

微塑料在儿童口腔中的应用、问题与前景

苗润蕾

南昌大学, 江西省南昌市, 330019;

摘要: 儿童口腔场景中, 复合树脂、正畸矫治器、牙膏、牙刷等诊疗及护理用品, 受机械摩擦、口腔 pH 波动、温度变化、唾液酶解等作用, 会持续释放微塑料与纳米塑料颗粒。这类颗粒不仅诱发儿童口腔局部炎症、免疫抑制、组织纤维化, 还可经口腔黏膜吸收、消化道摄入累及全身健康, 流行病学研究提示其与慢性疾病、口腔恶性肿瘤存在潜在关联, 牙科诊疗环境也已普遍检出微塑料污染。检测技术方面, 基于家用金属箔的 NPoF 创新平台, 可高效灵敏检测口腔低浓度微塑料, 为机制研究与暴露监测提供重要技术支撑。本文梳理龋齿充填、窝沟封闭、乳牙修复等儿童口腔医用材料研究进展, 对比各类材料临床效果与微塑料释放风险。目前该领域研究虽有所推进, 但仍缺少系统性毒理机制阐释、儿童专属暴露风险评价及多维度防控体系。未来需交叉融合材料学、口腔医学、环境科学与毒理学, 深入揭示致病机理, 研发低污染绿色牙科材料与精准防控技术, 为儿童口腔微塑料防护及健康保障提供理论依据与实践参考。

关键词: 微塑料; 儿童口腔; 健康风险; 检测技术; 口腔治疗材料; 综述

DOI: 10.69979/3029-2808.26.04.095

前言

生物医学领域诸多动物实验证实, 微塑料可经呼吸道、消化道、皮肤黏膜等多种途径侵入机体, 在肝、肾、肺、肠道等多器官蓄积, 诱发炎症损伤、氧化应激与代谢紊乱等病理生理改变, 对生长发育及生理功能造成不可逆伤害。当下人体健康研究中, 微塑料的暴露途径、体内分布及健康风险已是热点方向, 其对人体免疫、内分泌及消化系统的潜在危害已得到证实。

口腔作为消化道起始端和外界接触的重要门户, 是微塑料侵入人体的关键渠道。伴随口腔医学发展, 高分子塑料材料因物理性能优良、美观度佳、临床剪操作性强, 被广泛用于龋齿充填、正畸矫治、窝沟封闭及口腔清洁等诊疗与护理场景, 也使口腔成为人体微塑料暴露的高风险区域。儿童处于生长发育关键期, 免疫、代谢、消化等系统尚未发育完善, 对环境污染耐受力低、易感性更强; 同时儿童唾液分泌量与 pH 值易受饮食影响波动大, 口腔咀嚼、刷牙等机械摩擦频繁且力度不均, 加之口腔黏膜薄嫩、血运丰富, 既会加速牙科塑料材料老化降解并释放微塑料, 也让儿童更易遭受微塑料的毒性损害。

当前儿童龋齿、牙列畸形等口腔疾病高发, 牙科塑料材料应用频次显著增加, 微塑料对儿童口腔健康的潜在危害日益突出。但国内儿童口腔领域的微塑料研究仍

处于起步阶段, 缺少系统性风险评估、作用机制探究及防控策略体系。基于此, 本文整合国内外现有研究, 从微塑料的机体整体危害、儿童口腔微塑料来源与特异性健康风险、微塑料检测技术及儿童口腔医用材料应用等方面展开综述, 剖析当前研究存在的不足, 并展望未来研究方向与发展前景, 旨在为儿童口腔微塑料污染防控、守护儿童口腔健康提供科学的理论依据

1 微塑料对机体的影响及相关研究

1.1 动物模型中微塑料的机体损伤机制研究

动物模型研究为人体微塑料健康风险评估提供了坚实实验基础。张浪浪等人以 Balb/c 雄性小鼠为对象, 模拟经口摄入微塑料场景, 发现 $0.05\ \mu\text{m}$ 和 $0.5\ \mu\text{m}$ 聚苯乙烯微塑料可突破消化道屏障迁移至肺组织, 引发肺泡结构破坏、炎性细胞浸润, 较大粒径微塑料则多滞留消化道, 损伤相对有限。其机制为微塑料过度激活 NLR P3 炎症小体, 促进白细胞介素- 1β 、肿瘤坏死因子- α 等促炎因子释放, 触发级联炎症反应, 证实了对呼吸系统的毒性作用。

水生生物研究连接生态污染与人体健康。Weiwenhu i Liang 等人选取鲈鱼、鲤鱼、金鱼为对象, 发现鱼类对微塑料的摄取依赖不同感官途径, 群体规模扩大和禁食时间延长会降低其食物辨别能力, 增加误食风险, 长

期暴露致生长迟缓、消化功能紊乱。Molly F. Cannon 等人以蓝鳃太阳鱼为研究对象,证实微塑料会在其肠道、肝脏、鳃部累积,引发黏膜损伤、肝功能异常,为人体微塑料风险推演提供了可靠依据。

1.2 人体微塑料暴露的健康风险与途径研究

大量研究证实微塑料已存在于人体血液、粪便等样本中,对健康构成持续性威胁。刘雅宣等人明确人体微塑料三大暴露途径:消化道摄入(占总暴露量90%以上,最主要)、呼吸道吸入、皮肤黏膜接触,微塑料在体内长期累积,会诱发慢性炎症、氧化应激损伤,导致DNA链断裂,甚至增加恶性肿瘤、代谢性疾病发病风险。

陈慧通过体外模拟实验发现,人体消化液对聚乙烯、聚苯乙烯等微塑料的理化特性影响极小,其可稳定存在于消化道并持续发挥毒性;浓度100-500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的聚苯乙烯微塑料会抑制肠道双歧杆菌、乳酸菌等有益菌,促进大肠杆菌增殖,破坏菌群平衡,影响消化功能。口腔医学领域,赵玮等人发现塑料修复体长期佩戴会改变口腔微生态,增加致龋菌、牙周致病菌定植数量,提升局部炎症水平,为儿童口腔微塑料与口腔微生态的关联研究奠定了初步基础。

2 微塑料在儿童口腔应用及健康风险

2.1 儿童口腔中微塑料的主要来源与应用场景

儿童口腔微塑料主要来源于牙科医用高分子材料和日常口腔护理产品,覆盖乳牙萌出至恒牙替换全周期。牙科医用材料中复合树脂、窝沟封闭剂、正畸矫治器、乳牙预成冠等均以高分子塑料为核心原料,在咀嚼压力、唾液酶解、pH值波动等多重因素作用下会老化降解并释放微米级、纳米级塑料颗粒。其中复合树脂是龋齿充填首选,窝沟封闭剂广泛用于龋病预防,正畸矫治器需长期佩戴,均为微塑料释放主要载体。

儿童牙膏的塑料微珠、塑料牙刷、牙线及含塑料基料的口香糖等在使用中会通过机械摩擦、温度软化释放微塑料,或残留口腔或被无意识吞咽。Utsa Saha 等人证实,儿童口腔微塑料释放速率与暴露剂量远高于成年人,因儿童行为控制能力弱,机械摩擦强度大,且饮食以甜食、酸性食物为主,口腔pH值波动剧烈,加速塑料材料水解降解,低龄儿童手口接触频繁也会间接增加暴露机会。

2.2 微塑料对儿童口腔的特异性健康风险

儿童口腔黏膜通透性远高于成年人,微塑料对其危害具有特异性、敏感性、长期性,体现在口腔局部与全身健康两大维度。

局部层面,微塑料会刺激口腔黏膜、牙龈组织,诱发充血、溃疡、牙龈炎等问题,长期慢性炎症会导致牙周组织纤维化、牙龈萎缩,影响牙齿与颌骨发育。Part hasarathy Surya 等人指出,微塑料会在口腔内长期累积,吸附致病菌形成“微塑料-致病菌”复合体,大幅增加龋齿、牙周炎发病风险,还可侵入口腔细胞干扰代谢,流行病学研究暗示其与口腔恶性病变存在潜在关联,还可能引发局部过敏。

全身层面,Sohini Goswami 等人研究表明,微塑料可透过儿童薄嫩的口腔黏膜进入血液循环,或经消化道摄入引发肠道炎症、菌群失衡,导致儿童生长迟缓、免疫力下降。Utsa Saha 等人发现,微塑料还会抑制免疫细胞活性,干扰内分泌系统激素分泌,对儿童神经、生殖系统发育造成潜在威胁。此外,Naseem Akhtar 等人检测发现,牙科诊所空气、器械表面存在大量微塑料,冬季通风减少浓度更高,增加就诊儿童与医护人员健康风险;衣颖杰和吴国锋首次提出“牙科微纳塑料”概念,但相关毒性机制、安全暴露剂量等核心问题仍缺乏深入研究,凸显了该领域研究的紧迫性。

3 儿童口腔微塑料检测及治疗技术

3.1 儿童口腔微塑料的创新检测技术

儿童口腔微塑料具有浓度低、粒径小、基质复杂的特点,易受唾液、食物残渣干扰,传统红外光谱、拉曼光谱等检测方法灵敏度不足(检测限多在微克级别)、操作复杂,成为研究瓶颈。Udit Pant 等人(2025)研发的NPoF检测平台实现技术突破,该技术以家用铝箔、铜箔为SERS基底,取材便捷、成本低廉,利用等离子体耦合效应将检测灵敏度提升至纳克级别,较传统技术提升近1000倍,可精准识别小粒径微塑料并区分不同材质。

铜箔基底的等离子体耦合效果更优,抗干扰能力强,仅需少量唾液或黏膜样本即可完成无创、快速检测。该技术为实时监测儿童口腔微塑料暴露水平、探究其迁移代谢规律提供关键支撑,也为基层医疗机构与家庭场景的微塑料筛查提供了可行方案。

3.2 儿童口腔疾病治疗材料的应用研究

龋齿、牙列畸形是儿童常见口腔疾病，临床常用治疗材料仍以高分子塑料基材料为主，相关研究围绕疗效与微塑料释放风险展开。龋齿充填材料中，张翠云等人研究显示，复合树脂修复成功率达95.3%，远高于玻璃离子组的86.7%，不良事件发生率仅3.2%，是恒牙龋齿优选材料，但微塑料释放风险较高，已有学者尝试添加无机填料改性以降低释放量；王金竹等人（2024）证实3M复合树脂适配乳牙修复，但其长期微塑料释放量仍需评估。而玻璃离子水门汀可持续释氟、防龋效果显著，生物相容性佳且微塑料释放量低，更适合乳牙充填与口腔预防保健。

窝沟封闭材料方面，李红等人（2012）发现，玻璃离子、流动树脂、传统封闭剂的封闭成功率无显著差异，其中玻璃离子操作简便、成本低、微塑料释放风险低，适合基层医疗机构大规模应用。儿童正畸矫治材料、乳牙预成冠等的现有研究多聚焦临床疗效，尚未对其微塑料释放速率、暴露剂量进行系统评估，未来需将微塑料安全性纳入材料综合评价体系，建立统一检测与评估标准。

4 文献述评

现有研究初步明确了微塑料对儿童口腔的健康风险，也在检测技术、材料研发方面取得一定进展，但仍存在四大明显不足：其一，缺乏儿童专属研究，尚未形成系统研究体系，微塑料释放剂量、迁移规律等核心问题无明确结论，安全暴露阈值仍为空白；其二，毒理机制研究不深入，缺乏分子层面解析，未探究微塑料与口腔致病菌的协同毒性作用及长期低剂量暴露的慢性毒性机制；其三，研究维度单一，源头防控、绿色材料研发等应用研究匮乏，未形成“风险评估-源头防控-临床干预”的全链条体系；其四，国内研究滞后，缺乏本土化大样本临床数据与毒理实验结果，与欧美发达国家存在差距，无法为我国儿童口腔微塑料防控提供针对性依据。

未来研究需聚焦儿童这一特殊易感人群，整合口腔医学、材料学、环境科学等多学科资源，开展系统性研究，重点突破六大方向：一是搭建跨领域研究平台，开展全国性流行病学调查，明确我国儿童口腔微塑料暴露水平与分布特征；二是从分子、细胞、临床等多层面解析毒理机制，制定儿童专属暴露安全标准与风险分级体

系；三是优化推广检测技术，研发便携检测设备，建立全国性监测网络；四是研发可降解、低微塑料释放的绿色牙科材料，从源头降低暴露风险；五是治理诊疗环境微塑料污染，制定牙科诊所防控规范，减少医源性暴露；六是开展本土化大样本临床研究，制定防控指南，加强健康宣教，提升家长与儿童的防控意识。

通过多领域协同研究，破解儿童口腔微塑料污染难题，降低其对儿童口腔及全身健康的潜在威胁，推动儿童口腔医学与环境健康领域高质量发展。

参考文献

- [1]张浪浪,董品志,吴荧浓,等.经口摄入微塑料致小鼠肺部炎性损害及其机制初探[J].遵义医科大学学报,2024,47(09):844-849.
- [2]刘雅宣,王兰,师庆英,等.微塑料的人体暴露和健康风险研究进展[J].生态毒理学报,2022,17(03):354-365.
- [3]陈慧.体外模拟消化对微塑料的影响及微塑料对乳杆菌抑制作用的研究[D].华南理工大学,2022.
- [4]赵玮,赵云凤,高宁,等.塑料中空托牙式修复体对口腔微生物的影响[C]//中华口腔医学会.中华口腔医学会第二次全国会员代表大会暨第七次全国口腔医学学术会议论文汇编.2001:144.
- [5]衣颖杰,吴国锋.牙科微纳塑料概念的提出[J].实用口腔医学杂志,2023,39(06):824-828.
- [6]张翠云,庄娇玲,游婷婷.比较复合树脂与玻璃离子在儿童龋齿充填治疗中的疗效[J].黑龙江医药,2024,37(06):1394-1396.
- [7]王金竹,赵红芳.不同材料填充治疗儿童乳牙龋齿的疗效及对牙齿敏感性、牙髓活力、口腔健康的影响[J].中国民间疗法,2024,32(10):86-89.
- [8]李晋.3M复合树脂充填与高强度玻璃离子材料填充治疗儿童恒牙龋齿的疗效比较[J].当代医学,2021,27(24):158-159.
- [9]陈悦,杜小颖.复合树脂与玻璃离子在儿童龋齿充填治疗中的应用价值比较[J].当代医学,2016,22(05):92-93.
- [10]李红,张宇红,于家.儿童乳牙三种窝沟封闭材料的临床疗效观察[J].中国美容医学,2012,21(18):181.