

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2023.01.002

· 专家论坛 ·

牙周辅助加速成骨正畸治疗:历史、原理、临床应用和展望

陈斌, 闫福华

南京大学医学院附属口腔医院牙周病科, 江苏 南京(210008)

【摘要】 我国人群中薄牙周生物型较多,明显限制了正畸牙移动界限。牙周辅助加速成骨正畸治疗(periodontally accelerated osteogenic orthodontics, PAOO)不仅可以通过骨皮质切开加速牙齿移动,而且可以通过增加牙槽骨量扩大正畸牙移动范围,减少正畸治疗的牙周并发症。PAOO的发展经过了曲折漫长的历史过程:从基于“移动骨块”的截骨术到后来基于“局部加速现象”的骨皮质切开术,再到目前基于“骨组织工程学”的PAOO,已有百余年。纵观其发展史,对原理的认识决定了临床技术的发展。因此,对于PAOO应立足于基础研究,在实际临床工作中根据骨组织改建和再生的原理进行相应操作,思考手术改良。根据目前的循证证据,如行单纯的骨皮质切开术,建议选择超声骨皮质切开术或者激光辅助骨皮质切开术,并首选采用外科导航技术或在3D打印的外科导板辅助下进行;如需骨增量,尤其是大量骨增量,翻瓣的PAOO仍是首选。术区稳定、无感染是愈合的关键,因此,除了感染控制,还应保护术区免受外力干扰。目前,关于PAOO的高质量临床研究较少,未来还需要大样本、多中心的随机对照临床试验,来评价不同术式PAOO的临床疗效。本文在介绍PAOO的发展史、原理及手术注意事项的同时,展望其未来发展方向,以期临床工作提供参考。

【关键词】 牙周辅助加速成骨正畸; 骨皮质切开术; 牙周-正畸联合治疗; 牙周手术; 牙周生物型; 加速牙移动; 牙槽骨骨量; 区域加速现象; 超声骨皮质切开术; 激光辅助骨皮质切开术; 微骨穿孔术

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2023)01-0002-08

【引用著录格式】 陈斌, 闫福华. 牙周辅助加速成骨正畸治疗:历史、原理、临床应用和展望[J]. 口腔疾病防治, 2023, 31(1): 2-9. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2023.01.002.

Periodontally accelerated osteogenic orthodontics: history, fundamentals, clinical application, and prospects

CHEN Bin, YAN Fuhua. Department of Periodontology, Nanjing Stomatological Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing 210008, China

Corresponding author: YAN Fuhua, Email: yanfh@nju.edu.cn, Tel:86-25-83620253

【Abstract】 The most common periodontal biotype in the Chinese population is thin, which obviously limits orthodontic tooth movement. Periodontally accelerated osteogenic orthodontics (PAOO) can not only accelerate tooth movement through corticotomy but also expand the range of orthodontic tooth movement by alveolar bone augmentation, which could reduce the periodontal complications of orthodontic therapy. The development of PAOO has gone through a long and tortuous historical process over more than 100 years: from osteotomy based on "bony block movement" at the beginning to cortical osteotomy based on "the regional acceleratory phenomenon" and then to PAOO based on "bone tissue engineering". Throughout its development history, the understanding of the biological basis determines the development of the clinical technology. Therefore, PAOO should be based on basic research. Both the present clinical practice and future surgical improvements should be based on the fundamentals of bone repair and regeneration. According to the current evidence, it is suggested that piezocision and laser-assisted flapless corticotomy should be chosen only for simple

【收稿日期】 2022-06-28; **【修回日期】** 2022-08-05

【基金项目】 江苏省自然科学基金项目(BK20220199);南京市口腔疾病临床医学研究中心项目(2019060009)

【作者简介】 陈斌, 副主任医师, 博士, Email: 361734128@qq.com

【通信作者】 闫福华, 主任医师, 博士, Email: yanfh@nju.edu.cn, Tel: 86-25-83620253



微信公众号

cortical osteotomy, and surgical navigation technology or 3D-printed surgical guides are recommended. When a large amount of bone augmentation is needed, PAOO with an intact flap is still the first choice. A stable and infection-free healing environment is the key to wound healing; therefore, in addition to infection control, the surgical area should also be protected from external forces. At present, there are few high-quality clinical studies on PAOO. Multicenter, large-sample, randomized controlled clinical trials are needed to evaluate the clinical efficacy of different PAOO techniques in the future. The present article introduces the development history, fundamentals and operation precautions of PAOO, and a new perspective is also proposed, which may provide a reference for clinical practice.

【Key words】 periodontally accelerated osteogenic orthodontics; corticotomy; combined periodontal-orthodontic treatment; periodontal surgery; periodontal biotype; accelerated tooth movement; alveolar bone volume; regional acceleratory phenomenon; piezocision; laser-assisted flapless corticotomy; micro-osteoperforation

J Prev Treat Stomatol Dis, 2023, 31(1): 2-9.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from Natural Science Foundation of Jiangsu Province(No.BK20220199) and Nanjing Clinical Medical Research Center for Oral Diseases (No. 2019060009).

牙周辅助加速成骨正畸治疗(periodontal accelerated osteogenic orthodontics, PAOO)指在传统的骨皮质切开基础上,着重强调骨增量,可以有效“重塑牙槽骨”,扩大正畸牙移动范围,从而扩大正畸适应证^[1]。PAOO的出现,开启了牙周-正畸联合治疗新时代。本文介绍PAOO的发展史、原理及手术中应注意的问题,展望其未来发展方向。

1 PAOO发展史

PAOO的发展经历了艰难而漫长的过程。早在19世纪末,就有学者提出通过手术加速牙移动的概念^[1],虽然它具有一些现代骨皮质切开术的基本特征,但事实上,是一种松解骨块的节段性截骨术。随后,这一概念在德国得到了发展,Cohn-Stock(1921)用“Angle”法去除上颌牙腭侧骨组织以利于单颗牙或多颗牙内收,Skogsborg(1926)断离牙齿邻面牙槽骨,并把这一术式命名为“邻面截骨术”^[2]。1931年,Bichlmayr又提出了“骨楔形切除术”的概念^[2]。1959年,Kole提出了更为微创的“骨皮质切开术”^[3],其术式已基本接近现代的骨皮质切开术。相较于如今的骨皮质切开术,它除了骨皮质切开,还将根尖区颊舌侧的切口贯通,当然,如今已明确这种贯通是没有必要的。

随后的研究里,学者们对骨皮质切开术的生物学基础争论不休:加速牙齿移动的原理是“移动部件”还是“调节生理”?直到1983年,Frost通过对长骨的研究提出区域加速现象(regional acceleratory phenomenon, RAP),即局部骨折创伤可引发短暂性骨质减少,骨改建显著增加^[4-5],并对这种牙齿加

速移动的现象进行了可能的解释。但是,在相当长一段时间内,人们对骨皮质切开术仍有很多误解,严重阻碍了手术的推广和发展。直到2007年左右,凯斯西储大学、圣路易斯和波士顿大学的临床医生和研究人员通力合作,从临床和基础两方面将骨皮质切开的相关概念总结为“骨皮质切开是指用外科手术的方式切开骨皮质并有目的、安全地进入骨髓质”,这也是骨皮质切开术发展史上的里程碑事件^[6]。

2001-2009年,Wilcko等^[7-8]提出了PAOO,指通过骨皮质切开,移植颗粒骨并结合正畸牙移动,从而达到加速牙移动、增加牙槽骨量的目的,可以有效拓宽牙齿移动的界限。相较传统的骨皮质切开术,PAOO增加了骨增量环节,不仅具有骨皮质切开术加速牙移动的功能,还具备了拓宽牙槽骨边界、扩大正畸适应证的特性,至此,PAOO得到较快发展。

值得注意的是,虽然PAOO的真正内涵包括骨皮质切开和骨增量两个部分,而骨皮质切开术仅包含骨皮质切开这一内容,但是,由于历史原因,目前临床上所指的PAOO,有时也指单纯的骨皮质切开术。

2 PAOO原理

任何临床技术的顺利发展都离不开对其原理的认识,曾经,学者们误以为加速正畸牙移动的原因来源于“骨块的移动”,因此术中骨切开很“彻底”,更接近于“截骨术”。直到1983年,Frost提出RAP,即局部骨折创伤可引发短暂性骨改建显著增

加^[4], PAOO 的生物学研究才被不断完善。近年, PAOO 的理论本质被归纳为: PAOO 是牙槽骨组织工程学, 是利用内源性生化反应和外源性矫治器加力来重组牙槽骨的生理功能^[9]。

既然 PAOO 的理论本质是牙槽骨组织工程学, 那么, 骨皮质切开术后牙槽骨局部的变化过程就是深入了解 PAOO 的根本。根据现有文献, 笔者推测骨皮质切开术后的主要生理变化过程可能为: ①巨噬细胞在局部聚集和激活, 与所有的创伤愈合过程类似, 骨皮质切开后, 单核巨噬细胞系统在创伤局部聚集, 创伤初期, 巨噬细胞向 M1 型极化, 随后, 在创伤愈合阶段, 又以 M2 型巨噬细胞为主^[10]。值得注意的是, 当注射脂质体包裹的氯膦酸盐耗竭小鼠的单核细胞/巨噬细胞后, 皮质切开诱导的正畸牙移动明显减少^[10], 提示巨噬细胞是骨皮质切开后骨改建过程中的关键细胞之一。②破骨细胞和成骨细胞活跃, 被激活的巨噬细胞可以产生大量炎症因子, 激活破骨过程。一项基于大鼠模型的研究显示, 骨皮质切开术后 3 周, 牙周膜增宽, 破骨活动和成骨活动成倍增加, 术后 11 周降至稳定状态^[11]。另一项在兔模型上的研究显示, 骨皮质切开术后, 破骨细胞数量出现两个峰值, 第一个峰值可能是由于组织驻留破骨细胞前体的分化, 而第二个可能来自于局部募集的单核细胞系的分化^[12], 进一步提示了单核巨噬细胞系统在局部募集的重要性。另外, 值得注意的是, 骨皮质切开的影响仅限于骨皮质切开的临近区域^[11]。

作为 PAOO 的重要组成部分之一, 骨增量也是非常关键的步骤, 尤其是对于需要将牙齿移向薄牙槽骨一侧的患者而言, 骨增量这一目标的重要程度甚至超出了加速牙齿移动这个目标。然而, 目前关于 PAOO 骨增量术后的生物学变化研究尚不深入, 且多为临床前研究。

3 PAOO 临床需求、临床疗效、常用术式及注意事项

3.1 PAOO 临床需求

正畸治疗的需求日益增加, 正畸牙安全移动的基础是其在牙槽骨内移动, 而不顾骨生理界限的后果就是患者的牙齿被移出牙槽骨(图 1)。亚洲人多为薄牙周生物型, 骨开窗和骨开裂的发生率较高(图 2), 尤其是正畸治疗后, 在某些牙位骨开窗和骨开裂的出现概率可高达 50%^[13]。因此, 在我国, PAOO 的实际需求可能比欧美人群更高。

3.2 PAOO 临床疗效

一项基于 2008 年 1 月-2018 年 8 月 PAOO 相关文献的系统评价显示, PAOO 可以加速正畸治疗^[14]。基于 2017 年 11 月之前所发表文献的系统评价和 meta 分析的结果也显示, PAOO 可以显著加速牙齿移动, 并明显改善正畸后的牙周状况, 但是, 关于其是否可以减少牙根吸收, 尚无足够证据^[15-16]。2021 年发表的一篇 meta 分析总结了 2019 年 4 月之前发表的 PAOO 相关临床数据, 比较了采用超声骨刀进行骨皮质切开辅助前牙拥挤病例正畸治疗和传统正畸治疗的临床疗效, 结果发现, PAOO 可以显著缩短正畸疗程, 然而, 在牙龈健康、患者疼痛和牙根吸收等方面无显著差异^[17]。另外一篇 2021 年发表的 meta 分析总结了 1980 年 1 月至 2021 年 6 月期间关于骨皮质切开术或 PAOO 的英文临床研究, 结果显示与单纯的传统正畸治疗相比, 骨皮质切开术辅助正畸可以加速尖牙移动, 另外, PAOO 可以增加尖牙颊侧骨板厚度并改善其骨密度^[18]。综上, 可以得出结论: ①有充分的证据支持 PAOO 可以加速牙齿移动, 缩短正畸疗程; ②PAOO 可能对改善牙周状况有益, 尤其是进行骨增量手术时; ③PAOO 是否可以减少牙根吸收, 尚需更多证据。

关于 PAOO 的牙周获益, 前文所述的部分 meta



Figure 1 Roots were removed from the alveolar bone during orthodontic treatment
图 1 正畸治疗中出现牙根被移出牙槽骨



a: obvious root morphology of the mandibular anterior teeth before PAOO; b: bone dehiscence and fenestration after the flap was raised during PAOO; c: one and a half years after PAOO, the periodontal biotype was improved (during this period, the patient also underwent orthognathic surgery, and a clear aligner was used instead of a fixed appliance). PAOO: periodontal accelerated osteogenic orthodontics

Figure 2 Bone dehiscence and fenestration occurred during orthodontic treatment, and periodontal accelerated osteogenic orthodontics can improve the periodontal condition

图2 正畸治疗中发现骨开窗和骨开裂,牙周辅助加速成骨正畸治疗可以改善牙周状况

分析并没有得出明确结论,其原因主要在于:这些 meta 分析纳入的某些文献并未采用经典 PAOO(即骨皮质切开+骨增量),而仅仅是骨皮质切开术,导致牙周获益有限。因此,PAOO 对牙周的影响评估,应考虑牙周生物型和正畸牙移动的目标位置,对于牙根需要向牙槽骨较薄侧移动的情况,PAOO 骨增量的牙周获益应该是肯定的^[18-19]。

3.3 PAOO 常用术式及选择

PAOO 的传统术式为 Wilcko 等^[7-8]提出的术式,其方法为:在术区的颊侧和舌侧,进行沟内切口,翻开全厚瓣,切开骨皮质(位于牙齿之间的垂直切口和位于根尖区域的水平切口顶端相连,并在牙齿颊舌侧骨板进行额外的皮质穿孔),放置骨材料,缝合;其缺点为:手术时间长、创伤大、术后反应重。

鉴于 Wilcko 术式创伤较大,后有学者提出了创伤更小的不翻瓣骨皮质切开术,包括超声骨皮质切开术(piezocision)、激光辅助骨皮质切开术(laser-assisted flapless corticotomy, LAFC)和微骨穿孔术(micro-osteoperforation, MOP)等^[1]。多项研究显示,相较传统 PAOO,不翻瓣骨皮质切开术促进牙齿移动的速度相对较低^[20-23]。具体而言,超声骨皮质切开术和 LAFC 的临床疗效类似^[24],MOP 的临床疗效相对较差^[25]。但也有研究显示,虽然不翻瓣骨皮质切开术术后前 3 个月牙齿移动速度(1.60、1.42、1.22 mm/月)较传统 PAOO(1.82、1.66、1.39 mm/月)慢,但两者差异无统计学意义^[26],还需更多高质量临床研究进一步验证。就创伤而言:LAFC 的患者舒适度可能优于超声骨皮质切开术^[27],而 MOP 创伤最小^[28]。就骨增量而言,不翻瓣的骨皮

质切开术不利于骨增量^[29],超声骨皮质切开术和 LAFC 可以通过隧道进行软硬组织增量,但是植骨空间有限,且植骨位置易偏根尖方向,而 MOP 则无法进行骨增量。就术后瘢痕而言,超声骨皮质切开术和 LAFC 术后容易形成瘢痕,美学区应慎用^[1],各类术式优缺点总结见表 1。

根据目前的循证医学证据,如行单纯的骨皮质切开术,建议选择超声骨皮质切开术或者 LAFC,并最好采用外科导航技术或在外科导板辅助下进行^[30],如无条件,至少也应通过锥形束 CT(cone beam CT, CBCT)了解牙根等重要解剖结构的位置和形态,以免术中损伤。如需骨增量,尤其是大量骨增量,翻瓣的 PAOO 仍是首选,可根据骨增量需要在颊侧或舌侧翻瓣,并不一定要两侧同时翻开。

3.4 PAOO 临床操作注意事项

3.4.1 完善的术前检查和准备 术前应再次确认手术适应证。包括患者的全身状况,尤其是阿伦膦酸盐等的使用史^[31]。推荐 PAOO 术前进行 CBCT 检查并取模,同时用相机拍摄口内照记录口腔内软硬组织特征,最好能同时行口腔数字化扫描。

3.4.2 PAOO 术中注意事项 软组织切口:目前常用的水平切口有两种,包括保留龈乳头切口和沟内切口。保留龈乳头切口的优点是不容易出现龈乳头退缩导致黑三角,缺点是可能形成瘢痕;沟内切口的优缺点恰和保留龈乳头切口相反。关于垂直切口,其优点是龈瓣减张明显,缺点是影响血供,并可能形成瘢痕。建议尽量不采用垂直切口,可通过延长水平切口、使用张力释放梳等方式来减张。

表1 牙周辅助加速成骨正畸治疗不同术式比较

Table 1 Comparison of different surgical strategy of periodontal accelerated osteogenic orthodontics

	Indications	Flap demand	Bone augmentation	Surgery trauma	Speed of tooth movement (ratio of tooth movement speed to control group)
Traditional PAOO	All patients who need PAOO	Yes	Large amount of bone augmentation	Relatively grievous	About 2 - 3 times ^[14, 15]
Piezocision	The patients who only need limited bone augmentation during PAOO	No	Limited bone augmentation and greater possibility of apically displaced of bone grafting	Less	About 1.5 - 2 times ^[20-22]
L AFC	The patients who only need limited bone augmentation during PAOO	No	Limited bone augmentation and greater possibility of apically displaced of bone grafting	Less	About 1.5 - 2 times ^[24]
MOP	The patients who do not need bone augmentation during PAOO	No	Bone grafting is not allowed	Least	About 1 - 1.5 times ^[23, 25]

In this table, PAOO also includes simple osteotomy. PAOO: periodontal accelerated osteogenic orthodontics. L AFC: laser-assisted flapless corticotomy. MOP: micro-osteoperforation

骨皮质切开:①切开深度:以穿通骨皮质为宜,一般约3 mm,临床上常以切开后出血为参考。②切开位置:相邻牙根间隔区垂直切开,从牙槽嵴顶下2~3 mm至根尖下方2 mm。Wilcko术式在根尖下方进行水平切开,但存在根尖周神经血管损伤的风险,不建议初学者实施这一切口。另外,在牙根唇颊和舌腭侧的牙槽骨上打孔也需谨慎,因为需要PAOO骨增量的位置,牙根唇颊和舌腭侧的牙槽骨厚度通常不足,骨松质很少或缺如,很难对骨增量提供助益,反而容易造成牙根损伤,并可能引起炎症性根吸收。根据PAOO原理,只要在牙齿附近打孔,即可在局部造成骨改建加速现象^[11], PAOO动物实验中采用不同位置的骨皮质切开都可加速牙移动的现象也支持了这个观点^[10-12],因此,骨皮质切开应在解剖安全范围内进行,并尽可能接近目标牙,而不必强求一定要在根尖等区域切开。③保护骨组织:骨皮质切开时注意有效散热,尤其是使用导板时,可通过间断切开、使用冷却的生理盐水等方式减少热损伤。④减少骨髓损失:骨髓中含有丰富的间充质干细胞和免疫细胞,可能对PAOO骨增量的有助益。因此,骨皮质穿通后应避免大量冲洗流出骨髓。对此,笔者建议先将需要骨皮质切开的部位切开至骨皮质内侧缘附近,待所有需要切开的位点制备完成,再逐一完全切开骨皮质,以避免早期切开骨皮质后流出的骨髓在后续骨皮质切开过程中大量损失。

植骨材料和屏障膜选择:一项单盲随机对照临床研究显示,对于PAOO中骨增量材料的选择,

牛骨可能优于生物玻璃^[32],因此,建议选择牛骨来源的骨材料。关于屏障膜,大部分学者推荐使用可吸收屏障膜^[33]。

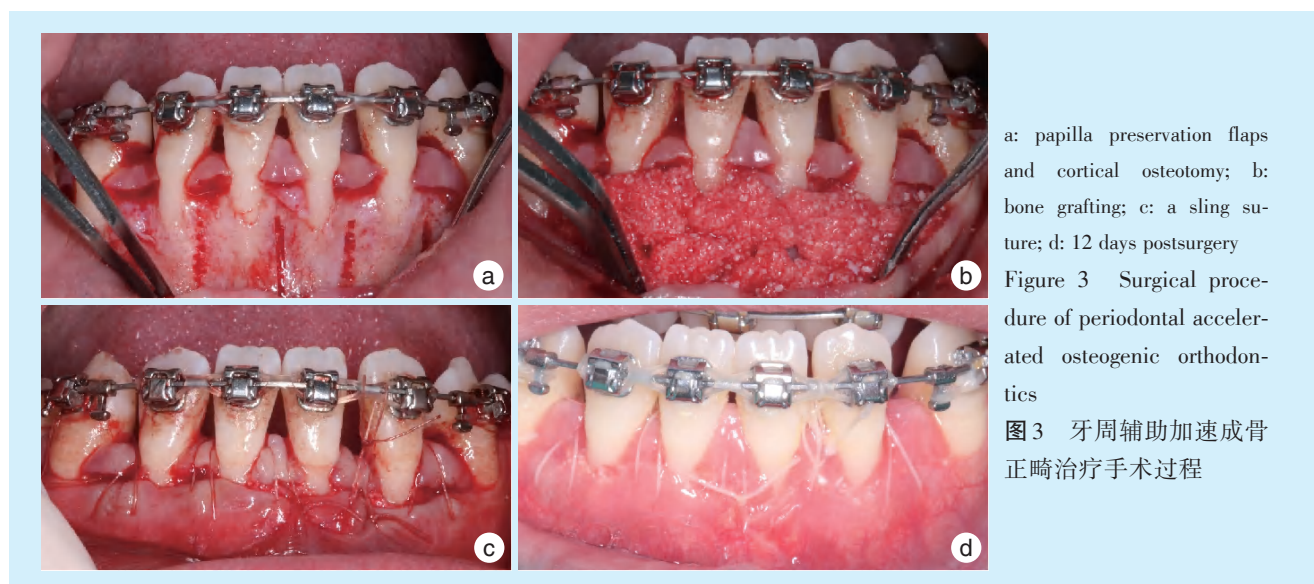
缝合:尽量对位缝合,避免屏障膜暴露;充分减张是关键,可考虑通过延长水平切开、增加垂直切口或使用张力释放梳等方法对龈瓣减张;应减少缝线密度以减少对血供的影响,尤其是牙龈较薄时。PAOO手术过程见图3。

3.4.3 PAOO术后注意事项 稳定、无感染的愈合环境是创伤愈合的关键。对PAOO而言,由于骨增量的部位在牙槽骨的唇颊侧或者舌腭侧,很容易因外力导致植骨材料移位。因此,保护术区免受外力干扰,是术后护理最重要的内容。唇颊侧PAOO患者术后冷敷的时机应在麻药效果消失之后,因为麻药的残存效果会影响患者触压觉,导致难以准确控制冰敷力量,造成植骨材料移位。也可术后不采用冷敷。另外,也需注意避免唇颊肌肉力量对术区的干扰,例如,上颌前牙唇侧PAOO术后,应避免吮吸动作等。相较传统的牙周再生手术,PAOO植骨量较大,骨改建需更长时间,而且植入材料在骨外,因此,对PAOO术区的保护,笔者建议至少3~6个月,具体要根据植骨量而定。对于影响创伤愈合的另外一个因素是术后感染,通常需采用全身+局部使用抗菌药物来控制,其用药原则同其他牙周再生手术,此处不再赘述。

4 PAOO发展展望

4.1 微创

从PAOO发展史可见,PAOO的术式日趋微



创。根据PAOO原理,骨皮质切开的目的是在局部造成创伤,从而启动骨改建过程,而非最初人们认为的“骨块切开和移动”,这为PAOO向微创发展提供了最重要的理论基础。随着人们对PAOO原理的深入了解,未来可能出现更微创的PAOO术式。但需要明确,微创仍以实现手术目的为最高前提,过度追求微创而忽略手术效果是不可取的。

4.2 数字化

骨皮质切开是进行PAOO术的先决条件。但由于牙根距离、牙根形态、血管、神经等因素的影响,PAOO手术可能导致这些重要解剖结构的损伤。虽然超声骨刀的使用可以很大程度避免破坏邻近的软组织和神经,但却无法避免牙根损伤。如存在牙根距离较近、牙根方向倾斜、牙根弯曲等情况,牙根损伤的可能性更大。

在数字化医疗和精准医疗模式的大背景下,3D打印在口腔诊疗中的应用日趋广泛。基于CBCT和口腔数字化扫描等数据,可以提取口腔重要解剖结构的数据并进行模型重建,制作相应的3D打印导板,避免重要解剖结构损伤,将大幅降低PAOO手术风险。笔者设计了基于重要解剖结构的PAOO手术导板(专利号:ZL2022 2-0570839.9)并应用于临床,获得了不错的临床疗效。

4.3 高质量的临床和基础研究

目前,关于PAOO的临床研究较多,但大部分都是病例报道,高质量的随机对照研究很少。最近发表的一篇关于PAOO的系统评价中,初步搜索结果共3 018项研究,其中仅8篇文章符合纳入标准,6项为随机对照试验,2项为非随机对照试验;

而且,这些研究的样本量都很小,手术方案也不尽相同^[17],因此,未来还需要大样本、多中心的随机对照临床研究,来评价不同术式PAOO的临床疗效。

另外,关于PAOO的基础研究对其机制的认识仍不够深入,也很难针对有效的靶点进行干预。因此,未来仍需高质量的基础研究明确PAOO手术的关键愈合过程和愈合过程中的关键分子,从而进行靶向干预,使手术更加微创且有效。

5 小结

PAOO作为一种手术技术,存在广泛的临床需求,然而,目前其推广应用程度并不能与实际需求相匹配。纵观PAOO发展史,对其原理的深入了解是促其发展的核心推动力,因此,未来的基础研究应逐步完善PAOO的基本理论,为其临床发展提供最根本的支持。关于PAOO的临床研究,无论是手术实施,还是未来手术改良,都应关注其基本原理,并借助数字化等先进技术,进行大样本、高质量的临床研究,以提高临床疗效,造福患者。

【Author contributions】 Chen B wrote the article. Yan FH reviewed the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

参考文献

- [1] Keser E, Naini FB. Accelerated orthodontic tooth movement: surgical techniques and the regional acceleratory phenomenon[J]. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*, 2022, 44(1): 1. doi: 10.1186/s40902-021-00331-5.
- [2] Amit G, Jps K, Pankaj B, et al. Periodontally accelerated osteogen-

- ic orthodontics (PAOO) - a review[J]. *J Clin Exp Dent*, 2012, 4(5): e292-e296. doi: 10.4317/jced.50822.
- [3] Kole H. Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1959, 12(5): 515-529. doi: 10.1016/0030-4220(59)90153-7.
- [4] Frost HM. The regional acceleratory phenomenon: a review[J]. *Henry Ford Hosp Med J*, 1983, 31(1): 3-9.
- [5] Verna C. Regional acceleratory phenomenon[J]. *Front Oral Biol*, 2016, 18: 28-35. doi: 10.1159/000351897.
- [6] 费德瑞科·布鲁纳米, 奥方索·卡亚佐. 正畸驱动的骨皮质切开术[M]. 周征, 译. 南京:江苏凤凰科学技术出版社, 2017: 20. Brugnami F, Caiazzo A. Orthodontically driven corticotomy[M]. Zhou Z, Translator. Nanjing: Jiangsu Phoenix Science and Technology Press, 2017: 20.
- [7] Wilcko WM, Wilcko T, Bouquot JE, et al. Rapid orthodontics with alveolar reshaping: two case reports of decrowding[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2001, 21(1): 9-19.
- [8] Wilcko MT, Wilcko WM, Pulver JJ, et al. Accelerated osteogenic orthodontics technique: a 1-stage surgically facilitated rapid orthodontic technique with alveolar augmentation[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2009, 67(10): 2149-2159. doi: 10.1016/j.joms.2009.04.095.
- [9] 江久汇. 牙周辅助加速成骨正畸的应用、研究及展望[J]. *中华口腔医学杂志*, 2021, 56(10): 971-977. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210728-00345. Jiang JH. Application, research and prospect of periodontally accelerated osteogenic orthodontics technology[J]. *Chin J Stomatol*, 2021, 56(10): 971-977. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210728-00345.
- [10] Wang Y, Zhang H, Sun W, et al. Macrophages mediate corticotomy-accelerated orthodontic tooth movement[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 16788. doi: 10.1038/s41598-018-34907-5.
- [11] Sebaoun JD, Kantarci A, Turner JW, et al. Modeling of trabecular bone and lamina dura following selective alveolar decortication in rats[J]. *J Periodontol*, 2008, 79(9): 1679-1688. doi: 10.1902/jop.2008.080024.
- [12] Chen YW, Wang HC, Gao LH, et al. Osteoclastogenesis in local alveolar bone in early decortication - facilitated orthodontic tooth movement[J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0153937. doi: 10.1371/journal.pone.0153937.
- [13] 邹道星, 陈丽辉, 郭宏铭. 拔除上颌第一前磨牙正畸患者治疗后上颌前牙骨开窗骨开裂的初步研究[J]. *北京口腔医学*, 2020, 28(2): 100-103. doi: CNKI:SUN:BJKX.0.2020-02-013. Zou DX, Chen LH, Guo HM. The dehiscence and fenestration of maxillary anterior teeth after orthodontic treatment with extraction of maxillary first premolar[J]. *Beijing J Stomatol*, 2020, 28(2): 100-103. doi: CNKI:SUN:BJKX.0.2020-02-013.
- [14] Vannala V, Katta A, Reddy MS, et al. Periodontal accelerated osteogenic orthodontics technique for rapid orthodontic tooth movement: a systematic review[J]. *J Pharm Bioallied Sci*, 2019, 11(Suppl 2): S97-S106. doi: 10.4103/jpbs.Jpbs_298_18.
- [15] Kamal AT, Malik DES, Fida M, et al. Does periodontally accelerated osteogenic orthodontics improve orthodontic treatment outcome? A systematic review and meta-analysis[J]. *Int Orthod*, 2019, 17(2): 193-201. doi: 10.1016/j.ortho.2019.03.006.
- [16] 杨雨卉, 黄一平, 李巍然. 骨皮质切开加速正畸牙齿移动对牙根吸收的影响[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2021, 53(2): 434-437. doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2021.02.034. Yang YH, Huang YP, Li WR. Effect of corticotomy techniques accelerating orthodontic tooth movement on root resorption[J]. *J Peking University(Health Sci)*, 2021, 53(2): 434-437. doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2021.02.034.
- [17] Afzal E, Fida M, Malik DS, et al. Comparison between conventional and piezocision-assisted orthodontics in relieving anterior crowding: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Orthod*, 2021, 43(3): 360-366. doi: 10.1093/ejo/ejaa046.
- [18] Gao J, Nguyen T, Oberoi S, et al. The significance of utilizing a corticotomy on periodontal and orthodontic outcomes: a systematic review and meta-analysis[J]. *Biology (Basel)*, 2021, 10(8):803. doi: 10.3390/biology10080803.
- [19] Brugnami F, Caiazzo A, Mehra P. Can corticotomy (with or without bone grafting) expand the limits of safe orthodontic therapy?[J]. *J Oral Biol Craniofac Res*, 2018, 8(1): 1-6. doi: 10.1016/j.jobcr.2017.11.001.
- [20] Figueiredo DS, Houara RG, Pinto LM, et al. Effects of piezocision in orthodontic tooth movement: a systematic review of comparative studies[J]. *J Clin Exp Dent*, 2019, 11(11): e1078-e1092. doi: 10.4317/jced.56328.
- [21] Mheissen S, Khan H, Samawi S. Is Piezocision effective in accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review and meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2020, 15(4): e0231492. doi: 10.1371/journal.pone.0231492.
- [22] Yi J, Xiao J, Li Y, et al. Efficacy of piezocision on accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review[J]. *Angle Orthod*, 2017, 87(4): 491-498. doi: 10.2319/01191-751.1.
- [23] Thomas S, Das SK, Barik AK, et al. Evaluation of physiodispenser assisted micro-osteoperforation on the rate of tooth movement and associated periodontal tissue status during individual canine retraction in first premolar extraction cases: a split-mouth randomized controlled clinical trial[J]. *J World Fed Orthod*, 2021, 10(3): 89-97. doi: 10.1016/j.ejwf.2021.05.001.
- [24] Alfawal AMH, Hajeer MY, Ajaj MA, et al. Evaluation of piezocision and laser-assisted flapless corticotomy in the acceleration of canine retraction: a randomized controlled trial[J]. *Head Face Med*, 2018, 14(1): 4. doi: 10.1186/s13005-018-0161-9.
- [25] Mohaghegh S, Soleimani M, Kouhestani F, et al. The effect of single/multiple micro-osteoperforation on the rate of orthodontic tooth movement and its possible complications: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int Orthod*, 2021, 19(2): 183-196. doi: 10.1016/j.ortho.2021.02.001.
- [26] Khlef HN, Hajeer MY. Is it possible to achieve favorable accelerated dental changes with no periodontal complications when retracting upper anterior teeth assisted by flapless corticotomy compared to traditional corticotomy? A two-arm randomized controlled trial [J]. *Sci World J*, 2022, 2022: 4261248. doi: 10.1155/2022/4261248.

- [27] Alfawal AMH, Hajeer MY, Ajaj MA, et al. Evaluation of patient-centered outcomes associated with the acceleration of canine retraction by using minimally invasive surgical procedures: a randomized clinical controlled trial[J]. *Dent Med Probl*, 2020, 57(3): 285-293. doi: 10.17219/dmp/120181.
- [28] Al-Khalifa KS, Baeshen HA. Micro-osteoperforations and its effect on the rate of tooth movement: a systematic review[J]. *Eur J Dent*, 2021, 15(1): 158-167. doi: 10.1055/s-0040-1713955.
- [29] 曹阳, 赵转浓. 骨皮质切开辅助正畸治疗的临床研究进展[J]. *口腔疾病防治*, 2018, 26(4): 205-210. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2018.04.001.
Cao Y, Zhao ZN. Clinical advances in corticotomy-assisted orthodontic treatments[J]. *J Prev Treat Stomatol Dis*, 2018, 26(4): 205-210. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2018.04.001.
- [30] Hou HY, Li CH, Chen MC, et al. A novel 3D-printed computer-assisted piezocision guide for surgically facilitated orthodontics[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2019, 155(4): 584 - 591. doi: 10.1016/j.ajodo.2018.11.010.
- [31] Kaipatur N, Major P, Stevenson T, et al. Impact of selective alveolar decortication on bisphosphonate burdened alveolar bone during orthodontic tooth movement[J]. *Arch Oral Biol*, 2015, 60(11): 1681-1689. doi: 10.1016/j.archoralbio.2015.08.008.
- [32] Bahammam MA. Effectiveness of bovine-derived xenograft versus bioactive glass with periodontally accelerated osteogenic orthodontics in adults: a randomized, controlled clinical trial[J]. *BMC Oral Health*, 2016, 16(1): 126. doi: 10.1186/s12903-016-0321-x.
- [33] Mandelaris GA, Richman C, Kao RT. Surgical considerations and decision making in surgically facilitated orthodontic treatment/periodontally accelerated osteogenic orthodontics[J]. *Clin Adv Periodontics*, 2020, 10(4): 213-223. doi: 10.1002/cap.10116.

(编辑 周春华, 曾曙光)



官网



【作者简介】 陈斌, 南京大学医学院附属口腔医院牙周病科副主任医师, 长期从事牙周病的临床和基础研究。主持或参与课题8项, 发表论文40余篇, 其中包括口腔领域著名期刊 *Int J Oral Sci*, *J Dent Res*, *J Clin Periodontol* 等, 另有论文入选 F5000 论文; 共同主译专著3部, 其中《临床牙周病学和口腔种植学》原著是牙周病学领域最经典的著作之一; 参编专著1部; 获教育部科技进步二等奖1项, 江苏省医学新技术引进奖二等奖1项, 国家实用新型专利3项。



【通信作者简介】 闫福华, 主任医师、教授、博士研究生导师、南京大学医学院附属口腔医院副院长, 享受国务院政府特殊津贴。现任中华口腔医学会牙周病学专业委员会主任委员; “十三五”规划教材《牙周病学》副主编。主要研究领域为牙周再生治疗、牙周病与全身系统性疾病的关系等; 主持国家级或省部级项目18项, 发表论文300余篇。主编、主译学术专著26部; 获教育部科技进步奖二等奖1项, 江苏省医学新技术引进一等奖1项, 福建省科学技术进步奖二等奖1项。