

可生物降解医用金属螺钉的研究进展

王柏涵, 何芳, 袁祥, 杨金鑫, 陈程*

成都大学临床医学院, 四川 成都

收稿日期: 2024年10月19日; 录用日期: 2025年1月13日; 发布日期: 2025年1月21日

摘要

颅骨损伤的常见病因包括交通事故、高处坠落、钝器打击、运动损伤、摔倒以及爆炸和冲击波等。这些因素都可能导致头部受到直接或间接的暴力冲击, 从而造成颅骨损伤。医用金属螺钉作为内固定手术中不可或缺的一部分, 尽管在医疗领域具有广泛的应用, 但仍存在一些缺点和局限性。可生物降解金属螺钉作为一种基于微弧氧化结合双脉冲电化学沉积技术制备的特殊材料已经取得重大成果与突破。该螺钉表面涂覆有氧化镁、磷酸镁/钙磷盐复合涂层, 旨在解决传统金属螺钉在生物相容性、二次手术取出及应力遮挡等方面的问题。通过动物实验及一系列表征方法, 验证了该螺钉的生物降解性、骨折愈合诱导性、机械性能及材料安全性, 为医用金属螺钉的进一步发展提供了新的思路与方法。

关键词

可生物降解, 医用金属螺钉, 微弧氧化, 双脉冲电化学沉积, 复合涂层

Research Progress on Biodegradable Medical Metal Screws

Baihan Wang, Fang He, Xiang Yuan, Jinxin Yang, Cheng Chen*

School of Clinical Medicine, Chengdu University, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 19th, 2024; accepted: Jan. 13th, 2025; published: Jan. 21st, 2025

Abstract

The common causes of skull injury include traffic accidents, falls from heights, blunt force impacts, sports injuries, falls, explosions and shock waves, etc. These factors can all lead to direct or indirect violent impacts on the head, resulting in skull injuries. As an indispensable part of internal fixation surgeries, medical metal screws, although widely used in the medical field, still have some shortcomings and limitations. Biodegradable metal screws, as a special material prepared based on micro-arc

*通讯作者。

文章引用: 王柏涵, 何芳, 袁祥, 杨金鑫, 陈程. 可生物降解医用金属螺钉的研究进展[J]. 生物医学, 2025, 15(1): 171-174. DOI: 10.12677/hjbm.2025.151019

oxidation combined with double-pulse electrochemical deposition technology, have achieved significant results and breakthroughs. The surface of this screw is coated with a composite coating of magnesium oxide, magnesium phosphate/calcium phosphate salt, aiming to solve the problems of traditional metal screws in terms of biocompatibility, removal in secondary surgeries, and stress shielding. Through animal experiments and a series of characterization methods, the biodegradability, fracture healing induction, mechanical properties and material safety of this screw have been verified, providing new ideas and methods for the further development of medical metal screws.

Keywords

Biodegradable, Medical Metal Screws, Micro-Arc Oxidation, Double-Pulse Electrochemical Deposition, Composite Coating

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

医用金属螺钉作为内固定手术中的关键器械，在颅骨缺损修复及其他骨科手术中发挥着重要作用。然而，传统金属材料如钛合金和不锈钢存在毒性离子释放、弹性模量不匹配及需二次手术取出等问题，限制了其临床应用。因此，研发具有更优生物相容性和可降解性的医用金属材料成为当前的研究热点。本文将综述可生物降解医用金属螺钉的研究进展，重点介绍微弧氧化结合双脉冲电化学沉积技术在制备该类螺钉中的应用。

2. 技术背景与现有技术

目前，医用金属螺钉所使用的金属材料确实存在一系列难以忽视的显著缺点。这些金属材料在人体内环境中容易释放毒性离子及碎屑，长期存在可能导致患者健康受损，引发一系列并发症。而医用高分子材料尽管为替代传统金属提供了一定的可能性，但其降解产物多呈酸性，可能引发组织炎症反应，且力学性能往往难以满足临床需求。陶瓷材料尽管生物相容性表现优异，但其质地坚硬，不易塑形，且力学强度相较于金属材料有所欠缺。因此，科研人员正积极投入新型可生物降解医用金属材料的研发，力求在保证材料具备优异力学性能的同时，最大限度地降低对患者健康的潜在风险。

3. 可生物降解医用金属螺钉的研发进展

针对传统医用金属螺钉在生物相容性、二次手术取出需求及应力遮挡效应等方面存在的显著缺点，科研人员不畏艰难，积极探索并实践创新解决方案。在这一背景下，他们巧妙地采用了微弧氧化结合双脉冲电化学沉积技术[1]，这一融合了现代材料科学与电化学技术的先进手段，成功制备出了新型可生物降解的医用金属螺钉。这一突破性技术的问世，标志着医用金属材料领域的一次重大飞跃。它不仅通过精密调控和优化材料表面涂层，显著提升了螺钉的生物降解性能，确保其在完成使命后能自然降解于体内，无需二次手术取出，还精心保障了螺钉的力学性能，实现了降解与力学性能的双重优化与完美平衡，为医用金属螺钉的发展注入了新的活力。

3.1. 微弧氧化涂层制备

微弧氧化技术是一种先进的表面处理技术，专门用于在金属表面形成一层高质量的氧化膜。这一技

术通过在镁合金基体上施加特定的电压和电流条件，引发微弧放电现象，从而在表面形成具有独特三层结构的微弧氧化涂层。该涂层外层多孔，便于细胞渗透与附着(见图 1)；中间层微孔较小，增强了涂层的结构强度；内部则为薄的致密层，与基体紧密结合，形成冶金连接。这种独特的结构不仅增强了涂层的稳定性，还有利于细胞在涂层表面的粘附及成骨细胞的生长与分化。

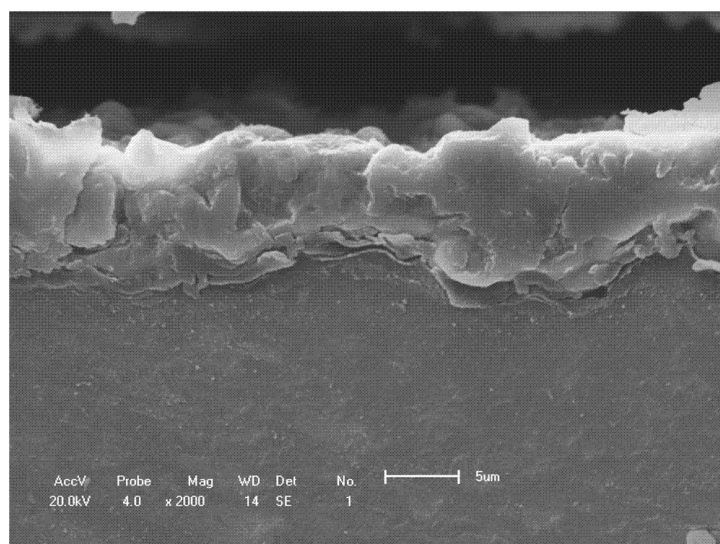


Figure 1. Preparation of micro-arc oxide coatings
图 1. 微弧氧化涂层制备

3.2. 双脉冲电化学沉积涂层制备

双脉冲电化学沉积技术[2]是一种通过电化学方法将离子沉积到金属表面的技术。将沉积设备与脉冲电源连接，通过选定脉冲波形进行电化学沉积。通电时，电化学反应进行，消耗阴极附近的钙磷离子形成钙磷盐涂层；断电时，溶液中离子源源不断地到达阴极附近，以制备均匀致密的钙磷盐涂层。这种涂层具有良好的生物相容性和骨折愈合诱导性。

3.3. 涂层性能表征与优化

利用 SEM、EDS、XRD、FTIR 等表征方法对涂层表面结构与成分进行分析[3]，得出最佳工艺参数。通过厚度测试及接触角实验评估涂层的均匀性和润湿性。实验结果表明，涂层表面结构致密、成分均匀，微孔分布均匀且尺寸一致[4]，具有良好的润湿性和生物相容性。

3.4. 体外力学优化与抗腐蚀性能研究

通过电化学测试和模拟体液浸泡实验[5]对涂层试样的体外腐蚀降解行为进行研究。利用拉伸试验、扭矩测试等力学性能表征方法对改性后的试样进行力学性能评估[6]。实验结果表明，涂层试样在体外具有良好的耐腐蚀性和力学性能，具有较高的强度和韧性。

3.5. 动物实验研究

选取比格犬进行股骨颈骨折内固定模型制作，通过影像学、组织学和 Micro-CT 扫描等方式评估螺钉在体内的降解情况、骨折愈合情况及腐蚀性[7]。动物实验结果表明，该螺钉在比格犬股骨颈骨折内固定应用中具有良好的生物相容性和骨折愈合诱导性，螺钉在体内降解均匀，骨折愈合良好。

4. 结论与展望

可生物降解医用金属螺钉作为一种新型内固定材料, 具有广阔的临床应用前景[8]。通过微弧氧化结合双脉冲电化学沉积技术精心制备的可生物降解医用金属螺钉, 在生物相容性、力学性能及降解性能等关键指标上均展现出卓越的表现。这些螺钉不仅能够有效促进细胞的粘附和成骨细胞的生长, 还具备出色的力学强度和韧性, 确保了内固定手术的稳定性和可靠性。展望未来, 随着相关技术的持续进步和临床实践的不断积累, 可生物降解医用金属螺钉的应用范围将进一步扩大。它们有望逐步取代传统的金属螺钉, 成为骨科手术中不可或缺的主流内固定材料[9], 从而为更多患者提供更加安全、高效且人性化的治疗方案, 推动医疗领域迈向新的发展阶段。同时, 也需要持续投入科研力量, 进一步深入研究, 不断优化制备工艺细节, 全面提升材料综合性能, 从而更好地适应并满足不同患者的多样化临床需求[10]。

基金项目

四川省大学生创业训练计划项目(202411079002S)资助。

参考文献

- [1] El-Ghannam, A., Sultana, F., Dréau, D., Tiwari, A., Yang, I.H., AlFotawi, R., *et al.* (2024) Novel 3D Printed Bioactive SiC Orthopedic Screw Promotes Bone Growth Associated Activities by Macrophages, Neurons, and Osteoblasts. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, **113**, e37801. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.37801>
- [2] Feuerbach, T. and Thommes, M. (2021) Design and Characterization of a Screw Extrusion Hot-End for Fused Deposition Modeling. *Molecules*, **26**, Article 590. <https://doi.org/10.3390/molecules26030590>
- [3] Xu, Y., Liu, W., Zhang, G., Li, Z., Hu, H., Wang, C., *et al.* (2020) Friction Stability and Cellular Behaviors on Laser Textured Ti-6Al-4V Alloy Implants with Bioinspired Micro-Overlapping Structures. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, **109**, Article 103823. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103823>
- [4] 孟颖. 基于生物力学性能分析的胫骨植入物优化设计[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2024.
- [5] 潘咏葳. 中高分子量聚乳酸及其共聚物的制备工艺与性能研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2023.
- [6] 米涛. 不同置钉角度固定下胫腓螺钉的生物力学特性的有限元研究[D]: [硕士学位论文]. 西宁: 青海大学, 2022.
- [7] 陈昶. nano-SiO₂和GO增强改性的PEEK复合材料的制备及表征[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2021.
- [8] 刘高鹏. 掺铝氧化锌/ZrCu 基非晶合金复合透明导电薄膜的制备及光电性能的研究[D]: [硕士学位论文]. 焦作: 河南理工大学, 2020.
- [9] Xue, K., Li, Y., Ma, T., Cui, L., Liu, C., Zou, Y., *et al.* (2023) *In Vitro* Corrosion Resistance and Dual Antibacterial Ability of Curcumin Loaded Composite Coatings on AZ31 Alloy: Effect of Amorphous Calcium Carbonate. *Journal of Colloid and Interface Science*, **649**, 867-879. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2023.06.105>
- [10] Guo, X., Hu, Y., Yuan, K. and Qiao, Y. (2022) Review of the Effect of Surface Coating Modification on Magnesium Alloy Biocompatibility. *Materials*, **15**, Article 3291. <https://doi.org/10.3390/ma15093291>