

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2023.10.005

· 临床研究 ·

# 无托槽隐形矫治拔牙病例上切牙压低实现量及其影响因素分析

廖乃麒, 钱语然, 李渊, 唐振兴, 赵志河, 李宇

口腔疾病研究国家重点实验室, 国家口腔疾病临床医学研究中心, 四川大学华西口腔医院正畸科, 四川 成都 (610041)

**【摘要】** 目的 探讨无托槽隐形矫治拔除上颌前磨牙病例中, 上切牙的压低实现量及其影响因素。方法 本研究已通过单位伦理委员会审查批准, 并获得患者知情同意。根据纳入、排除标准, 纳入拔除双侧上颌第一前磨牙、采用无托槽隐形矫治的成年女性患者共30例, 获取患者治疗前后的锥形束CT数据, 进行三维重建和配准对齐。建立空间坐标系, 测量上颌中切牙与侧切牙的压低实现量, 计算压低实现率, 并利用多元线性回归分析探讨影响压低实现量的相关因素。**结果** 上颌切牙的整体压低实现率为54%, 其中上颌中切牙(48%)小于上颌侧切牙(59%), 差异有统计学意义( $P < 0.001$ )。回归分析显示压低设计量、分步压低设计与压低实现量呈正相关; 舌移设计量、II类颌间牵引的使用与压低实现量呈负相关; 而初始覆殆、初始覆盖、拥挤度、上中切牙唇倾度、第一期牙套佩戴副数、尖牙区附件类型、后牙区附件类型及是否设计前牙平导与压低实现量无显著相关性。**结论** 拔除上颌第一前磨牙的无托槽隐形矫治病例中, 上颌中切牙压低实现率小于上颌侧切牙。上切牙压低实现量受多种因素影响, 为提高隐形矫治拔牙病例的垂直向控制效果, 应综合考虑这些因素。

**【关键词】** 无托槽隐形矫治; 锥形束CT; 牙移动实现率; 压低移动; 切牙; 减数; 正畸治疗; 过山车效应

**【中图分类号】** R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2023)10-0720-07

**【引用著录格式】** 廖乃麒, 钱语然, 李渊, 等. 无托槽隐形矫治拔牙病例上切牙压低实现量及其影响因素分析[J]. 口腔疾病防治, 2023, 31(10): 720-726. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2023.10.005.

**Achieved intrusion amount of the maxillary incisors and the influencing factors in clear aligner extraction cases**

LIAO Naiqi, QIAN Yuran, LI Yuan, TANG Zhenxing, ZHAO Zhihe, LI Yu. State Key Laboratory of Oral Diseases & National Clinical Research Center for Oral Diseases, Department of Orthodontics, West China Hospital and School of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Corresponding author: LI Yu, Email: yuli@scu.edu.cn, Tel: 86-28-85503645

**【Abstract】 Objective** To investigate the achieved intrusion amount of the maxillary incisors and the influencing factors in clear aligner cases treated with extraction of premolars. **Methods** This study has been reviewed and approved by the Ethics Committee, and informed consent has been obtained from patients. Thirty adult female patients who underwent extraction of the bilateral maxillary first premolars followed by clear aligner therapy were included. CBCT data before and after treatment were obtained, and three-dimensional reconstruction with registration alignment was performed. A spatial coordinate system was established, and the achieved intrusion amount was measured, followed by calculation of the intrusion efficacy. The factors related to the achieved intrusion amount were investigated through multiple linear regression analysis. **Results** The overall efficacy of maxillary incisor intrusion was 54%, with the maxillary central incisors (48%) lower than the lateral incisors (59%), which was statistically significant ( $P < 0.001$ ). Regression analysis showed that the designed intrusion amount and the stepwise intrusion design were positively correlated

**【收稿日期】** 2023-03-22; **【修回日期】** 2023-05-04

**【基金项目】** 四川省重大科技专项项目(2022ZDZX0031)

**【作者简介】** 廖乃麒, 硕士, Email: 892612794@qq.com

**【通信作者】** 李宇, 教授, 博士, Email: yuli@scu.edu.cn, Tel: 86-28-85503645



微信公众号

with the achieved intrusion amount. The designed retroclination amount and use of class II intermaxillary elastics were negatively correlated with the achieved intrusion amount. The initial overbite, overjet, crowding, upper central incisor inclination, amount of the first series of aligners, canine attachment type, posterior teeth attachment type and bite ramps had no significant correlation with the achieved intrusion amount. **Conclusion** In maxillary first premolar extraction cases treated with clear aligners, the upper central incisors have lower efficacy of intrusion movement than the lateral incisors. The achieved intrusion amount of maxillary incisors was influenced by multiple factors, which should be considered comprehensively for better vertical control in such cases.

**【Key words】** clear aligner treatment; cone beam CT; tooth movement efficacy; intrusion movement; incisor; extraction; orthodontic treatment; roller coaster effect

**J Prev Treat Stomatol Dis, 2023, 31(10): 720-726.**

**【Competing interests】** The authors declare no competing interests.

This study was supported by Major Special Science and Technology Project of Sichuan Province (No. 2022ZDZX0031).

透明矫治器 (clear aligner) 最初被用于实现一些简单的正畸治疗目标, 如轻或中度拥挤的解除<sup>[1]</sup>。随着临床水平和技术水平的不断提高, 通过对矫治理念、设计方法及器材材料等方面进行改进和创新<sup>[2]</sup>, 透明矫治器也开始被应用于一些复杂病例<sup>[3-4]</sup>, 包括前磨牙减数病例<sup>[5]</sup>。然而, 由于材料本身的局限性、不同矫治设计及患者个体差异, 透明矫治器对某些牙齿移动类型控制不足<sup>[6-7]</sup>, 会影响支抗稳定性、覆殆深度以及垂直向关系等<sup>[8-9]</sup>。透明矫治器垂直向的控制能力与生物力学密切相关<sup>[10]</sup>, 在使用透明矫治器进行拔牙间隙关闭时需要特别注意上切牙垂直向的控制。以往的研究常使用治疗前后的二维头侧位片或三维牙列模型对牙移动量进行评估, 但前者难以确定解剖标志点且无法反映牙齿的三维移动情况, 后者可能由于口内情况的改变无法提供稳定的重叠条件<sup>[11]</sup>。锥形束CT (cone beam CT, CBCT) 作为一种三维影像学技术, 不受拍摄角度或口内情况变化影响, 可通过稳定的骨性解剖标志实现治疗前后的重叠, 能更准确地测量牙齿的三维移动情况。本研究拟基于CBCT数据三维重建及重叠, 在成人拔除前磨牙隐形矫治病例中测量上切牙压低实现量, 并分析其影响因素。

## 1 资料和方法

### 1.1 样本采集

本研究经四川大学华西口腔医院伦理审查委员会批准 (审批号: WCHSIRB-CT-2022-160), 纳入2018年1月-2021年1月在四川大学华西口腔医院正畸科就诊并由同一位医师主诊的成年女性患者。纳入标准: ①女性, 18~39岁; ②上牙列为7-7,

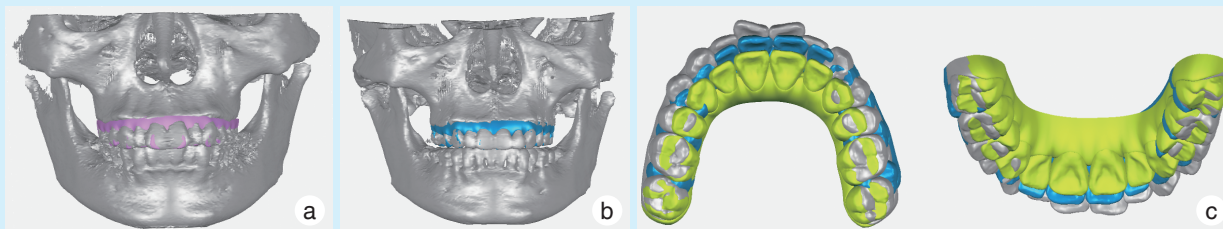
无畸形牙; ③拔除双侧上颌第一前磨牙治疗; ④采用无托槽隐形矫治 (invisalign), 且已完成第一期治疗 (剩余矫治器 ≤ 3步); ⑤在治疗前、后均获得良好的CBCT扫描数据。排除标准: ①颅颌面缺损、综合征或唇腭裂等畸形; ②造成颅颌面部形态改变的生理变化、外科手术及创伤; ③正畸治疗史; ④牙周病或根尖周病; ⑤在该治疗期间使用了节段弓或微种植体支抗。

根据上述标准共纳入30例患者, 合计120颗上切牙, 患者平均年龄 (25.2 ± 6.31) 岁。取得所有患者的知情同意。所有患者按要求使用咬胶、每10 d更换下一步矫治器、每日配戴矫治器不少于20 h。所有患者的终末位覆殆均设计为0 mm, 技师设计透明矫治器的综合平均步距为0.20 mm。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 CBCT数据获取、三维重建及重叠** 所有的CBCT图像均由相同设备、参数设置拍摄。收集纳入患者在治疗前 (T0) 及佩戴完初始系列矫治器后 (T1) 的CBCT数据并以DICOM格式导入Mimics软件 (version 21, Materialize公司, 比利时) 进行三维重建。从ClinCheck软件 (Align Technology, 美国) 中导出患者治疗前 (第一期牙套初始)、预期治疗后 (第一期牙套终末位)、实际治疗后 (第二期牙套初始) 的上颌牙列模型。将上述5种模型以STL格式导入Geomagic Studio软件 (Version 13, Geomagic公司, 美国), 完成它们的配准对齐 (图1)。

**1.2.2 牙移动数据测量** 根据Ren等<sup>[7]</sup>的方法, 以T0时期三维颌骨模型的解剖标点为特征建立空间直角坐标系: 两侧第一磨牙近中颊尖及左侧中切牙近中切角点所在平面作为xy平面, 即横向平面 (TP); 过前鼻嵴点 (ANS) 和后鼻嵴点 (PNS) 且垂直



Geomagic Studio software was used to superimpose the maxillary dentition models and maxilla models of pretreatment, designed-treatment and post-treatment. a: superimposition of the pretreatment maxillary dentition model derived from ClinCheck software and the pretreatment maxilla model reconstructed from CBCT data by Mimics software using Geomagic Studio software; b: superimposition of the post-treatment maxillary dentition model derived from ClinCheck software and the post-treatment maxilla model reconstructed from CBCT data by Mimics software using Geomagic Studio software; c: the final superimposition of the pretreatment (gray), designed-treatment (yellow) and post-treatment (blue) maxillary dentition models

Figure 1 Registration of dentition models before measurement of the designed and achieved tooth movement of maxillary incisors of patients treated with bilateral maxillary first premolar extraction by clear aligners

图1 无托槽隐形矫治拔除双侧上颌第一前磨牙患者上颌切牙的牙移动设计量和实现量的测量前的牙列模型配准对齐

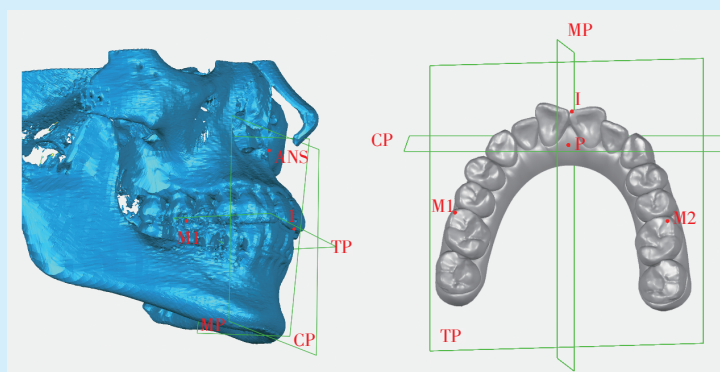
于TP的平面作为yz平面,即正中矢状面(MP);过切牙乳突点中点(P)且同时垂直于TP和MP的平面作为xz平面,即冠状面(CP);在该坐标系中,MP和CP相交于z轴,TP和MP相交于y轴。在牙列模型上完成切牙移动量的测量:压低实现量计算为治疗前后切缘中心点z坐标的差值,压低设计量计算为治疗前与终末位切缘中心点y坐标的差值;舌移设计量计算为治疗前与终末位切缘中心点y坐标的差值(图2)。压低表达率=压低实现量/压低设计量×100%。

1.2.3 患者相关资料收集 在ClinCheck方案、石膏或数字化模型、头影测量侧位片及病历资料中收集所纳入患者的相关信息:①临床信息:初始覆

殆、覆盖、矢状向颌骨关系、拥挤度、上中切牙唇倾度;②方案设计:第一期牙套佩戴副数、尖牙区附件类型(矩形/优化)、后牙区附件类型(矩形/优化)、尖牙和切牙是否设计分步压低、是否设计前牙平导、是否使用Ⅱ类颌间牵引(表1)。

### 1.3 统计学方法

所有数据由两位研究者共同测量并取平均数,4周后随机抽取10%患者重新测量,采用SPSS 22.0软件进行统计分析。采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)对测量者之间及之内进行一致性评估。采用配对样本的t检验,比较压低设计量与实现量之间的差异。采用多因素线性回归分析检验不同因素对压低实现量的影



A three-dimensional coordinate system was established on the post-treatment CBCT model using Geomagic Studio software. The transverse plane (TP) passed through the mesial cusps of bilateral maxillary first molars (M1, M2) and the mesioincisal point of the left central incisor (I). The coronal plane (CP) passed through the anterior nasal spine point (ANS) and posterior nasal spine point (PNS) and was perpendicular to the transverse plane. The midsagittal plane (MP) passed through the midpoint of the incisive papilla (P) and was perpendicular to both the transverse and coronal planes

Figure 2 Measurement coordinate system of the designed and achieved tooth movement of maxillary incisors of patients treated with bilateral maxillary first premolar extraction by clear aligners

图2 无托槽隐形矫治拔除双侧上颌第一前磨牙患者上颌切牙的牙移动设计量和实现量的测量坐标系

表1 无托槽隐形矫治拔除双侧上颌第一前磨牙患者的临床基线特征及治疗设计资料

Table 1 Baseline characteristics and treatment designs of patients treated with bilateral maxillary first premolars extraction by clear aligners

Characteristics	n	Percentage
Overbite		
Normal	9	30%
Grade I	11	36.7%
Grade II	6	20%
Grade III	4	13.3%
Overjet		
Normal	15	50%
Grade I	8	26.7%
Grade II	5	16.7%
Grade III	2	6.6%
APSDs		
Class I	8	26.7%
Class II	22	73.3%
Crowding		
Mild ( $\leq 4$ mm)	29	96.7%
Moderate (4 -8 mm)	1	3.3%
Upper central incisor inclination (U1-SN)		
$\geq 120^\circ$	13	43.3%
$110^\circ-120^\circ$	15	50%
$\leq 110^\circ$	2	6.7%
Amount of the first series of aligners		
$\geq 60$	9	30%
50-60	9	30%
$\leq 50$	12	40%
Designed amount of retraction		
U1	4.65	1.74%
U2	4.19	1.62%
Canine attachment type		
Vertical	30	50%
Optimized	30	50%
Posterior teeth attachment type		
Vertical	132	73.3%
Optimized	48	26.7%
Stepwise intrusion of canines and incisors		
Yes	16	53%
No	14	47%
Whether to use bite ramps		
Yes	5	16.7%
No	25	84.3%
Whether to use class II intermaxillary elastics		
Yes	21	70%
No	9	30%

APSDs: anteroposterior skeletal discrepancies; U1: upper central incisors; U2: upper lateral incisors

响。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 一致性检验结果

本研究利用 ICC 对两位测量者的组内和组间一致性进行了评价,结果表明,测量者 A 的组内相关系数为 0.989,测量者 B 的组内相关系数为 0.988,而且测量者之间的组间相关系数为 0.986,均大于 0.75,表明本研究数据具有较高的可靠性。

### 2.2 压低实现量

上颌中切牙的平均压低设计量和实现量分别为  $(0.96 \pm 0.54)$  mm 和  $(0.46 \pm 0.38)$  mm,二者存在显著差异 ( $P < 0.001$ ),压低表达率为  $48\% \pm 31\%$ 。上颌侧切牙的平均压低设计量和实现量分别为  $(0.72 \pm 0.55)$  mm 和  $(0.44 \pm 0.31)$  mm,二者也存在显著差异 ( $P < 0.001$ ),压低表达率为  $59\% \pm 33\%$ 。中切牙与侧切牙之间的实现率有显著性差异 ( $P < 0.001$ ) (表 2)。

### 2.3 多因素线性回归分析

多因素线性回归分析中,各因素回归系数见表 3。多因素线性回归分析结果提示 4 种因素与压低实现量具有显著相关性 ( $P < 0.05$ ),包括:压低设计量、舌移设计量、前牙压低是否分步进行及是否使用了 II 类颌间牵引。其中,压低设计量、分步压低设计与压低实现量呈正相关;舌移设计量、II 类颌间牵引的使用与压低实现量呈负相关。

## 3 讨论

研究已证实,透明矫治器在正畸牙移动的垂直向控制方面效果较差<sup>[11]</sup>。对于拔牙病例,由于前磨牙缺失导致后牙支抗减弱和钟摆效应,上前牙的压低更加困难。因此,在进行 ClinCheck 终末位设计之后,透明矫治器压低实现量有多少、哪些因素会影响压低实现量以及如何提高压低实现率是临床医生最关心的问题之一。本研究基于严格的纳入、排除标准,纳入了 30 位拔除双侧上颌第一前磨牙隐形矫治患者的 120 颗上颌切牙,采用 CBCT 三维重建及重叠的方法,精确测量上切牙垂直向移动距离,并收集可能的影响因素。本研究发现上颌中切牙及侧切牙的压低实现率分别为 48% 及 59%,且压低设计量、舌移设计量、前牙压低是否分步进行、是否使用 II 类颌间牵引这 4 个因素显著影响最终的压低实现量。

CBCT 在正畸领域被广泛应用于骨性测量。系

表2 无托槽隐形矫治拔除双侧上颌第一前磨牙患者上颌前牙的压低移动的实现率

Tooth type	$\bar{x} \pm s$					
	Achieved amount/mm	Designed amount/mm	Difference/mm	Efficacy (%)	<i>t</i>	<i>P</i>
Upper incisors	0.45 ± 0.35	0.88 ± 0.55	0.39 ± 0.51	54% ± 38%	-8.172	< 0.001
U1	0.46 ± 0.38	0.96 ± 0.54	0.51 ± 0.48	48% ± 31%	-8.464	< 0.001
U2	0.44 ± 0.31	0.72 ± 0.55	0.27 ± 0.52	59% ± 33%	-3.963	< 0.001

U1: upper central incisors. U2: upper lateral incisors

表3 无托槽隐形矫治拔除双侧上颌第一前磨牙患者上颌前牙压低移动实现量的多因素线性回归分析

Table 3 Linear regression analysis of predicting the achieved intrusion amount of patients treated with bilateral maxillary first premolars extraction by clear aligners

Predictor	Upper central incisors			Upper lateral incisors		
	$\beta$	<i>SD</i>	<i>P</i>	$\beta$	<i>SD</i>	<i>P</i>
Constant	0.446	0.186	0.019	0.392	0.224	0.027
Overbite	-0.158	0.057	0.170	-0.094	0.067	0.451
Overjet	0.189	0.096	0.087	0.197	0.052	0.118
Crowding						
Mild						
Moderate	-0.033	0.025	0.769	-0.090	0.024	0.475
Upper central incisor inclination (U1-SN)	0.147	0.081	0.180	0.083	0.046	0.494
Amount of the first series of aligners	0.143	0.043	0.194	0.212	0.028	0.077
Designed intrusion amount	0.861	0.167	< 0.001	0.934	0.277	0.001
Designed retraction amount	-0.256	0.127	< 0.001	-0.132	0.125	0.012
Canine attachment type						
Optimized						
Vertical	0.083	0.024	0.448	0.115	0.046	0.371
Posterior teeth attachment type						
Optimized						
Vertical	0.046	0.022	0.682	-0.079	0.015	0.524
Stepwise intrusion of canines and incisors						
Yes						
No	0.663	0.236	0.002	0.785	0.223	0.025
Whether to use bite ramps						
Yes						
No	0.170	0.079	0.118	0.106	0.058	0.174
Whether to use class II intermaxillary elastics						
Yes						
No	-0.589	0.030	< 0.001	-0.127	0.096	0.296

统评价表明, CBCT对牙槽骨形态学指标的测量与物理测量没有差异<sup>[12]</sup>。尽管研究显示, 基于口内扫描模型和腭黏膜皱襞重叠的方法也能准确稳定地测量牙移动<sup>[13-14]</sup>, 但三维重建的CBCT数据具有更稳定的解剖标志, 有利于重叠的稳定性。对于非拔牙病例, 以往有研究使用基于后牙的区域重叠方法<sup>[15]</sup>和基于全牙弓的整体重叠方法<sup>[16]</sup>对治疗前后的牙列模型进行配准对齐。然而本研究探究的拔除第一前磨牙的病例, 其牙弓长度和形态发生明显改变, 以上2种方法并不适用。因此, 本研究采用了基于上颌骨的最佳拟合重叠方法, 即将

上颌骨作为稳定重叠标志, 对治疗前及佩戴完初始系列矫治器后的上颌骨模型进行最佳拟合重叠, 并将治疗前后的牙列模型与各自时期上颌骨模型中的牙列进行配准对齐, 从而实现了治疗前后牙列的配准对齐, 该方法的有效性和可靠性已得到相关研究的证实<sup>[17]</sup>。

关于隐形矫治切牙压低实现率的研究, 多数国内外研究都是基于非拔牙患者进行。最早一项研究发现, 上颌中切牙和侧切牙的压低实现率仅为44.7%和33.5%, 但样本量较小<sup>[18]</sup>。研究者之后扩大样本量后的研究中, 得出了不同结果: 最大

压低实现率在上颌中切牙下降为33.4%，侧切牙的上升为44.6%<sup>[19]</sup>。也有研究者利用CBCT测量方法，得出了相近结果：上颌中切牙和侧切牙的压低实现率分别为50%和55.8%<sup>[20]</sup>。本研究中，侧切牙压低实现率(59%)显著高于中切牙(48%)，与上述研究结果较为一致。造成这种差异的可能原因有两点：一是中切牙作为整个牙弓最前端的牙齿，受到的牙套控制力和垂直向支抗较弱；二是中切牙的牙根比侧切牙更粗壮，移动困难。在拔除第一前磨牙的研究中，Dai等<sup>[21]</sup>发现上颌中切牙相对伸长了(0.80 ± 0.90)mm。而在本研究中，上颌中切牙压低实现量为(0.46 ± 0.38)mm，与压低设计量相比，相对伸长量为(0.51 ± 0.48)mm，略低于Dai等<sup>[21]</sup>的研究，这可能与研究纳入标准、测量方法、治疗设计的不同有关。

上颌中切牙压低实现量的多因素线性回归分析显示，压低设计量的相关系数为0.861，因此在隐形拔牙矫治中对上前牙区垂直方向的控制，必须考虑过移动(over-movement)的设计。此外，舌移设计量与压低实现量之间呈负相关，其相关系数为-0.256，表示上颌中切牙的舌移量每增加1mm，其压低实现量将减少0.256mm，这是由于无托槽隐形矫治在舌移上切牙时，发生了牙冠的舌向转矩，切牙相对伸长，出现“过山车效应”。其他研究结果也发现配合内收的压低移动，与非内收的压低移动相比，前者压低的实现量显著降低<sup>[22]</sup>。前牙平导是一种常用于隐形矫治的辅助装置，被认为可以用来改善深覆殆的情况。然而，在本研究中，并没有发现前牙平导对于上切牙压低的效果有显著的影响。这与Henick等<sup>[23]</sup>的研究结果相符，他们指出前牙平导虽然能够有效地打开咬合，但其主要机制是通过促进下颌前牙唇向倾斜，而不是通过压低上前牙。另一个可能影响上切牙压低效果的因素是Ⅱ类颌间牵引，在隐形拔牙矫治中，使用Ⅱ类颌间牵引会降低上颌中切牙压低实现量，相比于不使用Ⅱ类颌间牵引的情况，平均每个患者会减少0.589mm，这可能与Ⅱ类颌间牵引使上前牙伸长的副作用有关。由于透明矫治器具有较小的刚度和较大的弹性，在隐形矫治中使用Ⅱ类颌间牵引是否会加剧上颌前牙伸长，并影响深覆殆改善效果，还需要进一步进行更多实验和临床研究。隐形矫治中，附件是一种重要的辅助装置，它可以增加牙套对牙齿的包裹力和传递力量的效率，从而实现更精确和有效的牙齿移动。

有些研究认为，在后牙区使用较多或较大的附件，可以增加后牙区对于垂直力量的抵抗能力，从而促进前牙压低<sup>[24]</sup>。另一些研究则认为，在尖牙区使用较少或较小的附件，可以减少尖牙对于水平力量的阻碍作用，从而使得前牙区更容易压低<sup>[25]</sup>。然而在本研究中，并未发现后牙区附件和尖牙区附件类型与切牙压低实现量之间存在显著相关性。在本研究中虽然使用了优化和传统两种类型的附件，但在每颗尖牙和后牙上均设计了附件(每侧共4个)，即使优化附件较小，其数目保证了足够的包裹力，所以可能并不表现出对压低实现量的负面影响。此外，本研究发现，前牙分步压低设计，即切牙和尖牙分阶段进行压低，与切牙压低实现量具有显著的相关性。多因素线性回归分析显示，在其他条件相同的情况下，设计前牙分步压低比未设计前牙分步压低，上颌中切牙压低实现量将增加0.663mm。这表明前牙分步压低设计可以提高切牙区的压低效率，这可能是由于分步压低的设计增加了支抗牙的数目，使得压低力量更为集中。

上颌侧切牙与上颌中切牙相比，两者受到的影响因素相似，但各因素的系数有所不同。如果给中切牙和侧切牙设计相同的压低量，侧切牙的压低实现量会大于中切牙。另外，使用Ⅱ类颌间牵引会降低上颌中切牙压低实现量，但与侧切牙的压低实现量无显著相关性，因此，在设计上颌切牙的压低移动时，应该根据不同的牙位进行调整。

本研究探讨了隐形拔牙矫治中上颌切牙压低实现量及其影响因素，但仍有以下几点不足：样本量较小；部分影响因素未能纳入分析，如矫治器每步压低量、附件位置、牵引力值等；本研究测量的压低实现量是与ClinCheck中读取的压低设计量进行的比较，在临床应用时需注意。

**【Author contributions】** Liao N collected, analyzed the data and wrote the article. Qian Y analyzed the data and reviewed the article. Li Y and Tang Z collected and analyzed the data and reviewed the article. Li Y and Zhao ZH designed the study and reviewed the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

#### 参考文献

- [1] Baxmann M, Timm LH, Schwendicke F. Who seeks clear aligner therapy? A European cross-national real-world data analysis[J]. *Life (Basel)*, 2022, 13(1): 65. doi: 10.3390/life13010065.
- [2] Bichu YM, Alwafi A, Liu X, et al. Advances in orthodontic clear aligner materials[J]. *Bioact Mater*, 2023, 22: 384-403. doi: 10.1016/j.bioactmat.2022.10.006.

- [3] Kwon T, Alshehri A, Palo L, et al. Assessment of the occlusal outcomes in patients treated with orthognathic surgery and clear aligners[J]. *Orthod Craniofac Res*, 2022. doi: 10.1111/ocr.12617.
- [4] D'Antò V, Valletta R, di Mauro L, et al. The predictability of transverse changes in patients treated with clear aligners[J]. *Materials (Basel)*, 2023, 16(5): 1910. doi: 10.3390/ma16051910.
- [5] D'Antò V, Valletta R, de Simone V, et al. Clear aligners treatment of class III subdivision with an extraction of a lower bicuspid[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2023, 20(4): 3550. doi: 10.3390/ijerph20043550.
- [6] 中华口腔医学会口腔正畸专业委员会. 口腔正畸无托槽隐形矫治技术指南(2021版)[J]. *中华口腔医学杂志*, 2021, 56(10): 983-988. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210709-00322. Society of Orthodontics, Chinese Stomatological Association. Guidelines for clear aligner orthodontic treatment (2021)[J]. *Chin J Stomatol*, 2021, 56(10): 983-988. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210709-00322.
- [7] Ren L, Liu L, Wu Z, et al. The predictability of orthodontic tooth movements through clear aligner among first-premolar extraction patients: a multivariate analysis[J]. *Prog Orthod*, 2022, 23(1): 52. doi: 10.1186/s40510-022-00447-y.
- [8] 程兰欣, 刘钧. 打开咬合的三维有限元分析的研究进展[J]. *口腔疾病防治*, 2022, 30(11): 827-831. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2022.11.011. Cheng LX, Liu J. Research progress on the three-dimensional finite element analysis of bite opening[J]. *J Prev Treat Stomatol Dis*, 2022, 30(11): 827 - 831. doi: 10.12016/j.issn.2096 - 1456.2022.11.011.
- [9] Shahabuddin N, Kang J, Jeon HH. Predictability of the deep overbite correction using clear aligners[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2023: S0889 - S5406(23)00007 - 0. doi: 10.1016/j.ajodo.2022.07.019.
- [10] 赵志河, 金作林, 白玉兴, 等. 正畸牙移动核心科学问题: 目标位、效率、精度[J]. *华西口腔医学杂志*, 2022, 40(4): 371-376. doi: 10.7518/hxkq.2022.04.001. Zhao ZH, Jin ZL, Bai YX, et al. Core scientific issues of orthodontic tooth movement: position objective, efficiency, and accuracy[J]. *West China J Stomatol*, 2022, 40(4): 371 - 376. doi: 10.7518/hxkq.2022.04.001.
- [11] Al-Balaa M, Li H, Ma Mohamed A, et al. Predicted and actual outcome of anterior intrusion with Invisalign assessed with cone-beam computed tomography[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2021, 159(3): e275-e280. doi: 10.1016/j.ajodo.2020.10.018.
- [12] Hilgers ML, Scarfe WC, Scheetz JP, et al. Accuracy of linear temporomandibular joint measurements with cone beam computed tomography and digital cephalometric radiography[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2005, 128(6): 803 - 811. doi: 10.1016/j.ajodo.2005.08.034.
- [13] Clements KM, Bollen AM, Huang G, et al. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 2: dental improvements[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2003, 124(5): 502-508. doi: 10.1016/s0889-5406(03)00577-8.
- [14] Li Y, Deng S, Mei L, et al. Accuracy of alveolar bone height and thickness measurements in cone beam computed tomography: a systematic review and meta-analysis[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2019, 128(6): 667 - 679. doi: 10.1016/j.oooo.2019.05.010.
- [15] Vasilakos G, Schilling R, Halazonetis D, et al. Assessment of different techniques for 3D superimposition of serial digital maxillary dental casts on palatal structures[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 5838. doi: 10.1038/s41598-017-06013-5.
- [16] Chen G, Chen S, Zhang XY, et al. Stable region for maxillary dental cast superimposition in adults, studied with the aid of stable miniscrews[J]. *Orthod Craniofac Res*, 2011, 14(2): 70 - 79. doi: 10.1111/j.1601-6343.2011.01510.x.
- [17] Charalampakis O, Iliadi A, Ueno H, et al. Accuracy of clear aligners: a retrospective study of patients who needed refinement[J]. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 2018, 154(1): 47-54. doi: 10.1016/j.ajodo.2017.11.028.
- [18] Haouili N, Kravitz ND, Vaid NR, et al. Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2020, 158(3): 420-425. doi: 10.1016/j.ajodo.2019.12.015.
- [19] Feng XX, Jiang YR, Zhu YF, et al. Comparison between the designed and achieved mesiodistal angulation of maxillary canines and posterior teeth and influencing factors: first premolar extraction treatment with clear aligners[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2022, 162: e63-e70. doi: 10.1016/j.ajodo.2022.05.006.
- [20] 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. doi: 10.1016/j.ajodo.2007.05.018.
- [21] Dai FF, Xu TM, Shu G. Comparison of achieved and predicted crown movement in adults after 4 first premolar extraction treatment with Invisalign[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2021, 160(6): 805-813. doi: 10.1016/j.ajodo.2020.06.041.
- [22] Liu JQ, Zhu GY, Wang YG, et al. Different biomechanical effects of clear aligners in closing maxillary and mandibular extraction spaces: finite element analysis[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2023. doi: 10.1016/j.ajodo.2022.07.021.
- [23] Henick D, Dayan W, Dunford R, et al. Effects of invisalign (G5) with virtual bite ramps for skeletal deep overbite malocclusion correction in adults[J]. *Angle Orthod*, 2021, 91(2): 164 - 170. doi: 10.2319/072220-646.1.
- [24] Moshiri M, Kravitz ND, Nicozisis J, et al. Invisalign eighth-generation features for deep-bite correction and posterior arch expansion [J]. *Semin Orthod*, 2021, 27(3): 175 - 178. doi: 10.1053/j.sodo.2021.09.002.
- [25] Kravitz ND, Moshiri M, Nicozisis J, et al. Mechanical considerations for deep - bite correction with aligners[J]. *Semin Orthod*, 2020, 26(3): 134-138. doi: 10.1053/j.sodo.2020.06.010.

(编辑 周春华, 张晨)



官网