

## 微型支抗钉矫治成人骨性Ⅲ类错殆畸形的研究进展

刘翠翠<sup>1,2</sup> 吴亚星<sup>2</sup> 李晨晨<sup>2</sup> 张淑婷<sup>2</sup> 张静<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>徐州医科大学徐州临床学院,徐州 221000; <sup>2</sup>徐州市中心医院口腔科,徐州 221000

通信作者:张静,Email:jingz77@163.com

**【摘要】** 成人骨性Ⅲ类错殆畸形是临床上常见的错殆畸形,一直是正畸临床治疗的难点。近年来,微型支抗钉的应用和发展为骨性Ⅲ类轻、中度边缘患者的治疗提供了新的方法。本文就应用微型支抗钉矫治成人骨性Ⅲ类错殆畸形现状及进展进行综述。

**【关键词】** 微型支抗钉; 成人; 骨性Ⅲ类错殆畸形

**基金项目:**国家自然科学基金(31700814);徐州市科技项目(KC18032);徐州市临床技术骨干研修计划项目(2020GG011)

**引用著录格式:**刘翠翠,吴亚星,李晨晨,等.微型支抗钉矫治成人骨性Ⅲ类错殆畸形的研究进展[J/OL].中华口腔医学研究杂志(电子版),2022,16(2):125-129.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2022.02.010

### The research progress of the treatment of adult skeletal Class III malocclusion with miniscrew anchorage

Liu Cuicui<sup>1,2</sup>, Wu Yaxing<sup>2</sup>, Li Chenchen<sup>2</sup>, Zhang Shuting<sup>2</sup>, Zhang Jing<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Affiliated Xuzhou Clinical College of Xuzhou Medical University, Xuzhou 221000, China; <sup>2</sup>Department of Stomatology, Xuzhou Central Hospital, Xuzhou 221000, China

Corresponding author: Zhang Jing, Email:jingz77@163.com

**【Abstract】** The adult skeletal Class III malocclusion is a common clinical malocclusion, which has always been a difficulty in orthodontic clinical treatment. In recent years, a new method for the treatment of skeletal Class III mild and moderate marginal patients is emerging with the wide application of miniscrew anchorage. This article reviews the application of miniscrew anchorage in the correction of adult skeletal Class III malocclusion.

**【Key words】** Miniscrew anchorage; Adult; Skeletal Class III malocclusion

**Fund programs:** National Natural Science Foundation of China (31700814); Project of Xuzhou Science and Technology Bureau (KC18032); Xuzhou Clinical Technology Backbone Training Project (2020GG011)

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2022.02.010

骨性Ⅲ类错殆畸形是受遗传及环境因素影响造成的上

颌发育不足和(或)下颌发育过度的一种错殆畸形,临床上矫治难度较大。亚洲人群发病率较高,其中我国发病率为15.69%<sup>[1]</sup>,而欧洲人发病率仅2%~6%<sup>[2]</sup>。临床常表现横向和矢状向不调,包括上颌牙槽骨和(或)牙弓宽度不足、单侧或双侧后反殆、前牙反殆、近中咬合关系、凹面型,严重影响了患者容貌美观、咀嚼功能甚至心理健康<sup>[3]</sup>。对于重度成人骨性Ⅲ类错殆畸形患者优先采用正畸-正颌联合治疗,而对于部分轻、中度成人骨性Ⅲ类错殆畸形患者,考虑手术风险及费用等因素,通常会选择牙齿代偿的正畸掩饰性治疗<sup>[4]</sup>。

近年来,由于微支抗钉技术的不断发展,其越来越多地被应用于骨性Ⅲ类错殆畸形的掩饰性治疗。本文就成人骨性Ⅲ类错殆畸形患者采用正畸掩饰性治疗中应用微型支抗钉解除横向和矢状向不调的研究进展进行综述,为临床医生提供参考和帮助。

一、微支抗钉在矫正成人骨性Ⅲ类患者上颌骨横向及矢状向不足中的应用

以往针对上颌牙槽骨和(或)牙弓宽度不足临床上常用的扩展方法包括牙源性扩弓、手术辅助快速上颌扩弓(surgically assisted rapid maxillary expansion, SARME)。牙源性扩弓多适用于生长发育高峰期青少年,但对于成人患者来说,易引起上颌磨牙的颊向倾斜、骨开窗、疼痛及扩张不稳定等不利作用<sup>[5,6]</sup>,而SARME进行上颌扩弓存在术后感染、疼痛和神经血管损伤等并发症,患者还需负担高昂的手术费用<sup>[6,7]</sup>。最近研究显示,微型支抗钉辅助上颌扩弓(miniscrew-assisted maxillary palatal expansion, MARPE)技术在年轻成人中成功率为86.96%<sup>[8-9]</sup>,可最大限度地减少不必要的牙齿倾斜和牙槽骨弯曲,能有效地扩大整个上颌复合体实现真正的骨性扩弓。MAPRE装置有多种设计,使用的微支抗钉规格、植入位置和螺旋扩弓器的放置部位略有不同。近几年,微支抗钉辅助上颌骨性扩弓器(maxillary skeletal expander, MSE)作为MARPE新型的设计类型,通过4颗微型支抗钉将螺旋扩弓器固定在硬腭后部,并与双侧第一磨牙带环相连,能有效减少牙性扩弓作用,直接产生更大的骨性扩弓效应<sup>[10]</sup>。因MAPRE装置很多,后文选取具有代表性的MSE进行主要论述。

成人骨性Ⅲ类错殆畸形下颌的掩饰性治疗通常选择拔除第一双尖牙或下切牙、内收下前牙来解除前牙反殆。然而下前牙唇侧骨壁较薄,过多的内收可增加骨开窗、骨开裂的风

险,同时下前牙的过度舌倾将影响牙周组织的长期健康<sup>[11]</sup>。随后,有学者提出减数下颌第三磨牙能够为下牙弓后移提供更大的空间,从而矫正磨牙、尖牙关系,改善患者面型<sup>[12]</sup>。远移下颌牙列是骨性Ⅲ类错殆临床矫治的难点。以往常采用Ⅲ类颌间牵引、J钩和多曲方丝弓等技术,治疗效果依赖于患者的积极配合。当前微型支抗钉具有体积小、舒适度高和患者依赖度小等优势而得到广泛应用。

## 二、微型支抗钉的类型及植入方式

微型支抗钉可分为纯钛、钛合金和不锈钢三种材质。其中,纯钛材质较不锈钢材质支抗钉展现更好的生物相容性、良好的耐腐蚀性能及骨结合效率,然而价格相对较贵且强度低、硬度差,对于皮质骨较厚的区域,植入过程中容易断裂<sup>[2]</sup>。当前,不锈钢支抗钉因其较低的成本、较高的机械性能及抗折能力,在临床上得到了广泛应用。不锈钢和钛合金支抗钉临床疗效相似且两者在组织学反应上无明显差异。因此,在临床中使用不锈钢或钛合金支抗钉均能达到所需疗效。

微型支抗钉也可分为助攻型及自攻型两种。对于骨密度稍低的区域如上颌腭侧后部、下颌第一磨牙与第二双尖牙或两个双尖牙牙根之间,可用自攻型支抗钉直接植入皮质骨。而对于皮质骨较厚的下颌区域来说,如果植入区骨面较平缓、附着龈充足,可采用自攻型支抗钉直接植入皮质骨,而植入区骨面较陡、附着龈区域狭窄则建议使用翻瓣助攻方式,以免植入时支抗钉出现滑脱及皮质骨开裂。

## 三、微型支抗钉直径和长度的选择

目前,上颌MSE辅助的微型支抗钉长度通常为6~12 mm。Chen等<sup>[13]</sup>应用锥形束CT(cone-beam computed tomography, CBCT)证实Ⅲ类骨性错殆患者的腭骨较Ⅰ类错殆患者薄,并且在某些区域显示出显著差异。腭前部和腭中部区域植入微型螺钉更安全,而腭骨较薄的中、后区域使用长度为11.0 mm的微螺丝钉会增加穿透鼻黏膜甚至腭后部下鼻甲的风险。因此,术前需仔细评估腭部骨厚度,应根据腭骨形状和支抗钉方向进行更精确和具体的设计,必要时应考虑较短的微型支抗钉<sup>[13-14]</sup>。

而根据下颌颊棚区的解剖特点及其承载力,下颌牙列远移则需选择直径大的微型支抗钉,因此在临床中通常应用直径 $\geq 1.6$  mm支抗钉。有研究显示,应用微支抗钉(直径1.6 mm、长度8 mm)植入下颌第一磨牙和第二双尖牙或第一双尖牙与第二双尖牙间作为支抗与前端游离牵引钩结扎,利用推簧依次远移下颌磨牙,最终也能达到下牙列整体远移。该部位骨质密度和硬度较颊棚区低,因此可选择直径和长度稍小的支抗钉植入。植入该部位与下颌颊棚区相比操作相对简单,但由于是分步移动牙齿,因此矫治时间相对延长<sup>[15]</sup>。Liu等<sup>[16]</sup>评估了下颌植入区到下牙槽神经管之间的位置关系,结果显示牙槽嵴顶下方9 mm处植入到下颌神经管两者之间的距离大于13 mm。因此,建议在下颌第一、第二磨牙之间的牙槽嵴顶下方9 mm处植入长度10~12 mm的支抗钉。但Crismani等<sup>[17]</sup>研究显示,上、下颌骨植入长度8 mm支抗钉较6 mm成功率高22%。

## 四、微型支抗钉植入位置及深度

上颌MSE是一般将特制的螺旋扩弓器支架放置在腭骨后部软、硬腭交界处附近,通常位于腭中缝正中外侧3 mm的位置,距切牙孔12 mm后的硬腭区域先前已被证明不适合植入<sup>[18]</sup>,通过双侧上颌第一磨牙带环固定,再将4枚微型支抗钉按就位孔植入,且在横向上保持相互平行。其中2枚植入稍靠前骨质较厚的腭骨区域,其余2枚植入稍靠后骨质较薄的区域以穿透双层骨皮质(腭骨和鼻底)<sup>[19]</sup>。Moon等<sup>[20]</sup>利用MSE结合新型N2微型支抗钉的研究通过改变新型N2微型支抗钉的位置以及改变颌间牵引的方向,使上颌骨发生不同程度向前向下的顺时针旋转运动,为不同面型骨性Ⅲ类患者提供了个性化矫治方案。对于短面型患者,建议在双侧上颌尖牙与第一前磨牙之间植入微支抗钉并与殆平面成 $-45^\circ$ 方向使用Ⅲ类颌间牵引。对于长面型患者,建议在双侧上颌尖牙与第一前磨牙之间植入支抗钉,与殆平面成 $30^\circ$ 方向使用Ⅲ类颌间牵引。对于严重面中部发育不足的凹面型患者,直接与殆平面成 $-30^\circ$ 颌间牵引,促进上颌骨向前生长更有效。表明,对于无法使用传统装置前牵的成人患者,可以通过微支抗钉实现前牵上颌骨的可能。

对于骨性Ⅲ类成人患者下颌支抗钉也可植入两相邻牙根之间,如第一磨牙与第二磨牙牙根之间、第一磨牙与第二双尖牙牙根之间或两颗双尖牙牙根之间,但在下颌牙齿远移过程中支抗钉在磨牙到位后需更换位置以避免其它牙齿的继续远移。因此,临床上有一些医生则采用在下颌颊棚区(位于下颌体的后部,第一磨牙的近中到第二磨牙远中颊侧)或磨牙后区植入支抗钉,可避免支抗钉在治疗过程中的再次植入。通常微支抗钉植入所需空间包括支抗钉直径(1.2~2 mm)及周围至少1 mm的安全范围,因此在相邻两牙根之间至少需要3~4 mm安全距离。研究显示,在下颌第一磨牙和第二磨牙之间、第一磨牙和第二前磨牙之间根尖1/3区域及第一和第二前磨牙牙根之间的冠方和根方距离均大于3 mm<sup>[21-22]</sup>。

2017年,Rossi等<sup>[23]</sup>报道在下颌颊棚区最适合植入的部位为下颌第二磨牙远颊尖下方,此位置皮质骨厚度最厚,然而由于患者开口度的限制,在此位置植入支抗钉并保持理想的植入角度较为困难。另外,此处较厚的软组织也增加了植入的失败率。但Liu等<sup>[16]</sup>研究证实,下颌骨植入最佳位点应为下颌颊棚区第一磨牙远中和第二磨牙近中区域。也有认为下颌颊棚区骨质最致密处为第二前磨牙牙根和第一磨牙近牙根之间区域,相对于颊棚区该部位支抗钉植入操作简单,但下颌牙列远移量有限,治疗中需根据情况更换支抗钉植入位置。另外,软组织定位一般认为理想的位置应放在膜龈联合处,但是研究表明如果与软组织间隙足够(约5 mm),便于清洁,支抗钉是可以放置在附着龈或游离龈中<sup>[24]</sup>。

Melsen等<sup>[25]</sup>研究指出,在下颌牙列远移过程中,微型支抗钉为了获得足够稳定性,植入骨内深度至少为6 mm。Nucera等<sup>[26]</sup>报道支抗钉在颊棚区可植入的深度为从釉牙骨质界向颊侧4 mm处作垂线与颊棚区骨质相切的线段,从右侧到左侧在下颌第二磨牙远中根区分别为 $(19.84 \pm 3.28)$ 和 $(19.98 \pm$

3.22) mm。而 Escobar-Correa 等<sup>[27]</sup> 结果证实,从釉牙骨质界向颊侧 4 mm 处作垂直线,在下颌第二磨牙远中根区域颊棚区最大深度为(18.7±3.8) mm,这说明微型支抗钉距离磨牙越近,可植入深度越深。因此,由于个体之间存在解剖学差异,应根据个体情况评估支抗钉植入部位,确保在植入过程中与邻牙有足够的安全距离且在使用过程中的稳定性。

#### 五、微型支抗钉植入区皮质骨的厚度及植入角度

研究表明,骨性Ⅲ类错殆畸形患者腭骨厚度比骨性Ⅰ类患者薄。腭骨前部有足够的骨密度和良好的骨质量,因此被认为适合微型支抗钉植入<sup>[28]</sup>。研究显示,腭骨密度与年龄有关<sup>[29]</sup>。对于骨性Ⅲ类错殆畸形患者,腭骨从前到后在腭中缝两侧 6 mm 内变薄,中后部腭骨厚度小于 4.0 mm,增加了松动脱落与鼻部穿孔的风险<sup>[14]</sup>。因此,在腭部植入微支抗钉前可应用 CBCT 评估不同区域腭部骨质厚度及骨密度。

研究证实,下颌颊棚区可提供充足的骨支持,使得微型支抗钉植入磨牙牙根颊侧,可避免下牙列在远移过程中支抗钉与牙根接触<sup>[30]</sup>,另一方面,可以进行整个下牙列的内收,极大地缩短治疗时间,从而取得良好而稳定的效果。Coşkun 等<sup>[31]</sup> 研究指出,在颊棚区颊侧后部牙槽骨厚度明显大于颊侧前部牙槽骨厚度。因此,微型支抗钉植入第二磨牙近、远中根之间、下颌第一磨牙远中根与第二磨牙近中根之间较第二前磨牙远中到第一磨牙近中根之间或者第一磨牙近远中根之间更为安全。Farnsworth 等<sup>[32]</sup> 观察,男性和女性在下颌颊棚区皮质骨厚度没有明显差异,而成人和儿童皮质骨厚度存在显著性差异,成人皮质骨厚度较厚。Ozdemir 等<sup>[33]</sup> 评估了不同垂直骨面型的上、下颌骨皮质骨厚度,发现在低角型患者中上、下颌骨皮质骨厚度均较厚,Escobar-Correa 等<sup>[27]</sup> 研究结果显示在低角型患者中所有测量结果都较大,也证实了 Ozdemir 等<sup>[33]</sup> 的结论。在颊棚区植入区水平向的骨厚度至少需要 5 mm(支抗钉距离牙根 1.7 mm 的安全距离、1.6 mm 的支抗钉直径、1.7 mm 的颊侧皮质骨厚度)。因此,尤其对于成人低角型患者微型支抗钉植入前需预先钻孔,可避免形成过大的转矩,造成支抗钉折断以及降低其初期稳定性<sup>[26]</sup>。研究显示,微型支抗钉植入角度在颊棚区第一磨牙远中根区域为 19.6°±4.0°,第二磨牙近中根为 29.6°±4.6°,第二磨牙远中根为 35.1°±7.4°<sup>[27]</sup>,表明在第一磨牙到第二磨牙角度值有增加趋势,提示临床医生在下颌植入微支抗钉时不仅应考虑颊棚区皮质骨厚度也要考虑该部位陡度,以便及时更改支抗钉植入角度避免损失相邻牙根。

#### 六、影响微型支抗钉植入初期稳定性的因素

有文献报道,微型支抗钉的稳定性并不依赖与骨之间形成的骨结合,而取决于支抗钉与周围骨界面之间的机械嵌合力,这种作用力被称为初期稳定性。因此,具有良好的骨密度、骨高度和骨厚度的植入位置,往往拥有更理想的初期稳定性<sup>[27]</sup>。随着 CBCT 发展与应用,为临床医生三维方向评估微型支抗钉植入区骨质条件,提供了便利<sup>[34]</sup>。除了考虑骨质条件,局部软组织条件也需要考虑<sup>[35]</sup>。Nucera 等<sup>[26]</sup> 同样认为,微型支抗钉植入点的黏膜活动性可影响支抗钉的长期稳

定性。因此,应进一步根据年龄、性别和骨面型对颊棚区软组织进行分析,这些因素与局部骨质条件都影响支抗钉尺寸的选择和植入位点的设计。研究显示,微型支抗钉的直径和长度与其稳定性密切相关,这两个因素对于避免解剖结构(如牙根、神经、血管)的损伤至关重要。通常认为,支抗钉直径大于 1.4 mm 植入下颌有较高成功率,并且随着其直径的增大折断的风险降低。长度大于 8 mm 的支抗钉植入成功率较高并且能提供更大的机械力<sup>[36]</sup>。

#### 七、微型支抗钉运用的解剖界限

理论上讲,上颌微型支抗钉植入部位越靠前部效果越好,但是腭部血管、神经和唾液腺等结构的分布也就越多,植入风险就会增加<sup>[37]</sup>。矫治过程中牙根应在骨松质内移动,如果因施力不当或其它因素造成牙根与皮质骨接触时,那么牙齿的移动将会受阻,同时牙根吸收的风险会增加,如再进一步移动牙齿,牙周组织将会受损,最终导致牙齿长期功能不佳。Alboghga 等<sup>[38]</sup> 研究表明,微型支抗钉与相邻牙根部之间的最小距离应为 1 mm,以避免大多数牙根部吸收。

但牙齿的移动并不是无限制的,它受到解剖因素的限制。一般认为,在下颌牙弓牙齿移动的后界为下颌升支前缘。最近研究显示,下颌第二磨牙远移过程中后部界限为下颌体舌侧皮质骨,男性下颌骨后部解剖极限距离在釉牙骨质下 8 mm 位置,比女性长约 2 mm<sup>[39]</sup>。Choi 等<sup>[40]</sup> 对比了安氏Ⅰ类和Ⅲ类错殆畸形患者下颌骨后部边界,认为Ⅲ类错殆畸形患者有更大的磨牙后退空间。依据不同的垂直向及矢状向骨面型,下颌骨结构也有所不同。研究认为,低角型患者较高角型具有更远的下颌牙弓移动距离<sup>[41-42]</sup>。相对于高角型来说,低角型患者因咀嚼肌力更强,下颌体长度增加,则颊侧皮质骨骨质增加。其次,拥有相同的殆平面角和下颌体长度时,下颌平面角更陡的患者磨牙后区长度更短。另外长脸型患者的基因也影响下颌磨牙后部空间大小。另外,下颌舌骨嵴为下颌骨的后界,不仅限制下颌第二磨牙的远移而且影响第二磨牙的移动,因此正畸医生需要格外关注下颌舌骨嵴和颌下腺窝<sup>[43]</sup>。文献显示,应用支抗钉下颌磨牙远移量为 2~6 mm<sup>[43]</sup>。有学者报道,下颌磨牙远移量越多、牙齿后倾量越多,治疗后越容易复发<sup>[44]</sup>。因此,对于远移量较大的患者,矫治结束后的保持尤为重要。

#### 八、小结

综上所述,微型支抗钉的应用使轻中度成人骨性Ⅲ类错殆畸形非手术矫治成为可能,但是正畸医生应注重其安全性和稳定性,正确运用 CBCT 评估植入区安全界限,注意邻近重要解剖结构(如血管、神经),测量皮质骨厚度、陡度,预防局部炎症引起微支抗钉过早松动及脱落。另外,微型支抗钉辅助上颌骨矫治骨性Ⅲ类错殆畸形的临床应用并不广泛,而且目前文献报道的年轻成人病例较多,30 岁以上成人病例较少,另外下颌后牙远移复发率以及其长期稳定性的控制方面研究缺乏大量数据研究,未来需要更多正畸医生和研究者进行完善和探讨。正畸医生需要综合评估患者自身条件,掌握微型支抗钉优势和局限性,才能选择合理的治疗方案,帮

助患者达到理想的治疗效果。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] Lew KK, Foong WC, Loh E. Malocclusion prevalence in an ethnic Chinese population [J]. *AustDent J*, 1993, 38(6): 442-449. DOI:10.1111/j.1834-7819.1993.tb04759.x.
- [2] Burgersdijk R, Truin GJ, Frankenmolen F, et al. Malocclusion and orthodontic treatment need of 15-74-year-old Dutch adults [J]. *Community Dent Oral Epidemiol*, 1991, 19(2): 64-67. DOI: 10.1111/j.1600-0528.1991.tb00111.x.
- [3] Zere E, Chaudhari PK, Sharan J, et al. Developing Class III malocclusions: Challenges and solutions [J]. *Clin Cosmet Investig Dent*, 2018, 10:99-116. DOI:10.2147/CCIDE.S134303.
- [4] Yoon JH, Cha JY, Choi YJ, et al. Simulation of miniscrew-root distance available for molar distalization depending on the miniscrew insertion angle and vertical facial type [J]. *PLoS One*, 2020, 15(9): e0239759. DOI:10.1371/journal.pone.0239759.
- [5] Lombardo L, Carlucci A, Maino BG, et al. Class III malocclusion and bilateral cross-bite in an adult patient treated with miniscrew-assisted rapid palatal expander and aligners [J]. *Angle Orthod*, 2018, 88(5): 649-664. DOI:10.2319/111617-790.1.
- [6] Carvalho PHA, Moura LB, Trento GS, et al. Surgically assisted rapid maxillary expansion: A systematic review of complications [J]. *Int J Oral Max Surg*, 2020, 49(3): 325-332. DOI:10.1016/j.ijom.2019.08.011.
- [7] Huizinga MP, Meulstee JW, Dijkstra PU, et al. Bone-borne surgically assisted rapid maxillary expansion: A retrospective three-dimensional evaluation of the asymmetry in expansion [J]. *J Cranio Maxillofac Surg*, 2018, 46(8): 1329-1335. DOI:10.1016/j.jcms.2018.05.021.
- [8] Park JJ, Park Y, Lee K, et al. Skeletal and dentoalveolar changes after miniscrew-assisted rapid palatal expansion in young adults: A cone-beam computed tomography study [J]. *Korean J Orthod*, 2017, 47(2): 77-86. DOI:10.4041/kjod.2017.47.2.77.
- [9] Cunha A, Lee H, Nojima LI, et al. Miniscrew-assisted rapid palatal expansion for managing arch perimeter in an adult patient [J]. *Dental Press J Orthod*, 2017, 22(3): 97-108. DOI:10.1590/2177-6709.22.3.097-108.oar.
- [10] Paludo BD, Franzzotti SAE, Wilson MA, et al. Non-surgical treatment of transverse deficiency in adults using microimplant-assisted rapid palatal expansion (MARPE) [J]. *Dent Press J Orthod*, 2017, 22(1): 110-125. DOI:10.1590/2177-6709.22.1.110-125.sar.
- [11] Handelman CS. The anterior alveolus: Its importance in limiting orthodontic treatment and its influence on the occurrence of iatrogenic sequelae [J]. *Angle Orthod*, 1996, 66(2): 95-109. DOI:10.1043/0003-3219(1996)066<0095:TAAIII>2.3.CO;2.
- [12] Lin J, Gu Y. Preliminary investigation of nonsurgical treatment of severe skeletal Class III malocclusion in the permanent dentition [J]. *Angle Orthod*, 2003, 73(4): 401-410. DOI:10.1043/0003-3219(2003)073<0401:PIONTO>2.0.CO;2.
- [13] Chen W, Zhang K, Liu D. Palatal bone thickness at the implantation area of maxillary skeletal expander in adult patients with skeletal Class III malocclusion: A cone-beam computed tomography study [J]. *BMC Oral Health*, 2021, 21(1): 144. DOI: 10.1186/s12903-021-01489-0.
- [14] Nojima LI, Nojima MDCG, Cunha ACD, et al. Mini-implant selection protocol applied to MARPE [J]. *Dental Press J Orthod*, 2018, 23(5): 93-101. DOI:10.1590/2177-6709.23.5.093-101.sar.
- [15] 牟兰, 徐庚池, 韩耀辉, 等. 远移下颌磨牙矫治骨性 III 类错殆畸形的临床 [J]. *中华口腔医学杂志*, 2015, 50(6): 373-377. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2015.06.012.
- [16] Liu H, Wu X, Tan J, et al. Safe regions of miniscrew implantation for distalization of mandibular dentition with CBCT [J]. *Prog Orthod*, 2019, 20(1): 45. DOI:10.1186/s40510-019-0297-6.
- [17] Crismani AG, Bertl MH, Celar AG, et al. Miniscrews in orthodontic treatment: review and analysis of published clinical trials [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010, 137(1): 108-113. DOI:10.1016/j.ajodo.2008.01.027.
- [18] Marquezan M, Nojima LI, Freitas AO, et al. Tomographic mapping of the hard palate and overlying mucosa [J]. *Braz Oral Res*, 2012, 26(1): 36-42. DOI:10.1590/s1806-83242012000100007.
- [19] Garcez AS, Suzuki SS, Storto CJ, et al. Effects of maxillary skeletal expansion on respiratory function and sport performance in a para-athlete: A case report [J]. *Phys Ther Sport*, 2019, 36: 70-77. DOI:10.1016/j.ptsp.2019.01.005.
- [20] Moon W, Wu KW, MacGinnis M, et al. The efficacy of maxillary protraction protocols with the micro-implant-assisted rapid palatal expander (MARPE) and the novel N2 mini-implant - a finite element study [J]. *Prog Orthod*, 2015, 16: 16. DOI:10.1186/s40510-015-0083-z.
- [21] Tepedino M, Cornelis MA, Chimenti C, et al. Correlation between tooth size-arch length discrepancy and interradicular distances measured on CBCT and panoramic radiograph: An evaluation for miniscrew insertion [J]. *Dental Press J Orthod*, 2018, 23(5): 39.e1-39.e13. DOI:10.1590/2177-6709.23.5.39.e1-13.onl.
- [22] Schnelle MA, Beck FM, Jaynes RM, et al. A radiographic evaluation of the availability of bone for placement of miniscrews [J]. *Angle Orthod*, 2004, 74(6): 832-837. DOI:10.1043/0003-3219(2004)074<0832:AREOTA>2.0.CO;2.
- [23] Rossi M, Bruno G, De Stefani A, et al. Quantitative CBCT evaluation of maxillary and mandibular cortical bone thickness and density variability for orthodontic miniplate placement [J]. *Int Orthod*, 2017, 15(4): 610-624. DOI:10.1016/j.ortho.2017.09.003.
- [24] Chang C, Liu SS, Roberts WE. Primary failure rate for 1680 extra-alveolar mandibular buccal shelf mini-screws placed in movable mucosa or attached gingiva [J]. *Angle Orthod*, 2015, 85(6): 905-910. DOI:10.2319/092714.695.1.

- [25] Melsen B, Costa A. Immediate loading of implants used for orthodontic anchorage [J]. *Clin Orthod Res*, 2000, 3(1): 23-28. DOI:10.1034/j.1600-0544.2000.030105.x.
- [26] Nucera R, Lo Giudice A, Bellocchio AM, et al. Bone and cortical bone thickness of mandibular buccal shelf for mini-screw insertion in adults [J]. *Angle Orthod*, 2017, 87(5): 745-751. DOI:10.2319/011117-34.1.
- [27] Escobar-Correa N, Ramírez-Bustamante MA, Sánchez-Urbe LA, et al. Evaluation of mandibular buccal shelf characteristics in the Colombian population: A cone-beam computed tomography study [J]. *Korean J Orthod*, 2021, 51(1): 23-31. DOI: 10.4041/kjod.2021.51.1.23.
- [28] Chae JM, Rogowski L, Mandair S, et al. A CBCT evaluation of midpalatal bone density in various skeletal patterns [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(23): 7812. DOI: 10.3390/s21237812.
- [29] Abo Samra D, Hadad R. Midpalatal suture: Evaluation of the morphological maturation stages via bone density [J]. *Prog Orthod*, 2018, 19(1): 29. DOI: 10.1186/s40510-018-0232-2.
- [30] 贺红. 种植体支抗辅助牙列整体远移的疗效及长期稳定性的研究进展[J]. *中华口腔医学杂志*, 2018, 53(9): 594-598. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2018.09.005.
- [31] Coşkun İ, Kaya B. Relationship between alveolar bone thickness, tooth root morphology, and sagittal skeletal pattern: A cone beam computed tomography study [J]. *J Orofac Orthop*, 2019, 80(3): 144-158. DOI: 10.1007/s00056.
- [32] Farnsworth D, Rossouw PE, Ceen RF, et al. Cortical bone thickness at common miniscrew implant placement sites [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2011, 139(4): 495-503. DOI: 10.1016/j.ajodo.2009.03.057.
- [33] Ozdemir F, Tozlu M, Germec-Cakan D. Cortical bone thickness of the alveolar process measured with cone-beam computed tomography in patients with different facial types [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2013, 143(2): 190-196. DOI: 10.1016/j.ajodo.2012.09.013.
- [34] Ngan P, Moon W. Evolution of Class III treatment in orthodontics [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2015, 148(1): 22-36. DOI: 10.1016/j.ajodo.2015.04.012.
- [35] Dharmadeep G, Naik MK, Reddy YM, et al. Three-dimensional evaluation of interradicular areas and cortical bone thickness for orthodontic miniscrew implant placement using cone-beam computed tomography [J]. *J Pharm Bioallied Sci*, 2020, 12(1): S99-S104. DOI: 10.4103/jpbs.JPBS\_36\_20.
- [36] Ramírez-Ossa DM, Escobar-Correa N, Ramírez-Bustamante MA, et al. An umbrella review of the effectiveness of temporary anchorage devices and the factors that contribute to their success or failure [J]. *Evid Based Dent Pract*, 2020, 20(2): 101402. DOI: 10.1016/j.jebdp.2020.101402.
- [37] Suzuki H, Moon W, Previdente LH, et al. Miniscrew-assisted rapid palatal expander (MARPE): The quest for pure orthopedic movement [J]. *Dental Press J Orthod*, 2016, 21(4): 17-23. DOI: 10.1590/2177-6709.21.4.017-023.oim.
- [38] Albogha MH, Takahashi I. Effect of loaded orthodontic miniscrew implant on compressive stresses in adjacent periodontal ligament [J]. *Angle Orthod*, 2019, 89(2): 235-241. DOI: 10.2319/122017-873.1.
- [39] Poggio PM, Incorvati C, Velo S, et al. "Safe zones": A guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch [J]. *Angle Orthod*, 2006, 76(2): 191-197. DOI: 10.1043/0003-3219(2006)076[0191:SZAGFM]2.0.CO;2.
- [40] Choi YT, Kim YJ, Yang KS, et al. Bone availability for mandibular molar distalization in adults with mandibular prognathism [J]. *Angle Orthod*, 2018, 88(1): 52-57. DOI: 10.2319/040617-237.1.
- [41] Aleluia RB, Duplat CB, Crusoé-Rebello I, et al. Assessment of the mandibular buccal shelf for orthodontic anchorage: Influence of side, gender and skeletal patterns [J]. *Orthod Craniofac Res*, 2021, 24: 83-91. DOI: 10.1111/ocr.12463.
- [42] Kim SH, Cha KS, Lee JW, et al. Mandibular skeletal posterior anatomic limit for molar distalization in patients with Class III malocclusion with different vertical facial patterns [J]. *Korean J Orthod*, 2021, 51(4): 250-259. DOI: 10.4041/kjod.2021.51.4.250.
- [43] Aslan BI, Küçükkaraca E. Nonextraction treatment of a Class III malocclusion case using mini-screw-assisted lower molar distalization [J]. *Turk J Orthod*, 2019, 32(2): 119-124. DOI: 10.5152/TurkJOrthod.2018.18026.
- [44] Chung K, Kim S, Choo H, et al. Distalization of the mandibular dentition with mini-implants to correct a Class III malocclusion with a midline deviation [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010, 137: 46-135. DOI: 10.1016/j.ajodo.2007.06.023.

(收稿日期:2021-11-04)

(本文编辑:王嫚)