

腰椎棘突间动态稳定装置 Coflex 不同置入深度对相邻节段运动范围影响的生物力学研究

祖 丹¹, 海 涌², 云 才¹, 鲁世保², 刘玉增², 李士春¹, 李钦亮¹

(1 首都医科大学石景山教学医院北京市石景山医院骨科 100043 北京市;

2 首都医科大学附属北京朝阳医院骨科 100020 北京市)

【摘要】目的:探讨置入腰椎棘突间动态稳定装置 Coflex 不同深度后对上下相邻节段运动范围的影响。**方法:**将 6 具新鲜成人尸体腰椎标本(L1~L5)两端固定在生物力学测试系统上,以 L3/4 节段为手术节段,L2、L3、L4、L5 椎体放置运动范围记录系统用以记录相邻节段(L2/3、L4/5)运动范围。分别对腰椎标本完整状态(保持腰椎韧带及小关节完整)、5mm 状态(Coflex 的 U 形顶端距离硬脊膜 5mm)、0mm 组(距离为 0mm)分别加载 8N·m 的纯力矩进行生物力学测试,测试顺序为前屈、后伸、左右侧弯、左右侧旋,并记录相邻节段 L2/3、L4/5 的运动范围。对 3 组标本在 6 个方向的相邻节段(L2/3、L4/5)运动范围分别行单个因素的重复测量方差分析,两两对比采用 LSD 检验。**结果:**L2/3 节段在前屈、后伸、左右侧弯、左右侧旋 6 个方向的运动范围,完整组分别为 4.23°±0.25°、3.56°±0.14°、3.07°±0.12°、3.34°±0.08°、2.53°±0.16°、2.44°±0.11°;5mm 组分别为 4.40°±0.21°、3.64°±0.14°、3.09°±0.11°、3.35°±0.07°、2.54°±0.16°、2.46°±0.10°;0mm 组分别为 4.47°±0.20°、3.72°±0.16°、3.14°±0.10°、3.38°±0.08°、2.58°±0.15°、2.49°±0.12°;三组间差异均无统计学意义($P>0.05$)。L4/5 节段三组标本在前屈、后伸、左右侧弯、左右侧旋 6 个方向的运动范围,完整组分别为 3.80°±0.28°、3.45°±0.11°、3.25°±0.11°、3.28°±0.13°、2.44°±0.11°、2.42°±0.11°;5mm 组分别为 3.86°±0.28°、3.52°±0.11°、3.28°±0.09°、3.31°±0.05°、2.50°±0.07°、2.46°±0.09°;0mm 组分别为 3.90°±0.28°、3.59°±0.10°、3.32°±0.08°、3.36°±0.06°、2.52°±0.08°、2.48°±0.09°;三组间差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**腰椎棘突间动态稳定装置 Coflex 的 U 形顶端与硬脊膜的距离≤5mm 时,上下邻近节段在前屈、后伸、左右侧弯、左右侧旋 6 个方向运动范围较完整状态无明显增加。

【关键词】腰椎;相邻节段;内固定器;假体置入;生物力学

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2014.10.13

中图分类号:R318.01 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2014)-10-0933-05

Adjacent segment range of motion after different insertion depth of lumbar interspinous dynamic stabilization device(Coflex): a biomechanical study/ZU Dan, HAI Yong, YUN Cai, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2014, 24(10): 933-937

【Abstract】 Objectives: To evaluate the lumbar adjacent segment range of motion after different insertion depth of lumbar interspinous dynamic stabilization device(Coflex). **Methods:** Six fresh adult human cadaveric lumbar spine specimens(L1-L5) were fixed in a material testing system(MTS) by embedding to clamps with L1 and L5 vertebrae. L3/4 of each specimen was operated. The L2, L3, L4, L5 vertebra was inserted one spacer respectively which was used to record the range of motion(ROM) of the adjacent segments(L2/3, L4/5). Each lumbar spine specimen was tested according to the loading sequence at 3 groups: intact(keeping lumbar ligament and facet joint intact) group, 5mm insertion (distance between apex of U-shaped Coflex and dural sac was 5mm) group and 0mm insertion(distance was 0mm) group. Each lumbar spine specimen was loaded with pure moments of 8N·m according to a loading sequence consisting of flexion, extension, left/right lateral bending, left/right axial rotation and the ROM of adjacent segment was recorded. Adjacent segments (L2/3, L4/5) ROM of 3 groups in 6 directions was analyzed respectively with one-way ANOVA test and multiple compar-

基金项目:北京市自然科学基金(项目编号:7112056)

第一作者简介:男(1985-),住院医师,硕士学位,研究方向:脊柱外科

电话:(010)88689190 E-mail:zd061001@163.com

通讯作者:海涌 E-mail:spinesurgeon@163.com

isons were based on LSD method. **Results:** In L2/3 segment: the mean ROM of 3 groups was equal in flexion, extension, left/right lateral bending, left/right axial rotation(intact group: $4.23^{\circ} \pm 0.25^{\circ}$, $3.56^{\circ} \pm 0.14^{\circ}$, $3.07^{\circ} \pm 0.12^{\circ}$, $3.34^{\circ} \pm 0.08^{\circ}$, $2.53^{\circ} \pm 0.16^{\circ}$, $2.44^{\circ} \pm 0.11^{\circ}$; 5mm insertion group: $4.40^{\circ} \pm 0.21^{\circ}$, $3.64^{\circ} \pm 0.14^{\circ}$, $3.09^{\circ} \pm 0.11^{\circ}$, $3.35^{\circ} \pm 0.07^{\circ}$, $2.54^{\circ} \pm 0.16^{\circ}$, $2.46^{\circ} \pm 0.10^{\circ}$; 0mm insertion group: $4.47^{\circ} \pm 0.20^{\circ}$, $3.72^{\circ} \pm 0.16^{\circ}$, $3.14^{\circ} \pm 0.10^{\circ}$, $3.38^{\circ} \pm 0.08^{\circ}$, $2.58^{\circ} \pm 0.15^{\circ}$, $2.49^{\circ} \pm 0.12^{\circ}$), and there were no significant differences among 3 groups(all $P > 0.05$). In L4/5 segment: the mean ROM of 3 groups was equal in flexion, extension, left/right lateral bending, left/right axial rotation (intact group: $3.80^{\circ} \pm 0.28^{\circ}$, $3.45^{\circ} \pm 0.11^{\circ}$, $3.25^{\circ} \pm 0.11^{\circ}$, $3.28^{\circ} \pm 0.13^{\circ}$, $2.44^{\circ} \pm 0.11^{\circ}$, $2.42^{\circ} \pm 0.11^{\circ}$; 5mm insertion group: $3.86^{\circ} \pm 0.28^{\circ}$, $3.52^{\circ} \pm 0.11^{\circ}$, $3.28^{\circ} \pm 0.09^{\circ}$, $3.31^{\circ} \pm 0.05^{\circ}$, $2.50^{\circ} \pm 0.07^{\circ}$, $2.46^{\circ} \pm 0.09^{\circ}$; 0mm insertion group: $4.47^{\circ} \pm 0.20^{\circ}$, $3.72^{\circ} \pm 0.16^{\circ}$, $3.14^{\circ} \pm 0.10^{\circ}$, $3.38^{\circ} \pm 0.08^{\circ}$, $2.58^{\circ} \pm 0.15^{\circ}$, $2.49^{\circ} \pm 0.12^{\circ}$), and there were no significant differences among 3 groups(all $P > 0.05$). **Conclusions:** The adjacent segments after different insertion depth (when distance between apex of U-shaped Coflex and dural sac was or less than 5mm) of lumbar interspinous dynamic stabilization device (Coflex) allow no significantly more motion than the intact specimen in flexion, extension, left/right lateral bending, left/right axial rotation.

[Key words] Lumbar vertebrae; Adjacent segment; Internal fixators; Prosthesis implantation; Biomechanics

[Author's address] Department of Orthopaedics, Shijingshan Teaching Hospital of Capital Medical University, Beijing Shijingshan Hospital, Beijing, 100043, China

相邻节段退变是脊柱融合术后主要的并发症。目前许多研究表明相邻节段退变的原因可能与脊柱融合导致相邻节段的椎间盘压力、小关节负荷及相邻节段运动范围增大有关^[1-3]。因此,相邻节段运动范围增大是预示相邻节段退变的一个重要指标。临床报道非融合装置 Coflex 手术其短、中、长期疗效较为满意^[4-7]。但是,此装置对于相邻节段的活动度的影响目前的生物力学研究结论还没有达到完全一致:有研究认为其对相邻节段运动范围无明显增加^[8],而 Hartmann 等^[9]的生物力学研究报道置入 Coflex 后,与融合术相似,相邻节段运动范围显著增加。以上的生物力学研究中未提到 Coflex 的具体置入深度,是否不同置入深度会对相邻节段运动范围有不同影响?生物力学研究表明只有当 Coflex 的 U 型顶端距离硬脊膜 $\leq 5\text{mm}$ 时,手术节段才具有较佳的稳定效果,且此距离 $\geq 10\text{mm}$ 时不具有稳定效果^[10]。因此,我们继续进行生物力学研究手术节段稳定时不同置入深度 Coflex 对相邻节段运动范围的影响,以期能够确定对相邻节段运动范围影响最小的置入深度。

1 材料与方法

1.1 材料

6 具新鲜人尸体腰椎标本(L1~L5),对所有腰椎行外观及 X 线、骨密度检查排除腰椎骨折、骨质疏松等影响结果的疾病。6 具腰椎均剔除椎体肌肉,同时保留韧带、腰椎小关节、椎间盘及骨性结构(选取 L3/4 节段为手术节段)。Coflex 装置

(上海通用医疗器材有限公司)。生物力学测试系统:①载荷加载系统(安川公司,日本)和载荷感应系统(Array Technology Industry Technologies Inc 公司,美国);②运动范围记录系统(Northern Digital Inc 公司,加拿大)。自凝牙托粉和自凝牙托水(上海医疗器械股份有限公司)。

1.2 生物力学测试方法

我们研究手术节段具有稳定效果(Coflex 的 U 型顶端与硬脊膜的距离 $\leq 5\text{mm}$)时,不同置入深度对相邻节段的影响,所以将测试完整组及 5mm 组、0mm 组等两种置入深度状态的腰椎标本。将腰椎标本 L1 和 L5 端垂直放于金属包埋盒中,倒入自凝牙托粉和牙托水混合物(1:1),静置 30min,制备成完整组腰椎标本(图 1a)。将 L2、L3、L4、L5 椎体分别放置运动范围记录系统,然后将标本置于生物力学测试系统上。生物力学载荷加载方式:按控制角度方式($1^{\circ}/\text{s}$)进行载荷由小增大加载纯力矩,当力矩达到 8Nm 时停止加载。按以下步骤进行生物力学测试,测试前均拍摄腰椎标本 X 线,排除棘突骨折等。

1.2.1 对完整组腰椎标本进行前屈、后伸、左侧弯、右侧弯、左侧旋、右侧旋等 6 个方向上进行生物力学测试,连续测试 3 次,于最后 1 次记录标本邻近节段(L2/3、L4/5)运动范围。

1.2.2 首先,制作 Tsai 等^[11]设计的腰椎失稳模型:分离 L3/4 的棘上韧带,剔除 L3/4 棘间韧带、黄韧带,打开手术节段双侧小关节囊,切除双侧 L3 下关节突内侧 50%骨性结构。再次,选用合适型号

Coflex, 将其置于棘突间直至 Coflex 的 U 型顶端和硬膜囊之间的距离为 5mm, 制备完成 5mm 组腰椎模型(图 1b), 对 5mm 组腰椎标本进行 1.2.1 的生物力学测试。

1.2.3 将 Coflex 装置向硬膜端继续移近 5mm, 此时 U 型前端基本贴近硬膜, 制备完成 0mm 腰椎标本模型(图 1c)。对 0mm 组腰椎标本进行 1.2.1 的生物力学测试。

1.3 统计学方法

使用 SPSS 19.0 软件进行数据处理。分别对 L2/3、L4/5 节段完整组、5mm 组、0mm 组进行单个因素的重复测量方差分析, 两两对比采用 LSD 检验。检验水准为双侧 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

6 具腰椎标本未发现棘突骨折等。L2/3 节段及 L4/5 节段: 完整组、5mm 组、0mm 组标本在前屈(flexion, FL)、后伸(extension, EX)、左侧弯(left lateral bending, LLB)、右侧弯(right lateral bending, RLB)、左侧旋(left axial rotation, LAR)、右侧旋(right axial rotation, RAR)6 个方向的运动范围差异均无统计学意义(均 $P>0.05$, 表 1、2)。

3 讨论

毛仲轩等^[8]生物力学实验中完整组标本 L2/3 节段及 L4/5 节段 6 个方向运动范围均值分别为 4.26° 、 3.30° 、 3.88° 、 4.28° 、 3.00° 、 3.08° 和 4.26° 、 3.38° 、 4.41° 、 4.32° 、 3.18° 、 3.42° 。与其比较, 本组中

两项研究数据均表现为前屈较后伸运动范围大, 左右侧弯及侧旋运动范围基本相似。但是, 其实验中 L2/3 与 L4/5 节段前屈运动范围基本一致, 本

表 1 上位相邻节段(L2/3)6 个方向的运动范围

Table 1 ROM of cranial adjacent segment(L2/3) under 6 directions($^\circ$, $\bar{x}\pm s$, $n=6$)

	完整组 intact group	5mm 组 5mm insertion group	0mm 组 0mm insertion group
前屈(FL)	4.23±0.25	4.40±0.21 ^①	4.47±0.20 ^①
后伸(EX)	3.56±0.14	3.64±0.14 ^①	3.72±0.16 ^①
左侧弯(LLB)	3.07±0.12	3.09±0.11 ^①	3.14±0.10 ^①
右侧弯(RLB)	3.34±0.08	3.35±0.07 ^①	3.38±0.08 ^①
左侧旋(LAR)	2.53±0.16	2.54±0.16 ^①	2.58±0.15 ^①
右侧旋(RAR)	2.44±0.11	2.46±0.10 ^①	2.49±0.12 ^①

注: ①与完整组比较, $P>0.05$

Note: ① Compared with group A, $P>0.05$

表 2 下位相邻节段(L4/5)各个方向的运动范围

Table 2 ROM of caudal adjacent segment (L4/5) under 6 directions($^\circ$, $\bar{x}\pm s$, $n=6$)

	完整组 intact group	5mm 组 5mm insertion group	0mm 组 0mm insertion group
前屈(FL)	3.80±0.28	3.86±0.28 ^①	3.90±0.28 ^①
后伸(EX)	3.45±0.11	3.52±0.11 ^①	3.59±0.10 ^①
左侧弯(LLB)	3.25±0.11	3.28±0.09 ^①	3.32±0.08 ^①
右侧弯(RLB)	3.28±0.13	3.31±0.05 ^①	3.36±0.06 ^①
左侧旋(LAR)	2.44±0.11	2.50±0.07 ^①	2.52±0.08 ^①
右侧旋(RAR)	2.42±0.11	2.46±0.09 ^①	2.48±0.09 ^①

注: ①与完整组比较, $P>0.05$

Note: ① Compared with group A, $P>0.05$

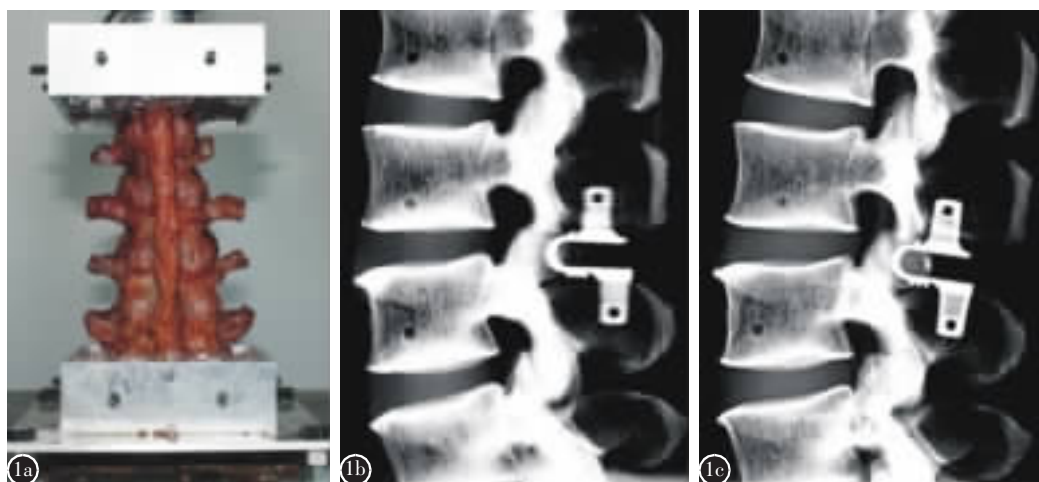


图 1 a 完整状态腰椎标本 b 5mm 置入状态下腰椎标本侧位 X 线片 c 0mm 置入状态下腰椎标本侧位 X 线片

Figure 1 a intact lumbar spine b lateral radiograph of 5mm insertion lumbar spine c lateral radiograph of 0mm insertion lumbar spine

实验中 L4/5 节段较 L2/3 节段运动范围减少;左右侧弯及侧旋运动范围,本实验均较其实验数值减少。

本实验前屈、后伸运动范围显示,L2/3 节段及 L4/5 节段均为:完整组与 5mm 组、完整组与 0mm 组差异无统计学意义($P>0.05$)。说明在此置入深度下,术后均不明显增加手术节段上、下位邻近节段运动范围。0mm 组较 5mm 组运动范围增加的较多。L2/3 节段及 L4/5 节段的 0mm 组较完整组在前屈和后伸分别增加 4.5%、5.9%和 2.5%、4.1%。综合来看,上下邻近节段均后伸较前屈增加的较多,这可能与 Coflex 主要限制手术节段的后伸运动有关,造成邻近节段后伸运动代偿增加。同时,L2/3 节段较 L4/5 节段增加的较多,即手术节段的上位节段运动代偿的较下位邻近节段较多。生物力学和临床研究显示融合节段上位相邻节段的退变率高,而融合节段下位邻近节段的退变率明显较低,分析原因可能是融合节段的头端较尾端的活动增加的更为明显^[12-14],这与本研究基本一致,但是,Coflex 导致的上下邻近节段增加无显著性差异。

本实验左右侧弯及侧旋运动范围显示,L2/3 节段及 L4/5 节段均为:完整组与 5mm 组、完整组与 0mm 组差异无统计学意义($P>0.05$)。说明在此置入深度下,术后均不明显增加手术节段上、下位邻近节段运动范围。与完整组相比,四个运动方向上均为 0mm 组较 5mm 组运动范围增加的较多,且增加的程度相近(L2/3:左侧弯:2.3%、右侧弯:1.2%、左侧旋:2.0%、右侧旋:2.0%;L4/5:左侧弯:2.2%、右侧弯:2.4%、左侧旋:3.3%、右侧旋:2.5%),但是比较前屈与后伸运动方向上增加的程度小。这一定程度上说明,Coflex 稳定手术节段的侧弯及旋转程度较前屈、后伸弱。同时,脊柱后路融合的生物力学及临床研究中也有报道融合术的上下邻近节段在侧弯及侧旋方向上增加的程度是相似的^[2,15],这也可能跟脊柱的运动模式有关。

国外大部分生物力学实验是研究单个脊柱运动节段手术前后的变化,仅有少数学者研究邻近节段。在 Hartmann 等^[16]的一项研究内固定对手术节段影响的实验中,发现置入单节段 Coflex 后全腰椎(L2~L5)与完整状态相比较在侧弯及侧旋运动方向上运动范围显著的增加。为了探究 Coflex 对相邻节段的具体影响,Hartmann 等^[9]使用了 8 具

腰椎标本(L2~L5)对比研究了融合内固定 Click X 与非融合内固定 Coflex 对相邻节段运动范围的影响。实验同样是以 L3/4 节段为手术节段:与完整状态相比较,置入 Coflex 后 L2/3 节段前屈/后伸、侧弯、侧旋方向运动范围分别平均增加了 66%、44%、39%;L4/5 节段相应增加了 40%、47%、40%。Coflex 与融合术效果相似,显著增加了邻近节段的活动范围。置入棘突间内固定导致相邻节段较高的运动范围可能增加相邻节段退变的风险,此观点也到了一些学者的支持^[17]。而国内生物力学研究得出置入 Coflex 后相邻节段运动范围未见明显增加^[8],这与本研究结果相似。目前生物力学研究结论还未一致,影响体外生物力学的因素较多,这可能是结论不同的主要原因,尚需更多的实验进一步研究。

本实验结果显示 5mm 组较 0mm 组的上下邻近节段运动范围与完整组更为接近,结合 Coflex 最佳的置入距离是 U 型顶端距离硬脊膜 ≤ 5 mm,因此置入 Coflex 最好不要过深,可能损伤脊髓、神经根的同时,也会增加相邻节段运动范围,可能增加邻近节段退变的风险。

本实验以 L3/4 为手术节段,是为了较好地观察邻近节段的运动范围。虽然临床上退变性腰椎管狭窄症以 L4/5 的发病率最高,但是如果以 L4/5 作为手术节段,那么下位相邻节段为 L5/S1,其解剖结构与上位邻近节段 L3/4 的不同,因此两个节段的运动特点不一样,所得实验数据比较性较差。生物力学加载方式分为位移控制和载荷控制。Rohlmann 等^[18]分析了相关文献认为控制载荷的加载方法是较为理想的。因此我们采取了加载载荷条件为 8Nm,此加载条件参考国际生物力学测试推荐及指南^[19,20]。

本生物力学研究有一定的局限性:同一标本进行多次生物力学会有标本疲劳误差,本实验设计参考国内外生物力学力学实验,且目前还没有相关文献报道此误差会对实验数据产生明显影响。本实验没有记录相邻节段椎间盘及小关节应力的变化,今后我们会对其进一步研究。因相邻节段退变是多因素的,在此置入深度下 Coflex 能否阻止相邻节段退变,需要更多长期临床随访及相关基础研究。

4 参考文献

1. Videbaek TS, Egund N, Christensen FB, et al. Adjacent segment degeneration after lumbar spinal fusion: the impact of anterior column support: a randomized clinical trial with an eight- to thirteen-year magnetic resonance imaging follow-up [J]. *Spine*, 2010, 35(22): 1955-1964.
2. Bastian L, Lange U, Knop C, et al. Evaluation of the mobility of adjacent segments after posterior thoracolumbar fixation: a biomechanical study[J]. *Eur Spine J*, 2001, 10(4): 295-300.
3. Levin DA, Hale JJ, Bendo JA. Adjacent segment degeneration following spinal fusion for degenerative disc disease [J]. *Bull NYU Hosp Jt Dis*, 2007, 65(1): 29-36.
4. 徐丁, 陈一衡, 曾哈冰, 等. Coflex 棘突间动态固定系统治疗腰椎间盘突出症的短期疗效评价[J]. *中华外科杂志*, 2009, 47(18): 1379-1382.
5. 海涌, 周立金, 苏庆军, 等. 后路有限减压联合 Coflex 动态稳定术治疗腰椎管狭窄症的临床研究 [J]. *中国骨与关节杂志*, 2012, 1(1): 11-16.
6. 倪文飞, 徐华梓, 周洋, 等. 棘突间动态稳定装置 Coflex 的临床应用及中长期疗效评价[J]. *中华外科杂志*, 2012, 50(9): 776-781.
7. 易红蕾, 朱晓东, 张伟, 等. 椎板开窗减压 Coflex 动态固定治疗中度腰椎管狭窄症的疗效评价 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2010, 20(10): 834-838.
8. 毛仲轩, 江建明, 闫慧博, 等. 腰椎单节段棘突间 CoflexTM 固定对脊柱三维运动的影响[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2009, 27(3): 333-336.
9. Hartmann F, Dietz SO, Kuhn S, et al. Biomechanical comparison of an interspinous device and a rigid stabilization on lumbar adjacent segment range of motion[J]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*, 2011, 78(5): 404-409.
10. 祖丹, 海涌, 鲁世保, 等. 腰椎棘突间动态稳定装置 Coflex 最佳置入位置的生物力学研究[J]. *中华外科杂志*, 2014, 52(3): 179-183.
11. Tsai KJ, Murakami H, Lowery GL, et al. A biomechanical evaluation of an interspinous device (Coflex) used to stabilize the lumbar spine[J]. *J Surg Orthop Adv*, 2006, 15(3): 167-172.
12. Korovessis P, Repantis T, Zacharatos S, et al. Does Wallis implant reduce adjacent segment degeneration above lumbosacral instrumented fusion[J]? *Eur Spine J*, 2009, 18(6): 830-840.
13. Ghiselli G, Wang JC, Hsu WK, et al. L5-S1 segment survivorship and clinical outcome analysis after L4-L5 isolated fusion[J]. *Spine*, 2003, 28(12): 1275-1280.
14. Cheh G, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Adjacent segment disease following lumbar/thoracolumbar fusion with pedicle screw instrumentation: a minimum 5-year follow-up [J]. *Spine*, 2007, 32(20): 2253-2257.
15. Schulte TL, Leistra F, Bullmann V, et al. Disc height reduction in adjacent segments and clinical outcome 10 years after lumbar 360 degrees fusion[J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(12): 2152-2158.
16. Hartmann F, Dietz SO, Hely H, et al. Biomechanical effect of different interspinous devices on lumbar spinal range of motion under preload conditions [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2011, 131(7): 917-926.
17. Bono CM, Vaccaro AR. Interspinous process devices in the lumbar spine[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2007, 20(3): 255-261.
18. Rohlmann A, Neller S, Bergmann G, et al. Effect of an internal fixator and a bone graft on intersegmental spinal motion and intradiscal pressure in the adjacent regions[J]. *Eur Spine J*, 2001, 10(4): 301-308.
19. Wilke HJ, Rohlmann F, Neidlinger-Wilke C, et al. Validity and interobserver agreement of a new radiographic grading system for intervertebral disc degeneration: Part I. Lumbar spine[J]. *Eur Spine J*, 2006, 15(6): 720-730.
20. Wilke HJ, Wenger K, Claes L. Testing criteria for spinal implants: recommendations for the standardization of in vitro stability testing of spinal implants[J]. *Eur Spine J*, 1998, 7(2): 148-154.

(收稿日期:2014-07-19 修回日期:2014-08-16)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)