

新型颈椎间盘假体的双层结构优化设计

张永睿 李涤尘* 连苓

[摘要] 目的 改进颈椎间盘假体存在的问题。方法 分析自然状态下人体颈椎间盘的功能要求,应用计算机辅助设计(CAD)技术和 ANSYS 分析手段,优化设计制造由两种高分子材料复合成型、双层结构的新型颈椎间盘假体。结果 双层圆柱结构模型(外层为圆柱状纤维环,内层为圆柱状髓核)的颈椎间盘假体具有可以保证上下锥体所受的应力都比较小;正常状态下,可使假体在外部纤维环和内层髓核的最大应力都比较小;该型结构简单,需要的模具结构简单,定位方便准确。结论 新型颈椎间盘假体的双层结构为双圆柱结构。

[关键词] 颈椎间盘;假体;双层结构;优化设计

New double layer structure cervical spinal disc prosthetic and its optimized design ZHANG Yong-ru, LI Di-chen, LIAN Qin. The State Key Lab For Manufacturing Systems Engineering, Xian Jiaotong University, Xian 710049, China

[Abstract] **Objective** To solve some problem in present cervical spinal disc. **Methods** After analyzing the function of cervical spinal disc, 2 kinds of materials were chosen to design and fabricate the double-layer cervical spinal disc prosthetic. CAD and ANSYS technologies were used to optimize 4 kinds of the new prosthetic structure. **Results and Conclusion** The materials if the prosthetic is proper, and the double-layer column structure of the new prosthetic shows some excellence characteristics, including maximum stress of nucleus and annulus properly, simple structure and can be facilitated and exactly graft.

[Key words] cervical spinal disc; prosthetic; double-layer structure; optimized design

中图分类号:R494 文献标识码:A 文章编号:1006-9771(2005)03-0173-02

[本文著录格式] 张永睿,李涤尘,连苓.新型颈椎间盘假体的双层结构优化设计[J].中国康复理论与实践,2005,11(3):173-174.

颈椎病是一种常见病和多发病,目前常用的手术治疗方案主要有单纯摘除颈椎间盘和器械内固定法等。单纯地摘除颈椎间盘并没有恢复病患处的自然高度,而且不能从根本上去除对神经根的压迫。器械内固定法虽然可以恢复椎间隙的自然高度,但对脊柱内在力学环境影响较大,使脊柱的手术节段丧失运动功能,导致脊柱的生物力学性能发生改变,并可能进一步引起或加速临近节段的退行性变。因此,从长远的角度而言,只有颈椎间盘置换才是一种行之有效的办法^[1]。

目前,单一的高分子材料制造的椎间盘假体,不能同时满足抗扭性能和抗压性能。为此本研究应用计算

机辅助设计(CAD)技术和 ANSYS 分析手段,优化设计制造由两种高分子材料复合成型、双层结构的新型颈椎间盘假体。

1 结构设计

研究椎间盘的自然形状,正常情况下椎间盘呈现近似椭圆状结构。主要由髓核和纤维环组成。通过测量其具体大小^[2-3],确定以下 4 种双层仿生结构:①模型 1:外层为椭圆柱状纤维环,内层为椭圆柱状髓核(图 1 A);②模型 2:外层为圆柱状纤维环,内层为圆柱状髓核(图 1 B);③模型 3:外层为椭圆柱状纤维环,内层为椭圆球状髓核(图 1 C);④模型 4:外层为椭圆柱状纤维环,内层为圆柱髓核(图 1 D)。高均为 7 mm。

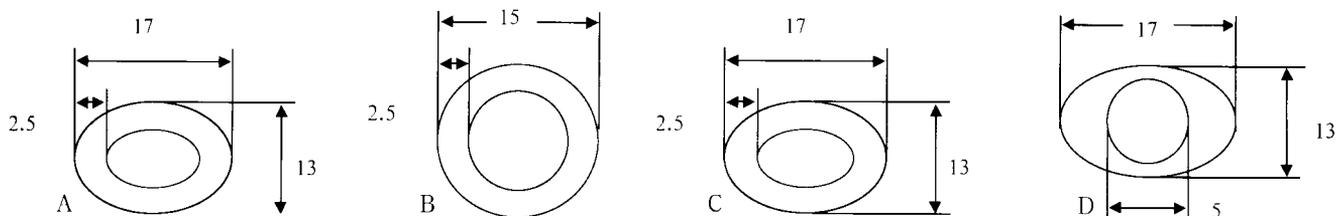


图 1 4 种椎间盘双层仿生结构设计图(mm)

A:模型 1;B:模型 2;C:模型 3;D:模型 4。

基金项目:1.国家自然科学基金资助项目(No.50235020);2.高等学校优秀青年教师教学和科研奖励基金资助。

作者单位:710049 陕西西安市,西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室。作者简介:张永睿(1980-),男,陕西洋县人,硕士研究生,主要研究方向:快速成型与生物制造。*通讯作者:李涤尘。

2 材料选择

聚乙烯醇作为一种新兴的人工软骨材料,具有类似于天然软骨的多微孔组织,内含大量的水,是一种可渗透材料。其抗压模量经测定在 1 MPa 左右,很接近自然髓核的弹性模量。聚氨酯弹性体具有很好的弹性模量和很好的抗压抗拉性能,抗张强度 10 ~ 800 kg/cm,且具有良好的生物相容性和血液相容性,其产品已

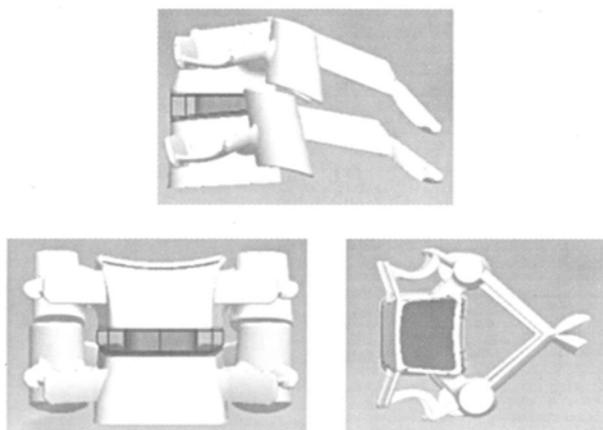


图 2 C₄₋₅ 的 CAD 简化模型

表 1 优化分析的材料属性表

| 描述 | 单元类型 | 杨氏模量(MPa) | 泊松比 |
|-----|---------|-----------|-------|
| 皮质骨 | Solid45 | 10000.0 | 0.290 |
| 松质骨 | Solid45 | 100.0 | 0.290 |
| 终板 | Solid45 | 500.0 | 0.400 |
| 纤维环 | Solid92 | 3.1 | 0.300 |
| 髓核 | Solid92 | 1.0 | 0.499 |

由于皮质骨和松质骨的外观呈不规则的曲面性质,根据 ANSYS 帮助中各单元类型的定义可知,Solid92 单元(三维十节点四面体结构单元)比较适合形状不规则,特别是从三维绘图软件中建立的模型,因此选用该单元类型。分别指定皮质骨、松质骨的材料属性,按自由网格划分,划分之前,控制外表面等部位的单元大小,以便不同固定方式施加载荷和约束的部位相互一致。结合面按面接触类型进行定义,目标单元类型选用 TARGET170,接触单元类型选用 CONTACT74。见图 4。

经分析,4 种模型数据见表 2。

表 2 4 种结构优化分析数据评价表

| 模型序号 | 整体 Y 向最大下沉位移 (mm) | 上锥体应力最大值 (MPa) | 纤维环应力最大值 (MPa) | 纤维环 Y 向最大下沉位移 (mm) | 髓核应力最大值 (MPa) | 髓核 Y 向最大下沉位移 (mm) | 下锥体应力最大值 (MPa) |
|------|-------------------|----------------|----------------|--------------------|---------------|-------------------|----------------|
| 1 | 0.4987 | 1.2232 | 0.5799 | 0.4628 | 0.4885 | 0.3387 | 0.9564 |
| 2 | 0.5289 | 1.2430 | 0.5872 | 0.4906 | 0.5024 | 0.3578 | 0.8264 |
| 3 | 0.488 | 1.3236 | 0.7254 | 0.4615 | 0.4868 | 0.2014 | 0.9756 |
| 4 | 0.4707 | 1.2450 | 0.6335 | 0.4321 | 0.5021 | 0.3016 | 0.8466 |

5 结论

在恢复脊椎正常生理高度的作用中,本研究设计的 4 种结构都能够起到预期的作用。颈椎间盘假体材

应用于临床。本研究采用聚乙烯醇制造颈椎间盘假体的内层髓核,聚氨酯制造外层纤维环。

3 CAD 模型建立

根据颈椎间盘的自然受力情况,在 Pro/E 环境下,建立 C₄₋₅ 的 CAD 简化模型,如图 2。

4 ANSYS 分析

力加载见图 3;各材料属性见表 1。

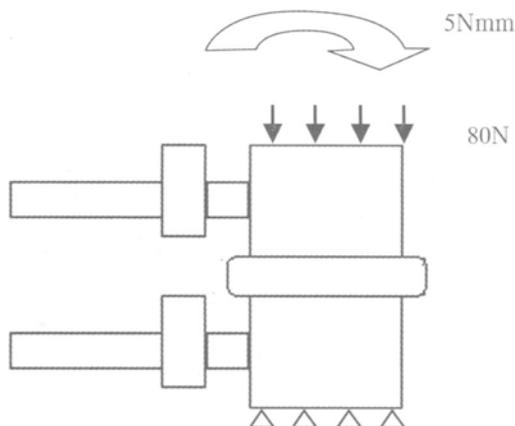


图 3 优化分析力加载示意图

料选择合适。优化结构的模拟分析显示,模型 2(圆柱结构)具有比较优异的特点:①可以保证上下锥体所受的应力都比较小,使得上下锥体的退化影响最小;②在正常状态下,使假体在外部纤维环和内层髓核的最大应力都比较小;③结构简单,需要的模具结构简单和定位方便准确。因此确定新型颈椎间盘假体的双层结构为双圆柱结构。

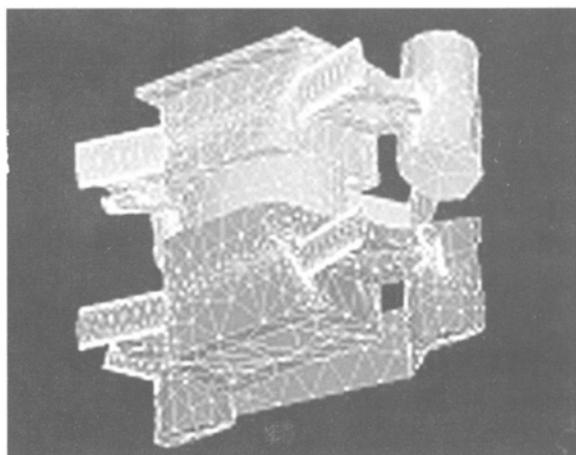


图 4 优化分析网格划分图

[参考文献]

[1] 原林,王增星,肖进,等.一种颈椎椎间人工关节的构形及力学性能[J].医用生物力学,2002,17:174-177.
 [2] 李义凯,钟世镇.颈椎间盘的解剖学测量[J].中国局解手术学杂志,1998,7(3):131-133.
 [3] 贾存玮,胡万鹏,胡洋,等.颈椎间盘与相应椎管及内容物关系的影像解剖学研究[J].中国临床解剖学杂志,1999,17(4):317-319.

(收稿日期:2004-12-23)