

# 人工颈椎间盘的假体结构及应用特点

颜端国(监利县人民医院骨科, 湖北省荆州市 434000)

## 文章亮点:

- 1 此问题的已知信息: 目前人工颈椎间盘假体设计和使用都得到了很大的发展, 主要有低摩擦滑动面、弹簧系统、橡胶制成的人工颈椎间盘及其他各种弹性假体。
- 2 文章增加的新信息: 文章重点介绍了 Bryan、Mobi-C、PCM、Prodisc-C、Prestige 及 CerviCore 人工颈椎间盘结构特点及其在骨科的应用现状。人工颈椎间盘假体类似椎间盘生理功能, 材料具有耐磨损、耐疲劳、抗腐蚀等特点, 它类似于人体椎间盘的生理和生物力学载荷功能, 保持了脊柱的稳定和运动功能, 避免了邻近节段的退变加速。
- 3 临床应用的意义: 人工颈椎间盘置换的短期疗效已得到认可, 但是它不能完全替代颈前路植骨融合内固定, 是治疗颈椎退变性椎间盘疾病的又一主要手段。

## 关键词:

植入物; 人工假体; 人工颈椎间盘; 假体; 颈椎病; 椎间盘突出症; 外科治疗

## 主题词:

颈椎病; 椎间盘; 假体和植入物

## 摘要

**背景:** 目前人工颈椎间盘假体设计和使用都得到了很大的发展, 主要有低摩擦滑动面、弹簧系统、橡胶制成的人工颈椎间盘及其他各种弹性假体。

**目的:** 总结人工颈椎间盘假体结构特点及在骨科的应用现状。

**方法:** 由第一作者以“人工颈椎间盘; 假体; 椎间盘突出症”和“Artificial Cervical Disc; prosthesis; intervertebral disc herniation; the surgical therapy”为关键词, 分别在 CNKI(2000 至 2013 年)和 PubMed 数据库(1960 至 2013 年) <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed> 检索近年文献, 检索内容为人工颈椎间盘假体在骨科的应用。计算机在 CNKI 数据库检索出 200 篇文献, 在 PubMed 数据库检索出 56 篇文献, 阅读标题和摘要进行筛选, 保留符合纳入标准的 40 篇归纳总结。

**结果与结论:** 人工颈椎间盘假体类似椎间盘生理功能, 材料具有耐磨损、耐疲劳、抗腐蚀等特点, 它类似于人体椎间盘的生理和生物力学载荷功能, 保持了脊柱的稳定和运动功能, 避免了邻近节段的退变加速。文章重点对 Bryan、Mobi-C、PCM、Prodisc-C、Prestige 及 CerviCore 人工颈椎间盘结构做了介绍。人工颈椎间盘置换的短期疗效已得到认可, 但是它不能完全替代颈前路植骨融合内固定, 是治疗颈椎退变性椎间盘疾病的又一主要手段。

颜端国. 人工颈椎间盘的假体结构及应用特点[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(26):4260-4264.

## Prosthesis structure and application features of artificial cervical disc

Yan Duan-guo (Department of Orthopedics, Jianli People's Hospital, Jingzhou 434000, Hubei Province, China)

## Abstract

**BACKGROUND:** The design and use of artificial cervical disc prosthesis have great development, such as rubber-made artificial cervical disc with low-friction sliding surface and spring system, and other various elastic prostheses.

**OBJECTIVE:** To summarize structural characteristics and present application of artificial cervical disc prosthesis.

**METHODS:** The first author searched CNKI (2000-2013) and PubMed databases (1960-2013) <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed> for literatures on application of artificial cervical disc prosthesis. The key words included artificial cervical disc, prosthesis, intervertebral disc herniation, the surgical therapy. 200 literatures and 56 literatures were respectively searched in CNKI and the PubMed. Titles and abstracts were read. A total of 40 literatures were in accordance with inclusion criteria and included.

**RESULTS AND CONCLUSION:** Artificial cervical disc prosthesis was consistent with physiological functions of intervertebral disk. The material is characterized by abrasion, fatigue resistance and corrosion resistance, is similar to physiological and biomechanical function of human disc, maintains the stability of the spine and motor function, and avoids the accelerated degeneration of adjacent segments. Articles mainly introduced the structure of Bryan, Mobi-C, PCM, Prodisc-C, Prestige and CerviCore artificial cervical disc. Short-period therapeutic effects of artificial cervical disc replacement have obtained approval. However, it cannot completely replace anterior cervical fusion, but is another manner to treat cervical degenerative disc disease.

颜端国, 男, 1969 年生, 湖北省随州市人, 汉族, 1994 年邵阳医学院医学系毕业, 副主任医师, 主要从事脊柱外科的研究。

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2014.26.029

[<http://www.crter.org>]

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2014)26-04260-05

稿件接受: 2014-04-17

Yan Duan-guo, Associate chief physician, Department of Orthopedics, Jianli People's Hospital, Jingzhou 434000, Hubei Province, China

Accepted: 2014-04-17

**Subject headings:** cervical spondylosis; intervertebral disk; prostheses and implants

Yan DG. Prosthesis structure and application features of artificial cervical disc. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2014;18(26):4260-4264.

## 0 引言 Introduction

颈椎前路融合内固定是颈椎退行性疾病的经典手术方式,但是椎体节段融合后可能引起临近节段的生物力学变化,丢失颈椎关节活动度,可能加速邻近节段的椎间盘退变而引起新的颈肩痛,而且有椎体不融合的风险,远期效果不如人意,加之近年来,对椎间盘的生物力学理论的认识不断深入,以及材料学的发展,许多学者认为,人工颈椎间盘假体置换符合椎间盘生理功能,材料具有耐磨损、耐疲劳、抗腐蚀等特点,是可能替代椎间盘融合治疗椎间盘退变性疾病的有效方法。它类似于人体椎间盘的生理和生物力学载荷功能,保持了脊柱的稳定和运动功能,可能避免邻近节段的退变加速。而且保留了椎间隙正常高度和椎间孔容积大小以及椎体和神经根的活动度;恢复了小关节的生物力学受力状态;恢复了颈椎的生理受力曲线。现在,人工椎间盘假体的研究和应用主要在发病率较高的颈椎间盘和腰椎间盘。

1956年Van steen-brugghe首先提出人工椎间盘的定义,1966年Fernstrom最早在临床上用一个不锈钢球体作为椎间盘假体恢复椎间隙的高度并且保存了椎体节段运动生理功能,可是几年后大部分钢球都陷入了毗邻的终板内。Urbaniak于1973年第一次将人工全椎间盘假体置入黑猩猩体内<sup>[1-3]</sup>。

现在人工颈椎间盘假体设计和应用都得到了很大的发展,如低摩擦滑动面、弹簧系统、橡胶制成的人工颈椎间盘及其他各种弹性假体。文章就人工颈椎间盘假体在骨科的应用作一综述,以阐明它的结构特点和在骨科的应用现状。

## 1 资料和方法 Data and methods

**1.1 资料来源** 由第一作者以“人工颈椎间盘,假体,椎间盘突出症,手术治疗”为中文检索词在CNKI期刊数据库和以“Artificial Cervical Disc Replacement; prosthesis; intervertebral disc herniation; the surgical therapy;”为英文关键词在PubMed数据库(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed>)检索,检索时限分别为:2000至2013年和1960至2013年。检索文献量总计256篇,保留40篇相关文献。

**纳入标准:** ①文章所述内容需与人工椎间盘在骨科的应用密切相关。②同一领域选择近期发表或者在权威杂志上发表的文章。

**排除标准:** 重复性研究。

**数据的提取:** 计算机初检得到256篇相关文献,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216篇,共保留其中的40篇归纳总结。

## 2 结果 Results

**2.1 人工颈椎间盘假体生理学和生物力学标准** 人工颈椎间盘假体要求材料组织相容性好,耐腐蚀、耐磨损和抗疲劳;应能承受多年的生物力学负荷,它植入后应具备正常脊柱的曲线弧度和重建颈椎的前凸角度,不可对后方小关节形成过重的生物力学负荷;可以重建椎间隙的高度和稳定性,缓冲震荡力量,恢复脊柱的生理运动功能,可以使脊柱在矢状面、冠状面及水平方向保持生物力学运动,可以抵抗超负荷运动及可以对抗轴向压缩的力量,但是至今为止,尚没有一种人工颈椎间盘假体完全符合全部标准<sup>[4-7]</sup>。

**2.2 人工颈椎间盘假体** Bryan人工颈椎间盘属于非限制型人工颈椎间盘,是当前使用最广泛的人工颈椎间盘,Vincent Bryan在20世纪90年代设计了Bryan人工颈椎间盘,它呈一体化设计,假体设计有14, 15, 16, 17, 18 mm 5种规格,高度全部为815 mm。整个假体由上下两片钛合金外壳和中间的聚亚氨酯髓核组成,钛合金外壳表面为多孔涂层设计,利于骨长入,提供固定的稳定性(图1)<sup>[8]</sup>。聚亚氨酯髓核有2 mm的平移范围和11°的活动度设计。聚亚氨酯壳包绕着髓核附着在合金壳内形成一个密室,限制可能产生的碎屑外漏。密室内的生理盐水被钛合金封闭于内,起到降低摩擦的作用,前方的突起可以限制假体的后移同时提供植入时的把持固定作用<sup>[9-10]</sup>。

国外Kim等<sup>[11]</sup>对颈椎前路融合内固定和Bryan人工颈椎间盘假体置换进行了大样本量的对照试验统计学研究,463例需要手术的颈椎病患者随机分组,手术后随访2年。结果显示:颈椎功能障碍指数评分、重返工作时间、颈臂痛视觉模拟量表评分和健康调查简表评分Bryan人工颈椎间盘组都优于颈椎前路融合内固定组;Bryan人工颈椎间盘组术后并发症低于对比组。Ren等<sup>[12]</sup>对Bryan人工颈椎间盘置换患者治疗后随访,JOA评分,颈椎功能障碍指数,neck disability index 评分优于对照组而且颈椎活动度满意。

国内贺宝荣等<sup>[13]</sup>对照研究Bryan人工颈椎间盘置换后疗效和置换前后颈椎活动度大小。结果显示疗效和颈椎活动度满意。

Mobi-C人工颈椎间盘假体由法国LDR公司研发,Mobi-C假体是由上下两端板及中间人工髓核构成的球窝状结构假体,端板外表面喷涂涂层和倒齿锚固来实现



图 1 Bryan 人工颈椎间盘<sup>[8]</sup>



图 3 PCM 人工颈椎间盘<sup>[8]</sup>



图 2 Mobi-C 人工颈椎间盘<sup>[9]</sup>

固定。该假体活动方式为非限制型，髓核的设计可以在运动中自动调节到正常瞬间旋转中心的位置，最大限度模拟正常椎间盘的生理运动功能，同时保持颈椎一定的前凸状态<sup>[14]</sup>(图2)。

Mobi-C人工颈椎间盘在欧洲已有千例以上的应用，但中国应用不多。鲍达等的研究表明：在合理选择适应证的前提下，采用 Mobi-C人工颈椎间盘治疗退行性颈椎病患，近期疗效满意；在平均16.5个月的随访期内未见异位骨化；远期疗效需要进一步临床观察<sup>[15]</sup>。

Cervitech PCM(porous coated motion)颈椎人工椎间盘属于半限制型假体，在临床上使用广泛，它的上下板是使用钴铬合金材料生产，大小与相邻椎体的表面匹配，表面采用了羟基磷灰石喷涂技术，因此终板表面密集内向微小孔隙，是骨长入假体的基本平台，为锯齿状表面设计，以实现良好的生物固定。中间的人工髓核材料为超高分子量聚乙烯(图3)。滑动核心位于假体的尾侧，这些设计使假体具有整体性，微动性和稳定性，因此手术置入方便，模仿了颈椎伸屈的活动的生理功能<sup>[16]</sup>。

Pimenta等<sup>[17]</sup>研究了单节段 Cervitech PCM植入和多节段植入的疗效对比差别，随访NDI评分，VAS评分，自评满意率无显著差异。结果表明Cervitech PCM人工椎间盘植入对多节段颈椎退行性疾病效果满意。

Prodisc-C是一种临床上常用的颈椎人工椎间盘，它属于限制型假体。假体由钴-铬合金的终板和超高分子量聚乙烯材料制成的球窝关节构成，它由 2个带矢状面翼状样物固定的钴铬合金板构成，上下板都有开槽的中



图 4 Prodisc-C 人工颈椎间盘<sup>[8]</sup>

央嵴和钛金属涂层表面，固定于上面和下面椎体上。假体活动部分由固定在上位椎体上的凹陷的部分和下位椎体上的突出于表面的球形部分组成(图4)。这种设计能使假体达到即刻稳定和生物固定，并且能够产生3个轴向的旋转，同时限制平移活动，保护小关节免受过度的应力。

Anak-wenze等<sup>[18]</sup>对神经根型颈椎病患者行 ProDisc- C置换术和颈椎前路融合内固定术对照研究，结果表明：神经功能、颈臂痛视觉模拟量表评分两者都有明显效果。颈椎功能障碍指数评分，ProDisc-C置换术组优于颈椎前路融合内固定术组，并且颈椎前路融合内固定术组的二次手术率明显降低。

Prestige假体属于半限制型假体，经历了Prestige I和Prestige II二代。Prestige II使用钛和陶瓷复合材料，假体的耐磨性能良好。为球臼设计。上下终板接触面为双轨设计，上面终板为球形，下面终板为椭圆形，上终板在水平方向上能够前后移动。该假体保证了假体与椎板固定滑轨的藕和，并且有两个金属嵴，提供早期稳定性，它的粗糙面设计，有利于骨质长入，形成生物固定<sup>[19]</sup>(图5)。

Mummaneni等<sup>[20]</sup>行大样本量Prestige置换术和颈椎前路融合内固定术对比研究，随访时间2年，结果显示：颈椎功能障碍指数Prestige组好于颈椎前路融合内固定术组，并且术后并发症和再次手术率Prestige置换术减低。

CerviCore假体属于非限制型假体，是一种金属对金属的鞍形关节设计，它可以在屈伸运动时保持尾端椎

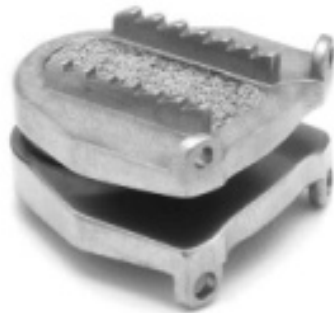


图5 Prestige-LP人工颈椎间盘<sup>[9]</sup>

体的旋转轴和侧弯时保持头端椎体的旋转轴;可以模拟椎体钩突的功能。在旋转和侧弯时增加椎间孔间隙。上下端板表面喷钛涂层和倒齿锚固来形成生物固定<sup>[21]</sup>(图6)。

**2.3 人工颈椎间盘置换适应证、禁忌证** 人工颈椎间盘置换适应证无统一的“金”标准,目前国内多参考欧美标准,但是严重的椎间隙狭窄、颈椎畸形、后纵韧带骨化、中重度小关节炎、严重骨质疏松症、颈椎结构性失稳、颈椎创伤、肿瘤、风湿性关节炎、强直性脊柱炎等是肯定的禁忌证。

### 3 讨论 Discussion

颈椎退变性椎间盘疾病主要有外科治疗和保守治疗2种方法。保守治疗能暂时缓解临床症状但不能根治;颈椎前路减压融合一度成为颈椎病外科治疗的“金标准”。但融合可能会导致病变节段生理活动度丧失,相邻节段运动及负荷增加,将在一定程度上加速邻近节段退变<sup>[22]</sup>。人工颈椎间盘假体符合椎间盘生理和生物力学设计理念,其优点是能够有效解除病痛,同时保留病变椎体正常活动度,正确传递上下椎体间载荷及应力<sup>[23-40]</sup>。经临床检验,人工颈椎间盘置换的短期疗效已得到认可,长期疗效仍有待更长时间的随访总结。但是它不可能完全替代颈椎前路植骨融合内固定,是治疗颈椎退变性椎间盘疾病的又一主要手段。

**作者贡献:** 综述设计、资料收集及成文均为本文作者,本文作者对文章负责。

**利益冲突:** 文章及内容不涉及相关利益冲突。

**伦理要求:** 没有与相关伦理道德冲突的内容。

**学术术语:** Mobi-C人工颈椎间盘-其整体结构的设计理念充分适应颈椎正常活动度,避免传统融合术中经常出现的,由于限制椎体活动而带来的相邻节段的病变。通过限定型滑动衬里的智能调节,上、下终板在进行相对运动时可自动定位,有效削弱骨与植入物接触面的剪切力,减少对于后方小关节的作用力。自循中心性滑动衬里设计,充分考虑瞬时旋转中心、颈椎正常前凸解剖结构等因素,满足颈椎正常的生理活动需要。

**作者声明:** 文章为原创作品,无抄袭剽窃,无泄密及署名和专利争议,内容及数据真实,文责自负。

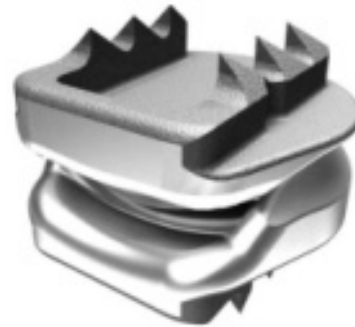


图6 CerviCore人工颈椎间盘<sup>[8]</sup>

### 4 参考文献 References

- [1] Mckenzie AH. Fersrtom intervertebral disc arthroplasty: a long term evaluation. *orthopint*. 1995;3(3):313-324.
- [2] Zigler JE, Burd TA, Emiliano N, et al. Lumbar spine arthroplasty: early results using the Prodisc II: a Prospective randomized trial of arthroplasty versus fusion. *J Spinal Disorders*. 2003;16(4):352-361.
- [3] Fernstrom U. Arthroplasty with intercorpored enoloprostheisis in herniated disc and in painful disc. *Acta Chir Scand*. 1966;387:154-159.
- [4] Kostuik JP. Intervertebral disc replacement : experimental study. *Clin Orthop*. 1997;337:27-41.
- [5] Polly DW. Adapting innovative motion-preserving technology to spinal surgical practice: what should we expect to happen. *Spine*. 2003;28:104-109.
- [6] Tropiano P, Huang R, Girardi F, et al. Lumbar disc replacement: preliminary results with Prodisc II after a minimum follow-up period of 1 year. *J Spinal Disorders*. 2003;16(4):362-368.
- [7] Hallab N, Link HD, McAfee PC. Biomaterial optimization in total disc arthroplasty. *Spine*. 2003;28 : 139-152.
- [8] 蒲婷,原芳,廖振华,等.人工颈椎间盘结构、材料及体外生物力学的研究进展[J].中国组织工程研究,2013,17(26):4888-4895.
- [9] Ren X, Wang W, Chu T, et al. The intermediate clinical outcome and its limitations of Bryan cervical arthroplasty for treatment of cervical disc herniation. *J Spinal Disord Tech*. 2010;67(3):679-687.
- [10] Quan GM, Vital JM, Hansen S, et al. 8 year clinical and radiological follow-up of the Bryan cervical disc arthroplasty. *Spine*. 2011;36(8): 639-646.
- [11] Kim HK, Kim MH, Cho DS, et al. Surgicat outcome of cervical arthroplasty using Bryan (r). *Korean Neumsurg Soc*. 2009; 46(6):532-537.
- [12] Ren X, Wang W, Chu T, et al. The intermediate clinical outcome and its limitations of Bryan cervical arthroplasty for treatment of cervical disc herniation. *J Spinal Disord Tech*. 2011; 24(4): 221-229.
- [13] 贺宝荣,郝定均,许正伟,等. Bryan人工颈椎间盘置换与椎间融合治疗颈椎病疗效的对比研究[J]. 美国际创伤杂志, 2012, 11(1): 13-17.
- [14] Marc-Antoine R, Sébastien L, Thierry D, et al. Three-dimensional assessment of the intervertebral kinematics after Mobi-C total disc replacement at the cervical spine in vivo using the EOS stereoradiography system. *SAS Journal*. 2011;5(3): 63-68.
- [15] 鲍达,马远征,陈兴,等. Mobi-C人工颈椎间盘临床应用初步报告[J]. 中国修复重建外科杂志, 2011, 25(1): 70-73.

- [16] Pimenta L, McAfee PC, Cappuccino A, et al. Clinical experience with the new artificial cervical PCM(Cervitech) disc. *Spine J.* 2004;4(6): 315S-321S.
- [17] Pimenta L, McAfee PC, Cappuccino A, et al. Superiority of multilevel cervical arthroplasty outcomes versus single-level outcomes: 229 consecutive PCM prostheses. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;12:1337-1344
- [18] Anakwenze OA, Auerbach JD, Milby AH, et al. Sagittal cervical alignment after cervical disc arthroplasty and anterior cervical discectomy and fusion: results of a prospective, randomized, controlled trial. *Spine*. 2009;34(19):2001-2007.
- [19] Traynelis VC. Prestige cervical disc. *Neurosurg Clin N Am*. 2005;16(4):621-628.
- [20] Mummaneni PV, Burkus JK, Haid RW, et al. Clinical and radio-graphic analysis of cervical disc arthroplasty compared with allograft fusion: a randomized controlled clinical trial. *Neurosurg Spine*. 2007;6(3):198-209.
- [21] Abitbol JJ, Wright N, Baldwin N. Patient clinical outcomes and motion at 1 year follow-up: Cervicore disc replacement vs fusion. *Spine J.* 2009;9(10): 148S-149S.
- [22] 徐波, 张忠民, 赵卫东, 等. 颈椎人工椎间盘置换或前路融合内固定术后关节突间压力的改变[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2010, 20(5): 406-410.
- [23] Ryu WH, Kowalczyk I, Duggal N. Long-term kinematic analysis of cervical spine after single-level implantation of Bryan cervical disc prosthesis. *Spine J.* 2013;13(6):628-634.
- [24] Yi S, Shin DA, Kim KN, et al. The predisposing factors for the heterotopic ossification after cervical artificial disc replacement. *Spine J.* 2013;13(9):1048-1054.
- [25] Park SB, Kim KJ, Jin YJ, et al. X-ray based kinematic analysis of cervical spine according to prosthesis designs: analysis of the Mobi C, Bryan, PCM, and Prestige LP. *J Spinal Disord Tech.* 2013. [Epub ahead of print].
- [26] Mummaneni PV, Amin BY, Wu JC, et al. Cervical artificial disc replacement versus fusion in the cervical spine: a systematic review comparing long-term follow-up results from two FDA trials. *Evid Based Spine Care J.* 2012;3(S1):59-66.
- [27] Anderson PA, Hashimoto R. Total disc replacement in the cervical spine: a systematic review evaluating long-term safety. *Evid Based Spine Care J.* 2012;3(S1):9-18.
- [28] Ren X, Chu T, Jiang T, et al. Cervical Disc Replacement Combined With Cage Fusion for the Treatment of Multi-level Cervical Disc Herniation. *J Spinal Disord Tech.* 2012 Jul 24. [Epub ahead of print].
- [29] Liu W, Zhu B, Liu X, et al. [Analysis of effectiveness and incidence of heterotopic ossification after single-level Bryan cervical artificial disc replacement]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2012;26(6):699-702.
- [30] Wu JC, Huang WC, Tsai HW, et al. Differences between 1- and 2-level cervical arthroplasty: more heterotopic ossification in 2-level disc replacement: Clinical article. *J Neurosurg Spine.* 2012;16(6):594-600.
- [31] Upadhyaya CD, Wu JC, Trost G, et al. Analysis of the three United States Food and Drug Administration investigational device exemption cervical arthroplasty trials. *J Neurosurg Spine.* 2012;16(3):216-628.
- [32] Cheng L, Nie L, Li M, et al. Superiority of the Bryan(®) disc prosthesis for cervical myelopathy: a randomized study with 3-year followup. *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(12):3408-3414.
- [33] Carstens C, Carstens M, Copf F. The relevance of the sagittal profile in cervical artificial discs. *Orthopade.* 2011;40(8): 719-725.
- [34] Sun S, Wang GH. Outcome of microsurgical decompression combined with cervical artificial disc replacement. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2013;51(3):211-215.
- [35] Lan X, Xu JZ, Liu XM, et al. Curative effect evaluation and complication analysis of Bryan artificial cervical disc replacement. *Zhongguo Gu Shang.* 2013;26(3):182-185.
- [36] Davis RJ, Kim KD, Hisey MS, et al. Cervical total disc replacement with the Mobi-C cervical artificial disc compared with anterior discectomy and fusion for treatment of 2-level symptomatic degenerative disc disease: a prospective, randomized, controlled multicenter clinical trial: clinical article. *J Neurosurg Spine.* 2013;19(5):532-545.
- [37] Bao D, Ma Y, Chen X, et al. Preliminary clinical study on artificial cervical disc replacement by Mobi-C prosthesis. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2011; 25(1): 70-73.
- [38] Lee SH, Im YJ, Kim KT, et al. Comparison of cervical spine biomechanics after fixed- and mobile-core artificial disc replacement: a finite element analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(9):700-708.
- [39] Hu N, Cunningham BW, McAfee PC, et al. Porous coated motion cervical disc replacement: a biomechanical, histomorphometric, and biologic wear analysis in a caprine model. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(15):1666-1673.
- [40] Malham GM, Parker RM, Ellis NJ, et al. Cervical artificial disc replacement with ProDisc-C: Clinical and radiographic outcomes with long-term follow-up. *J Clin Neurosci.* 2013 Nov 15. pii: S0967-5868(13)00607-3.