

• 综 述 •

隐形矫治在牙周炎正畸患者中的应用研究进展

蔡超莹, 蔚静宜, 韩淑娟

(浙江大学医学院附属邵逸夫医院牙科, 浙江 杭州 310006)

[摘要] 隐形矫治的发展为正畸患者提供了一种美观舒适的矫治选择,但其相对于固定矫治存在诸多临床缺陷。该文从牙周联合正畸治疗的必要性、牙周炎矫治的目标与选择、牙周炎患者的隐形矫治设计等方面对无托槽隐形矫治用于牙周炎患者的当前临床研究做一综述。

[关键词] 隐形矫治; 牙周炎; 整体移动; 组织健康; 矫治设计; 综述

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2025.10.027

中图法分类号:R783.6

文章编号:1009-5519(2025)10-2402-05

文献标识码:A

**Research progress on the application of invisible aligner technique
in orthodontic patients with periodontitis**

CAI Chaoying, WEI Jingyi, HAN Shujuan

(Department of Dental, Sir Run Run Shaw Hospital, Zhejiang University
School of Medicine, Hangzhou, Zhenjiang 310006, China)

[Abstract] The development of invisible aligner technique provides orthodontic patients with a beautiful and comfortable orthodontic option, but it has many clinical deficiencies compared with fixed orthodontics. This article reviewed the current clinical research on the application of invisible aligner technique in patients with periodontitis from the aspects of the necessity of periodontal combined orthodontic treatment, the goals and choices of orthodontic treatment for periodontitis, and the design of invisible aligner technique for periodontitis patients.

[Key words] Invisible aligner technique; Periodontitis; Overall movement; Tissue health; Orthodontic design; Review

随着大众口腔保健意识与审美的提升,成人正畸患者的数量大幅增长。与儿童、青少年不同的是,有一半的 18~19 岁人群口腔内存在至少 1 个牙周位点附着丧失超过 2 mm, 35~39 岁及 45~49 岁人群的牙周炎发病率分别为 80% 和 87%^[1],提示正畸医生应关注成人患者的牙周情况。牙槽骨的进行性吸收易使牙齿发生病理性移位、牙列出现散在间隙,导致错殆畸形;同时,牙齿错位、牙列拥挤、口腔卫生习惯差等易感因素的存在,又会加速牙周炎的进展。因此,对于伴有错殆畸形的牙周炎患者,牙周-正畸联合治疗有望解除牙列拥挤、彻底去除致病因素,达到良好稳定的治疗效果。随着无托槽隐形矫治技术的发展,这种兼具舒适与美观的矫治器受到了大量成人正畸患者的关注。本文将对无托槽隐形矫治用于牙周炎患者的当前临床研究做一综述。

1 牙周联合正畸治疗的必要性

牙周炎的典型组织学表现为牙周袋形成和牙槽骨吸收^[1]。牙周深袋内长期处于炎性环境,组织代谢及改建能力降低,外力作用下更易出现牙槽骨的病理

性吸收。全口牙槽骨不同程度的根向吸收导致阻抗中心向根尖移动,使牙齿对外力的承受能力降低。牙周炎的持续进展可造成牙齿松动移位,患者口内的咬合关系发生改变,出现牙齿病理性移位及咬合创伤^[2-3]。当炎症造成口腔支持组织及牙列稳定均发生改变时,仅依靠牙周治疗无法恢复一个可有效控制菌斑的咬合关系。有研究证实,与单纯牙周治疗相比,牙周联合正畸治疗可提升对病理性移位牙的牙周改善^[4],但牙周组织的改变对正畸的方法选择与治疗设计是一个巨大的挑战。

2 牙周炎矫治的目标与选择

2.1 维护组织健康 与传统固定矫治技术相比,无托槽隐形矫治在牙周维护、组织健康、舒适美观等方面存在优势,受到了大量成人正畸患者的青睐。在菌斑控制方面,粘结于牙面的传统固定矫治器易引起菌斑及牙垢堆积,不利于口腔自洁,而隐形矫治器允许患者在进食及刷牙时取下,便于患者及时清洁牙面和矫治器,提高口腔卫生维护的质量。WU 等^[5]针对 2 种矫治器对牙周状况的影响展开 meta 分析,纳入了 13 项

研究共 598 例患者,结果表明成人隐形矫治患者在治疗后 6 个月的菌斑指数(PLI)、牙龈指数(GI)和龈沟探诊深度(SPD)均显著低于固定矫治患者。HAN 等^[6]对比了 2 种方法对前牙病理性移位矫治前后的牙周状况,隐形矫治患者的牙周指数改善更为显著,与杨宝宽等^[7]的研究结果一致。与固定矫治相比,隐形矫治后 C-反应蛋白、肿瘤坏死因子- α (TNF- α)及白细胞介素-6(IL-6)等炎性细胞因子水平更低^[7]。赵晶等^[8]对比了 2 种矫治方式下重度牙周炎患者龈沟液内炎性细胞因子的变化,显示治疗后 2 组血清 IL-1 β 与 TNF- α 水平均低于治疗前,且隐形组降低更显著,表明隐形矫治用于重度牙周炎患者时可抑制龈沟液炎性细胞因子的表达,降低骨吸收。

正畸过程中医生对矫治力的控制是保证组织健康的基础。隐形矫治技术可通过调整矫治器参数、改变分步位移量等方式来精准控制矫治力,使组织应力分布更均匀^[9]。相对于固定矫治器施加持续力促进牙周膜及相邻牙槽骨改建,实现牙齿移动^[10],隐形矫治器在矫治过程中产生的是间歇性轻力^[11]。研究表明,间歇力较持续力造成的牙周膜细胞损伤更小^[12],有利于患者的牙周稳定。曾志敏^[13]对比了轻中度牙周炎患者中 2 种矫治方法的牙槽骨改建情况,发现隐形组牙槽骨高度增加量高于固定组,牙槽骨总面积的减少量低于固定组。另有研究显示,治疗前后 2 组牙槽骨高度均无显著变化,但固定矫治后的牙槽骨密度降低较隐形更为显著^[14-15]。有学者对 2 种矫治方法造成的牙根吸收量进行比较,结果显示固定及隐形矫治均不会造成严重的牙根吸收(不超过 1 mm),但隐形矫治造成的牙根吸收量显著小于固定矫治^[13,16]。因此,在维护牙体及牙周组织的健康稳定上,无托槽隐形矫治技术具备优势。

2.2 优化舒适美观 患者要求矫治的主要目标是追求美观及良好的社交反馈,舒适度与美观性兼具的隐形矫治器为患者减少了因矫治装置不美观给生活工作带来的不便,由此在成人正畸患者中备受青睐。有研究对比了 2 种矫治方式下患者的满意度,显示隐形矫治在语言功能、便捷程度、咀嚼功能、固定功能、美观舒适度等指标上优于固定矫治^[17]。安然等^[18]对不同矫治方式中患者的疼痛程度进行对比,结果表明矫治器初戴 1 周内,隐形矫治器对患者产生的疼痛程度小于固定矫治器,临床上应用隐形矫治器可提高患者依从性与配合度。矫治期间造成的进食不便、发音不清、美观度降低等困扰均有可能影响患者的生活质量。杨雅娴等^[19]利用儿童青少年口腔健康影响程度量表(COHIP)对比了 2 组矫治患者的口腔健康相关生活质量,结果显示隐形组 COHIP 总分及口腔健康、社会-情感健康均高于固定组,表明隐形矫治器的轻力设计能在一定程度上提升患者舒适度,降低矫治对生

活的负面影响。

矫治目标可视化是隐形矫治有别于固定矫治的一个特点,依托于数字化技术建立起来的矫治模拟动画可以直观展示矫治的整个过程,有利于医患沟通及矫治目标一致化,提高患者满意度。

2.3 把握适用范围 虽然隐形矫治技术的发展为患者提供了一种更舒适便捷的矫治选择,但由于材料特性、施力方式的不同,隐形矫治对各类错殆畸形的临床疗效参差不齐,与固定矫治相比,其应用范围仍存在局限性。不同于固定矫治装置采用的金属或陶瓷材料,无托槽隐形矫治器是由热压膜材料制成,通过设计膜片的弹性形变产生回弹力来实现牙齿移动^[20]。膜片质地较软,矫治力会随着形变恢复不断衰减,因此需要更长时间来整平牙列。在实现矫治目标时,隐形矫治对于前牙伸长移动、后牙的垂直向控制、控根及整体移动、转矩控制等较为困难^[11,21]。白玉兴等^[22]研究表明,在关闭牙周炎致前牙间隙及纠正前牙扭转时,隐形矫治表现较好,但在涉及后牙的复杂矫治时,隐形矫治效果不佳。HAN 等^[6]发现 2 种方法对前牙病理性移位的矫治效果均表现良好,但隐形矫治时间稍长于固定矫治。

可自行摘戴矫治器确实给患者提供了更好的口腔清洁条件及舒适性,但也有研究表明患者摘戴矫治器过程中可产生较大的瞬时力,最高可达固定矫治器施力的 1 000 倍^[23],频繁施加不可耐受的牙周应力有可能造成牙周破坏。因此,临床医生更倾向于将隐形矫治应用于牙周炎症控制良好的轻中度牙周炎患者。多篇文献报道了利用隐形矫正治疗轻中度牙周炎患者的病例,发现矫治后咬合关系趋于稳定,同时牙周探诊深度减小、牙龈退缩减少、附着丧失改善、牙齿松动度减小^[24-26]。王贯新等^[27]在研究中指出隐形矫治对中度牙周炎患者的唇侧美观改善效果良好。近年来,隐形矫治用于重度牙周炎患者的相关研究也在逐步开展。韩子瑶等^[28]、张浩筠等^[29]各报道了 1 例牙周-正畸-种植联合治疗Ⅲ期和Ⅳ期牙周炎的病例并长期随访观察,结果显示,隐形矫治后 5 年,患者的咬合关系和牙周指数仍保持稳定。TIETMANN 等^[30]评估了牙周再生手术联合隐形矫治在 12 例Ⅳ期牙周炎患者中的治疗效果,结果显示联合治疗结束后的平均骨水平增加量显著大于牙周手术后 1 年;牙周探诊深度在牙周手术后显著减小,且在联合治疗结束后保持稳定。总体上,临床对重度牙周炎患者选择隐形矫治较为谨慎。

综合当前的研究结果,牙周炎患者在进行正畸治疗前需完善系统性牙周治疗,包括牙周基础治疗、牙周手术等;选择隐形矫治对牙周炎患者进行治疗时,需明确评估牙周炎分级及矫治难度,慎重选择矫治手段;在矫治期间及结束后,需严格监控患者牙周指标

的变化,坚持牙周定期维护。

3 牙周炎患者的隐形矫治设计

牙周炎患者的生物力学改变是显著的。牙槽骨吸收后,阻抗中心下移,力臂变长,轻微的矫治力就可以使牙齿发生倾斜移动,冠方移动造成牙根与牙槽骨的挤压,产生根尖区应力集中,易出现牙根吸收等问题^[31]。倾斜移动继而导致近牙槽嵴顶处应力集中,促进骨下袋的形成,加重牙周破坏^[32-33],因此需要进行矫治力学设计来避免倾斜移动。在无托槽隐形矫治中,矫治器仅包裹牙冠部分,最容易实现的牙齿移动方式就是倾斜移动,这对牙周炎患者是不利的,因此临床通常设计一些辅助装置来达到整体移动的效果。从生物力学的角度出发,当牙齿所受合力方向通过阻抗中心时,即可实现牙齿整体移动,牙周组织应力均匀分布。目前,临床上常用的隐形辅助装置主要包括附件、power arm、种植支抗钉等。为了探索不同力学设计下的牙周应力分布、牙齿移动趋势等,许多学者利用三维有限元分析法建立体外模型,并根据实验需求加载矫治力和位移量^[34],最终通过软件直观地呈现出牙齿、牙周膜、牙槽骨等组织的应力分布与位移趋势,为临床力学设计提供依据。王凡等^[35]通过有限元方法探索了实现尖牙远中整体移动的最佳施力方法,结果显示给予尖牙一定的远移位移量配合一对逆时针方向力偶时,牙齿接近于整体移动。随着优化附件的开发应用,附件以各种形态作为辅助施力装置参与到矫治力学系统中。有学者通过有限元研究发现,双优化附件配合逆向力矩的设计可使尖、磨牙接近整体移动^[36-37]。杜庆玲等^[38]就不同形状的优化附件对尖牙整体移动效果的影响进行探索,结果显示门拱形双优化附件配合逆时针力矩更有利于控根移动。临床上利用 power arm 与微种植钉联合施加牵引力使牙齿整体移动的方法也较为常见。许诺等^[39]对比了垂直矩形附件、双优化附件和 power arm 在整体远移尖牙时的效果,结果表明 power arm 组牙齿近远中面应力分布均匀,尖牙整体移动。但白煜等^[40]研究表明,无法证实微种植钉联合 power arm 牵引比直接在尖牙上牵引更有利于整体移动。各项研究对附件形状的设计、微种植钉植入位置、power arm 高度、牵引力等实验设置存在一定差异,是导致实验结果不同的可能原因。

牙周炎导致的骨吸收使牙周膜面积减小,牙齿在垂直方向上可耐受的脱位力变小;同时患者每天需佩戴隐形矫治器至少 22 h,矫治器的包裹对口腔自洁产生一定影响,因此需要对矫治器膜片进行优化,形成易清洁的牙周微环境,避免患者在摘戴矫治器时加重牙周破坏。张琦^[41]探索了矫治器不同的边缘伸展设计对牙槽骨吸收的下前牙脱位的影响,结果显示缩短边缘伸展长度可显著减小脱位力及牙周膜应力,有利

于维护牙周健康,但需加强转矩控制,与王文超^[42]的研究结果一致。吴晓君等^[43]研究发现,在牙周安全范围内,厚度为 0.8 mm 的矫治器对牙槽骨吸收的前牙正轴效果最佳。SEO 等^[44]的研究发现厚度为 0.75 mm 的矫治组牙齿移动效率显著高于 0.5 mm 的矫治组。MA 等^[45]探索了隐形矫治压低下前牙时的最佳位移量,显示轻、中及重度牙周炎患者的最佳位移量分别为 0.18、0.15 mm 和 0.10 mm。LI 等^[46]建立了内收右上中切牙的不同牙槽骨吸收模型,结果显示最佳位移量与 MA 等^[45]的结果趋势基本一致,提示临床为牙周炎患者制定矫治计划时可适当减少分步位移量。WANG 等^[47]利用有限元分析初步探索得到安全的位移范围后,在体内试验中证实 0.35 mm 的位移量可实现最高的牙齿移动效率。但是该试验受限于样本量及研究对象的全身状况,实验结果并不适用于所有人群,因此需要进一步在体内试验中探索适用于各类牙周炎患者的最佳位移量。

当前基于牙槽骨吸收模型的隐形矫治设计的研究主要集中在前牙区,因为该区域是牙周炎最易感的位置之一,前牙排齐可有效防止牙周炎的进展^[48]。ZENG 等^[49]建立了水平吸收及颊舌向斜行吸收的下前牙牙周炎模型,发现中切牙比侧切牙更易产生位移,牙周应力集中也更显著;研究指出当牙槽骨吸收超过根长 1/2 时,临床需采取牙周固定等措施。牙周炎的进展会使得全牙列出现不等程度的散隙,但由于后牙段存在支抗控制、牙齿移动模式较为复杂等因素,目前尚无后牙段散隙关闭的相关研究。

隐形矫治对于支抗的控制不如固定矫治,容易在减数病例中产生“过山车效应”,造成牙齿往复运动,有研究表明隐形矫治用于减数病例时,矫治时间明显久于固定矫治^[50]。对于牙列拥挤度较轻的牙周炎患者而言,临床一般慎重选择减数治疗,但对于拥挤度集中于前牙段的牙周炎患者,前牙减数治疗可以加速牙列的排齐,避免后牙过多的移动。

4 小结与展望

隐形矫治的发展为正畸患者提供了一种更美观舒适的矫治选择,但其相对于固定矫治存在诸多临床缺陷。牙周联合正畸治疗可提高牙周炎患者的治疗效果及稳定性,有研究证实隐形矫治较固定矫治对牙周炎患者的牙周改善更有利,但隐形矫治对于牙周炎患者不具有普适性,从患者选择、方案制订到临床矫治的各个阶段,都需要临床医生谨慎严密地把控。在牙周炎患者的隐形矫治设计上,包括位移量、附件、矫治器材料及形状等因素都可能影响患者的牙周健康与矫治效果,但目前仍处于探索阶段,需要配合临床研究进一步探讨个性化的矫治方案。

参考文献

[1] 孟焕新. 牙周病学[M]. 4 版. 北京:人民卫生出版社,

- 2012;59.
- [2] 林正深,黄荣彩,黄晓静.牙周病的无托槽隐形矫治技术研究进展[J].临床口腔医学杂志,2018,34(3):177-179.
- [3] 丁寅.牙周病的正畸治疗(一)[J].实用口腔医学杂志,2005,21(5):709-711.
- [4] HUANG Y Z,ZHU Y R,YAN Y. A retrospective study of orthodontic treatment on anterior tooth displacement caused by periodontal disease[J]. Medicine (Baltimore), 2021,100(13):e25181.
- [5] WU Y,CAO L,CONG J K. The periodontal status of removable appliances vs fixed appliances:a comparative meta-analysis[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(50):e23165.
- [6] HAN J Y. A comparative study of combined periodontal and orthodontic treatment with fixed appliances and clear aligners in patients with periodontitis[J]. J Periodontal Implant Sci,2015,45(6):193-204.
- [7] 杨宝宽,黄睿,施星辉.无托槽隐形矫治器治疗成人牙周病[J].中国组织工程研究,2019,23(22):3451-3455.
- [8] 赵晶,冯小东,肖永芳,等.无托槽隐形矫治技术矫治重度牙周炎伴咬合紊乱患者的临床牙周指标及疗效分析[J].现代生物医学进展,2023,23(3):457-460.
- [9] 杨斌,白玉兴.两种矫治技术治疗牙周病患者牙周组织应力的对比分析[J].现代口腔医学杂志,2009,23(3):232-234.
- [10] FELLER L,KHAMMISSA R A G,SCHECHTER I, et al. Biological events in periodontal ligament and alveolar bone associated with application of orthodontic forces [J]. Sci World J,2015,2015:876509.
- [11] ROSSINI G,PARRINI S,CASTROFLORIO T, et al. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement:a systematic review[J]. Angle Orthod,2015, 85(5):881-889.
- [12] NAKAO K,GOTO T,GUNJIGAKE K K, et al. Intermittent force induces high RANKL expression in human periodontal ligament cells[J]. J Dent Res,2007,86(7): 623-628.
- [13] 曾志敏.隐形与固定矫治对错殆伴牙周炎患者牙根牙槽骨影响的临床研究[D].昆明:昆明医科大学,2019.
- [14] 李茜茜.两种矫治技术治疗牙周炎患者牙周健康影响及上颌切牙区牙槽骨改变的对比分析[D].郑州:郑州大学,2019.
- [15] 李琴,赵旭春,王明朗,等.不同矫治技术对牙周炎患者上切牙区牙槽骨改变的影响[J].上海口腔医学,2020,29(6):651-655.
- [16] GANDHI V,MEHTA S,GAUTHIER M, et al. Comparison of external apical root resorption with clear aligners and pre-adjusted edgewise appliances in non-extraction cases:a systematic review and meta-analysis[J]. Eur J Orthod,2021,43(1):15-24.
- [17] 冯妍,刘浩.无托槽隐形矫治器与固定矫治器在口腔正畸推磨牙向后治疗中的效果比较分析[J/CD].全科口腔医学电子杂志,2019,6(36):16-17.
- [18] 安然,杨馨惟,雷浪.固定矫治器与隐形矫治器对正畸治疗疼痛影响差异的 meta 分析[J].中国实用口腔科杂志,2021,14(5):586-590.
- [19] 杨雅娟,晁秀玲.无托槽隐形矫治器与固定矫治器对青少年非拔牙正畸患者牙周健康及生活质量的影响比较[J].河南大学学报(医学版),2024,43(1):54-59.
- [20] 丛赫,刘继辉,张桂荣.无托槽隐形矫治技术研究进展[J].广东牙病防治,2014,22(1):50-54.
- [21] KE Y Y,ZHU Y F,ZHU M. A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies[J]. BMC Oral Health,2019,19(1):24.
- [22] 白玉兴,杨斌,戴青,等.牙周病致前牙间隙患者的无托槽隐形矫治初探[J].中华口腔医学杂志,2009,44(7):421-424.
- [23] 唐娜,赵志河,王军,等.无托槽隐形矫治技术生物力学效应的有限元法研究[J].医用生物力学,2010,25(6):399-405.
- [24] BARLATTANI A J,MAMPIERI G,OTTRIA L, et al. Invisalign treatment in periodontal patient: case report [J]. Oral Implantol (Rome),2009,2(4):35-39.
- [25] BOYD R L. Periodontal and restorative considerations with clear aligner treatment to establish a more favorable restorative environment[J]. Compend Contin Educ Dent, 2009,30(5):280-282.
- [26] LEE J W,LEE S J,LEE C K, et al. Orthodontic treatment for maxillary anterior pathologic tooth migration by periodontitis using clear aligner[J]. J Periodontal Implant Sci,2011,41(1):44-50.
- [27] 王贯新,马睿.隐形矫治对成人中度慢性牙周炎患者牙周指标及唇侧外观的影响[J].中国美容医学,2021,30(4): 129-133.
- [28] 韩子瑶,张斯巧,胡文杰,等.重度牙周炎伴前牙错殆畸形的牙周-种植-正畸联合治疗效果观察(附 1 例 10 年随访报告)[J].中国实用口腔科杂志,2023,16(6):650-655.
- [29] 张浩筠,阳婷,胡文杰,等.重度牙周炎伴前牙反殆的牙周-正畸-种植联合治疗效果观察(附 1 例 8 年随访报告)[J].中国实用口腔科杂志,2023,16(6):656-663.
- [30] TIETMANN C,JEPSEN S,KAUER R, et al. Clinical effectiveness of regenerative periodontal surgery and orthodontic tooth movement with clear aligners in stage IV periodontitis:a case series[J]. Quintessence Int, 2024, 55(5):348-357.
- [31] 潘晓岗.无托槽隐形矫治在牙周病患者正畸治疗中的应用[J].中华口腔医学杂志,2020,55(8):546-550.
- [32] BARONE S,PAOLI A,RAZIONALE A V, et al. Computer aided modelling to simulate the biomechanical behaviour of customised orthodontic removable appliances[J]. Int J Int Des Manufact (IJIDeM),2016,10(4):387-400.
- [33] MELSEN B,AGERBAEK N,MARKENSTAM G. Intrusion of incisors in adult patients with marginal bone loss[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop,1989,96(3):232-241.
- [34] JONES M L,HICKMAN J,MIDDLETON J, et al. A validated finite element method study of orthodontic tooth move-

ment in the human subject[J]. J Orthod, 2001, 28(1): 29-38.

[35] 王凡, 白玉兴, 祁鹏, 等. 无托槽隐形矫治尖牙整体移动的生物力学研究[J]. 医用生物力学, 2007, 22(2): 133-136.

[36] GOMEZ J P, PEÑA F M, MARTÍNEZ V, et al. Initial force systems during bodily tooth movement with plastic aligners and composite attachments: a three-dimensional finite element analysis[J]. Angle Orthod, 2015, 85(3): 454-460.

[37] 曾红. 控根附件对无托槽隐形矫治磨牙近中移动影响的三维有限元分析[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2018.

[38] 杜庆玲, 李伯休, 王栋才, 等. 不同控根附件对无托槽隐形矫治远移尖牙的影响[J]. 医用生物力学, 2021, 36(2): 257-263.

[39] 许诺. 无托槽隐形矫治器不同附件远移上颌尖牙的三维有限元分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2018.

[40] 白煜, 赵贺剑, 杨富刚, 等. Power Arm 在隐形矫治器联合微种植钉整体内收上前牙中的作用[J]. 医用生物力学, 2021, 36(1): 79-84.

[41] 张琦. 无托槽隐形矫治器不同边缘设计对成人牙周炎患者下前牙受力影响的三维有限元分析[D]. 南昌: 南昌大学, 2020.

[42] 王文超. 无托槽隐形矫治器边缘伸展及附件设计对成人牙周炎患者拔除单颗下前牙内收时受力影响的三维有限元分析[D]. 南昌: 南昌大学, 2022.

[43] 吴晓君, 曾裕文, 熊国平. 无托槽矫治伴牙槽骨吸收倾斜上切牙的有限元分析及最佳矫治器厚度探讨[J]. 临床口腔医学杂志, 2021, 37(10): 583-586.

[44] SEO J H, EGHAN-ACQUAH E, KIM M S, et al. Comparative analysis of stress in the periodontal ligament and center of rotation in the tooth after orthodontic treatment depending on clear aligner Thickness-Finite element analysis study[J]. Materials (Basel), 2021, 14(2): 324.

[45] MA Y N, LI S. The optimal orthodontic displacement of clear aligner for mild, moderate and severe periodontal conditions: an in vitro study in a periodontally compromised individual using the finite element model[J]. BMC Oral Health, 2021, 21(1): 109.

[46] LI N, WANG C J, WANG Y, et al. Three-dimensional finite element analysis of retracting pathological migration of the right upper central incisor with a clear aligner[J]. Comput Methods Biomech Biomed Engin, 2024, 27(16): 2325-2332.

[47] WANG Y R, CHEN J, QIN S W, et al. An in vivo evaluation of clear aligners for optimal orthodontic force and movement to determine high-efficacy and periodontal-friendly aligner staging[J]. Heliyon, 2023, 9(4): e15317.

[48] ALSULAIMAN A A, KAYE E, JONES J, et al. Incisor malalignment and the risk of periodontal disease progression[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2018, 153(4): 512-522.

[49] ZENG Y T, XIAO L W, YUAN X. Displacement and stress distribution of mandibular incisors after orthodontic treatment in the presence of alveolar bone loss under occlusal loads: a finite element analysis[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2022, 161(5): e456-e465.

[50] LI W H, WANG S M, ZHANG Y Z. The effectiveness of the Invisalign appliance in extraction cases using the the ABO model grading system: a multicenter randomized controlled trial[J]. Int J Clin Exp Med, 2015, 8(5): 8276-8282.

(收稿日期: 2024-12-31 修回日期: 2025-06-26)

(上接第 2401 页)

pture of membranes and preterm delivery in pregnant women after cervical conization[J]. Am J Transl Res, 2024, 16(10): 5923-5932.

[45] KACEROVSKY M, MUSILOVA I, BARESOVA S, et al. Cervical excisional treatment increases the risk of intraamniotic infection in subsequent pregnancy complicated by preterm prelabor rupture of membranes[J]. Am J Obstet Gynecol, 2023, 229(1): 51. e1-51. e13.

[46] CHEN L M, YE E L, SUN M L, et al. Association between third trimester maternal isolated hypothyroxinemia and adverse pregnancy outcomes[J]. Endocr J, 2023, 70(6): 611-618.

[47] PSARKER M, ZAMUDIO A R, DEBOLT C, et al. Beyond stillbirth: association of intrahepatic cholestasis of pregnancy severity and adverse outcomes[J]. Am J Obstet Gynecol, 2022, 227(517): e1-517.

[48] FANG D J, FANG Y, ZHANG W Q, et al. Comprehensive analysis of quantitative proteomics with DIA mass spectrometry and ceRNA network in intrahepatic cholestasis of pregnancy[J]. Front Cell Dev Biol, 2022, 10: 854425.

[49] PEJCIC A V, PETROVIC N Z, DJORDJIC M D, et al. Vitamin C levels in pregnant women and the efficacy of vitamin C supplements in preventing premature rupture of membranes: a systematic review and Meta-analysis[J]. Balkan Med J, 2024, 41(4): 248-260.

[50] LEE A Y, KONG D Q, CHO H, et al. Investigating the regenerative effects of folic acid on human amniotic epithelial stem cells and amniotic pore culture technique (APCT) model in vitro using an integrated pharmacological-bioinformatic approach[J]. Placenta, 2023, 138: 60-67.

[51] ZHANG D Y, DONG R, JIANG T T, et al. The relationships of metals exposure and disturbance of the vaginal microbiota with the risk of PROM: results from a birth cohort study[J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2025, 289: 117420.

(收稿日期: 2025-03-13 修回日期: 2025-07-02)