

不同截面和尺寸镁合金支架扩张过程中的应力变化☆

齐 民, 司超阳, 王伟强

Stress change during the expanding process of magnesium alloy stents with different strut shapes and sizes

Qi Min, Si Chao-yang, Wang Wei-qiang

Abstract

BACKGROUND: An important change of the degradation is the decreased size of the stents, thus affecting its support force. Due to the complexity of stent structure, stress distribution becomes complicated.

OBJECTIVE: To analyze the stress change generated during the expansion of magnesium alloy stents at various strut shape and size.

METHODS: Residual stress generated during the expanding process on cross-section stents with square, octagonal and circular strut was calculated by finite element method. Meanwhile, residual stress of different strut cross-section sizes (120, 140, 160, 180 μm) was also calculated.

RESULTS AND CONCLUSION: After the stent expanded, the stress generated in circular strut cross-section was the maximum, as for three kinds of stents, the stress decreased with the decline of cross-section size. Strut cross-section shape and size both have an effect on the residual stress generated during expanding process.

Qi M, Si CY, Wang WQ. Stress change during the expanding process of magnesium alloy stents with different strut shapes and sizes. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(38): 7133-7135. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

School of Materials Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning Province, China

Qi Min☆, Doctor, Professor, School of Materials Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning Province, China minqi@dlut.edu.cn

Received: 2010-06-12
Accepted: 2010-07-12

摘要

背景: 降解带来的一个重要变化是支架尺寸的减小, 从而影响支架的支撑力。由于支架的结构复杂性, 导致其应力分布的复杂性。

目的: 分析不同截面形状和尺寸的镁合金支架在扩张过程中的应力变化。

方法: 利用有限元法分别计算正方形、八边形、圆形 3 种筋截面形状的镁合金支架扩张过程中主要受力部位的残余应力, 同时计算 120, 140, 160, 180 μm 的 4 种不同尺寸下该处残余应力的变化情况。

结果与结论: 正方形、八边形、圆形这 3 种不同筋截面形状支架扩张后, 圆形筋截面形状支架上主要受力部位的应力最大。对 3 种支架而言, 随着筋截面尺寸的减小, 该部位的应力减小, 提示支架筋截面形状及尺寸均对支架扩张后的残余应力产生影响。

关键词: 应力; 有限元法; 截面形状; 镁合金支架; 材料力学; 生物材料
doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.38.025

齐民, 司超阳, 王伟强. 不同截面和尺寸镁合金支架扩张过程中的应力变化[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(38):7133-7135. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

镁合金心血管支架是有别于传统的 316L 不锈钢支架和 Co-Cr 合金支架的新一代可降解心血管支架。传统金属支架置入人体后, 会长期存留于血管壁内, 不利于病变血管的晚期重构, 手术的长期效果不理想, 发生再狭窄的可能性较高, 且再狭窄后不能再次置入支架进行治疗。

镁合金腐蚀电位较低, 在人体环境下容易发生腐蚀并完全降解, 其腐蚀产物对人体无毒害作用。镁合金支架在置入初期可对病变血管产生支撑作用, 随着病变血管结构重塑的完成, 血管中的镁合金支架可完全降解, 因而可以避免支架作为异物长期存在的潜在风险。可降解

镁合金对一般心血管患者具有良好的治疗效果, 尤其是对患有先天性心血管疾病的婴儿、青少年等具有重要的治疗意义。

目前不少有关镁合金支架的研究正在进行中。Waksman 等^[1]把镁合金支架置入到猪动脉中, 研究镁合金支架对猪动脉内膜形成的长期影响, 结果表明镁合金支架的置入是安全有效的。Mario 等^[2]将镁合金支架置入到猪动脉中, 发现支架的置入降低了平滑肌细胞的生长, 同时提高了内皮化。Heublein 等^[3]研究镁合金支架完全降解所需要的时间以及支架的生物相容性。Peeters 等^[4]把镁合金支架置入到 20 个高危患者的股动脉中, 结果表明支架在置入后 6 周几乎完全降解。

由于支架降解过程中会产生截面尺寸变化从而引起支撑力的变化, 这种变化会影响支架

大连理工大学材料科学与工程学院, 辽宁省大连市 116024

齐民☆, 男, 1960 年生, 辽宁省大连市人, 汉族, 1994 年大连理工大学毕业, 博士, 教授, 主要从事生物医用材料及评价方面的研究。minqi@dlut.edu.cn

中图分类号: R318
文献标识码: B
文章编号: 1673-8225 (2010)38-07133-03

收稿日期: 2010-06-12
修回日期: 2010-07-12
(20100524011/ZS-Y)

的最基本功能,但这方面的报道甚少。实验根据可降解支架在使用过程中可能面临的截面减小这一事实,利用有限元方法针对几种不同截面形状的支架主要受力部位进行了模拟,为对可降解支架的长期使用提供实验学依据。

1 材料和方法

设计: 开放性实验。

时间及地点: 于2009-01/2010-05在大连理工大学材料科学与工程学院完成。

材料: 模型合金采用WE43镁合金^[5],合金成分为4%的钇,0.6%的锆,3.4%的稀有金属,92%的镁,取其弹性模量为44.2 GPa,泊松比为0.27,屈服强度为250 MPa,切向模量为162 MPa。

实验方法: 根据德国Biotronik公司设计的镁合金血管支架建立分析模型。Biotronik公司的支架^[6]实物照片见图1,根据其建立支架的几何模型见图2。

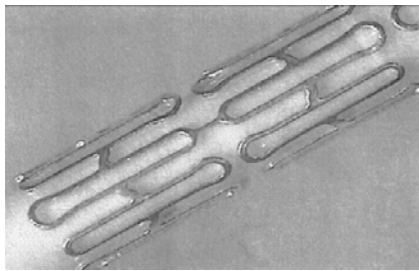


Figure 1 Magnesium alloy stent designed by Biotronik
图1 Biotronik 公司设计的镁合金血管支架

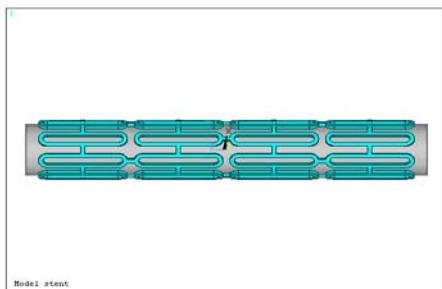


Figure 2 Stent model based on Figure 1
图2 根据图1建立的支架模型

在实物照片的基础上,建立了3种不同筋截面形状的支架,第1种为正方形截面,第2种为八边形截面,第3种为圆形截面,见图3。

同时建立120, 140, 160, 180 μm 的4种不同尺寸各

种截面形状的计算模型,以正方形截面为例,其尺寸变化见图4。

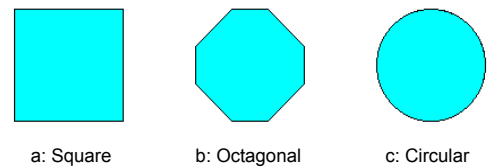


Figure 3 Schematic figure of three types of strut cross-section shape
图3 三种不同筋截面形状示意图

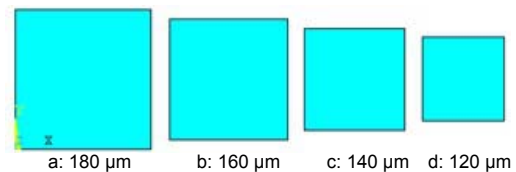


Figure 4 Schematic figure of cross-section size change
图4 筋截面尺寸变化示意图

由于支架膨胀过程涉及到材料非线性、几何非线性和接触非线性,计算量较大,考虑到支架具有结构单元沿轴向及周向重复排列的结构特点,因而只选取能够反映冠脉支架设计特点与膨胀行为的结构单元进行计算,以便减少计算量,提高计算效率,同时不对计算结果造成影响。球囊/支架系统的三维几何模型先由Pro/Engineer软件建立,然后输入到Ansys通用有限元软件进行模拟分析。支架模型的网格划分采用20节点Solid186单元进行。对支架的扩张过程进行了简化,忽略了支架往球囊上的紧缩行为,同时采用了位移驱动方法,即在柱坐标系下,利用一刚性平面径向扩张达到扩张支架的目的。

支架上主要受力部位为支架单元端部弯曲处,在支架扩张过程中,支架上此部位处的应力变化最为明显,因此在此部位处选取1点进行分析,选取的点见图5。

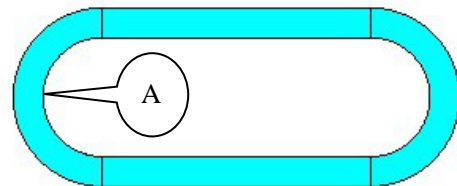
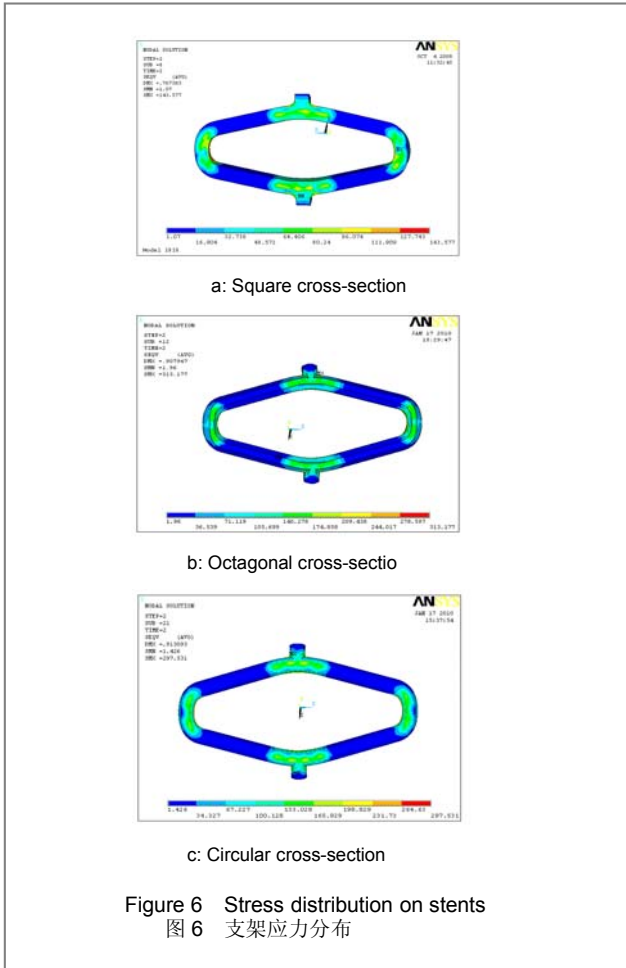


Figure 5 Spot chosen on the main stress part of stent
图5 支架上主要受力部位处所选取的点

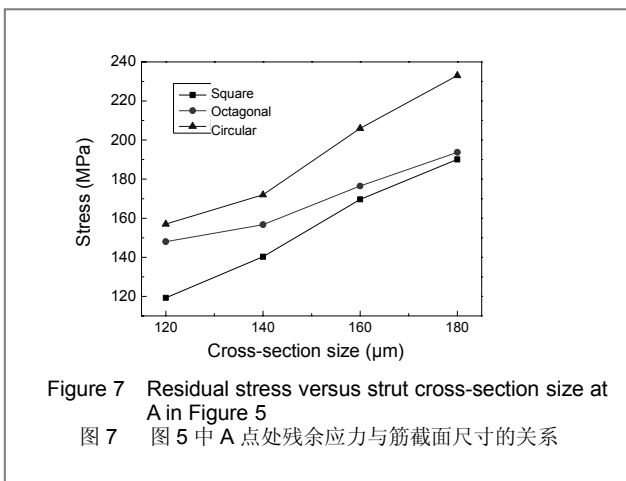
设计、实施、评估者: 设计为第一作者,实施与评估为第二、三作者。均经过系统培训,未使用盲法评估。

2 结果

正方形、八边形和圆形筋截面的支架扩张后所产生的残余应力分布图见图6。



对图5中所选A点处的残余应力进行提取，分别得到了不同截面形状及尺寸的镁合金支架扩张后的残余应力。不同筋截面形状的支架上A点处残余应力随尺寸的变化见图7。



3 讨论

镁合金支架在置入人体的过程中先后经历往球囊上的紧缩、受到球囊作用后的膨胀、球囊撤出后的反弹以及受到血管作用后的压缩等几个主要的变形过程，每个过程中支架上的应力都会变化，其中支架受球囊扩张后的应力变化最大，对支架在体内的降解速率影响最显著。由图6可以看出，3种形状的支架在扩张后主要残余应力分布在支架单元的端部及中部连接筋处，截面形状的变化不会引起支架上残余应力分布的变化。

镁合金支架最主要的特点是可降解性，支架在人体内的降解速率决定着支架的机械性能及完整性。对镁合金而言，应力是影响支架降解速率的敏感因素。一般情况下，压应力会对降解产生一定阻碍作用，而拉应力则能促进降解，应力越大，这种作用的效果越明显。在计算过程中所选取的点处于支架单元端部弯曲部位内侧，在扩张过程中受到的拉应力比较大，因而此处的降解速率将高于其他部位，是支架上最为薄弱的环节。因此，对该点处应力变化规律的讨论具有极为重要的意义。

在相同尺寸条件下，支架筋截面形状由正方形经过八边形过度到圆形的过程中，支架上主要受力部位处的应力逐渐升高，说明随支架截面积的逐渐减小，支架上残余应力集中的程度增大。与此同时，对于相同筋截面形状的支架而言，随着截面尺寸减小，主要受力部位处的应力也随之降低。由计算结果可以认为，对3种不同截面形状的支架而言，圆形筋截面支架上局部优先腐蚀的倾向性最大，从而使主要受力部位处最先发生断裂，以致破坏支架的完整性。由于随着支架的不断降解，其残余应力逐渐降低，对支架降解速度的影响逐渐减弱，从而使支架保持完整的时间增加，提高了有效服役时间。

总之，支架的筋截面形状及尺寸影响其扩张后的残余应力，从而造成支架降解速率发生变化。可见，对于镁合金可降解支架而言，应当优化其结构设计，尽量保证支架扩张后残余应力分布的均匀性，这对于保证支架能够安全服役具有重要的意义。

4 参考文献

- [1] Waksman R, Pakala R, Kuchulakanti PK, et al. Safety and efficacy of bioabsorbable magnesium alloy stents in porcine coronary arteries. *Catheterization Cardiovascular Interventions*.2006;68(4): 607-617.
- [2] Mario CD, Griffiths H, Goktekin O, et al. Drug eluting bioabsorbable magnesium stent. *J Interventional Cardiology*.2004;17(6):391-395.
- [3] Heublein B, Rohde R, Kaese V, et al. Biocorrosion of magnesium alloys: a new principle in cardiovascular implant technology? *Heart*. 2003;89(6):651-656.
- [4] Peeters P, Bosiers M, Verbrist J, et al. Preliminary results after application of absorbable metal stents in patients with critical limb ischemia. *J Endovascular Therapy*.2005;12(1):125.
- [5] 申祥,倪中华. 生物可降解镁合金支架的扩张性能[J]. 东南大学学报自然科学版, 2008,38(1): 49-53.
- [6] 王小平, 焦延鹏, 崔福斋. 新型可降解金属血管支架的有限元力学分析[J]. 机械设计与研究,2007,23(5):59-62.