

埃洛石纳米管在生物医学应用中的研究

张赢心

中央民族大学 生命与环境科学学院, 北京海淀, 100081;

摘要: 对埃洛石纳米管在生物医学中的应用进行研究, 能明确其未来发展方向, 理解埃洛石纳米管在生物医学领域的优势, 为其未来发展应用提供一定的理论支持。本文对埃洛石纳米管的原理以及其作用进行了分析, 随后对其在生物医学领域的应用进行了阐述, 明确了其应用优势, 并对部分内容进行了举例说明, 希望能为相关从业者开展工作提供一定的理论依据。

关键词: 埃洛石纳米管; 生物医学; 应用手段

DOI: 10.64216/3104-9656.25.01.017

前言

生物医学是重点科学研究科目, 通过对生物医学进行探究, 能帮助人类攻克一些罕见疾病、绝症, 为延长人类寿命提供助力。埃洛石是一种天然硅铝酸盐类材料, 埃洛石纳米管相比于传统纳米管具有表面积大、反应活性高等优点, 该设备目前已经被广泛应用于生物医学领域。相比于传统无机纳米材料, 该材料优势更加明显, 能够高效保存多种化学药品, 一定程度上解决了生物医学领域存在的化学药品难以保存、运输问题。但埃洛石纳米管的用处还不仅局限于此, 通过对其开展更加深入的研究, 能进一步发挥其优势, 为我国生物医学发展提供进一步助力。

1 埃洛石纳米管原理

埃洛石是一种纳米级的硅酸盐粘土矿物, 主要由两种基本单元层构成, 其化学式为 $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot nH_2O$ 。该物质第一层为硅原子和氧原子, 即 SiO_4 , 第二层为铝原子、氧原子和羟基, 即 $AlO_2(OH)_4$, 这两层相互作用, 共同形成一个基本单元片层, 类似于一张能够卷曲的纸。

埃洛石能够卷曲成管的主要秘密是, 失配效应、氢键作用。在失配效应下, 硅氧四面体层与铝氧八面体层之间会存在天然的晶体失配, 这是由于原子间距差异产生; 层与层之间的水分子、羟基主要通过氢键连接, 但在特殊地质形成条件下, 层状结构为降低整体能量, 就会自发卷曲, 形成一个中空纳米管。在这两种条件的影响下, 埃洛石就会像一张纸, 在受到两侧不均匀力时, 逐渐卷曲成纸筒。埃洛石在卷曲后, 最终会形成一个结构为中空的多壁纳米管, 其内表面主要由铝氧八面体构

成, 在自然状态下带有正电荷; 外表面则由硅氧四面体构成, 在自然条件下带负电荷; 管内部为空腔, 能够装载各类物质。

2 埃洛石纳米管的作用

由于埃洛石纳米管中空空腔可以容纳各类分子, 因此生物医学工作人员一般用其装载各类化学药品。埃洛石纳米管内壁自带正电荷, 能够吸附带有负电荷的物质, 通过改变其性质, 就可以控制其选择性, 同时, 装载的物质也可以通过扩散逐渐释放。这种缓慢释放的特性能大幅延长有效成分的作用时间, 避免出现一次性快速释放引发的失效问题。在生物医学领域, 人们开始探究将抗癌药、抗生素装载至埃洛石纳米管中, 随后将其注射入体内, 药物在埃洛石纳米管的特性下会缓慢释放, 这就能提高药效, 同时也能降低药物量过大对患者身体造成的刺激, 降低出现副作用的风险。部分药物在进入人体后, 还可能会由于药物量过大, 残留在人体组织中难以代谢, 这些药物会对人体组织产生影响, 进而引发各类病变问题。如, 抗生素大量进入人体, 会杀死人体内一些有益菌落, 导致人体代谢紊乱, 如果抗生素长期无法排出体外, 还可能会导致体内细菌产生抗药性, 给后续治疗带来严重影响。

药物中的杂质, 会严重影响药物质量, 一旦药物中存在过多杂质, 这些杂质进入人体, 就会引发后果, 药物的疗效也会大幅降低。同时, 药物在处理过程中难度较高, 会大幅提升药物制作成本, 导致药物价格高昂, 患者难以负担。埃洛石纳米管有着较大比例的表面积, 这能提供大量吸附点。再加上埃洛石纳米管内外表面都自带电荷, 能够有效吸附一些带电的污染物, 这使得该物质也被应用在过滤、杂质处理工作中。在生物医学领

域，部分药物在制作过程中，需要进行多次杂质处理，以提升其效果、降低其危害。使用埃洛石纳米管进行处理，就能有效去除药物中存在的重金属、杂质，提升药物的纯净性。同时，埃洛石属于天然粘土矿物，与人体

组织、细胞有着良好的相容性，其本身几乎不存在毒性，将其注入人体内，不会对人体造成任何伤害，这也是该物质被广泛应用于生物医学领域的前提和基础^[1]。

表 1 埃洛石纳米管特性及应用场景

结构特征	衍生特性	核心原理	典型应用场景
中空腔	高负载容量	负载与封装	药物/基因递送
管状结构	高长径比、高比表面积	增强与增韧	聚合物纳米复合材料
内外表面化学差异	内外表面不同电容	选择性吸附于门控释放	水处理吸附剂、智能控释系统
硅羟基表面	易于化学改性	功能化与靶向	表面嫁接特定分子实现靶向给药
天然矿物	来源广泛、成本低、生物相容	绿色与经济	替代部分合成纳米材料，降低成本和毒性

3 埃洛石纳米管在生物医学领域的应用

3.1 药物递送系统

药物递送是埃洛石纳米管在生物医学领域的核心应用，相比传统给药方式，埃洛石纳米管给药有着诸多优势，消除了传统给药存在的部分缺点。传统给药方式较为直接，一般为口服、注射，药物大量进入人体，会给病变区域带来强烈刺激，这可能会引发一定的副作用，同时，药物大量进入人体，部分药物尚未发挥功效就会随着尿液、汗液排出体外，药物难以完全发挥应有功效。但埃洛石纳米管的缓释效果，能有效解决上述问题。根据研究得知，通过不同的封装手法，医疗人员能够精细地调整药物缓释时间，以抗癌药物为例，通过智能封端，就能让药物以不同方式释放，持续时间可从数小时调整至数周，这给了医疗人员更多治疗选择，提升药物使用的科学性、针对性。抗癌药物在缓释效果下，能够持续作用于肿瘤细胞，在提升疗效同时，还能降低对正常组织产生的毒副作用。并且，医疗人员通过表面修饰靶向分子，还能实现主动靶向，精准识别癌细胞，这能进一步提升疗效、降低毒副作用。在面对镇痛、抗炎、杀菌等场景时，使用埃洛石纳米管装载药物，利用其缓释特性，能起到长效镇痛、抗炎、杀菌的效果。同时，埃洛石本身也具有一定的抗菌性，与抗生素协同使用，能进一步提升抗菌效果。如果使用埃洛石纳米管装载 DNA、siRNA 等基因片段，能有效保护基因进入细胞内部，避免出现降解问题，保障基因治疗效果^[2]。

埃洛石纳米管还能实现智能控制，通过 pH 响应释放，就能实现药物释放速度的自动调节。多数肿瘤、炎症部位会呈现一定弱酸性，通过在埃洛石纳米管端口使用智能门控分子封口，就能在特定部位精准释放药物。

同时，当 pH 值发生变化时，药物释放速度也会发生变化，当酸性逐渐降低时，药物释放速度也会逐渐变慢，并长效提供治疗效果，以实现药物的最大化使用，有效提升医疗质量。

3.2 组织工程与再生医学

埃洛石还能作为增强填料以及活性因子载体，将其用于构建人工支架，能有效促进组织修复。该物质目前被广泛应用于骨组织修复、神经修复之中。在出现骨折或是其他严重骨损伤时，将埃洛石纳米管与壳聚糖、胶原蛋白等生物聚合物组合，制作成多孔支架注入受损的骨组织中，就能有效提升骨骼负荷。同时，埃洛石纳米管内存在的药物还会在骨组织受损部位缓慢释放，降低其出现炎症的风险，并持续促进骨细胞生长，确保骨组织能够快速恢复。当需要对神经进行修复时，在神经导管中注入装载有神经生长因子的埃洛石纳米管，将其注入神经受损区域，就能为神经再生提供养分，并提供导向，加快神经生长速度^[3]。

埃洛石纳米管还可被用于制作伤口敷料。将装载有抗菌剂、抗炎症药物或是生长因子的埃洛石纳米管加入水凝胶、纤维膜内，就能制成智能伤口敷料，该敷料不仅能预防感染、控制炎症，还能促进组织修复、加快愈合。

3.3 抗菌涂层

利用埃洛石纳米管特有的负载和缓释能力，工作人员还能制造出长效抗菌涂层，进一步降低患者感染风险。在当今时代，在手术之前需要对医疗器械进行杀菌，避免器械上存在病菌，在手术中引发感染问题。对于一些植入物的处理更要谨慎，一旦植入物存在病菌，就会引

发严重的感染问题,并且后续处理难度极高,甚至威胁患者生命。使用埃洛石纳米管制作抗菌涂层,就能有效提升抗菌效果。部分医疗器械厂商会在植入物表面覆盖一层载有抗生素的埃洛石纳米管涂层,该涂层在进入人体后,就会开始长效地释放抗生素,这就能有效降低感染问题^[4]。

该涂层还可以被应用在各种敷料、外部医疗器械之上,部分患者在接受治疗时,已经出现较为严重的伤口感染问题,此时将注射抗生素治疗与敷料治疗结合,就能大幅提升治疗效果。同时,在应对一些慢性疾病时,也能使用该方式进行治疗,这能确保药物长效发挥作用,尽可能控制感染问题,同时也能规避长期服用抗生素引发的抗药性风险。

3.4 生物成像与诊疗一体化

利用埃洛石纳米管装载药物,并让其外表面对接荧光染料,就能让其作为造影剂,对病灶位置进行高效定位,并且同时还能完成靶向药物治疗,实现“看得见”的治疗。在看得见的情况下,医生就能了解药物分布情况,并实时观察疗效,为制定针对性的治疗方案提供有力的信息数据支持。

在人体内注入埃洛石纳米管,还能利用其表面负载金纳米棒、石墨烯等发光、发热材料,这些材料在近红外激光照射下会产生一定的热量,从而杀死癌细胞,通过该治疗与化疗配合,就能有效强化治疗效果。

4 埃洛石纳米管在生物医疗领域的未来发展方向

虽然经过长期研究和应用,发现埃洛石纳米管并不会产生明显的毒性,但对于其降解行为、代谢途径仍未完全明确,因此相关工作人员依然需要对其长期使用的安全性进行评估,明确埃洛石纳米管在人体中的降解速率和排泄路径,确保该物质的长期使用安全。

医疗级的埃洛石纳米管对纯度、尺寸等内容有着较高要求,但目前从矿物中提取的物质,在经过初步加工后,会存在一定的差异性,部分产品难以满足药物使用需求。因此,相关工作人员需要开发出更高效、环保的分级技术,实现医疗级埃洛石纳米管的标准化、规模化生产,满足生物医疗行业的需求。

目前应用埃洛石纳米管开展靶向治疗的方式仍需

进行优化,经过研究得知,部分埃洛石纳米管会被细胞吞噬,或是出现胞饮问题,探究该问题是否对人体健康造成损坏,是否能够规避此类问题,同样是相关工作者必须开展的工作。同时,工作人员需设计更高效的靶向修饰策略,利用先进的细胞生物学技术阐明胞内运输过程,以提升靶向治疗质量和效率。

该物质属于新型纳米物质,在使用该物质时需要经历严格、复杂的审批流程,这是一个漫长且成本消耗极高的过程。为解决该问题,工作人员需要在初期就按照医疗标准进行设计,在审核过程中提供充分的临床数据进行支持,以提升审批效率^[5]。

5 结论

埃洛石纳米管在生物医学领域仍属于较为新鲜的事物,目前该物质尚未被正式应用到临床治疗中。但经过多年研究,人们已经发现该物质存在的巨大潜力,其存在的药物缓释、抗菌特性,已经引起相关工作人员的重视,通过对其进行研究,能够找到正确的应用路径,为推动生物医学行业发展提供助力。由于埃洛石纳米管具有天然、无毒等特性,在医疗中扮演着重要角色,通过对其应用方式开展深入研究,该物质有着较大可能,在未来的癌症治疗、组织再生等领域带来新的突破,让我国医疗行业进入一个全新的领域。

参考文献

- [1] 张可,邓国英,王亚男,等.埃洛石纳米管在生物医学中的应用现状及研究进展[J].中国陶瓷工业,2024,31(01):44-49.
- [2] 蒋潇宇,张嘉方,赵思凯,等.埃洛石纳米管功能材料的结构调控及应用[J].硅酸盐学报,2024,52(10):3217-3229.
- [3] 包继华,张浩然,王志豪,等.多功能埃洛石纳米管防腐蚀超疏水自修复涂层[J].表面技术,2025,54(08):74-83+135.
- [4] 王寒剑,韩栋梁,危文祥,等.叶酸修饰埃洛石纳米管负载姜黄素对乳腺癌细胞及移植瘤的放射增敏作用[J].现代肿瘤医学,2023,31(13):2379-2384.
- [5] 尹国杰,陈平绪,叶南飏,等.聚氯乙烯/埃洛石纳米弹性体材料的结构与性能[J].弹性体,2024,34(05):26-31+76.