

无托槽隐形矫治器对成人拔牙患者上中切牙压低效率的影响*

周勇全¹, 侯万邦¹, 余 侠², 袁洪燕², 刘 锐¹, 温秀杰^{1,2△}

(1. 陆军特色医学中心口腔科, 重庆 400042; 2. 西南医科大学附属口腔医院正畸科, 四川泸州 646000)

[摘要] **目的** 了解无托槽隐形矫治器对成人拔牙患者的上中切牙压低的实现效率及与默认方案压低值之间的关系。**方法** 选择拔除 4 个前磨牙的成人患者 7 例(拔除双侧第一前磨牙或第二前磨牙)。利用 Clincheck 默认方案中的牙齿移动量表获得上中切牙 A 压低值, 并将方案中初始与预期结束的重叠图像截图后导入 Adobe Photoshop 2020 软件中测量预期压低距离, 得出 B 压低值。从 Clincheck 中导出患者预期治疗前后及实际治疗结束的模型数据, 导入到 Materialise Magics22.0, Geomagic Control X 中进行切割、重叠, 测量预期与实际压低距离, 得出 C 压低值及 D 压低值。整理数据后进行统计分析。**结果** 在 3 个预期压低值中 A 与 B、C 压低值比较存在明显差异($P < 0.05$); B、C 压低值间相同牙位比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。C 压低值与 D 压低值之间存在明显差异($P < 0.05$)。A 压低值与 D 压低值之间呈直线相关($P < 0.05$), 其直线回归方程为 $Y = 0.190 - 0.895X$, Y 值为 D 压低值, X 值为 A 压低值。**结论** 无托槽隐形矫治器上中切牙默认方案压低值越大, 提示其临床中的伸长趋势越强, 需要医生重视并设计更多的压低过矫治。

[关键词] 口腔正畸; 无托槽隐形矫治; 三维模型; 牙齿压低; 牙移动效率**[中图法分类号]** R783.5**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2021)16-2721-05Effect of clear aligner on upper central incisor intrusion efficiency
in adult patients with tooth extraction*ZHOU Yongquan¹, HOU Wanbang¹, YU Xia², YUAN Hongyan², LIU Rui¹, WEN Xiujie^{1,2△}

(1. Department of Stomatology, Army Characteristic Medical Center,

Chongqing 400042, China; 2. Department of Orthodontics, Hospital of Stomatology,

Southwest Medical University, Luzhou, Sichuan 646000, China)

[Abstract] **Objective** To understand the realization efficiency of the clear aligner on the upper central incisor intrusion in the adult patients of tooth extraction and its relationship with the intrusion value of the default scheme. **Methods** Seven adult patients with 4 premolars extraction (bilateral first or second premolars extraction) were selected. The tooth movement scale in the Clincheck default protocol was used to obtain the intrusion value A of the upper central incisor, and the initial and expectantly ended overlapping image screenshots in the protocol were imported into Adobe Photoshop 2020 software to measure the expected intrusion distance and obtain the intrusion value B. The model data before and after the expected treatment and at the end of actual treatment were exported from Clincheck, and then were imported into Materialise Magics22.0, Geomagic Control X for cutting and overlapping, finally the expected intrusion distance and actual intrusion distance were measured to obtain the intrusion values C and D. Statistical analysis was conducted after the data collection. **Results** Among the three expected intrusion values, there were significant differences between value A with value B and C ($P < 0.05$), while there was no statistical difference in the comparison between the intrusion value B and C at the same tooth position ($P > 0.05$). Moreover, there was significant difference between intrusion value C and intrusion value D ($P < 0.05$). In addition, there was a linear correlation between the intrusion value A and intrusion value D ($P < 0.05$), and its linear regression equation was $Y = 0.190 - 0.895X$, where the Y value was the intrusion value D, and the X value was the intrusion value A. **Conclusion** The larger the default intrusion value of the upper incisor in clear aligner, prompting that the stronger the trend of the actual clinical extrusion, which needs doctors to focus on and design more intrusion

* 基金项目: 国家自然科学基金面上项目(81970906)。 作者简介: 周勇全(1992-), 医师, 在读硕士研究生, 主要从事无托槽隐形矫治的研究。 △ 通信作者, E-mail: wenxiujie@tom.com。

orthodontic treatment.

[Key words] orthodontics; clear aligner treatment; three-dimensional model; tooth intrusion; tooth movement efficiency

无托槽隐形矫治技术于 1998 年问世并应用于临床,经过不断改进与革新,特别是数字化口扫与三维(3D)打印技术的出现,进一步催生该技术的成熟,越来越多的医生将其运用于拔牙矫治病例中^[1-2]。作为一种全新的矫治技术,无托槽隐形矫治器的矫治原理与生物力学均与传统的正畸技术有很大的区别。在拔牙矫治上前牙的内收过程中,无托槽隐形矫治器需要在上前牙段的多个方向上同时施力,作用力系较为复杂,同时由于拔牙间隙的存在,拔牙空泡所在位置的矫治力传递最为薄弱,临床上常出现前牙覆殆加深,前磨牙区开殆的“过山车”现象^[3-4]。相关研究也指出,无托槽隐形矫治在拔牙病例关闭间隙时的上前牙覆殆加深与其垂直向控制上的不足密切相关^[5]。本研究通过明确无托槽隐形矫治器在成人拔牙病例中上前牙压低的实现效率及与默认方案压低值之间的相关联系,旨在为正畸医生在临床上设计矫治方案时提供更精确的指导。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2018 年 6 月至 2021 年 1 月陆军特色医学中心口腔科行 invisalign 矫治器治疗拔牙正畸患者 35 例。纳入标准:(1)患者年龄均大于 18 岁且小于 30 岁,经侧位片检查显示患者生长发育稳定;(2)患者均采用 invisalign 矫治器进行矫治,设计方案均需拔除双侧上颌第一前磨牙或第二前磨牙进行上前牙内收;(3)患者治疗方案中上前中切牙均不额外设计压低;(4)患者上前中切牙均为天然牙,无修复体及大面积牙体缺损;(5)患者均存在上颌磨牙,且治疗方案中上颌磨牙在垂直方向无较多移动且无较大角度的唇(颊)舌向扭转;(6)所有患者均佩戴完成第一阶段的治疗步骤,矫治过程中未更改治疗方案及中途重启;(7)患者均具有良好的依从性,遵医嘱每天佩戴矫治器不少于 22 h,使用咬胶,每 2 周更换一副矫治器且能按时复诊;(8)患者口腔其他状况良好,牙体、牙列、牙周未见异常及全身健康,无正畸、正颌既往史。排除标准:(1)颌面部生长发育处于不稳定期的患者;(2)第一阶段治疗未完成的患者;(3)治疗方案中上前中切牙设计额外压低的患者;(4)上前中切牙存在修复体或大面积牙体缺损的患者;(5)依从性差,未能遵医嘱佩戴矫治器,导致牙齿移动不到位的患者;(6)设计中上颌磨牙在垂直方向存在较多移动或有较大角度的近远中扭转矫正的患者;(7)口内上颌磨牙有缺失的患者;(8)既往进行过正畸、正颌治疗的患者。

嘱患者每副矫治器佩戴 2 周,每佩戴 4 副矫治器

后复诊 1 次,检查患者矫治器佩戴情况及牙周状况等。每佩戴 10 副对患者口内扫描及头颅侧位片检查进行进展评估,检查患者牙齿的移动状况。最终选取符合纳入标准的成年患者 7 例,此样本中患者均拔除双侧上颌第一前磨牙或第二前磨牙,并内收上前牙改善错殆畸形。其中男性 2 名,女性 5 名,年龄 18~30 岁,纳入观测牙齿均为上颌中切牙,共 14 颗。以上患者遵照医嘱及治疗计划佩戴完第一阶段的治疗步骤,进入调整的重启第二阶段。本研究经陆军特色医学中心伦理委员会审核通过,所有受试者均知情同意。

1.2 方法

1.2.1 实验设备

计算机配置为 Surface Pro5 (Microsoft, 美国), windows10 (Microsoft, 美国)。扫描设备为 Itero 口内扫描仪(爱奇科技,美国)。测量软件为 Geomagic Control X (3D Systems, 美国), Materialise Magics 22.0 (Materialise, 比利时), Adobe Photoshop 2020 (Adobe Systems, 美国)。

1.2.2 获取 3D 数字化模型

根据患者的临床检查指标,制订矫治计划,获得 Clincheck 治疗方案,即可导出治疗前及预期治疗结束时的患者 3D 数字化模型(格式为 .STL)。待患者完成第一阶段重启时再次对患者进行口内扫描后提交,获得第二阶段的 Clincheck 治疗方案。此时第二阶段初始的 3D 数字化模型即为患者第一阶段治疗结束后牙齿实际移动的 3D 数字化模型。

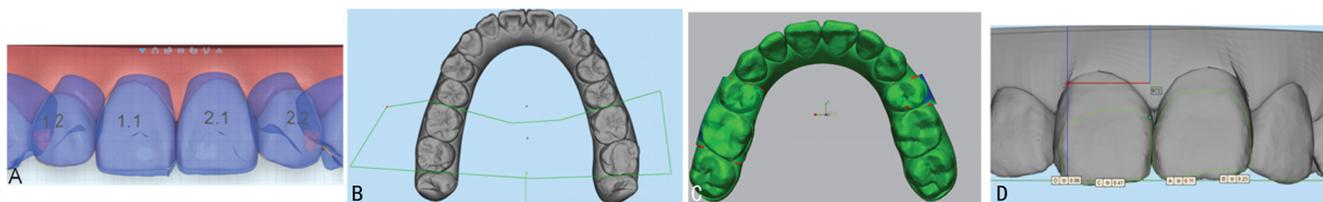
1.2.3 测量方法

根据默认治疗方案, Clincheck 生成牙齿移动量表,该表中的上前中切牙压低值记为 A 压低值;将 Clincheck 动画方案中初始与预期结束时的冠状面二维重叠图像截图后导入到 PS (Adobe Photoshop 2020) 软件中,以其重叠图像所提供的网格比例的 1 mm 距离为标尺,分别测量上前中切牙近中切角点、切缘点及远中切角点垂直高度的距离差值,取其平均值,即为 B 压低值(图 1A)。

导出的数字化模型导入到 Materialise Magics 22.0 中,根据 Clincheck 所提供的牙齿移动量表,对患者初始模型中未设计移动或移动较少的磨牙进行切割^[6](图 1B),获得切割后初始图形(格式为 .STL)。将切割后初始图形与预期治疗效果图形导入到 Geomagic Control X 中进行重叠,重叠时以切割后初始图形为参考数据,预期治疗效果图形为测试数据。重叠时需选取较为明显的牙尖、中央窝、颊面沟等解剖标志作为标志点进行重叠。重叠后进行 3D 比较,

设置比较标准为 0.5 mm^[7],若显示均为绿色,则表示重叠良好(图 1C)。导出重叠好的测试数据图形(格式为.STL),随后导入 Materialise Magics22.0 中,可见已与初始图形重合,在初始模型中建立三维坐标系,确定初始数字模型殆平面,并使殆平面与底平面(即三维坐标系中 XY 平面)重合,Z 轴代表垂直方向。每个上颌中切牙选取 3 个测量点,分别为近中切角点、切缘点及远中切角点,测量每个点至殆平面的垂直距离,预期与初始数字图形垂直距离的差值即为 C 压低值,正值代表压低,负值代表伸长,D 压低值的测量方法同上(图 1D)。4 种测量指标具体含义:(1)A

压低值(方案移动量表压低值),默认方案,即医生没有特殊要求和额外设计压低的前提下,Clincheck 动画方案中牙齿移动量表提供的上中切牙压低值;(2)B 压低值(方案冠状面二维压低值),Clincheck 动画方案初始与预期结束的冠状面二维重叠图像截图后导入 PS 软件中测量所得的上中切牙预期压低值;(3)C 压低值(方案 3D 压低值),患者初始与预期结束时的 3D 数字图像重叠后导入测量软件中所得的上中切牙预期压低值;(4)D 压低值(实际 3D 压低值),患者初始与实际结束时的 3D 数字图像重叠后导入测量软件中所得的上中切牙实际压低值。



A:测量 B 压低值;B:切割初始图形中不移动或移动较少的磨牙;C:切割磨牙与预期治疗效果图形重叠并 3D 比较;D:测量 C 压低值与 D 压低值。

图 1 上中切牙各项压低值指标测量方法

1.3 统计学处理

使用 SPSS 22.0 统计软件进行统计分析,A 压低值、B 压低值、C 压低值、D 压低值采用 $\bar{x} \pm s$ 表示并进行配对 *t* 检验,A 压低值和 D 压低值进行回归分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

14 颗受试上中切牙 A 压低值的平均值为 (3.81 ± 1.07) mm,其中最大压低值为 5.5 mm,最小压低值为 2.4 mm。在对上中切牙预期压低结果的测量时,首先运用 PS 软件初步测量得到 B 压低值的平均值为 (0.51 ± 0.48) mm,与 A 压低值比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。其次,运用 3D 重叠测量得到 C 压低值的平均值为 (-0.23 ± 0.77) mm,与 A 压低值之间同样存在明显差异($P < 0.05$)。为了验证两种测量方法结果的科学性,将 B 压低值与 C 压低值比较发现,在进行相同牙位比较时无明显差异($P > 0.05$),说明两种结果的一致性,见表 1。

在对治疗结束后上中切牙实际的压低量(D 压低值)进行 3D 重叠测量后发现均为负值,平均值为 (-3.70 ± 1.45) mm。将 C 压低值与 D 压低值进行

比较后发现存在明显差异($P < 0.05$),见表 2。

将 A 压低值与 D 压低值两组数据绘制散点图,由于其中一个样本的两颗上中切牙存在严重的牙冠唇侧倾斜,故予以剔除,样本量为 12 颗上中切牙,根据散点图可以看出二者之间存在直线相关。通过直线回归分析对 A 压低值与 D 压低值的相关性进行进一步检验,结果显示二者之间存在明显的直线相关关系($r = 0.805, P < 0.05$),决定系数 $R^2 = 0.646$,直线回归方程为 $Y = 0.190 - 0.895X$,Y 值为 D 压低值,X 为 A 压低值,见图 2。

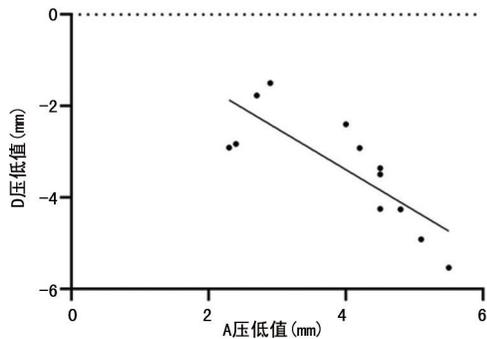


图 2 A 压低值与 D 压低值线性相关分析

表 1 A 压低值、B 压低值及 C 压低值相互比较($\bar{x} \pm s$,mm)

指标	n	A 压低值	B 压低值	C 压低值	P_1	P_2	P_3
11 牙压低距离	7	3.89 ± 1.13	0.63 ± 0.17	-0.12 ± 0.81	< 0.05	< 0.05	> 0.05
21 牙压低距离	7	3.73 ± 1.10	0.39 ± 0.66	-0.34 ± 0.78	< 0.05	< 0.05	> 0.05
中切牙压低距离	14	3.81 ± 1.07	0.51 ± 0.48	-0.23 ± 0.77	< 0.05	< 0.05	< 0.05

P_1 :A 压低值与 B 压低值比较; P_2 :A 压低值与 C 压低值比较; P_3 :B 压低值与 C 压低值比较。

表 2 C 压低值与 D 压低值比较($\bar{x} \pm s$, mm)

指标	n	C 压低值	D 压低值	P
11 牙压低距离	7	-0.12±0.81	-3.62±1.53	<0.05
21 牙压低距离	7	-0.34±0.78	-3.79±1.49	<0.05
中切牙压低距离	14	-0.23±0.77	-3.70±1.45	<0.05

3 讨 论

无托槽隐形矫治经过 20 余年的发展,牙齿移动效率一直是关注的焦点,其中上前牙的垂直向控制在改善患者面容及深覆殆方面具有重要的作用。在本研究中,对于每一例需要拔牙内收的患者,Clincheck 默认方案中上中切牙均设计了明显的压低,即 A 压低值,均值为(3.81±1.07)mm。但根据 Clincheck 方案中初始与结束模型冠状面二维重叠对比后测量,在垂直高度上的 B 压低值均值为(0.51±0.48)mm,而通过导出后的 3D 数字模型重叠后测量得出的 C 压低值均值为(-0.23±0.77)mm,两种测量结果均接近于零,并且与 A 压低值之间均存在明显差异($P < 0.05$)。研究结果表明,Clincheck 方案通过大数据设计的默认压低量在患者实际治疗中上中切牙垂直方向上的距离变化并不明显,基本上均维持原有的高度不变。同时国内外多项研究发现无托槽隐形矫治整体内收上前牙时,上前牙表现为倾斜移动伴有伸长趋势,并且均受到龈方向殆方的伸长力^[8-10]。因此结合试验结果,本研究推测默认方案设计的压低量主要是为了在上前牙内收时对抗其伸长趋势,在垂直方向上维持不变,并不是临床上所认为的实际压低。

本研究通过患者上颌 3D 数字模型重建后测量得出 D 压低值为(-3.70±1.45)mm,与 C 压低值比较后发现存在明显差异($P < 0.05$),即无托槽隐形矫治器在拔牙矫治中,默认方案中设计的上中切牙压低均未实现,反而存在不同程度的伸长。KRIEGER 等^[11]和 KASSAS 等^[12]研究也指出,无托槽隐形矫治器在牙齿垂直方向的实际移动数值与方案设计移动数值之间存在明显差异。CHARALAMPAKIS 等^[13]同样通过 3D 重叠测量无托槽隐形矫治器在垂直、水平、旋转 3 个方向上的牙齿移动效率,指出切牙压低的实现效率最低。相关研究也表明,无托槽隐形矫治器在上前牙内收时,每一步所设计的内收移动量越大,无托槽隐形矫治器越可能脱套,从而导致切牙伸长,牙齿的预期压低不能实现^[14],这均与本试验的研究结果相符。但 KRAVITZ 等^[15]和 ROSSINI 等^[16]研究发现,前牙压低的有效率均在 40%左右,与之前研究相比,试验结果存在差异的原因可能为纳入的试验病例中拔牙病例较少,未考虑拔牙病例上前牙内收过程中存在多个方向的受力及移动,从而影响牙齿在临床上的实际移动效率。

尽管多项研究已经证实了牙颌数字模型测量和

3D 重叠的精确性、可重复性^[17-18],但研究中进行上颌对比时多采用重叠腭中缝和腭皱襞等稳定的组织。鉴于 Clincheck 方案仅提供患者牙列的数字模型,国内外学者通过磨牙的重叠对牙齿移动效率进行了相关研究,但磨牙重叠存在不确定性,如支抗丢失时的磨牙移动^[19-20]。因此本试验在使用磨牙重叠的同时,采用两种方法对预期压低值进行测量并且按牙位分别进行统计学比较,旨在通过对比,验证测量结果的准确性及科学性。在试验中比较预期压低值 B 与预期压低值 C 时发现,二者在进行相同牙位比较时无明显差异,说明两种测量方法结果的一致性,牙颌数字模型测量和 3D 重叠的准确性得到进一步验证。而将所有中切牙进行比较时存在明显差异,可能是由牙齿形态或错殆畸形程度不同所导致。因此,正畸医生在临床中可以通过 Clincheck 动画方案预期治疗前后的图形进行二维对比,判断牙齿移动量表中的压低值在临床中的实际意义,从而制订合适的治疗计划。

无托槽隐形矫治器为了对抗上中切牙的伸长趋势而设计相应的压低量,通过绘制散点图,探讨默认方案设计的压低值(即 A 压低值)与实际治疗效果的压低值(即 D 压低值)的相关性,结果发现二者之间存在线性相关性,统计学分析后验证了二者之间呈直线相关,直线回归方程为 $Y = 0.190 - 0.895X$,其中 Y 值为 D 压低值, X 值为 A 压低值,相关系数 $r = 0.805$,决定系数 $R^2 = 0.646$,表示 A 压低值对 D 压低值变化的影响力为 64.6%,35.4%的变化原因不能用 A 压低值解释,可能是上中切牙内收量差异及其他移动方式对实际压低影响的结果^[21]。

尽管从方程 $Y = 0.190 - 0.895X$ 中可以得出上中切牙方案设计的压低越少,其实际伸长的距离越短这一结果,但需要注意的是,这并不能理解为不设计压低,则上中切牙就不会伸长。从之前的试验结果可以得出,无托槽隐形矫治器为了对抗上中切牙的伸长趋势而设计相应的压低量,一定程度上也体现了无托槽隐形矫治器在对抗内收过程中上中切牙伸长时的难易程度。同时结合方程发现,随着对抗难度的提升即默认方案设计压低量的增大,上中切牙伸长的越多。因此可以得出结论,无托槽隐形矫治器在矫治过程中并不能有效对抗上中切牙内收时的伸长趋势。根据方程 $Y = 0.190 - 0.895X$,临床医生在获得 Clincheck 默认方案中设计的压低量后,可以判断上中切牙垂直方向上控制的难易程度,预估上中切牙在治疗过程可能伸长的距离。

本研究也存在一些不足之处。由于拔牙病例矫治完成时间较长,收集的样本量较少,结果可能不具有普遍性。这需要在以后的临床工作中,收集更多的病例,做进一步分析。

综上所述,无托槽隐形矫治器在拔牙矫治的默认方案中,无论 A 压低值设计大小,B、C 压低值都趋向

零,可以推测默认方案中移动量表的压低设计旨在前牙在内收过程中不出现伸长,即对抗中切牙的伸长趋势。然而,在临床工作中,默认方案的压低设计还不足以对抗中切牙的伸长趋势,均表现出不同程度的牙齿伸长,而且移动量表的压低值越大,临床出现的牙齿伸长越多。因此,默认方案中移动量表上的压低值在临床上可帮助医生预测该患者在未来的治疗中切牙可能的伸长量。本研究中还提供了计算方程 $Y = 0.190 - 0.895X$,方便临床医生在方案修改时,快速准确地计算出该患者应该设计多少切牙压低的过矫治量,从而达到理想的矫治效果,减少重启次数,提升矫治效率。

参考文献

- [1] 赵志河. 无托槽隐形矫治的风险及临床策略[J]. 中华口腔医学杂志, 2019, 54(12): 798-802.
- [2] 赖文莉. 安氏 II 类拔牙病例的隐形矫治策略[J]. 口腔医学, 2019, 39(11): 967-973.
- [3] DAI F F, XU T M, SHU G. Comparison of achieved and predicted tooth movement of maxillary first molars and central incisors: first premolar extraction treatment with Invisalign[J]. Angle Orthod, 2019, 89(5): 679-687.
- [4] 施洁琚. 安氏 II 类错牙合畸形的隐形矫治[J]. 口腔医学, 2019, 39(11): 974-977.
- [5] 胡炜. 试论无托槽隐形矫治的垂直向控制[J]. 中华口腔医学杂志, 2020, 55(8): 526-530.
- [6] 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: 68.
- [7] GRÜNHEID T, LOH C, LARSON B E. How accurate is Invisalign in nonextraction cases? Are predicted tooth positions achieved[J]. Angle Orthod, 2017, 87(6): 809-815.
- [8] JIANG T, WU R Y, WANG J K, et al. Clear aligners for maxillary anterior en masse retraction: a 3D finite element study[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 10156.
- [9] 孟雪欢, 王春娟, 王超, 等. 无托槽隐形矫治整体内收减数正畸患者前牙的三维有限元分析[J]. 中华口腔医学杂志, 2019, 54(11): 753-759.
- [10] TEPEDINO M, PAOLONI V, COZZA P, et al. Movement of anterior teeth using clear aligners: a three-dimensional, retrospective evaluation[J]. Prog Orthod, 2018, 19(1): 9.
- [11] KRIEGER E, SEIFERTH J, MARINELLO I, et al. Invisalign® treatment in the anterior region: were the predicted tooth movements achieved[J]. J Orofac Orthop, 2012, 73(5): 365-376.
- [12] KASSAS W, AL-JEWAIR T, PRESTON C B, et al. Assessment of Invisalign treatment outcomes using the ABO Model Grading System [J]. J World Fed Orthod, 2016, 2(2): e61-64.
- [13] CHARALAMPAKIS O, ILIADI A, UENO H, et al. Accuracy of clear aligners: a retrospective study of patients who needed refinement[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2018, 154(1): 47-54.
- [14] HAHN W, ZAPF A, DATHE H, et al. Torquing an upper central incisor with aligners: acting forces and biomechanical principles[J]. Eur J Orthod, 2010, 32(6): 607-613.
- [15] KRAVITZ N D, 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.
- [16] ROSSINI G, PARRINI S, CASTROFLORIO T, et al. Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: a systematic review[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2016, 149(2): 161-170.
- [17] DUTTON E, LUDLOW M, MENNITO A, et al. The effect different substrates have on the trueness and precision of eight different intraoral scanners[J]. J Esthet Restor Dent, 2019, 32(2): 204-218.
- [18] 刘浩, 李巍然. 正畸领域三维影像重叠方法的研究进展[J]. 中华口腔正畸学杂志, 2018, 25(4): 222-226.
- [19] 袁惠芳. 成人无托槽隐形矫治牙齿移动效率的三维模型重叠测量研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2019.
- [20] MA L, XU T, LIN J. Validation of a three-dimensional facial scanning system based on structured light techniques[J]. Comput Methods Programs Biomed, 2009, 94(3): 290-298.
- [21] 宋保龙, 王鹏, 李丹, 等. 无托槽隐形矫治技术压低前牙的效率分析[J]. 中华口腔正畸学杂志, 2018, 25(4): 186-190.