

综述

龈下喷砂治疗牙周炎与种植体周围炎的研究进展

徐晟瀛¹, 孙徐麟², 黄佳萍², 石卓瑾¹, 丁佩惠²

[摘要] 龈下喷砂可以有效清除附着于牙面、植体表面的菌斑以及软性沉积物,是牙周炎、种植体周围炎的一种辅助治疗方法,具有较好的清洁效率,对牙根面以及植体表面损伤较小,同时有利于牙周膜成纤维细胞再附着于牙根面及成骨细胞在植体表面的骨结合。龈下喷砂能够改善临床附着水平,在配合翻瓣手术时也有较好的疗效,舒适度较高,医生操作难度低。本文从体内外研究进行分析、概括,拟对龈下喷砂辅助治疗牙周炎和种植体周围炎的进展作一综述。

[关键词] 龈下喷砂;牙周炎;种植体周围炎;甘氨酸;赤藓糖醇

[中图分类号] R781.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-9872(2025)05-0380-06

[doi] 10.13591/j.cnki.kqyx.2025.05.011

Research progress of subgingival air-polishing in the treatment of periodontitis and peri-implantitis

XU Shengying, SUN Xulin, HUANG Jiaping, SHI Zhuojin, DING Peihui. (Zhejiang Chinese Medicine University of Stomatology, Hangzhou 310000, China)

Abstract: Subgingival air polishing can effectively remove plaque and soft deposits attached to the tooth surface and implant surfaces. It is an adjunctive treatment method for periodontitis and peri-implantitis, offering good cleaning efficiency with minimal damage to the root surface and implant surface. Additionally, it promotes the reattachment of fibroblasts to the root surface and osteoblast integration on the implant surface. Subgingival air polishing can improve clinical attachment levels and also shows better therapeutic effects when combined with flap surgery. It provides higher comfort for patients and lower operational difficulty for the dentist. This article aims to analyze and summarize *in vivo* and *in vitro* studies, reviewing the therapeutic progress of subgingival air polishing in the treatment of periodontitis and peri-implantitis.

Key words: subgingival air-polishing; periodontitis; peri-implantitis; glycine; erythritol

Stomatology, 2025, 45(5):380-385

菌斑生物膜是牙周炎与种植体周围炎发生发展的关键因素^[1-2],控制菌斑对维护牙周及种植体周围健康至关重要。目前,牙周炎与种植体周围炎的治疗可分为手术治疗和非手术治疗^[3],非手术治疗的手段呈现多样化,其中空气喷砂能够去除附着于牙面、植体表面的菌斑以及软性沉积物,使牙齿、植体得到有效清洁。随着技术的发展,适用于龈下的喷砂头和低研磨度的喷砂粉相继产生并投入临床使用,使原本仅适用于龈上治疗的空气喷砂转变为龈上、龈下均可使用^[4-5]。龈下喷砂因具有去除龈下

牙菌斑效果好、椅旁操作时间短、患者舒适度高等优势,被应用于牙周炎、种植体周围炎的治疗^[6-7]。

本文系统地回顾了龈下喷砂辅助治疗牙周炎以及种植体周围炎的相关体内外研究,分析了此项技术的优势与局限,并对不同龈下喷砂粉疗效进行比较,重点研究近期投入临床的赤藓糖醇喷砂粉在牙周炎与种植体周围炎辅助治疗中的独特优势,总结了龈下喷砂治疗方法,为临床牙周炎与种植体周围炎患者的治疗提供新的诊疗思路。

1 龈下喷砂治疗牙周炎的体外研究**1.1 清洁能力**

龈下喷砂是在一个密闭加压环境下产生空气粉末流,与水按照一定比例混合喷射在牙根表面,利用混合后的水、粉、气对牙根表面的菌斑生物膜进行研磨,研磨效率主要受所用颗粒的质量、形状和硬度等物理性质的影响^[8-9]。应用赤藓糖醇等小颗粒喷砂粉进行的龈下喷砂能够到达器械或超声波设备难以

基金项目:国家自然科学基金(82170953);浙江省重点研发项目领雁计划(2022C03088);浙江大学医学院附属口腔医院探索与研发项目(RD2022DLYB06)

作者单位:1 浙江中医药大学口腔医学院,浙江杭州(310000);2 浙江大学医学院附属口腔医院,浙江大学口腔医学院,浙江省口腔疾病临床医学研究中心,浙江省口腔生物医学研究重点实验室,浙江大学癌症研究院,浙江杭州(310000)

通信作者:丁佩惠 Tel:(0571)87215797

E-mail:phding@zju.edu.cn

清洁的龈下不规则牙骨质表面,尤其是根分叉区域,常作为传统刮治的辅助治疗方式^[10-11]。最早在 Pippin 等^[12]一项动物研究中证实了龈下喷砂能够使牙齿硬组织表面变得连续且光滑。

1.2 对牙体硬组织的作用

不同喷砂粉对于牙体硬组织的作用截然不同。传统的喷砂粉材料为碳酸氢钠喷砂粉,于 20 世纪 80 年代投入临床应用,常用于去除龈上色素及菌斑^[11]。因碳酸氢钠喷砂粉会对牙根表面牙骨质产生损伤,无论参数如何设置均会对牙根表面造成实质性破坏,不适用于龈下喷砂^[7,13-14]。

近年来,甘氨酸、赤藓糖醇等低研磨性喷砂粉逐渐应用于临床,与传统的碳酸氢钠喷砂粉相比,这些喷砂粉粒度颗粒小、磨损性低,能高效去除菌斑且对牙根或牙面几乎无影响,可用于龈上和龈下喷砂。Hägi 等^[15]比较了手工刮治、超声刮治、甘氨酸喷砂、赤藓糖醇(含有氯己定)喷砂对离体牙牙体硬组织的影响,发现甘氨酸喷砂组和赤藓糖醇喷砂组有部分牙菌斑残留以及部分细小颗粒牙结石散在分布,牙根表面相对光滑、连续,其中赤藓糖醇喷砂组对牙根表面组织的损伤最小,Ra 值小于其他组,适用于龈下喷砂。国内的一项体外研究中也有关的结果,赤藓糖醇与甘氨酸处理后的牙根表面 Ra 值远小于超声刮治以及超声刮治联合龈下喷砂组^[16]。由此可见,甘氨酸、赤藓糖醇均可用于龈下喷砂,可有效去除牙根表面的菌斑附着以及软性沉积物,且牙根表面形态较为光滑平整,对牙根表面的损伤小于传统刮治,更利于维护牙周健康。

需要注意的是,体外研究虽然提供了初步证据,但难以完全模拟唾液、口腔菌群的动态变化以及牙周解剖结构等口腔内复杂的生理环境^[17-18]。

1.3 对牙周软组织的作用

龈下喷砂对牙周软组织的作用主要体现在龈下喷砂后即刻对牙龈的损伤,以及对牙周膜成纤维细胞再次附着牙根表面的影响。

不论采用哪种龈下非手术治疗的方法均会对牙龈造成不同程度的损伤,但低研磨性喷砂粉造成的损伤远远小于传统刮治。Petersilka 等^[19]对猪的磨牙分别进行赤藓糖醇喷砂、甘氨酸喷砂、手工刮治、超声刮治后发现,手工刮治破坏了猪牙龈组织上皮层的基底膜,超声刮治完全破坏了上皮层且深至结缔组织层,而两种低研磨性喷砂粉喷砂均只对猪牙龈组织造成了上皮区的浅表损伤。Weusmann 等^[20]发现甘氨酸喷砂、赤藓糖醇喷砂术后 48 h 内牙龈成纤维细胞的细胞活性、增殖、迁移以及伤口愈合能力

受到抑制,且赤藓糖醇喷砂的抑制作用大于甘氨酸喷砂,主要是由于其含有 0.3% 氯己定。Hägi 等^[21]研究中还发现,相较传统的手工刮治以及超声刮治,超声刮治辅以赤藓糖醇喷砂处理后的牙根表面更利于牙周膜成纤维细胞的再附着。

2 龈下喷砂治疗牙周炎的体内研究

2.1 对牙周炎的辅助治疗作用

在牙周基础治疗阶段,龈下喷砂往往作为手工刮治或超声刮治后的辅助手段^[5,22]。因临床使用时间较短,其效果评价不一。有学者认为,对Ⅲ/Ⅳ期牙周炎患者辅助应用龈下喷砂治疗并未取得额外的收益,各项临床指标均无明显改善^[23]。也有学者认为,辅助使用赤藓糖醇龈下喷砂对于探诊深度 ≥ 5.5 mm 的深牙周袋治疗效果更优,具体体现在临床附着水平改善以及探诊出血指数降低。

在牙周支持治疗阶段,对于口腔卫生相对较好、牙周炎控制稳定的患者,因其龈下多为软性沉积物,病变牙骨质也已去除,龈下微生态趋于稳定,可以采用龈下喷砂替代传统的手工刮治或超声刮治手段,各项临床指标的改善在治疗方法间无明显差异^[24-26]。Alkan 等^[5]认为,单纯使用龈下喷砂的临床效果有限,而联合激光治疗则能够改善深牙周袋的临床探诊出血指数以及临床附着丧失水平。

综上,牙周基础治疗阶段龈下喷砂作为手工刮治或超声刮治的辅助手段,其疗效存疑,尚需更多的高质量临床研究以明确龈下喷砂作为辅助治疗的额外益处;牙周支持治疗阶段,多数证据支持对牙周炎控制稳定、口腔卫生维护较好患者的定期复查可考虑进行龈下喷砂。

2.2 对龈下微生物菌群的作用

在牙周炎治疗过程中,除牙周临床指标外,龈下微生物菌群也是检测、评价牙周治疗疗效的一项关键指标^[27]。许多学者就龈下喷砂后患者的龈下微生物菌群展开了研究。在 Sekino 等^[28]研究中,甘氨酸龈下喷砂组与只使用蒸馏水冲洗组在任何观察时间节点上都无明显的微生物学差异。Zhang 等^[29]观察到,与只进行全口刮治的患者相比,经过甘氨酸喷砂的患者在治疗后第一天牙龈卟啉单胞菌和伴放线聚集杆菌的数量明显减少,但是在治疗后 6 周、3 个月无明显差异。

而赤藓糖醇喷砂对龈下微生物菌群的改变是有益的。在一项随机对照研究中,试验组经过超声刮治与赤藓糖醇喷砂后可以观察到,缺陷厌氧菌、生痰二氧化碳嗜纤维菌与奇异劳特普罗菌等和牙周健康

相关的菌群数量增加,而衣氏放线菌、疾卡托纳菌、龈沟产线菌、牙髓卟啉单胞菌、生痰月形单胞菌、福赛坦纳菌、齿垢密螺旋体与索氏密螺旋体等和牙周致病相关的菌群数量下降^[23]。Park等^[30]进一步指出,在传统刮治后使用赤藓糖醇龈下喷砂能够在牙周袋内产生水流漩涡,确保将脱离的生物膜碎片从牙根表面冲洗出牙周袋,使龈下微环境得到改善,细菌总数在治疗一个月后明显下降,附着丧失水平降低。

不同的喷砂粉对龈下微环境的作用不同,但与单独使用龈下清创术相比,龈下喷砂辅助治疗可能会为牙周组织的重新附着提供更有利的环境^[26]。

2.3 操作便捷性与患者体验

研究证明,在牙周支持治疗阶段,得益于龈下喷砂技术敏感性低、易于掌握,龈下喷砂较传统龈下刮治操作时间短,大大缩短了医生椅旁操作时间,而且患者舒适度更佳^[31]。Wennström等^[32]一项单口对照研究对20例既往接受过牙周基础治疗的牙周炎患者分别使用甘氨酸喷砂、超声龈下刮治进行牙周维护,治疗后采用视觉模拟量表评估发现使用龈下喷砂舒适度明显更高。

此外,小颗粒的喷砂粉对牙周软硬组织更安全,且龈下喷砂治疗并发症肺气肿的发生率非常低^[7, 27, 32]。总而言之,龈下喷砂降低了医生的椅旁操作时间,对患者而言更为舒适、安全,促进医患双方互相信任,患者的配合度、定期牙周维护的自觉性得到提高,有助于牙周炎的治疗。

3 龈下喷砂治疗种植体周围炎的体外研究

3.1 对种植体表面清洁能力

对拔除的种植体周围炎种植体表面进行电镜扫描发现,粗糙的植体表面密布着紧密连接的菌斑生物膜^[33],且植体表面粗糙度与细菌黏附、菌斑生物膜形成呈正相关^[34]。目前清洁种植体表面的方法有物理去污(常压等离子体、激光、空气喷砂、钛刷、超声刮治等)、化学去污(传统化学药物如次氯酸钠、氯己定和新型化学药物等)与联合去污(物理去污联合化学去污),单一使用某一种方法清洁效率有限。

传统的机械清创方式可以减少种植体表面的细菌,但会导致植体结构凹陷处的细菌残留以及植体钛表面的损伤^[35]。据文献报道,与钛刷、超声刮治等传统治疗方法一样,龈下喷砂也无法完全清除植体表面的菌斑附着以及沉积物^[36],但对植体表面粗糙度改变较小,损伤较少,能有效保护种植体表面结

构,且清洁效率较高,是一种清除种植体周菌斑的有效方法^[37],能够微创的同时有效抑制菌斑生物膜在钛表面再附着。

Tuchscheerer等^[38]与Riben-Grundstrom等^[39]研究也得到了相似的结果,且赤藓糖醇喷砂粉较甘氨酸喷砂粉颗粒更细,研磨度更低,对植体表面损伤更小。在Drago等^[40]研究中,不同喷砂粉对菌斑生物膜的清除效率不同,赤藓糖醇喷砂对所有菌株的除菌性能均强于甘氨酸喷砂,能更有效地清除并抑制钛片表面菌斑生物膜形成。

3.2 对成骨细胞的作用

龈下喷砂也可为植体表面的成骨细胞提供生长、增殖的有利环境。Di Tinco等^[41]研究发现,与传统塑料刮治器、传统大颗粒喷砂粉相比,甘氨酸和塔格糖这两种低研磨度的喷砂粉不会明显改变植体表面粗糙度,并能促进新血管生成,这在细胞的成骨分化中起关键作用,为成骨细胞增殖、黏附于植体表面提供一个生物相容性较好的环境。在Matthes等^[42]研究中,赤藓糖醇喷砂后的种植体表面85%被牙髓干细胞覆盖,与单独使用/联合使用常压等离子体处理表面相比,细胞覆盖率更高,菌斑生物膜更少,能够为成骨细胞的生长提供一个更理想的环境。

综上,龈下喷砂对植体表面创伤小,能够尽量维持植体表面原貌,可有效清除菌斑并抑制菌斑表面再附着,这也为成骨细胞提供了理想的生长环境,是一种微创、有效的种植体表面清洁方法,但是清除效率仍然有限。

4 龈下喷砂治疗种植体周围炎的体内研究

4.1 清洁效果

甘氨酸、赤藓糖醇龈下喷砂适用于种植体周围炎的预防、基础治疗、维护各阶段,能够有效地去除菌斑生物膜。然而与传统治疗手段相比,在12个月以上随访期的临床指标改善上,两者并没有明显差异^[43]。

在一项系统性评估中,甘氨酸龈下喷砂治疗种植体周围黏膜炎与传统刮治一样有效,但未能取得较好的长期维护效果,这可能是由于种植体周围黏膜炎未形成骨组织的破坏,紧密的骨结合让菌斑堆积在袖口结构之上,更容易清创^[37]。

Schmidt等^[44]一项随机对照临床试验中,龈下喷砂的临床效果与钛刮治器刮治、超声刮治等类似,它们均能改善探诊深度和附着水平。Selimović等^[2]研究发现,传统刮治单独/联合赤藓糖醇喷砂均能获得探诊深度与附着水平等临床指标的改善;探诊深

度 ≥ 6 mm的位点比例在治疗后均明显下降,但随访6、12个月后,探诊深度 ≥ 6 mm的位点再次增加,甚至与基线水平持平,并且探诊出血指数较高,这说明非手术治疗具有局限性,长期炎症控制较差,仅使用物理去污方法治疗种植体周围炎不能得到较好的临床疗效。在 Hentenaar 等^[45]一项随机对照试验中,则认为龈下喷砂作为种植体表面清洁方法在临床、放射学指标上并不比传统治疗方式有效,这也说明了需要更多的研究来探索赤藓糖醇喷砂在种植体周炎中的应用价值。然而, Toma 等^[46]选择在翻瓣手术后暴露术区,直接甘氨酸喷砂治疗种植体周围炎,在没有进行引导骨组织再生术情况下,患者的牙龈指数和探诊深度明显改善。

综上,因种植体周围组织结构特殊性,种植体周围炎的预防更加重要,虽然龈下喷砂既可以单独用于植体的清洁,也可以辅助翻瓣手术,临床应用前景较好,但未能彻底清除菌斑生物膜。

4.2 患者体验

与传统方式相比,使用龈下喷砂对种植体周围炎患者进行治疗时,操作时间短,创伤小,患者舒适度高,患者的接受度、配合度相对更高^[47]。

Büler 等^[48]的研究中发现,不论使用碳酸氢钠、甘氨酸还是赤藓糖醇龈下喷砂,其在种植体周围炎治疗时舒适度都远高于传统的龈下塑料刮治器或碳纤维超声刮治。Ulvik 等^[49]采用视觉模拟评分法对进行种植体周围炎维护治疗患者的疼痛进行评估,发现使赤藓糖醇喷砂较传统刮治能明显减少患者疼痛感。Hentenaar 等^[45]的研究中,认为传统超声刮治与赤藓糖醇喷砂维护两者均未引起患者的不适。

种植体周围炎的治疗对于患者的依从性要求较高,患者需定期进行牙周维护,龈下喷砂使就医舒适度提高,能够增加患者就诊的意愿和治疗配合度,提高患者的依从性,保证牙周治疗的质量,对患者维护牙周健康产生一个持久的良性循环^[50]。

5 总结和展望

目前,牙周炎和种植体周围炎在我国的患病率较高,龈下喷砂作为辅助治疗手段在控制菌斑和促进软组织愈合方面展现出优势^[1, 51]。对于牙周炎患者,部分研究认为,龈下喷砂对去除龈下菌斑有效,但对清除龈下结石效果有限^[4];另有研究表明,赤藓糖醇喷砂不仅能控制菌斑,还能改善龈下菌群微环境,促进牙周生态的良性发展^[23]。未来研究应重点关注龈下喷砂的安全性、有效性及长期疗效,同时探索与其他治疗方法联合使用的协同效果及其对

口腔微生物菌群的影响。对于种植体周围炎患者,龈下喷砂辅助手术治疗已显示出较好效果,未来可根据患者的个体特征、基因背景和微生物组成,进一步开发个性化治疗方案,以实现更理想的治疗效果^[52-53]。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

- [1] Tomasi C, Abrahamsson KH, Apatzidou D. Subgingival instrumentation[EB/OL]. [2025-04-18].<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37162295/>.
- [2] Selimović A, Bunæs DF, Lie SA, *et al.* Non-surgical treatment of peri-implantitis with and without erythritol air-polishing a 12-month randomized controlled trial [J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23(1): 240.
- [3] Chapple ILC, Mealey BL, Van Dyke TE, *et al.* Periodontal health and gingival diseases and conditions on an intact and a reduced periodontium: Consensus report of workgroup 1 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions [J]. *J Periodontol*, 2018, 89(Suppl 1): S74-S84.
- [4] Laleman I, Cortellini S, De Winter S, *et al.* Subgingival debridement: End point, methods and how often? [J]. *Periodontol* 2000, 2017, 75(1): 189-204.
- [5] Alkan İ İ, Akkaya HÜ, Sağlam M. The effectiveness of scaling and root planing with combined application of air polishing and Nd: YAG laser in periodontal pockets of stage III grade C periodontitis patients: A single-blinded randomized clinical trial [J]. *Clin Oral Investig*, 2022, 26(8): 5459-5469.
- [6] Petersilka G, Faggion CM Jr, Stratmann U, *et al.* Effect of Glycine powder air-polishing on the gingiva [J]. *J Clin Periodontol*, 2008, 35(4): 324-332.
- [7] Graziani F, Tinto M, Orsolini C, *et al.* Complications and treatment errors in nonsurgical periodontal therapy [J]. *Periodontol* 2000, 2023, 92(1): 21-61.
- [8] Torfason T, Kiger R, Selvig KA, *et al.* Clinical improvement of gingival conditions following ultrasonic *versus* hand instrumentation of periodontal pockets [J]. *J Clin Periodontol*, 1979, 6(3): 165-176.
- [9] Berkstein S, Reiff RL, McKinney JF, *et al.* Supragingival root surface removal during maintenance procedures utilizing an air-powder abrasive system or hand scaling. An *in vitro* study [J]. *J Periodontol*, 1987, 58(5): 327-330.
- [10] Petersilka GJ. Subgingival air-polishing in the treatment of periodontal biofilm infections [J]. *Periodontol* 2000, 2011, 55(1): 124-142.
- [11] Gheorghie DN, Bennardo F, Silaghi M, *et al.* Subgingival use of air-polishing powders: Status of knowledge: A systematic review [J]. *J Clin Med*, 2023, 12(21): 6936.
- [12] Pippin DJ, Crooks WE, Barker BF, *et al.* Effects of an air-powder abrasive device used during periodontal flap surgery in dogs [J]. *J*

- Periodontol, 1988, 59(9): 584-588.
- [13] Kontturi-Närhi V, Markkanen S, Markkanen H. Effects of airpolishing on dental plaque removal and hard tissues as evaluated by scanning electron microscopy [J]. J Periodontol, 1990, 61(6): 334-338.
- [14] Petersilka GJ, Bell M, Mehl A, *et al.* Root defects following air polishing [J]. J Clin Periodontol, 2003, 30(2): 165-170.
- [15] Hägi TT, Klemensberger S, Bereiter R, *et al.* A biofilm pocket model to evaluate different non-surgical periodontal treatment modalities in terms of biofilm removal and reformation, surface alterations and attachment of periodontal ligament fibroblasts [J]. PLoS One, 2015, 10(6): e0131056.
- [16] 夏娇娇, 张晔, 李厚轩. 3种清创方法对模拟维护期治疗的牙周炎患牙根面结构影响的体外研究 [J]. 口腔医学研究, 2022, 38(9): 882-886.
- [17] Jentsch HFR, Flechsig C, Kette B, *et al.* Adjunctive air-polishing with erythritol in nonsurgical periodontal therapy: A randomized clinical trial [J]. BMC Oral Health, 2020, 20(1): 364.
- [18] Nascimento GG, Leite FRM, Pennisi PRC, *et al.* Use of air polishing for supra- and subgingival biofilm removal for treatment of residual periodontal pockets and supportive periodontal care: A systematic review [J]. Clin Oral Investig, 2021, 25(3): 779-795.
- [19] Petersilka G, Heckel R, Koch R, *et al.* Evaluation of an *ex vivo* porcine model to investigate the effect of low abrasive airpolishing [J]. Clin Oral Investig, 2018, 22(7): 2669-2673.
- [20] Weusmann J, Deschner J, Imber JC, *et al.* Cellular effects of Glycine and trehalose air-polishing powders on human gingival fibroblasts *in vitro* [J]. Clin Oral Investig, 2022, 26(2): 1569-1578.
- [21] Hägi TT, Hofmänner P, Eick S, *et al.* The effects of erythritol air-polishing powder on microbiologic and clinical outcomes during supportive periodontal therapy: Six-month results of a randomized controlled clinical trial [J]. Quintessence Int, 2015, 46(1): 31-41.
- [22] Schlagenhaut U, Hess JV, Stölzel P, *et al.* Impact of a two-stage subgingival instrumentation scheme involving air polishing on attachment gain after active periodontal therapy [J]. J Periodontol, 2022, 93(10): 1500-1509.
- [23] Mensi M, Caselli E, D'Accolti M, *et al.* Efficacy of the additional use of subgingival air-polishing with erythritol powder in the treatment of periodontitis patients: A randomized controlled clinical trial. Part II: Effect on sub-gingival microbiome [J]. Clin Oral Investig, 2023, 27(6): 2547-2563.
- [24] Abdulbaqi HR, Shaikh MS, Abdulkareem AA, *et al.* Efficacy of erythritol powder air-polishing in active and supportive periodontal therapy: A systematic review and meta-analysis [J]. Int J Dent Hyg, 2022, 20(1): 62-74.
- [25] Mensi M, Scotti E, Sordillo A, *et al.* Efficacy of the additional use of subgingival air polishing with erythritol powder in the treatment of periodontitis patients: A randomized controlled clinical trial [J]. Clin Oral Investig, 2021, 25(2): 729-736.
- [26] Kruse AB, Wölki BJ, Woelber JP, *et al.* Subgingival air polishing with trehalose powder during supportive periodontal therapy: Use of a conical shaped tip during a randomized clinical trial [J]. BMC Oral Health, 2022, 22(1): 70.
- [27] Tan SL, Grewal GK, Mohamed Nazari NS, *et al.* Efficacy of air polishing in comparison with hand instruments and/or power-driven instruments in supportive periodontal therapy and implant maintenance: A systematic review and meta-analysis [J]. BMC Oral Health, 2022, 22(1): 85.
- [28] Sekino S, Ogawa T, Murakashi E, *et al.* Clinical and microbiological effect of frequent subgingival air polishing on periodontal conditions: A split-mouth randomized controlled trial [J]. Odontology, 2020, 108(4): 688-696.
- [29] Zhang WY, Wang W, Chu CC, *et al.* Clinical, inflammatory and microbiological outcomes of full-mouth scaling with adjunctive Glycine powder air-polishing: A randomized trial [J]. J Clin Periodontol, 2021, 48(3): 389-399.
- [30] Park EJ, Kwon EY, Kim HJ, *et al.* Clinical and microbiological effects of the supplementary use of an erythritol powder air-polishing device in non-surgical periodontal therapy: A randomized clinical trial [J]. J Periodontol Implant Sci, 2018, 48(5): 295-304.
- [31] Petersilka GJ, Tunkel J, Barakos K, *et al.* Subgingival plaque removal at interdental sites using a low-abrasive air polishing powder [J]. J Periodontol, 2003, 74(3): 307-311.
- [32] Wennström JL, Dahlén G, Ramberg P. Subgingival debridement of periodontal pockets by air polishing in comparison with ultrasonic instrumentation during maintenance therapy [J]. J Clin Periodontol, 2011, 38(9): 820-827.
- [33] Chang JW, Bi JR, Owen G, *et al.* Scanning electron microscopic analysis of adherent bacterial biofilms associated with peri-implantitis [J]. Clin Exp Dent Res, 2023, 9(4): 586-595.
- [34] Herrmann H, Kern JS, Kern T, *et al.* Early and mature biofilm on four different dental implant materials: An *in vivo* human study [J]. Clin Oral Implants Res, 2020, 31(11): 1094-1104.
- [35] Baek SH, Shon WJ, Bae KS, *et al.* Evaluation of the safety and efficiency of novel metallic ultrasonic scaler tip on titanium surfaces [J]. Clin Oral Implants Res, 2012, 23(11): 1269-1274.
- [36] Ronay V, Merlini A, Attin T, *et al.* *In vitro* cleaning potential of three implant debridement methods. Simulation of the non-surgical approach [J]. Clin Oral Implants Res, 2017, 28(2): 151-155.
- [37] Schwarz F, Becker K, Renvert S. Efficacy of air polishing for the non-surgical treatment of peri-implant diseases: A systematic review [J]. J Clin Periodontol, 2015, 42(10): 951-959.
- [38] Tuchscheerer V, Eickholz P, Dannewitz B, *et al.* *In vitro* surgical and non-surgical air-polishing efficacy for implant surface decontamination in three different defect configurations [J]. Clin Oral Investig, 2021, 25(4): 1743-1754.
- [39] Riben-Grundstrom C, Norderyd O, André U, *et al.* Treatment of peri-implant mucositis using a Glycine powder air-polishing or ultrasonic device: A randomized clinical trial [J]. J Clin Periodontol, 2015, 42(5): 462-469.
- [40] Drago L, Bortolin M, Taschieri S, *et al.* Erythritol/chlorhexidine combination reduces microbial biofilm and prevents its formation on titanium surfaces *in vitro* [J]. J Oral Pathol Med, 2017, 46(8):

625-631.

- [41] Di Tinco R, Bertani G, Pisciotto A, *et al.* Evaluation of antimicrobial effect of air-polishing treatments and their influence on human dental pulp stem cells seeded on titanium disks[J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(2): 865.
- [42] Matthes R, Duske K, Kebede TG, *et al.* Osteoblast growth, after cleaning of biofilm-covered titanium discs with air-polishing and cold plasma[J]. *J Clin Periodontol*, 2017, 44(6): 672-680.
- [43] Huang NW, Li Y, Chen HC, *et al.* The clinical efficacy of powder air-polishing in the non-surgical treatment of peri-implant diseases: A systematic review and meta-analysis [J]. *Jpn Dent Sci Rev*, 2024, 60: 163-174.
- [44] Schmidt KE, Ausschill TM, Sculean A, *et al.* Clinical evaluation of non-surgical cleaning modalities on titanium dental implants during maintenance care: A 1-year follow-up on prosthodontic superstructures[J]. *Clin Oral Investig*, 2019, 23(4): 1921-1930.
- [45] Hentenaar DFM, De Waal YCM, Stewart RE, *et al.* Erythritol air polishing in the surgical treatment of peri-implantitis: A randomized controlled trial[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2022, 33(2): 184-196.
- [46] Toma S, Lasserre JF, Taïeb J, *et al.* Evaluation of an air-abrasive device with amino acid Glycine-powder during surgical treatment of peri-implantitis[J]. *Quintessence Int*, 2014, 45(3): 209-219.
- [47] Aloy-Prósper A, Pellicer-Chover H, Peñarrocha-Oltra D, *et al.* Effect of a single initial phase of non-surgical treatment of peri-implantitis: Abrasive air polishing versus ultrasounds. A prospective randomized controlled clinical study[J]. *J Clin Exp Dent*, 2020, 12(10): e902-e908.
- [48] Bühler J, Amato M, Weiger R, *et al.* A systematic review on the patient perception of periodontal treatment using air polishing devices[J]. *Int J Dent Hyg*, 2016, 14(1): 4-14.
- [49] Ulvik IM, Sæthre T, Bunæs DF, *et al.* A 12-month randomized controlled trial evaluating erythritol air-polishing versus curette/ultrasonic debridement of mandibular furcations in supportive periodontal therapy[J]. *BMC Oral Health*, 2021, 21(1): 38.
- [50] Delucchi F, Ingegneros L, Pesce P, *et al.* Efficacy and safety of erythritol air-polishing in implant dentistry: A systematic review [J]. *Int J Dent Hyg*, 2025, 23(1): 44-62.
- [51] 杨子珍, 任秀云. 甘氨酸喷砂在菌斑控制中的应用[J]. *口腔医学*, 2022, 42(7): 641-644.
- [52] Ramanauskaite A, Schwarz F, Cafferata EA, *et al.* Photo/mechanical and physical implant surface decontamination approaches in conjunction with surgical peri-implantitis treatment: A systematic review[J]. *J Clin Periodontol*, 2023, 50(Suppl 26): 317-335.
- [53] Clementini M, Fabrizi S, Discepoli N, *et al.* Evaluation of the adjunctive use of Er: YAG laser or erythritol powder air-polishing in the treatment of peri-implant mucositis: A randomized clinical trial [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2023, 34(11): 1267-1277.

(收稿日期:2024-12-03)

(本文编辑:汪悦)