

# 正畸矫治器表面处理工艺对生物相容性影响

潘娟

广州瑞通生物科技有限公司 广东 广州 510000

**摘要：**本文重点探讨正畸矫治器表面处理工艺与生物相容性之间的关系。通过综合研究当前各类主流正畸矫治器，分析不同表面处理工艺在其应用中的特点，深入剖析每种工艺对矫治器生物相容性的具体影响，探讨不同制造方法如何影响矫治器与人体组织的相互作用。旨在为正畸矫治器的设计、生产以及临床应用在表面处理工艺选择上提供科学依据和理论指导，以提升矫治器整体性能和患者使用体验。

**关键词：**正畸矫治器；表面处理工艺；生物相容性

## 引言：

正畸矫治作为口腔医学领域重要的治疗手段，越来越多患者通过佩戴正畸矫治器来改善牙齿排列和咬合关系。正畸矫治器与人体口腔环境直接接触，其生物相容性对患者口腔健康乃至全身健康都至关重要。生物相容性良好的矫治器不仅能减少患者不适感，也能降低潜在不良反应发生风险，如炎症、过敏等。而矫治器的生物相容性很大程度上受其表面处理工艺影响。因此，深入研究正畸矫治器表面处理工艺对生物相容性的影响，对于推动正畸治疗技术发展意义重大。

## 1 正畸矫治器概述

### 1.1 正畸矫治器分类

固定矫治器通过粘结剂将矫治元件固定在牙齿表面，如托槽、带环等。它可精确控制牙齿移动方向和力度，是临床应用广泛的矫治装置。固定矫治器能够提供持续且可控的矫治力，适用于各种复杂程度的错畸形病例。例如，对于严重的牙齿拥挤、牙齿扭转以及颌骨关系异常等问题，固定矫治器都能发挥良好的矫治效果。

活动矫治器患者可自行摘戴，由基托、卡环及矫治弹簧等组成。主要适用于轻度牙颌面畸形或作为固定矫治器治疗前期辅助使用<sup>[1]</sup>。活动矫治器的优点在于其灵活性，患者可以在进食、刷牙或特殊场合时将其摘下，方便进行口腔清洁和日常活动。活动矫治器通常用于一些简单的牙齿移动，如小范围的牙齿倾斜或轻微的颌骨调整。

隐形矫治器由高分子透明材料制成，通过计算机辅助设计精确控制牙齿移动。具有美观、舒适、可摘戴等优点，近年来应用呈上升趋势。隐形矫治器采用透明的医用高分子材料，如聚亚安酯，通过数字化技术制作出一系列个性化的矫治器。每副矫治器都会根据牙齿移动的计划进行微调，患者按照顺序佩戴，从而逐步实现牙齿的矫正。隐形矫治器的美观性使其成为许多成年人

和青少年患者的首选。

### 1.2 正畸矫治器基本要求

生物相容性良好与口腔组织接触期间，不会引发炎症、过敏反应，不释放有害物质。正畸矫治器材料的选择至关重要，必须符合生物相容性的要求。例如，金属矫治器常用的材料包括不锈钢、钛合金等，这些材料具有良好的抗腐蚀性和生物相容性。隐形矫治器所使用的高分子材料也需要经过严格的生物相容性测试，确保不会对人体产生不良反应。

力学性能合适具备足够强度和刚度，在矫治过程中能承受咀嚼力和矫治力，不发生变形或断裂，同时要有一定弹性恢复能力，可实现温和持续矫治力。矫治器的力学性能直接影响矫治效果和患者舒适度。例如，托槽和弓丝需要具备足够的强度和刚度，以承受矫治过程中产生的力量，同时还需要一定的弹性，以避免对牙齿和周围组织造成过大的压力。根据研究，托槽的弹性模量通常在 200-210 GPa 之间，而弓丝的弹性模量则在 50-200 GPa 之间，以确保矫治力的温和和持续<sup>[2]</sup>。

良好的稳定性矫治器材料在口腔环境中，如不同温度、酸碱度下性质稳定，不与唾液、食物等发生化学反应，影响其性能和生物相容性。口腔环境复杂多变，矫治器材料需要能够在这样的环境中保持稳定。例如，

唾液的 pH 值通常在 6.2-7.6 之间,食物残渣可能会引起局部 pH 值的变化。因此,矫治器材料需要具有良好的耐腐蚀性和化学稳定性,以避免在口腔环境中发生降解或反应。

## 2 正畸矫治器表面处理工艺

### 2.1 机械加工处理

打磨与抛光这是最基础的表面处理方式。通过使用不同粒度砂纸、磨轮等工具,对矫治器表面进行打磨,降低表面粗糙度,然后再用抛光材料进一步处理,使表面光滑。能减少矫治器对口腔黏膜机械摩擦,降低磨损和创伤。例如,经过精细打磨和抛光的金属托槽表面粗糙度可以降低到  $0.2\ \mu\text{m}$  以下,从而显著减少对口腔黏膜的刺激。

喷砂处理采用高压气流将特定颗粒喷向矫治器表面,形成特定微观形貌。可增大矫治器表面表面积,改善表面亲水性,有利于后续涂层附着。不过喷砂参数(如颗粒大小、压力等)需严格控制,不当参数可能导致表面过度粗糙,容易积聚细菌和食物残渣。例如,喷砂颗粒的大小通常在  $50\text{-}150\ \mu\text{m}$  之间,压力控制在  $0.2\text{-}0.6\ \text{MPa}$  之间。通过优化喷砂参数,可以使矫治器表面形成均匀的微观凹凸结构,从而提高涂层的附着力和结合强度<sup>[3]</sup>。

### 2.2 化学处理

酸蚀处理常应用于金属矫治器,使用酸溶液(如磷酸、氢氟酸等)短时间浸泡矫治器表面。酸蚀会溶解表面杂质和部分金属,形成微观粗糙结构。能增强矫治器与牙齿之间粘结力,也有助于后续涂层更好结合。但酸过量可能腐蚀矫治器内部结构,降低力学性能。例如,使用 30% 磷酸溶液对金属托槽进行酸蚀处理,处理时间通常控制在 30-60 秒之间。通过酸蚀处理,可以使托槽表面的微观粗糙度增加,从而提高粘结剂的粘结强度。

化学钝化处理在金属表面形成一层钝化膜,提升耐腐蚀性。对于不锈钢等金属矫治器,采用硝酸、重铬酸盐等溶液浸泡处理,在表面生成致密氧化膜。这层膜能阻止金属离子释放,保障生物相容性。例如,将不锈钢矫治器放入 20% 硝酸溶液中浸泡 30 分钟,然后在 10% 重铬酸盐溶液中进行钝化处理,可以在其表面形成一层厚度约为  $10\text{-}20\ \text{nm}$  的氧化膜。这层氧化膜可以有效地阻止金属离子向口腔环境释放,从而提高矫治器的生物相容性。

### 2.3 涂层处理

生物活性涂层如羟基磷灰石涂层,其组成与人体硬组织相似,具有良好生物活性和骨传导性。通过喷涂、电泳等方法涂覆到矫治器表面,可促进组织吸附和生长,减少菌斑附着,提升生物相容性。但需注意涂层与基体结合强度,避免在矫治过程中涂层脱落。例如,采用等离子喷涂技术将羟基磷灰石涂层涂覆到钛合金托槽表面,涂层的厚度通常控制在  $50\text{-}100\ \mu\text{m}$  之间。通过优化喷涂参数,可以使涂层的结合强度达到  $50\ \text{MPa}$  以上,从而确保涂层在矫治过程中的稳定性<sup>[4]</sup>。

抗菌涂层以季铵盐、纳米银等抗菌剂为原料,涂覆在矫治器表面。能有效抑制口腔细菌生长繁殖,预防龋齿和牙周炎。然而,抗菌剂释放量和稳定性是关键,过度释放可能对人体产生毒性影响生物相容性。例如,将纳米银抗菌剂添加到隐形矫治器的高分子材料中,纳米银的粒径通常在  $10\text{-}50\ \text{nm}$  之间。通过控制纳米银的添加量,可以使其在矫治过程中缓慢释放,从而持续发挥抗菌作用。同时,还需要对抗菌涂层的稳定性进行测试,确保其在口腔环境中能够长期保持抗菌活性。

## 3 表面处理工艺对正畸矫治器生物相容性具体影响

### 3.1 对细胞毒性影响

化学处理不当酸蚀处理可能使矫治器表面残留酸根离子,溶出金属离子,这些物质具有潜在细胞毒性。例如某些金属离子在高浓度下会抑制细胞增殖、影响细胞代谢,降低生物相容性。有研究显示,镍离子浓度达到  $100\ \text{M}$  时,可显著抑制 L929 细胞的增殖活性。化学钝化处理若工艺控制良好,可降低金属离子释放,减轻细胞毒性。例如,通过优化钝化液的成分和钝化时间,可将 316L 不锈钢矫治器表面的镍离子释放量控制在  $0.1\ \text{g}/\text{cm}$  以下,显著降低其细胞毒性<sup>[5]</sup>。

涂层处理生物活性涂层本身通常细胞毒性较低,还能促进细胞黏附和生长,起到积极作用。例如,羟基磷灰石涂层具有良好的生物相容性,能够促进成骨细胞的黏附和增殖,提高矫治器的骨整合能力。抗菌涂层中抗菌剂选择不当或释放机制失控,可能对口腔细胞产生毒性。例如,某些季铵盐类抗菌剂在高浓度下会对口腔黏膜细胞产生毒性作用,导致细胞膜损伤和细胞死亡。研究表明,当季铵盐浓度超过  $500\ \text{ppm}$  时,会对人口腔上皮细胞 KB 细胞产生显著的毒性作用。

### 3.2 对免疫反应影响

机械加工处理打磨抛光良好的矫治器表面光滑,减少机械刺激,降低非特异性免疫反应可能性。若表面粗糙,易引发炎症,刺激免疫系统。例如,表面粗糙度超过 0.8 $\mu\text{m}$  的矫治器,更容易引发局部炎症反应,导致患者出现疼痛、红肿等症状。

化学处理酸蚀形成的表面结构,若有杂质残留,可能被免疫系统识别为外来异物,引发免疫反应。例如,酸蚀后残留的硫酸根离子可能会激活补体系统,引发炎症反应。而钝化处理得当可提高表面稳定性,减少免疫原性。例如,经过钝化处理的不锈钢矫治器,其表面形成的氧化膜可以有效地阻止金属离子向口腔环境释放,从而降低其免疫原性,减少免疫反应的发生。

涂层处理生物活性涂层由于材料性质与组织相似,一般免疫原性低。例如,磷酸钙涂层具有良好的生物相容性,不会引起明显的免疫反应。但抗菌涂层中某些抗菌剂可能激活免疫细胞,引起免疫反应。例如,纳米银抗菌剂在释放过程中可能会激活口腔中的巨噬细胞,导致炎症因子的释放,引发免疫反应。研究表明,纳米银颗粒可以激活巨噬细胞,使其释放 TNF- $\alpha$ 、IL-1 等炎症因子,引发炎症反应。

### 3.3 对口腔微生物影响

机械加工处理打磨抛光后光滑表面不利于细菌附着和聚集,而喷砂若导致过度粗糙表面,可能成为细菌滋生场所。例如,表面粗糙度超过 1.6 $\mu\text{m}$  的矫治器,其表面的细菌附着量会比光滑表面增加 3-5 倍,更容易形成菌斑。

化学处理酸蚀和钝化处理表面性能变化会影响细菌黏附。例如,钝化处理可能改变表面电荷性质,降低细菌吸附。有研究表明,经过钝化处理的不锈钢矫治器,其表面的细菌吸附量可以减少 50% 以上,有效减少菌斑的形成。

涂层处理抗菌涂层可有效抑制口腔微生物生长繁殖,减少菌斑形成。例如,将纳米银抗菌剂添加到隐形矫治器的高分子材料中,可以显著抑制变形链球菌和牙龈卟啉单胞菌的生长,减少菌斑的形成。但同时可能破坏口腔微生态平衡,如果抗菌作用持续过强,会杀死有益菌,对口腔健康产生不利影响。例如,长期使用抗菌涂层矫治器可能会导致口腔中的有益菌数量显著减少,从而影响口腔的微生态平衡,增加口腔疾病的发生风险。因此,在设计和应用抗菌涂层时,需要综合考虑其抗菌活性和对口腔微生态的影响,选择合适的抗菌剂和释放机制,以实现最佳的抗菌效果和最小的副作用。

## 结 论:

通过前文的分析可以明确,正畸矫治器表面处理工艺与生物相容性之间存在着复杂且紧密的联系。总结而言,不同的表面处理工艺各有优劣,且对正畸矫治器生物相容性的各个方面,包括细胞毒性、免疫反应以及口腔微生物等都有不同程度的影响。在实际临床应用中,医生应当全面考虑这些影响因素,根据患者的具体情况,如年龄、口腔健康状况、错颌畸形程度等,审慎地选择合适的表面处理工艺和矫治器类型。

展望未来,正畸矫治器表面处理工艺的研究应优化现有技术,如改善化学处理流程以减少对矫治器性能的负面影响,同时降低细胞毒性和免疫原性。开发新涂层材料和涂覆技术,增强生物活性涂层与基体的结合力,并精确控制抗菌剂的释放,以减少对口腔微生态的破坏。未来,有望开发出更智能、高效、安全的表面处理工艺,如具备自修复功能的涂层和实时监测生物相容性的生物

传感器技术,以提供更安全、舒适的正畸治疗方案。

## 参考文献:

- [1] 周佳星,李杨,董世涛,王首力.纳米银树脂粘接剂在牙齿畸形矫治中的抗菌效果及粘接性能分析[J].粘接,2023,50(7):33-37.
- [2] 张伟芳,刘吕花,刘英,郑延延.聚醚醚酮在口腔医学中应用的研究进展[J].工程塑料应用,2022,50(11):163-167.
- [3] 范东阳,王强,周怡君,李斯文,冯旭,刘春冉,崔家森,孙宏晨.抗菌钛合金在口腔医学中应用研究进展[J].口腔疾病防治,2021,29(4):284-288.
- [4] 程琳,徐茹霞,朱琦.不同终末冲洗方案对牙髓再生过程中生长因子向根管间隙释放的影响[J].现代口腔医学杂志,2021,35(1):9-11.
- [5] 张昊,王林,马俊青.口腔正畸弓丝表面改性技术的研究进展[J].口腔生物医学,2013,4(4):209-213.