

人工腰椎间盘置换术治疗退变性腰椎间盘病的应用现状

杨风光^{1,2,3}, 任恩惠^{1,2,3}, 杨亮^{1,2,3}, 王永刚^{1,2,3}, 汪静^{1,2,3}, 康学文^{1,2,3}

1. 兰州大学第二医院骨科, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省骨与关节疾病重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 3. 脊柱疾患疼痛机制研究及治疗甘肃省国际科技合作基地, 甘肃 兰州 730000

【摘要】人工腰椎间盘置换术(ALDR)是利用人工假体替换病变椎间盘,恢复椎间隙高度的同时保持脊柱的稳定性和一定的活动范围,降低邻椎病的发生率,是治疗腰椎间盘退变性疾病(LDDD)的新方法,本研究就ALDR治疗LDDD的临床应用现状作一综述。Charité、ProDisc以及Activ-L是临床常用的人工椎间盘,但由于疗效不明显,Charité系列人工椎间盘已于2012年逐渐从市场撤出;目前临床常用的ProDisc系列人工腰椎间盘有ProDisc II和ProDisc-L。ALDR可有效保留置换节段的活动度,降低邻椎病的发生率,对LDDD有较好的中短期疗效,但是假体下沉、移位、磨损、异位骨化及晚期置换节段融合等并发症的发生不容忽视。ALDR对LDDD的长期临床疗效以及潜在并发症仍需要长期的、大样本的随访研究。

【关键词】腰椎间盘退变性疾病;人工腰椎间盘置换;生物力学特征;综述

【中图分类号】R318.1;R681.57

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)07-0841-05

Application status of artificial lumbar disc replacement for lumbar degenerative disc disease

YANG Fengguang^{1,2,3}, REN Enhui^{1,2,3}, YANG Liang^{1,2,3}, WANG Yonggang^{1,2,3}, WANG Jing^{1,2,3}, KANG Xuewen^{1,2,3}

1. Department of Orthopedics, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou 730000, China; 2. Key Laboratory of Osteoarthritis of Gansu Province, Lanzhou 730000, China; 3. International Scientific and Technological Cooperation Base of Gansu Province for the Research on Pain Mechanism of Spinal Disorders, Lanzhou 730000, China

Abstract: Artificial lumbar disc replacement (ALDR) is an innovative treatment of lumbar disc degeneration disease (LDDD) by replacing the intervertebral disc with artificial prosthesis, restoring the height of the intervertebral space while maintaining the stability of the spine and a certain range of motion, thereby reducing the incidence of adjacent segment disease. Herein the current clinical applications of artificial lumbar disc replacement in the treatment of LDDD are reviewed. Charité, ProDisc and Activ-L are commonly used artificial intervertebral discs in clinic. Due to the lack of obvious curative effect, the artificial intervertebral discs of Charité series have been gradually withdrawn from the market in 2012. For the artificial intervertebral discs of ProDisc series, ProDisc II and ProDisc-L are commonly used in clinic. ALDR which can effectively retain the range of motion of the replacement segment and reduce the incidence of adjacent segment disease has good short- and medium-term therapeutic effects on LDDD. However, the complications such as the subsidence, displacement and wear of prosthesis, heterotopic ossification and late replacement segment fusion can't be ignored. Long-term clinical efficacy and potential complications of ALDR for LDDD still require long-term, large-sample follow-up studies.

Keywords: lumbar degenerative disc disease; artificial lumbar disc replacement; biomechanical characteristic; review

【收稿日期】2019-02-13

【基金项目】国家自然科学基金(81371230); 甘肃省青年科技基金(17JR5R230); 兰州大学第二医院院内博士科研基金(ynbskyjj2015-1-01)

【作者简介】杨风光, 硕士研究生, 研究方向: 生物材料、脊柱退行性疾病、脊柱矫形, E-mail: 1552770365@qq.com

【通信作者】康学文, 主任医师, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 脊柱退行性疾病、脊柱矫形、生物材料, E-mail: ery_kangxw@lzu.edu.cn

前言

人体椎间盘承载着约80%的脊柱负荷并控制椎体之间的运动^[1], 椎间盘由内部的髓核和外部的纤维环构成^[2]。随着年龄的增大, 腰椎间盘的含水量减少、灵活性降低、高度和承载负荷的能力下降^[3], 导致腰椎间盘退变性疾病(Lumbar Degenerative Disc Disease, LDDD)的发生。在美国每年有6 200万成年人因椎间盘退变导致的下腰背痛而就诊^[4-5], 主诉为

持续性下腰背痛患者中有42%发现有椎间盘的破裂^[6-7]。

治疗LDDD的传统方法是椎体间融合术,融合的目的是限制疼痛节段的运动范围和提供即刻的稳定性,从而缓解椎间盘源性的疼痛^[8]。然而,融合手术也存在一定的限制性,除了存在无法实现融合的可能性外,椎间融合术后的生物力学改变会干扰相邻节段水平的运动和负载向量,这种改变会加速退化级联的自然病程,促进邻近节段的退变^[9]。因此,非融合的方法越来越受到关注^[10-11]。人工腰椎间盘置换术是经内科保守无效后治疗LDDD的选择之一。与腰椎融合术不同的是,人工腰椎间盘置换术后手术节段的椎体存在一定的活动范围,且其设计力图模仿正常脊柱的生物力学特点^[10],从而减少因椎间融合而导致的邻椎病等并发症的发生,受到临床医生的青睐。本研究就目前人工腰椎间盘置换术治疗LDDD的临床应用现状进行综述。

1 人工腰椎间盘置换术治疗LDDD的优势

Brantigan等^[12]在1940年首次提出腰椎椎体间融合术(Lumbar Interbody Fusion, LIF)的概念,并用于治疗下腰背痛患者。经过不断的发展,LIF的手术方式众多,有经椎间孔椎体间融合术(TLIF)、腰椎后路椎体间融合术(PLIF)、腰椎斜向微创椎间融合术(LLIF)等^[13]。LIF可以提供即刻的脊柱稳定性,不仅适用于LDDD的治疗,而且也广泛应用于脊柱畸形、创伤、感染和肿瘤等脊柱疾患的治疗,LIF已被认为是一种治疗脊柱疾患的经典方法^[14-15]。Xia等^[16]对腰椎和颈椎术后邻椎病的发生率进行分析,纳入了来自19个国家的94项研究,总样本量为34 716例。分析发现腰椎术后影像学上邻椎病(ASDeg)的发生率为26.6%(95%CI, 21.3%~31.9%),邻椎病症状(ASDis)的发生率为8.5%(95%CI, 6.4%~10.7%)。随着时间的延长,邻椎病发生率也有增加的趋势。0.5~2.0年之间的ASDeg发生率为21.8%(16.0~27.6%),ASDis的发生率为6.5%(4.8~8.1%);2~5年之间ASDeg的发生率为33.6%(21.8~45.4%),ASDis的发生率为12.1%(8.2~16.0%);5~10年之间ASDeg的发生率为37.4%(10.7~64.1%),ASDis的发生率为3.2%(2.5%~4.0%)。因此,在腰椎间盘切除后如何保留手术节段的运动功能,降低邻近节段的应力,最大限度模拟腰椎间盘的生物力学功能是LDDD治疗时的关键所在,而人工腰椎间盘置换术则为解决这一问题提供了新方法。Pimenta等^[9]对15例接受了人工腰椎间盘置换术的患者进行了84个月的随访,结果显示平均视觉模拟评分(Visual Analog Scale, VAS)从7.1下降到2.9,功能障

碍评分(Oswestry Disability Index, ODI)从50下降到16,无假体移位及破损。Lemaire等^[17]采用前瞻性研究,对60例因LDDD而接受人工腰椎间盘置换术的患者进行平均92月的随访,VAS评分从术前的8.5下降到最后一次随访时的3.1,ODI评分从术前的55%下降到最后一次随访时的21%,术中无并发症发生,术后有1例发生假体移位,1例因邻近节段的病变而进行椎间融合手术。Zigler等^[18]使用Meta分析对人工腰椎间盘置换术和LIF治疗LDDD随访时间在5年以上的研究作了比较,发现人工腰椎间盘置换术在ODI评分改善(RR 1.091 2; 95%CI: 1.000 4, 1.190 3)、患者满意度(RR 1.13; 95%CI: 1.03, 1.24)和再手术发生率(RR 0.52; 95%CI: 0.35, 0.77)方面优于LIF。人工腰椎间盘置换术在治疗LDDD时,尽可能地保留了脊柱的生物力学功能,较LIF减少了邻近节段的应力,降低了邻椎病的发生率,临床疗效较好,是治疗LDDD的较好选择。

2 常见腰椎间盘假体的生物力学特点及临床应用

自20世纪50年代末,Fernström等^[19]最早描述了用不锈钢作为假体材料的人工椎间盘以来,经过60多年的发展,人工椎间盘在材料、外形和生物力学特性等方面有了长足的发展。目前已经有上百种人工椎间盘获得了专利,然而进行生物体内实验和临床应用的人工椎间盘相对较少^[20]。现就临床常用人工椎间盘的生物力学特点和临床应用情况作一介绍。

2.1 Charité

Charité是最早应用到临床的人工椎间盘,也是目前研究较为深入的人工椎间盘之一,最初使用的材料是不锈钢,后改用钛^[20]。Charité I最初由德国柏林Charité医院的Schellnack和Büttner-Janz在1982年设计而成^[21],最初设计的核心原则是“低摩擦”。这种人工椎间盘的基本结构是由中间超高分子聚乙烯材质的滑动核心和两边的端板构成,端板设计有锚齿结构并涂有钛/羟基磷灰石以增强假体与椎体之间的固定。经过力学测试以后,在1984年10月Charité I在德国柏林的Charité医院进行了首次临床应用^[22]。在1985年由于植入后发生轴向移动,设计者对Charité I作了修改,Charité II的设计理念与Charité I基本相同,只是增加了两边端板的面积,使其与椎体终板有更多的接触面积,从而起到更好的支撑作用^[23]。Charité I和Charité II最初仅在德国Charité医院使用,没有商业化。Charité III具有更好的力学性能,其两边端板各有3个锚齿,便于固定。

有学者通过尸体研究,发现 Charité 假体可以维持 L4-L5 之间的正常运动,而且旋转中心与正常人体腰椎相似,是一个可移动椭圆形^[23]。2004 年 10 月美国食品药品监督管理局 (Food and Drug Administration, FDA) 批准 Charité III 可用于治疗 L4-S1 的 LDDD^[24]。Putzier 等^[25]对采用 Charité 系列的 3 种人工椎间盘治疗 LDDD 的 53 例患者进行了长达 17 年的随访,这 53 例患者共有 63 个椎间盘进行人工腰椎间盘置换术,经对比发现 3 种类型的 Charité 系列人工椎间盘治疗 LDDD 的临床效果没有显著性差异。60% 的患者在置换后发生椎体间的融合,有 11% 的患者进行了二次手术,虽然有 17% 的患者没有发现邻近节段的退变,但是这部分病人对治疗的满意度明显低于发生椎体间融合的病人。人工腰椎间盘置换术的短期治疗效果令人满意,但长期的随访研究较少。因此 Putzier 等^[25]认为现有证据不足以说明 LDDD 患者行人工腰椎间盘置换术的疗效优于或至少等同于脊柱融合术。2012 年,Charité 系列人工椎间盘逐渐从市场撤出。

2.2 ProDisc

ProDisc 系列的人工腰椎间盘也经过了几代改进,目前临床常用的是 ProDisc II 和 ProDisc-L,是由 3 个部分组成的椎间盘假体,端板喷涂有钛钴铬合金,两个尾翼用于在椎体上固定,其滑动核心是超高分子聚乙烯。Huang 等^[26]通过 Cobb 法测量术前和术后平均 8.7 年随访时腰椎屈伸位的活动范围,术前 L2-L3、L3-L4、L4-L5、L5-S1 的活动范围分别是 5.5°、7.5°、10.7°和 10.0°,ProDisc 人工腰椎间盘置换后,L2-L3、L3-L4、L4-L5、L5-S1 的活动范围分别是 6.0°、13.0°、14.2°和 19.2°,表明人工腰椎间盘置换术后腰椎活动范围在较长时间内得到了一定程度的保留。ProDisc-L 在 2006 年被 FDA 批准用于治疗 LDDD^[27]。

2.3 Activ-L

2015 年 6 月新一代的人工椎间盘 Activ-L 得到了 FDA 批准,进入市场^[28]。Activ-L 增加了上一代人工椎间盘所没有的一些优点,目的是可以适应人类腰椎解剖的变化,更好地模拟人体腰椎的运动模式^[8]。Activ-L 的两个端板由金属材料制成,中间的滑动核心是聚乙烯,端板靠近椎体面是钴铬钛合金以及钙涂层。每个端板的前方有 3 个齿突,用于假体的固定。在 L5-S1 椎间盘置换时,S1 一侧的端板后缘是圆形设计,可以避免端板突向椎管内。Activ-L 有 4 种型号,即 26 mm×31 mm、28 mm×34.5 mm、30 mm×39 mm 和 33 mm×40 mm,以供外科医生选择合适的假体,减少假体沉降和神经根刺激的风险。Activ-L

的滑动核心内含有金属标记,可用于 X 线检测,滑动核心有 4 种不同的高度 (8.5、10.0、12.0 和 14.0 mm) 备选,并且每个高度都可以与不同型号的端板匹配,提供了更多选择的余地。而且端板之间为囊袋装设计,可以防止滑动核心的脱出。有临床实验表明 8.5 mm 高度的滑动核心符合 87% 的病人,而 ProDisc-L 则没有这种高度的滑动核心,ProDisc-L 的备选高度只有 10、12 和 14 mm^[29]。除此之外,Activ-L 前后方向的活动范围较大,侧方的活动范围较小,更接近腰椎生理条件下的运动范围,减小邻近节段小关节的应力。

3 人工腰椎间盘置换术治疗 LDDD 的临床疗效及并发症

虽然目前人工腰椎间盘置换没有明确的适应症和禁忌症,但多数学者已经有普遍的共识^[30]。一般认为年轻、单节段椎间盘退变、无骨质疏松、不伴严重的小关节病变、不伴腰椎不稳、无椎管狭窄或后方神经根受压是人工腰椎间盘置换的手术适应症。Lazennec 等^[31]对 61 例接受人工腰椎间盘置换术的患者进行了 5 年随访,VAS 评分从 6.6±1.7 降到 3.3±2.5,ODI 评分从 (51.2±14.6)% 降到 (20±17.9)%,明显改善了患者的生活质量。Zigler 等^[32]采用网状 Meta 分析比较了人工腰椎间盘置换、LIF 以及保守治疗这 3 种方法治疗单节段 LDDD 时的有效性和安全性,总样本量为 1 417 例,结果发现采用 Activ-L 假体的人工腰椎间盘置换在 ODI 评分、腰背痛缓解以及病人满意度方面优于 LIF 和保守治疗,3 种方法的再手术率和患者再就业率没有差异。Rao 等^[33]基于随机对照试验的 Meta 分析表明人工腰椎间盘置换术在安全性和有效性方面优于 LIF。

虽然人工腰椎间盘置换术作为 LDDD 治疗的一种新方法在临床上被广泛应用,但与 LIF 相比,人工腰椎间盘置换术可以有效保留置换节段的活动度,降低邻近节段的发生率,但是假体下沉、移位、磨损、异位骨化及晚期置换节段融合等并发症的发生亦不容忽视^[25]。Van Ooij 等^[34]对 26 例接受人工腰椎间盘置换术的患者进行了平均 91 个月的随访,1 例患者在术后 1 周内发生假体移位,改用 cage 植入融合。1 例患者行 L4-L5 和 L5-S1 两个节段的置换,术后 12 月因 L5-S1 假体移位取出假体;4 例患者发生了腹壁血肿,1 例逆行性射精,1 例勃起功能障碍。随访期内 12 例较为满意,14 例认为没有明显获益,主要原因是各种并发症所致。Lu 等^[35]通过超过 11 年的随访发现,虽

然患者的整体治疗效果比较满意,但是71.4%的手术节段发生了异位骨化。异位骨化可因为骨化位置不同而对人体有不同的影响,发生在椎间隙周围的骨化会使椎体的活动范围受到影响,部分患者则会因神经根和血管等受压而引起临床症状,影响患者的预后^[36]。因此,减少并发症的发生是人工腰椎间盘突出置换术相关研究需要关注的一个问题。

4 人工腰椎间盘突出置换术治疗LDDD存在的问题

人工腰椎间盘突出置换术通过对退变椎间盘的置换,恢复椎间隙高度,保持手术节段稳定性和一定的活动范围,取得了良好的中短期疗效,但随着临床应用的增多和随访时间的延长,显现出来的问题引起了临床医生和研究者的重视^[36-37]。目前应用于市场的人工腰椎间盘突出多由欧美国家生产^[38],主要解剖数据的来源和临床试验的人群均来自欧美国家,因此假体与我国人群的椎体存在匹配不佳的问题,增大了手术的难度和风险。王子轩等^[39]通过尸体研究发现在腰椎正侧位X线片上正常成年人腰椎间盘突出软骨板厚度、椎体上下横径、矢状径和椎间隙高度不存在性别差异。除L1-L2相邻椎体矢状径、L3-L4相邻椎体横径和L4-L5相邻椎体矢状径外,其余椎间盘相邻椎体横径或矢状径存在显著差异。腰椎间隙自L1-L2至L4-L5逐渐增宽,前缘高度大于后缘高度。L5-S1椎间隙与其他腰椎间隙存在较大差异,其相邻终板间夹角明显增大,认为需要定制假体。类似研究可为符合我国解剖参数假体的设计和生产积累数据,从而避免因假体不匹配而引起的假体下沉、移位、异位骨化等并发症的发生。然而目前国内相关研究较少,需要进一步的研究积累更多的数据。

人工腰椎间盘突出假体既需要承载负荷又要保持一定的运动范围,模拟人体的椎间盘的功能,但是截至目前,仍无假体可以完全模拟人体椎间盘的生物力学特性^[38]。

5 总结及展望

人工腰椎间盘突出置换术对LDDD的中短期疗效较为满意,但长期临床疗效以及潜在并发症如异位骨化、假体移位、下沉及晚期融合等仍需要长期的、大样本的随访研究。

【参考文献】

- [1] WANG J C, MUMMANENI P V, HAID R W. Current treatment strategies for the painful lumbar motion segment: posterolateral fusion versus interbody fusion[J]. Spine, 2005, 30(16): 33-43.
- [2] CHAN W C, AU T Y, TAM V, et al. Coming together is a beginning: the making of an intervertebral disc[J]. Birth Defects Res C, 2014, 102(1): 83-100.
- [3] IORIO J A, JAKOI A M, SINGLA A. Biomechanics of degenerative spinal disorders[J]. Asian Spine J, 2016, 10(2): 377-384.
- [4] DEPALMA M J, KETCHUM J M, SAULLO T. What is the source of chronic low back pain and does age play a role?[J]. Pain Med, 2011, 12(2): 224-233.
- [5] LICCIARDONE J C. The epidemiology and medical management of low back pain during ambulatory medical care visits in the United States[J]. Osteopath Med Prim Care, 2008, 2(1): 11.
- [6] SCHWARZER A C, APRILL C N, DERBY R, et al. The prevalence and clinical features of internal disc disruption in patients with chronic low back pain[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1995, 20(17): 1878-1883.
- [7] MANCHIKANTI L, SINGH V, PAMPATI V, et al. Evaluation of the relative contributions of various structures in chronic low back pain[J]. Pain Physician, 2001, 4(4): 308.
- [8] YUE J J, GARCIA R J, MILLER L E. The activL® Artificial disc: a next-generation motion-preserving implant for chronic lumbar discogenic pain[J]. Med Devices (Auckl), 2016, 9: 75-84.
- [9] PIMENTA L, MARCHI L, OLIVEIRA L, et al. Elastomeric lumbar total disc replacement: clinical and radiological results with minimum 84 months follow-up[J]. Int J Spine Surg, 2018, 12(1): 49-57.
- [10] BALIGA S, TREON K, CRAIG N J. Low back pain: current surgical approaches[J]. Asian Spine J, 2015, 9(4): 645-657.
- [11] PETTINE K, HERSH A. Kineflex lumbar artificial disc versus Charité lumbar total disc replacement for the treatment of degenerative disc disease: a randomized non-inferiority trial with minimum of 2 years' follow-up[J]. SAS J, 2011, 5(4): 108-113.
- [12] BRANTIGAN J W, STEFFEE A D. Carbon fiber implant to aid interbody lumbar fusion: 1-year clinical results in the first 26 patients[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1993, 18(14): 2106-2107.
- [13] TALIA A J, WONG M L, LAU H C, et al. Comparison of the different surgical approaches for lumbar interbody fusion[J]. J Clin Neurosci, 2015, 22(2): 243-251.
- [14] DEYO R A, MIRZA S K, MARTIN B I. Error in trends, major medical complications, and charges associated with surgery for lumbar spinal stenosis in older adults[J]. JAMA, 2011, 306(10): 1259-1265.
- [15] KOTWAL S, PUMBERGER M, HUGHES A, et al. Degenerative scoliosis: a review[J]. HSS J, 2011, 7(3): 257-264.
- [16] XIA X P, CHEN H L, CHENG H B. Prevalence of adjacent segment degeneration after spine surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 38(7): 597-608.
- [17] LEMAIRE J P, CARRIER H, SARIALI EL-H, et al. Lumbar total disc replacement by the lateral approach up to 10-year follow-up[J]. J Spinal Disord Tech, 2016, 16(10): S293.
- [18] ZIGLER J, GORNET M F, FERKO N, et al. Comparison of lumbar total disc replacement with surgical spinal fusion for the treatment of single-level degenerative disc disease: a meta-analysis of 5-year outcomes from randomized controlled trials[J]. Global Spine J, 2018, 8(4): 413-423.
- [19] FERNSTRÖM U. Arthroplasty with intercorporeal endoprosthesis in herniated disc and in painful disc[J]. Acta Chir Scand Suppl, 1966, 357: 154-159.
- [20] SZPALSKI M, GUNZBURG R, MAYER M. Spine arthroplasty: a historical review[J]. Eur Spine J, 2002(11): S65-S84.
- [21] BÜTTNER-JANZ K, SCHELLNACK K. Bandscheibenendoprothetik, Entwicklungsweg und gegenwärtiger Stand [J]. Beitr Orthop Traumatol, 3: 137-147.
- [22] BÜTTNER-JANZ K. The development of the artificial disc SB Charité [M]. Dallas: Hundley & Associates Inc., 1992: 12-13.

- [23] LINK H D. History, design and biomechanics of the LINK SB Charité artificial disc[J]. Eur Spine J, 2002(11): S98-S105.
- [24] Food And Drug Administration. CHARITÉ™ artificial disc-P040006. 2004 [EB/OL]. <http://www.fda.gov/MedicalDevices/ProductsandMedicalProcedures/DeviceApprovalsandClearances/Recently-ApprovedDevices/ucm080693.htm>.
- [25] PUTZIER M, FUNK J F, SCHNEIDER S V, et al. Charité total disc replacement-clinical and radiographical results after an average follow-up of 17 years[J]. Eur Spine J, 2006, 15(2): 183-195.
- [26] HUANG R C, GIRARDI F P, CAMMISA F P, et al. Long-term flexion-extension range of motion of the prodisc total disc replacement[J]. J Spinal Disord Tech, 2003, 16(5): 435-440.
- [27] Food And Drug Administration. PRODISC®-L total disc replacement-P050010. 2006. [EB/OL]. <http://www.fda.gov/MedicalDevices/ProductsandMedicalProcedures/DeviceApprovalsandClearances/Recently-ApprovedDevices/ucm077620.htm>.
- [28] Food And Drug Administration. activL® artificial disc-P120024.2015 [EB/OL]. <http://www.fda.gov/MedicalDevices/ProductsandMedicalProcedures/DeviceApprovalsandClearances/Recently-ApprovedDevices/ucm455656.htm>.
- [29] GARCIA R J, YUE J J, BLUMENTHAL S, et al. Lumbar total disc replacement for discogenic low back pain: two-year outcomes of the activL multicenter randomized controlled IDE clinical trial[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2016, 40(24): 1873.
- [30] BÜTTNER-JANZ K, GUYER R D, OHNMEISS D D. Indications for lumbar total disc replacement: selecting the right patient with the right indication for the right total disc[J]. Int J Spine Surg, 2014, 8: 12.
- [31] LAZENNEC J Y, RAKOVER J P, ROUSSEAU M A. Five year follow-up of clinical and radiological outcomes of LP ESP elastomeric lumbar total disc replacement in active patients[J]. Spine J, 2019, 19(2): 218-224.
- [32] ZIGLER J, FERKO N, CAMERON C, et al. Comparison of therapies in lumbar degenerative disc disease: a network meta-analysis of randomized controlled trials[J]. J Comp Eff Res, 2018, 7(3): 233.
- [33] RAO M J, CAO S S. Artificial total disc replacement *versus* fusion for lumbar degenerative disc disease: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2014, 134(2): 149-158.
- [34] VAN OOIJ A, ONER F C, VERBOUT A J, et al. Complications of artificial disc replacement: a report of 27 patients with the SB Charité disc[J]. J Spinal Disord Tech, 2003, 16(4): 369.
- [35] LU S B, HAI Y, KONG C, et al. An 11-year minimum follow-up of the Charite III lumbar disc replacement for the treatment of symptomatic degenerative disc disease[J]. Eur Spine J, 2015, 24(9): 2056-2064.
- [36] RANGANATHAN K, LODER S, AGARWAL S, et al. Heterotopic ossification: basic-science principles and clinical correlates[J]. J Bone Joint Surg Am, 2015, 97(13): 1101-1111.
- [37] RUNDELL S A, AUERBACH J D, BALDERSTON R A, et al. Total disc replacement positioning affects facet contact forces and vertebral body strains[J]. Spine, 2008, 33(23): 2510-2517.
- [38] ABI-HANNA D, KERFERD J, PHAN K, et al. Lumbar disc arthroplasty for degenerative disc disease: a literature review[J]. World Neurosurg, 2018, 109: 188-196.
- [39] 王子轩, 单涛. 中国人腰椎间盘结构与人工椎间盘置换相关的参数测量[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(48): 8973-8976.
- WANG Z X, SHAN T. Parameter measurement of the lumbar disc related to artificial disc replacement in Chinese[J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2011, 15(48): 8973-8976.

(编辑:谭斯允)