

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2023.01.012

· 综述 ·

横腭杆在正畸临床中的应用及其力学机制的研究进展

王星海, 田野, 白丁

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】 横腭杆是一种在正畸临床中应用广泛的固定矫治器的辅助装置。本文就横腭杆在正畸临床中的应用及其力学机制进行综述,为临床医师提供参考。与传统观念不同,单独使用横腭杆并不能有效加强支抗,将其与其他传统支抗加强装置联合使用可以在某些情况下提供充足的支抗。同时,横腭杆可以辅助唇侧固定矫治维持牙弓宽度,辅助排齐牙列,纠正不良习惯,使矫治效率得以提高,副作用减少。用作主动矫治装置时,横腭杆可以使单侧或双侧磨牙在三维方向进行移动,尤其适用于改正磨牙旋转和宽度不调。应用力学原理对横腭杆与双侧磨牙连接构成的双力偶系统进行分析,可以增进对于矫治机制的理解,提高矫治结果的确定性。近年来,横腭杆常常与种植体支抗联合使用以压低磨牙或整体近移或远移上牙列。未来研究者可探讨更多横腭杆与种植体支抗、上颌骨性扩弓装置等结合方案以进行正畸治疗。

【关键词】 横腭杆; 错殆畸形; 支抗; 有限元分析; 扩弓; 磨牙旋转; 力学; 双力偶系统; 阻抗中心; 种植体支抗

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2023)01-0063-05

【引用著录格式】 王星海,田野,白丁.横腭杆在正畸临床中的应用及其力学机制的研究进展[J].口腔疾病防治,2023,31(1):63-67. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2023.01.012.

Research progress on the application of the transpalatal arch in orthodontic clinics and its mechanical mechanism

WANG Xinghai, TIAN Ye, BAI Ding. State Key Laboratory of Oral Diseases & National Clinical Research Center for Oral Disease & Department of Orthodontics, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Corresponding author: BAI Ding, Email: baiding@scu.edu.cn, Tel: 86-28-85501474

【Abstract】 The transpalatal arch (TPA) is widely used in clinical orthodontics for various purposes. This article reviews the versatile clinical uses and mechanics of TPAs for clinical reference. Traditionally, TPA is conceived as an anchorage reinforcement device. However, the literature does not support the sole use of TPA for anchorage control. TPA, combined with other conventional anchorage means, can only provide sufficient anchorage in certain cases. As an adjunct to fixed appliance treatment, TPA can be applied for arch width maintenance, tooth alignment and habit braking to improve treatment efficiency and reduce side effects. Meanwhile, TPA can be used to provide active orthodontic forces for maxillary molars to move or rotate bilaterally and unilaterally in all three planes of space, especially on occasions where molar rotation and transverse discrepancy exist. A two-couple system is formed with a TPA connecting bilateral maxillary first molars, the mechanical analysis of which can improve the understanding of treatment mechanics and make tooth movement more predictable. In recent years, TPA has also been used in combination with temporary anchorage devices for maxillary molar intrusion and full arch mesialization or distalization. The combined use of TPA with TADs and maxillary skeletal expanders could be further investigated in the future.

【收稿日期】 2021-10-19; **【修回日期】** 2021-12-17

【基金项目】 四川省科技创新苗子工程(20-YCG045);四川大学华西口腔医院探索与研发项目(LCYJ2019-2)

【作者简介】 王星海, 硕士, Email: xinghaiwang@126.com

【通信作者】 白丁, 教授, 博士, Email: baiding@scu.edu.cn, Tel: 86-28-85501474



微信公众号

【Key words】 transpalatal arch; malocclusion; anchorage; finite element analysis; arch expansion; molar rotation; mechanics; two-couple system; center of resistance; temporary anchorage devices

J Prev Treat Stomatol Dis, 2023, 31(1): 63-67.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from Miaozi Project in Science and Technology Innovation Program of Sichuan Province (No.20-YCG045) and Research and Develop Program of West China Hospital of Stomatology (No.LCYJ2019-2).

横腭杆(transpalatal arch, TPA)是正畸临床中常用的一种腭侧矫治装置。1972年Goshgarian首先提出并设计了原始的TPA,其后,研究者为扩展其应用范围分别对TPA进行了形式多样的改良^[1]。现在临床中使用的TPA通常由不锈钢丝弯制而成,与腭部形态基本一致,横跨上腭,在其顶端正中形成U形曲,两端通过与带环焊接或插入带环舌侧鞘、舌侧托槽等连接左右侧第一磨牙。按用途分类可以分为维持牙齿位置的被动矫治装置和移动牙齿位置的主动矫治装置两类。作为被动矫治装置,TPA常常与两端的带环焊接固定,用以支抗控制,维持牙弓宽度,或作为辅助牵引装置的基座结构等。活动式TPA作为主动矫治装置可以实现双侧磨牙在三维方向上对称或不对称的移动。随着微种植体在正畸临床的广泛使用,TPA与之联合使用使矫治效率得到提高。

TPA连接双侧第一磨牙构成一个双力偶系统,根据力学原理对此系统进行分析可以明确系统中力和力矩的方向以及相对大小,增强临床医师对于TPA矫治机制的理解。

1 被动矫治装置

1.1 磨牙支抗控制

传统观念认为在拔牙矫治病例中应用TPA可以加强上颌磨牙支抗,有学者提出其原理是TPA可以维持上颌磨牙宽度,在磨牙受力近中移动时其牙根接触密度较高的颊侧骨皮质,产生“骨皮质支抗”;同时舌体组织可对TPA产生向上向后的力,帮助增强支抗。然而Bobak等^[2]通过有限元分析研究发现TPA对牙周组织中应力应变分布的影响不超过1%,而牙周膜中的应力应变分布正是支抗的基础,因此认为从理论上讲TPA并不能加强磨牙支抗。Diar-Bakirly等^[3]的研究结果显示单独使用TPA无法减少支抗丢失。另一方面,与单独使用TPA相比,将TPA改良使其与其他支抗加强装置结合使用,如口外弓、多用途弓、Nance托等,

可以更好地加强支抗^[3-5]。然而相关文献大多为病例报告,缺乏随机对照实验,改良TPA在加强支抗方面的效能和效率有待进一步探究。因此,临床医师应当认识到单独使用TPA加强支抗作用的有限性,并在需要获得绝对支抗时采取其他的方法,如支抗钉等^[6]。

1.2 维持牙弓形态

研究者认为唇侧矫治装置有2个难以克服的缺陷,其一是不易维持牙弓后段宽度的稳定,其二是邻牙互为支抗容易出现副作用^[7]。TPA配合唇侧矫治器可以有效避免以上两种情况。临床上使用Ⅱ类、Ⅲ类牵引时常常可以观察到后段牙弓宽度的减小,即由于牵引力的侧向分力导致牙弓宽度变化,使用TPA可以有效防止此类情况的出现。快速扩弓后使用TPA维持牙弓宽度是尖牙阻生干预性矫治方法之一^[8]。此外,双侧后牙反颌常常需要使用活动矫治器扩宽上颌后牙的宽度,主动矫治结束后横腭杆可以用来维持牙弓宽度,防止复发^[9]。对于牙槽突裂的患者而言,牙槽突裂植骨术后也可以即刻使用TPA以维持扩宽的上牙弓的形态^[10]。

乳磨牙早失可导致第一磨牙前移或近中倾斜,使替牙间隙减少,发生牙列拥挤。TPA可经改良用作间隙保持器,维持牙弓长度,防止这一类错颌畸形的出现^[11]。

1.3 辅助排齐牙列

研究者认为唇侧矫治装置的另一限制是其固有的支抗方式,即邻牙互为支抗^[7]。使用TPA可以使牙弓两侧牙齿同时作为支抗,或互为支抗,突破唇侧矫治限制。

对于颊倾的第二磨牙,临床上如果使用连续Ni-Ti弓丝排齐,可使相邻的第一磨牙和第二前磨牙向颊侧倾斜,同时发生近中舌侧旋转;对于上颌第二磨牙颊倾导致的正锁颌,如使用交互牵引改正,容易造成磨牙伸长,不利于垂直向控制。而使用焊接牵引钩的TPA牵引第二磨牙向舌侧移动,

可以避免邻牙的颊倾移动,同时可以少量压低第二磨牙^[12]。

腭侧阻生尖牙通常需要外科手术暴露部分牙冠后粘接附件,然后视其位置、方向以及和其他牙根的关系使用特定的力系统牵引助萌,并最终排齐牙列^[13]。TPA焊接不锈钢方丝或圆丝形成悬臂梁结构,根据力学原理经过适当设计可以对阻生尖牙施加力和力矩以实现各种类型的牙移动,增强对阻生尖牙的控制^[14]。

1.4 纠正不良习惯

儿童生长发育过程中的一些不良习惯常常会导致错殆畸形的发生。以吮指习惯为例,如果恒牙开始萌出时依然保留该习惯,容易引起以上前牙唇倾、间隙,下前牙舌倾,前牙开殆及上牙弓狭窄为主要临床表现的错殆畸形^[15]。焊接腭网的改良TPA可以辅助纠正包括吮指习惯、伸舌吞咽等多种不良习惯,早期干预和阻断错殆畸形的发生发展。

2 主动矫治装置

作为主动矫治装置,TPA最大的特点是可以适当设计,实现双侧第一磨牙或后段牙弓在所有三维方向上对称或不对称的移动,辅助矫治各种类型的错殆畸形^[16]。此时TPA在双侧第一磨牙牙冠处同时产生力和/或力偶的作用,构成双力偶系统,无法通过直接测量明确系统中力和力偶的大小和方向。运用力学原理对该系统进行分析可以得出牙齿所受力和力偶的方向及相对大小,以指导临床使用。此时应首先形成被动TPA,然后根据欲实现目标牙移动所需的力系统来设计TPA。以下就TPA在三维方向的矫治应用及其力学机制进行详述。

2.1 横向

TPA可以改变磨牙间宽度以矫正牙列横向不调,纠正后牙反殆或锁殆。对称性扩宽或缩窄牙弓有3种方法:单独使用力、单独使用力矩、力与力矩合用。单独使用力时只需将TPA宽度作适当调整即可产生颊向或舌向的力使牙齿作非控制性倾斜移动^[17]。单独使用力矩则需要在TPA两侧作第三序列弯曲,使两侧第一磨牙在冠状面受到一对大小相等、方向相反的力矩,同时受到TPA在冠状面内水平方向的约束力使牙冠的自由移动受到限制,此时牙移动类型为牙根移动量大于牙冠的受控制的倾斜移动^[18]。理论上力与力矩合用可以实

现磨牙的整体移动,即通过合理设计使施加的力与力矩等效于单个通过阻抗中心的力,使磨牙整体移动。

非对称性扩宽或缩窄牙弓时同样可以使用以上3种方法。单独使用力时弯制TPA使支抗侧合力通过该侧磨牙阻抗中心,以整体移动对抗倾斜移动。单独使用力矩时在矫治侧弯制第三序列弯曲,以单侧扩弓为例,对支抗牙加负转矩,支抗侧TPA入槽后对侧TPA位于相应槽沟殆方,TPA就位后双侧磨牙受到一对垂直向力偶,此力偶平衡矫治侧磨牙的第三序列弯曲产生的力矩^[19]。支抗侧受到的垂直向力可通过唇侧弓丝与其他牙齿连为整体共同对抗。力与力矩合用时在支抗侧弯制第三序列弯曲,使支抗侧所受力与力矩等效力通过阻抗中心,支抗牙整体移动而矫治牙倾斜移动,从而矫正单侧反殆或锁殆。

Tsetsilas等^[20]应用TPA对6例双侧后牙反殆患者和4例单侧后牙反殆患者分别进行扩弓治疗,12周治疗结束后,所有病例的后牙反殆都得到了有效改善,其中双侧扩弓第一磨牙间宽度平均增加 (4.5 ± 1.0) mm,单侧扩弓反侧磨牙平均移动2.5mm且显著大于支抗侧磨牙的移动量(0.8mm)。Ledra等^[21]对TPA与连续弓丝扩弓进行了对比性研究,其结论为二者扩宽牙弓的力学机制不同,TPA可避免对邻牙产生旋转等副作用。对于TPA与其他扩弓装置如四眼圈簧、螺旋扩弓器、上颌骨性扩弓器(maxillary skeletal expander, MSE)的比较,对正畸治疗中扩弓装置的选择有一定指导意义,相关研究尚待加强。TPA用于扩弓,其优势是弯制简单、调整方便,较其他活动矫治器舒适度更高,同时可用于扩弓后维持牙弓宽度,防止复发。但其扩弓的限度较小,只能实现牙性扩弓,一般建议双侧扩弓时不调量小于5mm,单侧扩弓时不调量小于3mm。

2.2 矢状向

TPA配合腭中缝种植钉可以构建可靠的牵引系统,实现双侧磨牙或上牙列的近中或远中移动。一些学者利用有限元分析明确了TPA配合种植钉近移上牙列的力学机制,提出TPA可以提供不同牵引点位以改变牵引力的方向,控制殆平面的改变,同时防止磨牙颊倾以及近中旋转^[22]。

单独应用TPA可以在矢状向实现两侧第一磨牙或后牙段的不对称移动,适用于安氏Ⅱ类亚类错殆畸形的矫治,或者后牙段殆平面的调整^[7]。

TPA 两侧分别作前倾弯和后倾弯,对双侧磨牙在矢状平面产生等大反向的一对力偶矩,使一侧磨牙绕其阻抗中心顺时针转动,另一侧磨牙绕阻抗中心逆时针转动;与此同时,TPA 会限制双侧磨牙牙冠的移动,即牙冠有近中移动倾向的磨牙会受到远中方向的约束力,牙冠有远中移动倾向的磨牙会受到近中方向的约束力,最后产生磨牙在矢状方向的控根移动,用以一定程度上改善磨牙关系。需要注意的是,另一侧磨牙往往需要加强支抗,通常可以使用头帽、种植钉等。

2.3 垂直向

当 TPA 与腭顶距离稍远时,舌体会对其产生向上的压力,因此可以压低磨牙,控制磨牙过度萌出。Wise 等^[23]发现,与对照组相比,TPA 可以对上颌磨牙的生长进行垂直向控制。但考虑到本研究为回顾性研究,其结果应审慎对待。TPA 与唇挡、高位牵引合用可以早期矫治前牙开骀^[24]。近来也有报道应用 TPA 配合颊侧或腭侧种植钉压低上颌磨牙以矫治前牙开骀或露龈笑^[25-28]。相较于颊舌侧同时植入种植钉压低磨牙,TPA 可以更好地控制磨牙转矩并辅助牵引,减少植入多个种植钉对患者产生的创伤。

前述单独使用力矩扩宽或缩窄单侧牙弓时会在双侧磨牙处产生一对垂直向的力偶,因此相同的力系统可以用于少量压低或伸长单侧磨牙。以压低单侧第一磨牙为例,在支抗侧 TPA 弯制正转矩,TPA 就位后矫治侧第一磨牙受到压低力,支抗侧第一磨牙同时受到伸长力和正转矩,可以使用唇侧弓丝或纤维增强树脂带等将支抗侧磨牙与其他牙齿连为整体,以减小副作用。

2.4 旋转

第一磨牙常常发生近中腭侧旋转,在牙弓中占据更多空间,同时使咬合关系呈安氏 II 类倾向。使用唇侧连续弓丝排齐可能导致后段弓形改变,而使用 TPA 可以使双侧第一磨牙互为支抗,避免副作用。TPA 尤其适用于双侧磨牙都需要改正旋转的情况,此时应首先弯制形成被动 TPA,然后将其两端的臂在水平面向内相反方向弯折与两端槽沟形成相同的角度,就位后对两侧磨牙分别产生大小相等方向相反的一对力偶矩,磨牙在其作用下围绕阻抗中心旋转。Dahlquist 等^[29]通过研究验证了 TPA 改正双侧第一磨牙旋转的有效性,研究纳入 50 例患儿,所有病例的磨牙旋转均得到纠正。Ingervall 等^[30]的研究指出在应用 TPA 改正双

侧磨牙旋转的同时会产生使双侧磨牙缩窄的作用力,并建议通过调整 TPA 宽度进行补偿。

若为单侧第一磨牙需要改正旋转,则应只在矫治侧做弯折。例如当需要单侧磨牙近中颊向旋转时,将矫治侧 TPA 臂向内侧弯折,就位后矫治侧第一磨牙受到近中颊向的力矩和近中方向的力,支抗侧第一磨牙受到远中方向的力。由于 TPA 横向跨度较大,磨牙所受近远中方向的力较小,因此不会产生明显的副作用^[31]。此方法亦可用来远移单侧磨牙以矫治安氏 II 类亚类错骀。

3 小结与展望

TPA 可以独立使用或配合固定矫治器矫治特定类型的错骀畸形,以双侧第一磨牙或后段牙弓互为支抗,避免某些副作用的产生。主动 TPA 尤其适用于矫治程度较轻的上下牙列宽度不调及磨牙旋转,通过力学分析可以加深医师对于矫治机制的理解,从而指导临床应用。种植体支抗的出现拓展了正畸治疗的边界,近年来 TPA 与种植体支抗联合使用进行矫治已在临床实践中得到有效运用。未来,研究者可基于 TPA 的矫治机制,探索更多 TPA 与其他矫治器联合应用的方法。

【Author contributions】 Wang XH wrote the article. Tian Y and Bai D revised the article. All authors read and approved the final version manuscript.

参考文献

- [1] Goshgarian RA. Orthodontic palatal arch bar and method of using same: US, 4592725[P/OL]. 1985-04-29[1986-06-03].
- [2] Bobak V, Christiansen RL, Hollister SJ, et al. Stress-related molar responses to the transpalatal arch: a finite element analysis[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1997, 112(5): 512-518. doi: 10.1016/S0889-5406(97)90100-1.
- [3] Diar-Bakirly S, Feres MFN, Saltaji H, et al. Effectiveness of the transpalatal arch in controlling orthodontic anchorage in maxillary premolar extraction cases: a systematic review and meta-analysis[J]. Angle Orthod, 2017, 87(1): 147-158. doi: 10.2319/021216-120.1.
- [4] Cao L, Li J, Yang C, et al. High-efficiency treatment with the use of traditional anchorage control for a patient with class II malocclusion and severe overjet[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2019, 155(3): 411-420. doi: 10.1016/j.ajodo.2017.08.030.
- [5] Yilmaz S, Calikoglu EO, Kosan Z. Consecutive use of mini-implants in the palate to treat skeletal maxillary constriction and class II malocclusion in an adult case[J]. Niger J Clin Pract, 2020, 23(11): 1624-1627. doi: 10.4103/njcp.njcp.
- [6] Alharbi F, Almuzian M, Bearn D. Anchorage effectiveness of orthodontic miniscrews compared to headgear and transpalatal arches:

- a systematic review and meta-analysis[J]. *Acta Odontol Scand*, 2019, 77(2): 88-98. doi: 10.1080/00016357.2018.1508742.
- [7] Burstone CJ, Choy K. The biomechanical foundation of clinical orthodontics[M]. Hanover Park: Quintessence Publishing Co, Inc, 2015.
- [8] Elangovan B, Pottipalli Sathyanarayana H, Padmanabhan S. Effectiveness of various interceptive treatments on palatally displaced canine-a systematic review[J]. *Int Orthod*, 2019, 17(4): 634-642. doi: 10.1016/j.ortho.2019.08.002.
- [9] Mercier S. European College of orthodontics: commission of affiliation and titularization[J]. *Int Orthod*, 2017, 15(2): 278-296. doi: 10.1016/j.ortho.2017.03.009.
- [10] Harris M, Hunt N. Fundamentals of orthognathic surgery[M]. 2nd ed. London: Imperial College Press, 2008.
- [11] Watt E, Ahmad A, Adamji R, et al. Space maintainers in the primary and mixed dentition - a clinical guide[J]. *Br Dent J*, 2018, 225(4): 293-298. doi: 10.1038/sj.bdj.2018.650
- [12] Kuang Y, Wang C, Hu B, et al. Biomechanical analysis of reinstating buccally flared maxillary 2nd molars using 3D printing anchorage supports: a 3D finite element study[J]. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 2021, 24(10): 1085-1096. doi: 10.1080/10255842.2020.1867850.
- [13] Alqahtani H. Management of maxillary impacted canines: a prospective study of orthodontists' preferences[J]. *Saudi Pharm J*, 2021, 29(5): 384-390. doi: 10.1080/10255842.2020.1867850.
- [14] Papagiannis A, Fanourakis G, Mitsea A, et al. Orthodontic treatment of a patient with dentin dysplasia type I and bilateral maxillary canine impaction: case presentation and a family-based genetic analysis[J]. *Children (Basel)*, 2021, 8(6): 519. doi: 10.3390/children8060519
- [15] Ling HTB, Sum FHKMH, Zhang L, et al. The association between nutritive, non-nutritive sucking habits and primary dental occlusion[J]. *BMC Oral Health*, 2018, 18(1): 1-10. doi: 10.1186/s12903-018-0610-7.
- [16] Almuzian M, Alharbi F, Chung LLK, et al. Transpalatal, nance and lingual arch appliances: clinical tips and applications[J]. *Orthodontic Update*, 2015, 8(3): 92-100. doi: 10.12968/ortu.2015.8.3.92.
- [17] Alnaqbi IA, Mageet AO. Guiding maxillary left central incisor to occlusion and late formation of a supernumerary tooth in the upper left premolar region[J]. *Case Rep Dent*, 2021, 2021: 6622641. doi: 10.1155/2021/6622641.
- [18] Rebellato J. Two-couple orthodontic appliance systems: transpalatal arches[J]. *Semin Orthod*, 1995, 1(1): 44-54. doi: 10.1016/S1073-8746(95)80088-3.
- [19] Ghorbanyjavadpour F, Rakhshan V. Effects of palatal expansion with torque activation using a transpalatal arch: a preliminary single-blind randomized clinical trial[J/OL]. *Int J Dent*, 2021, 2021: 8883254. doi: 10.1155/2021/8883254.
- [20] Tsetsilas M, Konermann AC, Keilig L, et al. Symmetric and asymmetric expansion of molars using a Burstone-type transpalatal arch[J]. *J Orofac Orthop*, 2015, 76(5): 377-390. doi: 10.1007/s00056-015-0298-0.
- [21] Ledra IM, Gandini LG, Martins RP. Expansion with transpalatal arch or continuous arch mechanics[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2020, 157(5): 611-618. doi: 10.1016/j.ajodo.2019.05.017.
- [22] Kawamura J, Park JH, Kojima Y, et al. Biomechanical analysis for total mesialization of the maxillary dentition: a finite element study[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2021, 159(6): 790-798. doi: 10.1016/j.ajodo.2020.02.021.
- [23] Wise JB, Magness WB, Powers JM. Maxillary molar vertical control with the use of transpalatal arches[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1994, 106(4): 403-408. doi: 10.1016/S0889-5406(94)70062-1.
- [24] Mucedero M, Vitale M, Franchi L, et al. Comparisons of two protocols for early treatment of anterior open bite[J]. *Eur J Orthod*, 2017, 39(3): 270-276. doi: 10.1093/ejo/cjw039.
- [25] Cousley RRJ. A clinical strategy for maxillary molar intrusion using orthodontic mini-implants and a customized palatal arch[J]. *J Orthod*, 2010, 37(3): 202-208. doi: 10.1179/14653121043101.
- [26] Paik CH, Park HS, Ahn HW. Treatment of vertical maxillary excess without open bite in a skeletal class II hyperdivergent patient[J]. *Angle Orthod*, 2017, 87(4): 625-633. doi: 10.2319/101816-753.1.
- [27] Hlaing EEH, Ishihara Y, Fujisawa A, et al. Orthodontic management of a non-syndromic patient with concomitant bimaxillary hypohyperdontia: a case report[J]. *Dental Press J Orthod*, 2020, 25(1): 36-46. doi: 10.1590/2177-6709.25.1.036-046.oar.
- [28] Ahn HW, Kang YG, Jeong HJ, et al. Palatal temporary skeletal anchorage devices (TSADs): what to know and how to do [J]. *Orthod Craniofac Res*, 2021, 24(S1): 66-74. doi: 10.1111/ocr.12451.
- [29] Dahlquist A, Gebauer U, Ingervall B. The effect of a transpalatal arch for the correction of first molar rotation[J]. *Eur J Orthod*, 1996, 18(3): 257-267. doi: 10.1093/ejo/18.3.257.
- [30] Ingervall B, Hönig KD, Bantleon HP. Moments and forces delivered by transpalatal arches for symmetrical first molar rotation[J]. *Eur J Orthod*, 1996, 18(2): 131-139. doi: 10.1093/ejo/18.2.131.
- [31] Sakima MT, Dalstra M, Loiola AV, et al. Quantification of the force systems delivered by transpalatal arches activated in the six Burstone geometries[J]. *Angle Orthod*, 2017, 87(4): 542-548. doi: 10.2319/041316-302.1.1.

(编辑 周春华)



官网