treatments in the anterior tooth region. first results[J]. *J Orofac Orthop*, 2011, 72(2): 141-149.
- [26] Elhaddaoui R, Qoraich HS, Bahije L, et al. Orthodontic aligners and root resorption: a systematic review[J]. *Int Orthod*, 2017, 15(1): 1-12.
- [27] Nguyen CV, Chen J. The Invisalign system[M]. New Malden, UK: Quintessence Publishing Company, 2006: 12-32.
- [28] Pagani R, Signorino F, Poli PP, et al. The use of invisalign® system in the management of the orthodontic treatment before and after class III surgical approach[J]. *Case Rep Dent*, 2016: 9231219.
- [29] Boyd R. Predictability of successful orthodontic treatment using invisalign[EB/OL]. http://www.gpso.org/events/2003_outline.pdf, 2017-05-21.
- [30] Ravera S, Castorflorio T, Garino F, et al. Maxillary molar distalization with aligners in adult patients: a multicenter retrospective study[J]. *Prog Orthod*, 2016, 17(1): 12.
- [31] Boyd RL, Waskalic V. Three-dimensional diagnosis and orthodontic treatment of complex malocclusions with the invisalign appliance[J]. *Semin Orthod*, 2001, 7(4): 274-293.
- [32] 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]. *BMC Oral Health*, 2014, 14(1): 68.
- [33] Brezniak N. The clear plastic appliance: a biomechanical point of view[J]. *Angle Orthod*, 2008, 78(2): 381-382.
- [34] Schupp W, Haubrich J, Neumann I. Treatment of anterior open bite with the Invisalign system[J]. *J Clin Orthod*, 2010, 44(8): 501-507.
- [35] Hennessy J, Garvey T, Al-Awadhi EA. A randomized clinical trial comparing mandibular incisor proclination produced by fixed labial appliances and clear aligners[J]. *Angle Orthod*, 2016, 86(5): 706-712.
- [36] 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.
- [37] Grünheid T, Loh C, Larson BE. How accurate is Invisalign in non-extraction cases? Are predicted tooth positions achieved?[J]. *Angle Orthod*, 2017, 87(6): 809-815.
- [38] Pavoni C, Lione R, Laganò G, et al. Self-ligating *versus* Invisalign: analysis of dento-alveolar effects[J]. *Ann Stomatol*, 2011(1/2): 23-27.
- [39] Houle JP, Piedade L, Todescan R, et al. The predictability of transverse changes with Invisalign[J]. *Angle Orthod*, 2017, 87(1): 19-24.
- [40] Krishnan V. Root resorption with orthodontic mechanics: pertinent areas revisited[J]. *Aust Dent J*, 2017, 62(Suppl 1): 71-77.
- [41] Rasperini G, Acunzo R, Cannalire P, et al. Influence of periodontal biotype on root surface exposure during orthodontic treatment: a preliminary study[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2015, 35(5): 665-675.
- [42] Ravera S, Gay G, Castorflorio T, et al. Root resorption in mandibular incisors during orthodontic treatment with invisalign®: a radiometric study[J]. *Iran J Orthod*, 2017, 12(1): 18-24.
- [43] Utreja A. Low-Magnitude forces for bone modeling and remodeling in dentofacial orthopedics[J]. *Curr Osteoporos Rep*, 2018, 16(3): 277-282.

(编辑 张琳)