

涂层材料及技术在医学临床领域的应用

庞瑜¹, 张国浩², 程丑夫¹

Coating materials and technologies in clinic

Pang Yu¹, Zhang Guo-hao², Cheng Chou-fu¹

Abstract

BACKGROUND: Coating materials and production technology in people's lives have been widely used, as well as in the medical field has also been booming.

OBJECTIVE: To review the applications coating materials and technology applications in the medical field.

METHODS: We searched from January 2000 to December 2010 Wanfang database for related articles, and the key words were "coating, medicine, application", and the language was limited to Chinese. A total of 506 documents retrieved. PubMed database was also searched from January 2000 to December 2010 for related articles, the key words were "coating, medicine, application" and the language was limited to English. 108 documents were retrieved. Finally, 30 papers were included in result analysis.

RESULTS AND CONCLUSION: The coating technology has been applied in all aspects of life. Its application in the medical field has become more prosperous, and has developed a lot of coating materials with good biocompatibility and less rejection applied in clinical area. This paper introduces different coating stents in the stomatology, cardiopulmonary bypass, orthopedics in order to develop new coating materials and more rational and effective drug combinations, based on which drug-eluting stent treatment may produce a qualitative leap.

Pang Y, Zhang GH, Cheng CF. Coating materials and technologies in clinic. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(34): 6403-6406. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 涂层材料及技术已在人们的生产生活中广泛应用, 在医学领域也得到了蓬勃发展。

目的: 综述涂层材料及技术在医学领域中的应用进展。

方法: 应用计算机检索 2000-01/2010-12 万方数据库相关文章, 检索词“涂层, 医学, 应用”, 并限定文章语言种类为中文。同时计算机检索 2000-01/2010-12 PubMed 数据库相关文章, 检索词“coating, medicine, application”, 并限定文章语言种类为 English。共检索到文献 614 篇, 最终纳入符合标准的文献 30 篇。

结果与结论: 涂层技术在生活的方方面面都有应用, 在医学领域里的应用也日渐蓬勃, 目前研制出了很多生物相容性好排斥反应小的涂层材料并应用于临床。文章分别从口腔、体外循环、骨科等领域对涂层支架进行介绍, 发现开发新的涂层药物, 寻找更加合理有效的药物组合, 可能会使药物涂层支架的治疗作用产生质的飞跃。

关键词: 涂层; 医学; 应用; 生物活性涂层材料; 综述文献

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.34.033

庞瑜, 张国浩, 程丑夫. 涂层材料及技术在医学临床领域的应用[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(34):6403-6406. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

涂层是涂料一次施涂所得到的固态连续膜, 是为了防护、绝缘、装饰等目的, 涂布于金属、织物、塑料等基体上的薄层。涂料可以为气态、液态、固态, 通常根据需要喷涂的基质决定涂料的种类和状态。

其中涂层种类繁多, 主要有金属涂层、高温电绝缘涂层(陶瓷涂层、氮化硼、氧化铝、氟化铜涂层、无机黏结剂涂层等)、纳米涂层(如纳米氧化锆陶瓷涂层)、雷达波吸波涂层(羰基铁/环氧有机硅树脂涂层)、内减阻涂层、有机硅涂层、功能梯度材料涂层、氮化钛(TiN)涂层、羟基磷灰石涂层、环氧聚氨酯(ER/PU)涂层、二氧化钛(TiO₂)

导电涂层等。

涂层工艺主要有气相沉积(物理气相沉积、化学气相沉积)、各类喷涂(含常温喷涂、火焰喷涂、热喷涂和等离子喷涂等)、镀膜(含电镀和化学镀)、达克罗技术、交联反应法、溶胶-凝胶法、辐照法、激光熔敷法、微弧氧化法、电火花沉积法^[1]、真空金属化涂层法、仿生涂层技术等^[2]。

目前获得纳米结构涂层的方法有热喷涂法、磁控溅射法、物理气相沉积、化学气相沉积、电沉积、溶胶-凝胶法等^[3]。

涂层技术应用广泛, 从生产、生活、基础设施建设、医学、到国防事业, 从纺织、航空、航天、原子能、机械、化工、电子、生物医学、太阳能等众多领域, 不同种类和工艺制作可以起到防水、防虫、耐磨、耐腐蚀、耐热、绝缘、吸光、

¹First Affiliated Hospital, Hunan University of Traditional Chinese Medicine, Changsha 410007, Hunan Province, China; ²First Department of Internal Medicine, Jun'an Hospital of Shunde District, Foshan 528329, Guangdong Province, China

Pang Yu, Studying for doctorate, Physician, First Affiliated Hospital, Hunan University of Traditional Chinese Medicine, Changsha 410007, Hunan Province, China blue99284841@163.com

Correspondence to: Cheng Chou-fu, Chief physician, Professor, First Affiliated Hospital, Hunan University of Traditional Chinese Medicine, Changsha 410007, Hunan Province, China

Received:2011-02-11 Accepted:2011-05-10

¹湖南中医药大学第一附属医院, 湖南省长沙市 410007; ²佛山市顺德区均安医院内一科, 广东省佛山市 528329

庞瑜, 女, 1982年生, 重庆市人, 汉族, 2011年湖南中医药大学毕业, 上海中医药大学附属龙华医院, 医师, 主要从事心血管疾病预防中医药防治的研究。blue99284841@163.com

通讯作者:程丑夫, 主任医师, 教授, 湖南中医药大学第一附属医院, 湖南省长沙市 410007

中图分类号:R318
文献标识码:A
文章编号:1673-8225
(2011)34-06403-04

收稿日期:2011-02-11
修回日期:2011-05-10
(20101211007/WL·W)

吸波、导电、替代等作用。文章主要从以下两方面介绍涂层技术的应用现状。

1 资料和方法

1.1 资料来源 文章由第一作者于2000-01/2010-12进行检索。中文以“涂层, 医学, 应用”为检索词, 检索万方数据库。英文以“coating, medicine, application”为检索词, 检索PubMed数据库。共检索到文献614篇。

1.2 入选标准

纳入标准: 关于涂层技术及材料在医学临床领域中的应用文章。

排除标准: 非涂层技术及材料在医学临床领域应用的文章, 或临床应用领域有重复的文章。

1.3 资料提取 计算机初检得到614篇文献, 阅读标题和摘要进行初筛, 排除因研究目的与本文无关及内容重复的研究572篇, 共保留其中30篇归纳总结。

1.4 质量评估 纳入的30篇文献中, 有27篇是国内的, 3篇国外相关研究报道。其中3篇为涂层的概述^[1-3], 2篇为非医学领域的相关应用^[4-5], 4篇为口腔科相关应用情况^[6-9], 1篇为体外循环领域^[10], 5篇骨伤科^[11-15], 2篇关于人工血管的应用情况^[16-17], 13篇血管内支架方向^[18-30]。

2 结果

2.1 非医学领域的应用 涂层技术不仅是人们在日常生活中所见的金属、织物、陶土表面刷漆、上釉, 更在高、新、尖端领域发挥着举足轻重的作用。

钕铁硼(NdFeB)磁体因具有良好的磁性能而受到极大的关注, 广泛被应用于计算机、汽车、仪器、仪表、家用电器、石油化工、医疗保健、航空航天等行业中的各种微特电机, 核磁共振设备、电器件、磁分离设备、磁力机械、磁疗器械等需产生强间隙磁场的元器件。但是其表面容易被腐蚀, 对其实施涂层保护可以提高耐蚀性能, 但又影响到磁性能。唐杰等^[4]比较了4种涂层对NdFeB磁体耐腐蚀性能和磁性能得出: 磁体涂覆涂层后抗腐蚀性得到提高, 但是不同的涂层提高的程度有所不同: 其中PARYLENE-C高分子材料涂层对磁体的保护作用明显, 环氧树脂和Ni涂层次之, Zn涂层的效果较差。涂层对磁体的磁性能在一定程度上都有影响。PARYLENE-C高分子材料和环氧树脂涂层使磁体磁性能的某些指标有所减弱; Ni涂层和Zn涂层对磁体的磁性能影响不大。在生产中, 应该根据使用环境成本等具体要求来选择适当的涂层。

氧化铪(Er₂O₃)不仅在光子学、光学和通讯科学领域具有较高的应用价值; 还有望成为优良的防腐蚀涂层, 抗反射涂层(用于太阳能电池等器件), 高介电绝缘体及聚变堆包层阻氦涂层^[5]。

2.2 医学领域的应用

2.2.1 牙种植体、义齿 牙种植体的基底金属钛属于惰性材料, 植入体内后组织反应表现一定的非特异性和随机性, 在骨质、骨量不足的情况下较难形成骨整合, 存在骨创愈合时间长、种植失败率较高等问题。范利梅等^[6]利用成骨细胞自分泌胞外基质作为一种新型生物材料复合到纯钛表面, 以构建全细胞外基质的仿生表面, 观察骨髓基质干细胞在材料表面的早期黏附和铺展形态。实验表明其能够促进细胞的早期黏附, 并有利于附着后的铺展, 说明涂有胞外基质涂层的钛片具有更好的生物相容性和细胞亲和力。有研究表明在圆锥型套筒冠内、外冠沉积氧化钛涂层可以降低套筒冠固位力衰减速度, 能够保持持久的固位力, 延长其使用寿命^[7]。

2.2.2 龋齿 早期龋形成时, “相对”完整的表层中存在着釉质的结构破坏, 使用含氟化物等特殊药物涂布牙釉质表面虽能起到修复和预防早期龋病的作用, 但是其毒副作用屡见报道, 且利用这种方法进行修复所需的时间相当长; 水热法虽能缩短牙釉质早期龋修复的时间, 但反应要求在121 ℃, 202.6 kPa下进行, 无法应用于临床。为了克服涂覆型药物长时间和水热法温度高而不能用于临床的不足, 廖颖敏等^[8]研究表明以含Ca(NO₃)₂、NH₄H₂PO₄和NaNO₃组成的溶液作为电解液, 在55 ℃、电流密度为0.5 mA/cm²的条件下, 成功在牙釉质表面电诱导能和牙釉质结合紧密的羟基磷灰石涂层, 对早期釉质龋进行了较好的修复。

随着口腔医学的发展, 作为修复材料的合金种类不断增加, 如贵金属(合金)、钛(钛合金)、钴铬合金和镍铬合金等。镍铬合金因具有良好的机械性能、可铸造性能、价格适中等优点, 在临床上应用广泛。具有氮化钛膜、电镀金膜、金泥涂层及金瓷涂层的镍铬合金, 有较强抗腐蚀性和美观性, 可提高基体金属的耐腐蚀性能^[9], 弥补其本身固有的缺点。

2.2.3 涂层技术在体外循环中的应用^[10] 体外循环过程刺激血液系统激活及炎性递质释放, 血液与人工材料表面接触是引起非特异性灌注后全身炎症综合征的一个关键因素。涂层技术的发展在改善材料的血液相容性上起了重要作用。大量数据表明, 采用涂层材料的体外循环装置较好地抑制了血液成分的激活, 特别是减少了补体激活, 从而有效减轻灌注后炎症综合征。涂层材料能较好地保护机体重要脏器, 明显缩短住院时间, 减少出血量及脑部并发症的发生, 最终降低了医疗费用。

涂层技术应用于体外循环已有20余年的经验, 是改善体外循环装置血液-材料表面相容性及缓解炎性反应的一个重要途径。主要有肝素涂层技术及非肝素涂层技术。前者包括Duraflon II涂层、Carmeda Bioactive Surface涂层、Bioline Coating涂层、Corline涂层、Trilium Bio-passive Surface涂层等; 后者有PMEA涂层、

Mimesys涂层、SMARTxT涂层、Safeline涂层、Softline涂层等。

肝素涂层具有良好的生物相容性,如抑制凝血纤溶反应,减少补体和细胞因子释放,保护血小板结构功能,缓解中性粒细胞激活。而非肝素涂层也具有生物相容性,PMEA涂层可显著减少术后出血,主要归因于血小板数量和功能的维持。与肝素涂层相比,减少血浆蛋白质及血小板吸附的功能更强,但肝素涂层抑制中性粒细胞活化较PMEA涂层更明显,且具有可降低组织型纤溶酶原抑制剂活性的特征。SMARTxT涂层能明显降低抗炎促炎因子的变化幅度,还能抑制蛋白质吸附,避免补体激活,减少细胞聚集,抑制血栓形成,保护血小板,但中性粒细胞保护方面远不如肝素涂层作用显著。Mimesys涂层能减少溶菌酶与补体吸附,抑制纤维蛋白附着,稳定血小板数量及功能。Safeline涂层的功效似乎不明显,在减少术后并发症方面远不如肝素涂层。

各种涂层技术因为制作工艺的差异,其性能、价格及应用范围互不相同,各有优劣。总的来说,没有一种涂层技术在所有方面均优于其他技术。

2.2.4 骨科内固定 骨科内固定手术后由于感染导致内固定失败,或因为感染后形成的具有高抗药性生物膜,即使全身应用大剂量抗生素,在病灶局部组织中亦难以达到有效的抗生素浓度,导致感染久治难愈,最终不得不取出内固定。据此,唐良华等^[11-13]采用solvent casting技术研制了一种能在病灶局部缓释抗生素的载抗生素钢板——载万古霉素-聚-DL-乳酸(PDLLA)钢板,通过动物体内实验(肌肉植入实验)证实植入物与肌肉组织之间无排斥反应,对动物无毒性,具有良好的组织相容性、生物相容性和生物安全性。

2.2.5 骨替换材料 骨替换材料与周围骨组织之间的生物活性结合是近10年来研究较多的一种结合方式,其关键是生物材料表面必须具备高的生物活性(指在植入人体后,在材料表面形成一层生物活性的羟基磷灰石)。利用物理沉积、溶胶-凝胶、电化学沉积以及生物仿生等技术在钛金属表面涂覆具备生物活性的生物陶瓷涂层,是提高钛金属生物活性的有效手段之一。另一类有效方法是用氢氧化钠或双氧水溶液对钛金属进行化学处理,在表面获得一层具备生物活性的二氧化钛,这层二氧化钛除必须富含Ti-OH功能性基团外,还应该是晶态的,这样才能有效地诱发羟基磷灰石晶核的生长,从而使钛金属表面具备高的生物活性^[14]。

生物型髌关节是通过对其表面进行适当处理,形成一层生物涂层,使其具有耐磨性、生物相容性,可增加骨生长速度,缩短术后恢复时间,降低微动引起的假体周围产生纤维组织层的危险性,已经成为髌关节假体中的主流。

王峰等^[15]通过对5例生物型髌关节假体涂层脱落进行分析,得出预防生物型髌关节涂层脱落的措施有:①涂层

制备工艺的低温化。②涂层颗粒纳米化。③功能梯度涂层设计。④将涂层喷涂于粗糙的金属假体表面,可以提高其结合强度。⑤广泛涂层取代局部涂层。⑥假体制备程序规范化等。

2.2.6 人工血管 人工血管主要与血液接触,故解决生物材料的血液相容性是关键,此外,蛋白质、粒-单系细胞、补体和细胞因子等对于生物材料相容性的影响,及其表面特性与血液的流态影响,对于形成血栓的影响也需考虑在内。因此,表面涂层技术在人工血管中得以运用以改善其生物相容性。

王康等^[16]研究通过对相关单个和混合材料进行急性全身毒性试验、热源试验、溶血试验和细胞毒性试验,表明胶原蛋白、聚乳酸以及两者的混合组分材料作为复合型人工血管管壁涂层材料均具有生物相容性及安全性。

对于股浅动脉长段闭塞引起下肢缺血的患者,在自体大隐静脉不适合作旁路移植物的患者中,于股-腘动脉旁路术中应用袖状接头碳涂层膨体聚四氟乙烯(expanded polytetrafluoroethylene, ePTFE)人工血管治疗动脉硬化闭塞症,证实了其以科学的构型起到预防吻合口狭窄的作用,其经碳涂层处理后降低了血流与人工血管内壁的摩擦阻力,应用于联合旁路手术和腔内治疗(PTA或支架置入)以改善流入道和(或)流出道,可提高股-腘动脉旁路术的通畅率^[17]。

2.2.7 血管内支架 血管内支架在以下几方面有广泛的应用:①心血管狭窄。②颅内动脉瘤^[18]。③颅内外动脉狭窄^[19-20]。④静脉血栓形成^[21]。⑤外周动脉瘤及动静脉瘘^[22-23]。⑥外周动脉阻塞性疾病(PAD)^[24]。

血管内支架可依据其特征进行分类,主要的分类依据有:扩展方式、结构和材质、图案形状等特征。血管内支架根据扩展方式有气球胀开式和自展式两种。血管内支架根据支架结构和材质可分为金属支架、聚合物支架和涂层支架。据有无涂层可分为裸支架和涂层支架两种。

张晨君等^[25]对27 026例冠状动脉支架置入患者进行Meta分析,表明药物涂层支架用于冠状动脉粥样硬化性心脏病患者置入后1~4年支架内再狭窄的发生率明显降低,主要不良心脏事件与裸支架无明显差异。

为解决介入手术后因血管修复过程中内膜过度增生和继发血栓形成造成再狭窄,目前主要是通过改变支架表面的性质来增加其生物相容性。方法主要包括金属涂层、生物可降解膜、磷脂酰胆碱涂层、碳化硅涂层、碳分子涂层、多聚物涂层等^[26]。夏永辉等^[24]研究表明聚丙交酯乙交酯复合物(PLGA)涂层与镍钛合金支架可形成良好表面形态及稳定结合力,血液相容性好,降解速度适中,在预防支架置入后再狭窄方面将会发挥积极作用。

药物涂层支架主要由支架(金属、聚合物、可吸收合金、可降解支架)、基质和药物3部分组成,以金属支架为载体携带药物到达血管损伤局部,使药物在较长的时间内

充分释放到血管壁内,减少支架置入后再狭窄的发生。药物涂层是在高分子涂层的基础上结合一种有治疗作用的药物或抗体,通过提高血管病变部位的药物浓度达到治疗的目的。药物涂层研究包括药物缓释载体的选择,药物缓释体设计及选择合适的药物。

药物涂层支架根据药物不同分为以下几类:抗炎药物涂层支架(地塞米松、甲泼尼龙等),抗迁移、抗增生药物涂层支架(雷帕霉素、紫杉醇、放线菌素D及中药川芎嗪、大蒜素等^[27]),支持内膜愈合的药物涂层支架(雌二醇)及其他药物涂层支架(一氧化氮、血管肽素、3-羟基丁酸与3-羟基己酸共聚酯)。其功能主要是抑制支架置入后血管内膜增生,降低血管再狭窄的发生率。常用的药物涂层支架制备方法分为浸涂法和喷涂法两种^[28-29]。药物涂层支架改善了冠状动脉支架置入治疗的预后,也带来许多新的问题。药物涂层支架在防止再狭窄的同时,又增加了延迟血栓形成的风险。目前支架涂层药物多使用单一药物,而再狭窄是由多种发病机制参与作用。因此,支架上所涂药物不可能在各个环节发挥作用^[30]。

由于血管内膜及血管内皮细胞受损在再狭窄中起到至关重要的作用,以血管内皮细胞为靶向的干预措施成为人们研究的重点。在支架表面种植内皮细胞或内皮祖细胞,通过细胞释放的活性因子可以抑制血栓的形成及平滑肌细胞的过度增生^[27]。

3 结论

涂层技术从生活中来,到生活中去。小到汤匙,大到火箭、宇宙飞船,从生产生活,到关系到民生的方方面面,从金属涂层,到纳米涂层,再到仿生涂层技术将涂层应用于生物医学领域,从裸支架到涂层支架,在不断探索最优冠心病治疗方案。开发新的涂层药物,寻找更加合理有效的药物组合,将两种或两种以上不同作用机制的药物合理地组合用于涂层支架,可能会使药物涂层支架的治疗作用产生质的飞跃。或许在将动脉斑块打磨后直接在血管内运用生物涂层剂,那将是幅怎样的宏图?

4 参考文献

[1] 罗成,董仕节,熊翔,等.电火花沉积表面处理技术的应用进展[J].表面技术,2009,38(4):53-56.
 [2] 王秀红,段可,冯波,等.新表面化学处理用于Ti6Al4V合金表面仿生磷酸钙涂层的制备[J].高等学校化学学报,2009,30(6):1071-1074.
 [3] 刘胜利,孙冬柏,樊自拴,等.热喷涂纳米结构涂层的研究现状[J].材料保护,2006,39(9):40-45.
 [4] 唐杰,魏成富,赵导文,等.4种涂层对NdFeB磁体耐腐蚀性能和磁性能的影响[J].材料保护,2009,42(5):17-53.
 [5] 杨旭东,李强,古宏伟,等.316L不锈钢基体上磁控溅射Er₂O₃/Er涂层的后处理研究[J].中国稀土学报,2009,27(2):276-281.
 [6] 范利梅,唐旭炎,李全利,等.骨髓基质细胞在胞外基质涂层钛表面的黏附和铺展[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(21):4029-4032.
 [7] 喻四化,曾利伟.氮化钛涂层对循环摘戴后套筒冠固位力的影响[J].实用口腔医学杂志,2009,25(4):479-481.

[8] 廖颖敏,冯祖德,雷彩霞.电诱导牙釉质表面羟基磷灰石涂层形成的研究[J].无机化学学报,2009,25(7):1187-1193.
 [9] 张丽仙,赵敏民,邵龙泉,等.牙用镍铬合金表面不同涂层电化学腐蚀研究[J].实用口腔医学杂志,2009,25(4):471-474.
 [10] 柏淑颖,朱德明,王伟.涂层技术在体外循环装置中1的应用及意义[J].中国体外循环杂志,2009,7(2):124-28.
 [11] 唐良华,赵长虹,王爱民.载万古霉素-PDLLA钢板的组织相容性和生物安全性评估[J].重庆医学,2009,38(12):1480-1483.
 [12] 唐良华,赵长虹,王爱民.载万古霉素-PDLLA内植物的生物学安全性评估[J].生物医学工程研究,2009,28(2):108-111.
 [13] 唐良华,赵长虹,王爱民.载万古霉素-PDLLA钛合金钢板的毒性试验评估[J].创伤外科杂志,2009,11(3):256-259.
 [14] 吴进明,早川聪,都留宽治,等.钛金属表面生物陶瓷涂层研究的现状[J].硅酸盐学报,2003,31(7):692-697.
 [15] 王峰,陈东阳,邱旭升,等.生物型髋关节假体涂层脱落的临床分期和预防[J].中国骨伤,2009,22(6):413-416.
 [16] 王康,史宏灿,陆世春,等.人工血管管壁涂层生物材料的生物相容性评价[J].生物医学工程研究,2009,28(1):43-47.
 [17] 王豪夫,刘军军,王曰伟,等.股-腓动脉旁路术应用袖状接头碳涂层人工血管的临床分析[J].外科理论与实践,2009,14(3):339-340.
 [18] Lanzino G, Wakhlo AK, Fessler RD, et al. Efficacy and current limitations of intravascular stents for intracranial internal carotid, vertebral, and basilar artery aneurysms. J Neurosurg. 1999;91(4):538-546.
 [19] Piotin M, Bvrundet E, Spelle L, et al. Coronary stents in the treatment of symptomatic vertebral artery stenoses. Proc Symp Neuroradiol. 1998;11(Suppl 1):244.
 [20] 王雪梅,社会山,魏建朝,等.经皮血管内支架术治疗颅内动脉狭窄11例报道[J].中国动脉硬化杂志,2007,15(6):465-466.
 [21] Malek AM, Higashida RT, Balousek PA, et al. Endovascular recanalization with balloon angioplasty and stenting of all occluded occipital sinus for treatment of intracranial venous hypertension: technical case report. Neurosurgery. 1999;44(4):896-901.
 [22] 程洁敏,颜志平,施惠斌,等.覆膜血管内支架在外周动脉瘤和动静脉瘘中的应用[J].介入放射学杂志,2007,16(9):589-594.
 [23] 邹承伟.主动脉瘤的介入治疗[J].山东医药,2001,41(18):64-65.
 [24] 夏永辉,徐克,冯博,等.外周动脉支架聚丙交酯乙交酯涂层的制备及其性能研究[J].介入放射学杂志,2009,18(4):290-293.
 [25] 张晨君,毛颖,何秉贤.药物支架及裸支架置入后血管内再狭窄的Meta分析[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(22):4321-4324.
 [26] 周永恒,蒙红云,曾常春.血管内支架的技术与性能[J].生物医学工程学报,2007,24:1423-1427.
 [27] 武清敏,乔钦增,赵卫林,等.药物洗脱支架和内皮细胞种植支架的生物相容性[J].中国组织工程研究与临床康复,2008,12(35):6927-6930.
 [28] 库德热提·艾比布拉,李研慧,丁娟,等.冠状动脉内支架置入选择及对不良事件发生的预测[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(17):3300-3303.
 [29] 游方,陈良龙.冠脉药物涂层支架的发展[J].福建医科大学学报,2004,38(2):233-235.
 [30] 吴大庆.心血管支架材料的生物相容性:特征及比较[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(22):4325-4328.

关于作者: 资料收集为第一、二作者,第一作者成文,第三作者审核,第三作者对文章负责。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

伦理批准: 没有与相关伦理道德冲突的内容。

此问题的已知信息: 涂层技术应用广泛,从生产、生活、基础建设、医学、到国防事业,从纺织、航空、航天、原子能、机械、化工、电子、生物医学、太阳能等众多领域,不同种类和工艺制作可以起到防水、防虫、耐磨、耐腐蚀、耐热、绝缘、吸光、吸波、导电、替代等作用。

本综述增加的新信息: 涂层技术小到汤匙,大到火箭、宇宙飞船,从生产生活,到关系到民生的方方面面,从金属涂层,到纳米涂层,再到仿生涂层技术将涂层应用于生物医学领域,从裸支架到涂层支架,在不断探索最优冠心病治疗方案。

临床应用的意义: 开发新的涂层药物,寻找更加合理有效的药物组合,将两种或两种以上不同作用机制的药物合理地组合用于涂层支架,可能会使药物涂层支架的治疗作用产生质的飞跃。