

# 动态中和固定系统治疗腰椎退行性疾病的研究进展

陈喜君, 范顺武

(浙江大学医学院附属邵逸夫医院骨科, 浙江 杭州 310016)

**【摘要】** 动态固定技术治疗腰椎退行性疾病日益成为基础和临床研究的热点。动态中和固定系统(dynamic neutralization system, Dynesys)作为动态固定技术的一种,既能保持脊柱的活动能力,改善患者的临床症状,还在延缓邻近节段退变方面表现出一定的优势。Dynesys 技术可作为腰椎融合之外治疗腰椎退行性疾病的另一最佳选择,主要适用于轻至中度的腰椎退变性疾病,但它缺乏保持和恢复腰椎前凸的机制需要患者主动伸展实现前凸。如何延长使用寿命、预防并发症发生等问题有待解决,其远期疗效及延缓邻近节段退变作用机制需进一步明确。

**【关键词】** 腰椎; 内固定器; 综述文献

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2013.06.021

**Progress on dynamic neutralization system in treating lumbar degenerative diseases** CHEN Xi-jun and FAN Shun-wu. Department of Orthopaedics, Sir Run Shaw Hospital, School of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou 310016, Zhejiang, China

**ABSTRACT** Dynamic stabilization technology has increasingly become the hot spot in basic and clinical research for treating lumbar degenerative diseases. As one kind of dynamic stabilization technology, dynamic neutralization system (Dynesys) keeps the spinal motion ability and improve clinical symptoms of patients, moreover, it shows a certain advantage in delaying the degeneration of adjacent segments. From the available documents, the preliminary biomechanical and clinical results of Dynesys were optimistically, it has become another choice in treating the lumbar degenerative diseases besides the lumbar fusion, and it primarily applies to the treatment of mild to moderate lumbar degenerative disease. However, it lacks a mechanism to maintain and restore the lumbar lordosis and patients need active stretching to achieve lordosis. What's more, how to extend the service life and prevent complications remain to be solved, the long-term effect and the mechanism of delaying the adjacent segment degeneration need further investigation. In this article, the design principle, biomechanical research, clinical outcome and clinical application of Dynesys was reviewed.

**KEYWORDS** Lumbar vertebrae; Internal fixators; Review literature

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2013, 26(6): 526-529 www.zggszz.com

目前以下腰痛为特点的腰椎退变性疾病的发病率逐年增加,成为影响人类健康的疾病之一。腰椎融合术是治疗这类疾病的金标准,但随着融合病例的积累和随访时间的延长,融合术面临 2 个无法回避的问题——融合节段运动功能丧失和邻近节段退变加剧<sup>[1]</sup>。在此背景下,以保留运动功能为理念的脊柱动态固定技术日渐受到临床医师的重视。动态中和固定系统(dynamic neutralization system, Dynesys)是临床报道较多的后路动态固定技术,国外应用较为广泛,国内也逐步开始将其应用于临床。

## 1 Dynesys 的构造和原理

Dynesys 是以椎弓根螺钉为基础的包含弹性可屈伸装置的动态固定系统,由椎弓根螺钉、聚碳酸盐氨基甲酸乙酯

(PCU)间隔器和聚对苯二甲酸乙二酯(PET)绳索共同组成。钛合金螺钉经椎弓根固定, PET 绳索固定于螺钉钉尾之间,间隔器穿附于绳索之外,绳索拉紧到间隔器允许的程度。Shen 等<sup>[2]</sup>证实 PET 绳索和 PCU 间隔器在人体内有良好的生物稳定性。Dynesys 作用原理在于通过弹性可屈伸装置使脊柱的后部结构恢复至近似生理水平并保留脊柱节段间的活动能力,消除腰椎节段间的不稳,为椎间盘自行修复创造有利环境。屈曲位时, PET 绳索提供张力带作用,限制过度屈曲;伸展位时,间隔器被适当压缩并限制过伸,从而控制脊柱的异常活动。系统装置具有良好的生物力学稳定性,动物实验和临床研究证实 Dynesys 具有与正常脊柱相似的弹性系数,能够有效地限制固定节段运动且不会明显增加邻近节段腰椎的活动度(range of motion, ROM)<sup>[3]</sup>。有学者<sup>[4]</sup>认为 Dynesys 能延缓和改善椎间盘的退变,促进椎间盘修复且这种作用对严重退变的椎间盘效果更加明显。

## 2 Dynesys 的生物力学研究

Dynesys 的基础研究已开展较多,主要为不同运动模式下

基金项目:浙江省科技厅重大科技专项基金(编号:2009C03014-1)  
Fund program: Grants for Major Projects of Science and Technology of Zhejiang Province (No. 2009C03014-1)  
通讯作者:范顺武 E-mail: fansw@srrsh.com

装置对腰椎生物力学稳定性影响及装置组件力学参数设置的研究。Schwarzenbach 等<sup>[5]</sup>发现 Dynesys 可以将脊柱节段间活动减少到正常范围并有效对抗屈曲、旋转和剪切力从而减少椎间盘负荷和后部纤维环压力。Zhang 等<sup>[6]</sup>以 56 岁男性 L<sub>4</sub>-L<sub>5</sub> 节段为基础建立三维有限元模型分析椎间盘负载情况,发现退变椎间盘对腰椎节段的负载能力有显著影响,而应用 Dynesys 后能有效降低退变椎间盘负荷。随着研究的深入,最近许多研究者开始着眼于 Dynesys 装置规格及物理参数变化带来的生物力学改变。Shih 等<sup>[7]</sup>比较了不同间隔物直径的 Dynesys 装置产生的生物力学影响,结果显示改变间隔物直径不会显著改变邻近节段的纤维环压力和活动度,但会改变 Dynesys 系统的刚度及小关节应力。Niosi 等<sup>[8]</sup>指出增加间隔器长度会使整个腰椎活动度增加,间隔器增加 4 mm 时,旋转、伸展、屈曲、侧弯时腰椎整体活动度分别增加 30%、23%、14% 和 11%。Liu 等<sup>[9]</sup>发现改变绳索张力只影响固定节段而不影响相邻节段腰椎的活动度、小关节应力和纤维环压力。绳索张力加大时,椎弓根螺钉受力明显增加,固定节段腰椎在屈曲状态下的活动度减少,伸展、旋转状态下的小关节应力增加,旋转时的纤维环压力增加。Liu 等<sup>[10]</sup>还发现置钉深度只轻微影响腰椎活动度,纤维环压力和小关节负荷,但会明显改变螺钉受力。生物力学研究表明,Dynesys 的正常作用需要装置各部件与腰椎及周围软组织达到一个良好的动态平衡,装置大小及植入位置选择将显著影响系统的作用效果,相关研究将有利于系统装置本身的改进,同时为手术过程中装置组件规格选择及机械强度设置提供必要的实验依据。

### 3 Dynesys 的临床应用

**3.1 临床疗效** Dynesys 自从 1994 年投入临床使用以来,应用已超过了 15 年时间,并已获得美国 FDA 批准,国内外均有研究报道了相关的临床效果。国内学者陈博来等<sup>[11]</sup>采用 Dynesys 治疗腰椎退行性疾病,发现术后患者的视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS) 及 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI) 较术前降低,日本骨科学会 (Japanese orthopedic association, JOA) 评分则显著回升,三者的改善率分别为 74.55%、81.97% 和 85.39%。丁亮华等<sup>[12]</sup>对 24 例单节段腰椎管狭窄症患者行椎管减压及 Dynesys 固定术,术后平均随访 19.1 个月发现患者的 VAS、ODI 和 JOA 评分均明显改善,术后固定节段的 Cobb 角减小,腹侧和背侧椎间隙高度增加,腰椎曲度改善,随访过程中未发现邻近椎间隙狭窄、椎体滑脱及不稳等退变迹象。Welch 等<sup>[13]</sup>对 101 例患者 (主要诊断为退行性腰椎滑脱及椎管狭窄) 进行的一项 Dynesys 固定术前瞻性研究显示,平均随访 1 年后患者的下肢和腰部疼痛明显缓解,ODI 由 55.6% 下降到 26.3%,表明 Dynesys 在治疗退行性腰椎滑脱、椎管狭窄等腰椎退行性疾病时,对疼痛的缓解、症状及体征的改善以及术后功能恢复等方面有良好的疗效。Di Silvestre 等<sup>[14]</sup>应用 Dynesys 治疗 29 例退行性腰椎侧凸畸形的老年患者,平均随访 54 个月后发现患者的 ODI、RDQ (Roland-Morris 功能障碍问卷表) 及 VAS 评分均有明显改善,固定节段 Cobb 角明显减小。笔者认为对于老年退行性腰椎侧凸畸形患者 Dynesys 固定是安全有效的方法,它能提供足够的稳定性并防止侧凸的进一步发展,但矢状位矫正远比冠状位矫正重要,该研究选取的病例多为腰椎前凸较好的患者,因此,老年退行性腰椎侧凸患者选择 Dy-

nesys 治疗时仍应谨慎。Sapkas 等<sup>[15]</sup>对 114 例椎间盘退变疾病患者行 Dynesys 固定,术后平均随访 6.8 年发现,ODI 平均值由 57% 改善至 22%,RDQ 平均值从 52% 改善至 35%,74% 的患者 (79 例) 对手术的结果比较满意,但随着随访时间增加,有 25% (22 例) 的患者出现了并发症,主要是螺钉松动、感染及腰痛。腰椎间盘退变,尤其是腰痛明显的复发性椎间盘突出被认为是 Dynesys 较理想的手术适应证,其在腰痛症状的缓解和术后椎间隙高度的恢复方面效果更佳。

总体而言,Dynesys 在治疗腰椎退变疾病方面具有广泛的应用前景,它保留了术后脊柱的活动性,对疼痛的缓解比较明显,其康复时间也比融合术短,表现出了一定的优越性。但融合所用的内置物系统仅在骨性融合前作为临时固定装置,而非融合固定系统却要终身提供固定作用<sup>[16]</sup>。而且 Dynesys 的应用还不到 20 年,病例随访时间也不够长,患者体重和运动量,装置与周围软组织的作用以及术中组件的排列和定位等许多因素都会影响其临床疗效,因此其远期临床效果还需要长期的跟踪性观察。Cunningham 等<sup>[17]</sup>已发现 Dynesys 装置的固定作用会随时间增加而逐渐减弱。随着时间延长,Dynesys 装置固定强度的改变、并发症的出现以及内植物引起的骨质磨损、溶解及碎屑等问题也是影响患者远期疗效的重要因素,是临床工作者需要密切关注的问题。

**3.2 对邻近节段退变的影响** 脊柱融合术后,在融合节段内刚度增加,活动幅度明显下降或消失,而脊柱节段活动度将发生重分配,融合节段的活动度会转移到剩余的运动节段,这将导致邻近节段的活动度增加及运动方式的异常。融合术后相邻节段尤其是小关节压力和椎间盘内压增加是加速邻近节段退变的重要因素<sup>[18]</sup>。Dynesys 的设计理念恰恰体现在减少邻近节段的过度活动,卸载退变椎间盘和小关节的压力负荷,同时保留它们的正常活动度,从而避免应力在邻近节段过于集中,延缓了邻近节段退变的发生。Rohmann 等<sup>[19]</sup>的三维有限元分析研究指出,应用动态固定系统后的腰椎邻近节段椎间盘压力及小关节应力均小于刚性固定,两种固定方式的力学效果基本相同且动态固定装置本身受力相对较小。Nohara 等<sup>[20]</sup>比较了 Dynesys 固定和传统钉棒固定对腰椎各节段 ROM 影响的差异,指出腰椎屈伸和侧弯时 Dynesys 组的固定节段和邻近节段 ROM 接近正常,而传统钉棒固定组在固定节段的邻近节段 ROM 均增加。Putzier 等<sup>[21]</sup>研究发现,联合 Dynesys 固定的髓核摘除术比单纯行髓核摘除术有更满意的临床效果,联合 Dynesys 固定组没有发现椎间盘及邻近节段的进一步退变,仅在单纯行髓核摘除术组观察到邻近节段逐步退变的迹象。Yu 等<sup>[22]</sup>比较 Dynesys 固定和后路腰椎椎间融合治疗 L<sub>4</sub>-L<sub>5</sub> 腰椎管狭窄合并有或无腰椎滑脱的前瞻性研究发现,植入 Dynesys 能更显著的使腰椎节段运动在一个适当的水平,显著减少邻近节段的过度活动,且较后路腰椎椎间融合而言,Dynesys 固定术的手术时间、术中出血量、住院天数显著降低。Ciavarró 等<sup>[4]</sup>运用延迟钆增强 MRI (dGEMRIC) 测定 Dynesys 固定术后患者椎间盘糖胺聚糖含量,发现病变椎间盘无论是在固定节段还是邻近节段术后糖胺聚糖含量均增加,认为 Dynesys 能有效促进病变椎间盘的组织修复再生,延缓退变的发生。相对融合术而言,Dynesys 在减少术后邻近节段活动度和椎间盘压力表现出较大的优势,但仍然有学者质疑 Dynesys 对于延缓邻近节段退变的作用。Putzier 等<sup>[23]</sup>比较了

Dynesys 对不同类型腰椎退变疾病节段退变的影响,将 70 例患者分为椎间盘退变组(35 例)、退变性脊柱关节病组(22 例)和进行性节段退变及退行性腰椎滑脱组(13 例),术后平均随访 33 个月发现椎间盘退变组和退变性脊柱关节病组术后患者主观感受明显改善,影像学分析指出在固定节段和邻近节段均无进一步退变的发生,而在进行性节段退变及退变性脊柱关节病组分别有 9 例和 3 例患者仍有固定节段和邻近节段退变的发生。Kim 等<sup>[24]</sup>在一项 Dynesys 固定应用于单一节段和多节段腰椎的比较研究中发现多节段固定组的患者中有部分患者邻近节段腰椎发生了滑移,提示邻近节段退变仍在继续。笔者认为动态固定虽然保留了有限的运动,但对邻近节段仍会产生压力负荷且对于多节段固定此作用更加明显。Klöckner<sup>[25]</sup>认为 Dynesys 固定后患者椎间盘仍继续退变,但这种退变更偏向疾病的自然发展过程。脊柱融合术后邻近节段退变及邻近节段病变(adjacent segment disease, ASD)的预防和治疗是如今临床上面临的难点问题,Dynesys 等动态固定技术的设计初衷正是为了避免融合手术带来的邻近节段过度活动而导致的邻近节段退变,大部分文献报道也肯定了这一作用。但由于邻近节段退变发生的确切机制尚未完全明了,影响邻近节段退变的因素很多,临床上缺乏长期的大样本的随机对照研究,因此对于 Dynesys 延缓邻近节段退变的作用机制还有待于进一步明确。

**3.3 临床适应证、禁忌证及并发症 手术新方法的应用,**患者的选择至关重要。由于 Dynesys 的研究尚处于不成熟阶段,临床上也缺乏长期大量的随机对照研究来对它的治疗效果提供全面的科学依据,对于 Dynesys 的适应证和禁忌证国内外还存在许多争议,仍无统一标准。文献报道<sup>[14, 23, 26]</sup>都对其进行了阐述,可简要归纳如下。

**3.3.1 适应证** 腰椎管狭窄症,单纯性腰椎间盘突出,腰椎不稳,轻度退行性腰椎滑脱(I 度),退行性脊柱侧凸,腰椎融合术的辅助治疗。

**3.3.2 禁忌证** 全身骨质疏松者,椎体骨折、脱位,严重腰椎畸形,腰椎肿瘤,脊柱滑脱> I 度,病变节段手术史,手术节段脊柱感染以及植入物过敏者等。

**3.3.3 并发症** Dynesys 手术并发症主要有手术入路引起的并发症和植入物相关并发症。手术入路相关并发症主要有:疼痛、皮下血肿、硬膜下血肿、大血管损伤、心血管并发症、神经损伤、膀胱功能紊乱和肠梗阻等。植入物相关并发症包括螺钉松动移位或断裂、椎体骨折和感染等。手术入路相关并发症的产生与手术本身及患者的应激密切相关,熟悉手术部位血管、神经解剖位置,加强围手术期管理及人文关怀可最大程度减少此类并发症的发生。对于植入物相关并发症,从临床随访研究来看,螺钉松动最为常见。Ko 等<sup>[27]</sup>对 71 例行 Dynesys 固定术患者进行平均 16.6 个月随访,结果发现 71 例患者中 14 例(19.7%)患者出现了螺钉松动,出现螺钉松动的患者年龄大都在 50 岁以上(13/14),但作者同时指出螺钉的松动并没有使患者症状加重。Lutz 等<sup>[28]</sup>通过长达 5 年随访的研究指出,有 73.5% 的患者出现了一定程度上的螺钉松动,当患者出现新的或加重的疼痛时,常伴有螺钉松动的迹象。Kocak 等<sup>[29]</sup>认为即使螺钉出现松动,如果没出现明显的临床症状,也不需要行翻修手术。螺钉松动发生的原因包括椎弓根钉植入不良、反复多次进针、撑开不足或过度牵开、患者骨质疏松、过早剧烈活

动及不适当的运动。由于施加在弹性间隔器上的压缩负荷以及 PET 绳索上的牵引负荷都会对椎弓根螺钉产生弯曲力矩,从而引发螺钉断裂或松动。这就要求术者在植入 Dynesys 装置时应尽量使用最长和最粗的螺钉,并调整绳索和间隔器至最适长度使装置达到最佳的功能状态和稳定性从而预防螺钉松动发生。椎体骨折多出现在老年患者,且多伴有骨质疏松的存在,椎弓根钉受力不均及装置机械强度的突然改变是引发椎体骨折的重要因素,目前其发生率尚缺乏大范围的临床统计。感染是较晚期出现的并发症,也是导致翻修手术的重要原因。Lutz 等<sup>[28]</sup>对 50 例行 Dynesys 固定术患者平均随访 5 年发现,有 11 例出现了感染性并发症,7 例出现非感染性并发症,17 例患者需要再次手术或行植入物摘除术。感染的病原菌主要是痤疮丙酸杆菌、金黄色葡萄球菌、表皮葡萄球菌,这些病菌能在内植物表面形成生物被膜来抵御免疫细胞及抗生素的杀菌、抑菌作用,并可形成潜伏感染,临床上感染性并发症多出现在术后 3 年以上的患者中。感染并发症的处理主要包括敏感性抗生素应用、清创及手术翻修。现在提倡预防为主,重视围手术期的处理,以尽可能减少感染机会,同时希望能研发出新型抗菌内植物材料。严重的并发症常常导致植入物装置破损或系统稳定性下降而需要施行翻修手术或植入物摘除术。Lanuzzi 等<sup>[30]</sup>对 17 例行 Dynesys 翻修术的回顾性分析发现,翻修原因主要包括持续性疼痛(16/17)、感染(1/17)、和(或)螺钉松动(11/17)及植入物移位(1/17)。

总体而言,并发症的发生主要与术者对腰椎后路手术操作的熟练程度、手术时间的长短、围手术期患者的管理及植入装置本身密切相关。严格掌握 Dynesys 手术适应证、熟练和规范手术操作、加强术后患者的管理以及系统装置的改良都有助于预防并发症发生。

#### 4 展望

Dynesys 作为治疗腰椎退变性疾病的新理念、新方法,是对传统融合手术的补充和修订。研究证实了其在治疗腰椎退变性疾病上的有效性,在初步临床应用中获得了与融合术类似的治疗效果,但不可否认,Dynesys 仍存在几个问题需要解决。①装置本身是个弹性可屈伸系统,绳索拉力过大或者间隔物过长都会使固定节段腰椎处于过伸或过屈状态,如果应用不当可导致局部后凸畸形增加前方椎间盘负荷,因此需要找到一个良好的平衡点使装置处于最佳位置并分担合理的腰椎负荷;②Dynesys 治疗椎管狭窄和腰椎间盘突出患者效果较理想,但仍不能盲目应用,还需进一步明确手术适应证及禁忌证;③由于 Dynesys 装置将长期存在于患者体内,如何提高使用寿命,减少并发症从而降低手术翻修率是临床工作者需要迫切解决的问题;④作为非融合技术的优势,其延缓邻近节段退变的作用机制及有效程度需要进一步论证和明确。Dynesys 动态固定技术正处于起步时期,相信随着相关材料学、生物力学、运动学及计算机模拟技术的发展将更有效的推动该技术的推广和完善。

#### 参考文献

- [1] Kanayama M, Togawa D, Hashimoto T, et al. Motion-preserving surgery can prevent early break down of adjacent segments; comparison of posterior dynamic stabilization with spinal fusion[J]. J Spinal Disord Tech, 2009, 22(7): 463-467.
- [2] Shen M, Zhang K, Koettig P, et al. In vivo biostability of polymeric

- spine implants: retrieval analyses from a United States investigation-al device exemption study[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(11): 1837–1849.
- [3] Wilke HJ, Heuer F, Schmidt H. Prospective design delineation and subsequent in vitro evaluation of a new posterior dynamic stabilization system[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(3): 255–261.
- [4] Ciavarro C, Caiani EG, Brayda-Bruno M, et al. Mid-term evaluation of the effects of dynamic neutralization system on lumbar intervertebral discs using quantitative molecular MR imaging[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2012, 35(5): 1145–1151.
- [5] Schwarzenbach O, Berlemann U, Stoll TM, et al. Posterior dynamic stabilization systems; Dynesys[J]. *Orthop Clin North Am*, 2005, 36(3): 363–372.
- [6] Zhang QH, Zhou YL, Petit D, et al. Evaluation of load transfer characteristics of a dynamic stabilization device on disc loading under compression[J]. *Med Eng Phys*, 2009, 31(5): 533–538.
- [7] Shih SL, Chen CS, Lin HM, et al. Effect of spacer diameter of the Dynesys dynamic stabilization system on the biomechanics of the lumbar spine; a finite element analysis[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2012, 25(5): E140–E149.
- [8] Niosi CA, Zhu QA, Wilson DC, et al. Biomechanical characterization of the three-dimensional kinematic behaviour of the Dynesys dynamic stabilization system; an in vitro study[J]. *Eur Spine J*, 2006, 15(6): 913–922.
- [9] Liu CL, Zhong ZC, Hsu HW, et al. Effect of the cord pretension of the Dynesys dynamic stabilisation system on the biomechanics of the lumbar spine; a finite element analysis[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(11): 1850–1858.
- [10] Liu CL, Zhong ZC, Shih SL, et al. Influence of Dynesys system screw profile on adjacent segment and screw[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2010, 23(6): 410–417.
- [11] 陈博来, 许鸿智, 林颖, 等. 动态稳定系统治疗腰椎退行性疾病初期疗效报道[J]. *中国矫形外科杂志*, 2011, 19(7): 537–540. Chen BL, Xu HZ, Lin Y, et al. Clinical study of the dynamic stabilization system for degenerative spine disease[J]. *Zhongguo Jiao Xing Wai Ke Za Zhi*, 2011, 19(7): 537–540. Chinese.
- [12] 丁亮华, 何双华, 樊友亮, 等. 椎管减压椎弓根动态稳定系统(Dynesys)治疗腰椎管狭窄症的临床疗效[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2011, 21(8): 633–638. Ding LH, He SH, Fan YL, et al. The analysis of clinical efficacy using dynamic internal fixation Dynesys for the treatment of lumbar spinal stenosis[J]. *Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi*, 2011, 21(8): 633–638. Chinese.
- [13] Welch WC, Cheng BC, Awad TE, et al. Clinical outcomes of the Dynesys dynamic neutralization system; 1-year preliminary results [J]. *Neurosurg Focus*, 2007, 22(1): E8.
- [14] Di Silvestre M, Lolli F, Bakaloudis G, et al. Dynamic stabilization for degenerative lumbar scoliosis in elderly patients[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(2): 227–234.
- [15] Sapkas G, Mavrogenis AF, Starantzis KA, et al. Outcome of a dynamic neutralization system for the spine[J]. *Orthopedics*, 2012, 35(10): e1497–e1502.
- [16] 郑应, 谭明生. 腰椎后路非融合固定系统的临床应用[J]. *中国骨伤*, 2007, 20(4): 283–285. Zheng Y, Tan MS. Clinical application of nonfusion posterior lumbar fixation system[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2007, 20(4): 283–285. Chinese.
- [17] Cunningham BW, Dawson JM, Hu N, et al. Preclinical evaluation of the Dynesys posterior spinal stabilization system; a nonhuman primate model[J]. *Spine J*, 2010, 10(9): 775–783.
- [18] 任伟峰, 刘晋闽, 章明. 腰椎融合术后发生邻近节段退行性变的研究进展[J]. *中国骨伤*, 2011, 24(1): 83–86. Ren WF, Liu JM, Zhang M. Research advance in adjacent segment disease after operation with lumbar fusion[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2011, 24(1): 83–86. Chinese with abstract in English.
- [19] Rohlmann A, Burra NK, Zander T, et al. Comparison of the effects of bilateral posterior dynamic and rigid fixation devices on the loads in the lumbar spine; a finite element analysis[J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(8): 1223–1231.
- [20] Nohara H, Kanaya F. Biomechanical study of adjacent intervertebral motion after lumbar spinal fusion and flexible stabilization using polyethylene-terephthalate bands[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2004, 17(3): 215–219.
- [21] Putzier M, Schneider SV, Funk JF, et al. The surgical treatment of the lumbar disc prolapse; nucleotomy with additional transpedicular dynamic stabilization versus nucleotomy alone[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2005, 30(5): E109–E114.
- [22] Yu SW, Yang SC, Ma CH, et al. Comparison of Dynesys posterior stabilization and posterior lumbar interbody fusion for spinal stenosis L<sub>4</sub>–L<sub>5</sub>[J]. *Acta Orthop Belg*, 2012, 78(2): 230–239.
- [23] Putzier M, Schneider SV, Funk J, et al. Application of a dynamic pedicle screw system (Dynesys) for lumbar segmental degenerations—comparison of clinical and radiological results for different indications[J]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 2004, 142(2): 166–173.
- [24] Kim CH, Chung CK, Jahng TA. Comparisons of outcomes after single or multilevel dynamic stabilization; effects on adjacent segment [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2011, 24(1): 60–67.
- [25] Klöckner C. Long-term results of the Dynesys implant[J]. *Orthopade*, 2010, 39(6): 559–564.
- [26] Lawhorne TW 3rd, Girardi FP, Mina CA, et al. Treatment of degenerative spondylolisthesis; potential impact of dynamic stabilization based on imaging analysis[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(6): 815–822.
- [27] Ko CC, Tsai HW, Huang WC, et al. Screw loosening in the Dynesys stabilization system; radiographic evidence and effect on outcomes [J]. *Neurosurg Focus*, 2010, 28(6): E10.
- [28] Lutz JA, Otten P, Maestretti G. Late infections after dynamic stabilization of the lumbar spine with Dynesys[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(12): 2573–2579.
- [29] Kocak T, Cakir B, Reichel H, et al. Screw loosening after posterior dynamic stabilization; Review of the literature [J]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*, 2010, 77(2): 134–139.
- [30] Lanuzzi A, Kurtz SM, Kane W, et al. In vivo deformation, surface damage, and biostability of retrieved Dynesys systems[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(23): E1310–E1316.

(收稿日期: 2012-12-25 本文编辑: 李宜)