

基础研究

腰椎屈伸运动时即时旋转中心和椎弓根螺钉进钉点的位置变化

何其臻, 罗卓荆, 杜俊杰

(第四军医大学第一附属医院骨科 710032 西安市)

【摘要】目的:观察腰椎屈伸运动时即时旋转中心(instantaneous centre of rotation, ICR)和椎弓根螺钉进钉点(point of pedicle screw insertion, PPSI)的位置变化,为脊柱非融合技术的设计提供参考。方法:61 名健康志愿者,男 31 名,女 30 名,年龄 19~43 岁,平均 27.8±7.1 岁;男性身高 174~190cm,平均 178.5±4.6cm;女性身高 157~168cm,平均 164.4±3.3cm。拍摄腰椎屈伸位 X 线平片,测量各腰椎屈伸时 ICR 的位置,描绘其分布图;测量矢状位腰椎 PPSI 屈伸时的位移量、倾斜角度、旋转半径、屈伸活动度,绘制 PPSI 屈伸运动轨迹。并就男女样本间各测量值进行统计学分析。结果:男性平均身高大于女性($P<0.01$),男性 L2 至 S1 上终板前后径大于女性($P<0.01$),但男性各节段 ICR 分布位置及 PPSI 位移值与女性同一节段比较无显著性差异($P>0.05$)。各腰椎屈伸运动的 ICR 前后方向上位于下位椎体上终板的中心附近, L1 至 L5 逐渐向后分布;上下方向上, L1 至 L4 的 ICR 由腰椎间盘中部移动至下位椎体上终板以下的位置, L5 则回归至椎间盘中部。各腰椎屈伸运动时 PPSI 矢状位上呈由后下至前上的弧线轨迹, L1~L4 其位移量和倾斜角度逐渐增大, L5 两值同时减小;其旋转半径与腰椎序列无明确关系。L1/2 至 L5/S1 屈伸活动度逐渐增加。结论:各腰椎屈伸运动具有特殊性和规律性,提示不同节段的非融合手术需要有与该节段特有活动参数相匹配的器械,以更好地重建脊柱生理活动。

【关键词】腰椎;脊柱非融合;即时旋转中心;椎弓根

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2010.05.15

中图分类号:R681.5, R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2010)-05-0416-05

Distribution of instantaneous rotation centre and the trajectory of the point of pedicle screw insertion in lumbar flexion-extension motion/HE Qizhen, LUO Zhuojing, DU Junjie//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2010, 20(5): 416~420

【Abstract】Objective: To investigate the instantaneous centre of rotation(ICR) and the point of pedicle screw insertion(PPSI) trajectory during lumbar flexion-extension motion and to provide the data for design of spine non-fusion technique. Method: 61 healthy volunteers(31 males and 30 females) with the average age of 27.8±7.1 years (range, 19-43 years) were included in this series. The average height for male and female was 178.5±4.6cm (range, 174-190cm) and 164.4±3.3cm (range, 157-168cm) respectively. Based on lumbar flexion-extension X-ray, the ICR position and distribution was first demonstrated, then the PPSI sagittal displacement, angular variation, rotation radius and flexion-extension ROM during flexion-extension movement were measured. The data between male and female were analyzed statistically. Result: Although greater height and greater L2-S1 upper-endplate posterior-anterior width for males than females ($P<0.01$), the ICR distribution and PSAP displacement at each segment did not show sex-related difference ($P>0.05$). In posterior-anterior direction from L1 to L5, ICRs during lumbar flexion-extension motion lied approximately in the middle of the upper-endplate of lower vertebra with a backward tendency. In cranial-caudal direction from L1 to L4, ICRs moved from the middle of the disc to the upper-endplate of lower vertebral, but ICR of L5 returned to the middle of the disc. In sagittal plane, the PPSI of each level moved from inferoposterior to superoanterior with an arc trajectory. The PPSI displacements and angular variation increased from L1 to L4, however, these two decreased in L5

基金项目:陕西省国际合作项目[编号:2009KW-13(2)]

第一作者简介:男(1983-), 硕士在读, 研究方向:脊柱外科

电话:(029)84775285 E-mail: heqizhen21@126.com

通讯作者:罗卓荆

simultaneously. The rotation radius had no relationship with lumbar segment. Flexion-extension ROM from L1/2 to L5/S1 increased gradually. **Conclusion:** Lumbar flexion-extension motion is characteristics and regular which indicate that non-fusion surgery at different lumbar level should be associated with relative device get better reconstruction of the spine physioactivity.

【Key words】 Lumbar; Spine non-fusion; Instantaneous centre of rotation; Pedicle

【Author's Address】 Department of Orthopedic Surgery, Xijing Hospital, the Fourth Military Medical University, Xi'an, 710032, China

目前椎间融合术是治疗脊柱退行性疾病的主要手段,但是其弊端也越来越凸显,例如假关节形成^[1]、融合节段活动度丢失^[2]、髂嵴取骨手术并发症^[3]、邻近节段退变^[4]。脊柱功能重建即非融合技术的呼声越来越高。非融合器械的设计必须参照正常人的活动数据。本研究主要观察腰椎屈伸活动时即时旋转中心 (instantaneous centre of rotation, ICR) 和椎弓根螺钉进钉点 (point of pedicle screw insertion, PPSI) 的活动轨迹,为设计和改进脊柱非融合器械提供重要参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

2008 年 7 月~2009 年 4 月先后有 61 名志愿者参加了此项研究,男 31 名,女 30 名;年龄 19~43 岁,平均 27.8 ± 7.1 岁。男性身高 174~190cm,平均 178.5 ± 4.6 cm;体重 60~80kg,平均 71.0 ± 6.9 kg。女性身高 157~168cm,平均 164.4 ± 3.3 cm;体重 47~62kg,平均 54.1 ± 5.7 kg。所有被测量者脊柱发育正常,近 12 个月无腰痛或腿痛史。志愿者拍摄前适度活动腰椎后采取站立位,拍摄腰椎过屈过伸位数字 X 线平片,得到的数字图像使用 Scion Image 软件分析测量 ICR 和 PPSI。测量节段为 L1 至 S1。

1.2 ICR 的测量

建立一个局部坐标系来描绘腰椎各相邻节段屈伸活动 ICR 的位置和分布状态(图 1)。首先将每例志愿者的过屈、过伸位 X 线平片,以所测量节段的下位椎体轮廓线为参照重合,重合后所测量节段椎体的过伸位置用灰色部分表示,空白部分表示过屈位位置。该坐标原点 O 设在测量节段下位椎体上终板前后径的中点, X 轴通过该上终板前后径, Y 轴通过原点 O 垂直于 X 轴。以过伸位 X 线平片中所测量椎体的上后角(A)和上前角(B)为标记点,当人体屈曲腰椎后在过屈位 X 线平片中则运动至 A'、B'点,线 AA'、BB'的中垂线

的交点便是此椎体屈伸活动时的 ICR^[5](图 1)。将这个交点到坐标系 X 轴的垂直距离除以下位椎体上终板的前后径所得的百分比便是 ICR 在坐标系中上下位置的分布,在 X 轴以上用正值表示,在 X 轴以下用负值表示。同理,此交点到坐标系 Y 轴的垂直距离除以下位椎体上终板前后径所得的百分比是 ICR 在坐标系中前后位置的分布,在 Y 轴以右用正值表示,在 Y 轴以左用负值表示。百分比绝对值的大小表示离坐标系原点的远近程度。

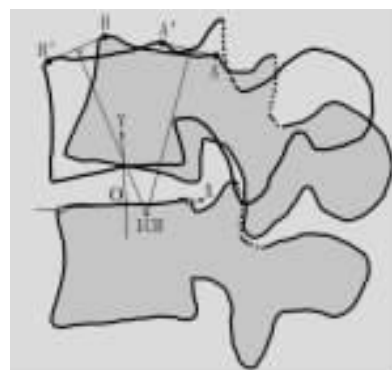


图 1 即时旋转中心(ICR)测量方法示意图:过伸位上位椎体的上前角(B)和上后角(A)作为标记点,腰椎从过伸位至过屈位活动位移用 AA'、BB'表示,两线段的垂直平分线交点为该相邻节段屈伸活动的 ICR。以下位椎体上终板为 X 轴,该终板中点为原点(O),Y 轴通过原点 O 垂直于 X 轴

1.3 PPSI 的测量

在腰椎屈伸位 X 线平片中,PPSI 标记点的选择根据对解剖结构的研究和文献报道设定为矢状位腰椎椎弓根上下宽度的平分线 (①) 与侧位 X 线片中观察到的上下关节突关节面的交点 D^[6,7](图 2)。被测量椎体过伸、过屈位时 PPSI 位置为 C、C', CC'便是测量节段 PPSI 的屈伸位移。相邻节段椎弓根进钉点为 D,连接 D、C 点并延长至可与线 CC'相交,DC 与 CC'的夹角 θ 即为 PPSI 屈伸位移时的倾斜角。PPSI 从 C 以 ICR 为中心旋转

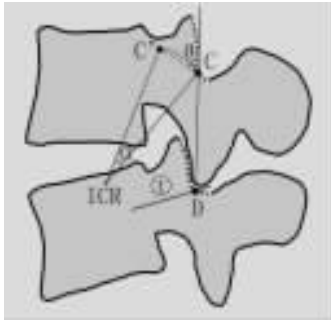


图 2 腰椎椎弓根螺钉进钉点(PPSI)屈伸活动轨迹:矢状位腰椎椎弓根上下宽度的平分线(①)与上下关节突关节面的交点为 PPSI (D),上下相邻两个 PPSI 连线 CD 与 PPSI 位移线段 CC'的夹角为倾斜角 θ , α 为该节段腰椎屈伸活动度

到 C'时所成的夹角 α 即为该腰椎节段的屈伸活动度。

1.4 统计学方法

应用 SPSS 12.0 统计软件包进行分析。计算各指标的平均值、标准差,男女志愿者的身高、椎体终板前后宽度、ICR 分布值、PPSI 位移量行单因素方差分析(One-way ANOVA)。P<0.05 为有显著性差异。

2 结果

各腰椎节段男、女及总体样本 ICR 分布情况见表 1。男性各腰椎节段 ICR 在 X 轴、Y 轴百分比分别与同节段女性比较均无显著性差异 (P>0.05)。男性平均身高大于女性(P<0.01),男性 L2 至 S1 上终板前后径大于女性(P<0.01),而男性各腰椎节段 PPSI 位移值与同节段女性比较并无显

著性差异(P>0.05,表 2)。因此男女 ICR 及 PPSI 数据可以统一进行分析。在矢状位平面前后方向上,总体样本腰椎屈伸活动 ICR 大致位于下位椎体上终板的中心附近,从 L1 至 L5 有逐渐向后分布的趋势;上下方向上,ICR 从 L1 至 L4 逐渐向下分布,由腰椎间盘中部移动至下位椎体上终板以下位置,而 L5 的 ICR 回归至 L5/S1 椎间盘中心(图 3)。

腰椎各节段 PPSI 的位移量、倾斜角、屈伸活动度及旋转半径见表 3。L1 至 L4 PPSI 位移值呈增加趋势,活动倾斜角度(θ)也同时增加,但 L5 的位移值和倾斜角度并没有依照此趋势。各腰椎以 ICR 为中心的 PPSI 旋转半径与腰椎序列无明确关系,L4 最大,L5 最小,腰椎各节段 PPSI 活动轨迹的平均值见图 4。另外各腰椎屈伸活动度 α 从 L1/2 至 L5/S1 呈逐渐增大趋势。

3 讨论

脊柱非融合技术的核心理念是既要去除脊柱退变的疼痛源,又能保持脊柱正常的运动功能,防止邻近节段退变。这就要求该类器械置入患者体内后安全稳定,活动自如,持久耐用。屈伸运动是腰椎活动度最大也是最为重要的生理活动之一。除屈伸活动度外,正确的即时旋转中心的位置将决定器械置入后能否长期安全地为脊柱提供生理活动。有文献报道 ICR 可信区间和位置的分布与颈腰椎疼痛有明确的关系^[8],提示对 ICR 研究的重要性。如果设计此类器械时不精确考虑 ICR 位置,将会出现器械脱出、异位骨化、终板塌陷等后果。

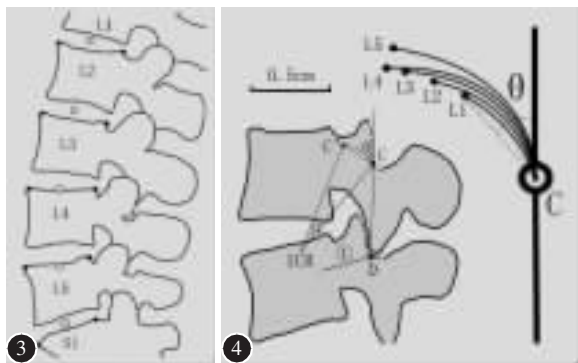
表 1 各腰椎节段男女即时旋转中心(ICR)分布和总体样本 ICR 分布情况与 95%可信区间								($\bar{x}\pm s$)
腰椎节段	ICR在 X 轴百分比(%)				ICR在 Y 轴百分比(%)			
	男 (n=31)	女 (n=30)	总体 (n=61)	总体样本 95%可信区间	男 (n=31)	女 (n=30)	总体 (n=61)	总体样本 95%可信区间
L1/2	5.7±11.8 (-14.2~27.0)	1.1±12.3 (-19.1~25.6)	2.5±11.9 (-19.1~27.0)	-3.8~8.7	9.1±8.8 (-6.6~21.8)	12.4±10.4 (-2.3~25.0)	10.6±9.5 (-6.6~25.0)	6.1~15.2
L2/3	3.2±10.1 (-11.6~21.8)	1.2±11.2 (-15.2~14.6)	2.1±11.6 (-15.2~21.8)	-2.3~7.9	8.7±12.1 (-10.2~27.4)	12.9±10.2 (-7.2~24.6)	9.8±11.5 (-10.2~27.4)	6.2~17.1
L3/4	-2.0±7.7 (-13.4~8.6)	4.5±12.1 (-19.3~22.6)	1.9±11.1 (-19.3~22.6)	-3.4~7.3	0.3±10.4 (-18.9~29.1)	-4.1±11.5 (-22.3~17.1)	-1.8±12.1 (-22.3~29.1)	-7.9~4.4
L4/5	0.6±13.0 (-23.2~23.1)	-2.5±11.9 (-14.7~20.2)	-0.9±11.8 (-23.2~23.1)	-6.8~5.0	-6.9±10.1 (-24.8~14.7)	-7.1±11.7 (-19.6~13.2)	-7.0±10.6 (-24.8~14.7)	-12.1~-1.9
L5/S1	-1.8±11.8 (-10.8~20.0)	-1.1±11.3 (-22.8~20.0)	-1.5±11.6 (-22.8~20.0)	-7.7~6.4	11.9±10.4 (-18.9~25.2)	13.2±12.4 (-10.3~28.0)	12.5±12.2 (-18.9~28.0)	5.9~19.2

注:男性各腰椎节段 ICR 在 X 轴与 Y 轴的分布与同节段女性比较均 P>0.05

表 2 男女各腰椎终板前后径与椎弓根螺钉进钉点 (PPSI) 位移值 ($\bar{x} \pm s$, cm)

腰椎 节段	下位椎体上终板前后径		上位椎体 PPSI 位移值	
	男 (n=31)	女 (n=30)	男 (n=31)	女 (n=30)
L1/2	4.43±0.28 (3.91~4.81)	3.79±0.15 ^① (3.59~4.01)	0.91±0.14 (0.77~1.17)	0.84±0.14 ^② (0.70~1.15)
L2/3	4.53±0.27 (1.04~4.87)	3.88±0.21 ^① (3.48~4.16)	1.18±0.16 (0.99~1.55)	1.10±0.29 ^② (0.75~1.49)
L3/4	4.42±0.21 (3.89~4.58)	3.94±0.16 ^① (3.72~4.17)	1.41±0.16 (1.13~1.73)	1.33±0.26 ^② (0.94~1.66)
L4/5	4.44±0.20 (4.07~4.64)	3.97±0.14 ^① (3.76~4.19)	1.47±0.23 (0.99~1.77)	1.58±0.27 ^② (1.23~2.01)
L5/S1	4.26±0.17 (3.95~4.47)	3.74±0.18 ^① (3.53~4.11)	1.47±0.33 (1.01~1.95)	1.55±0.40 ^② (0.81~2.22)

注:与同节段男性比较①P<0.01,②P>0.05

图 3 腰椎各节段 ICR 分布图中各圆圈及圆圈中的点分别代表各腰椎节段 ICR 分布的 95% 可信区间及平均值
图 4 L1 至 L5 屈伸活动时 PPSI 的运动轨迹 (图右方)表 3 腰椎各节段 PPSI 活动数据 ($\bar{x} \pm s$, n=61)

腰椎 节段	位移量 (cm)	倾斜角 (°)	屈伸活动度 (°)	旋转半径 (cm)
L1/2	0.87±0.14 (0.70~1.17)	38.1±8.1 (10.3~48.5)	10.2±1.9 (7.6~15.2)	5.01±0.51 (4.08~5.84)
L2/3	1.15±0.23 (0.75~1.55)	44.1±7.9 (29.8~55.0)	13.5±2.2 (8.8~18.6)	4.82±0.61 (3.63~5.93)
L3/4	1.37±0.21 (0.94~1.73)	47.5±5.9 (37.8~56.7)	14.5±1.5 (12.1~17.4)	5.45±0.55 (3.91~6.20)
L4/5	1.52 ±0.06 (0.99~2.01)	50.7±6.2 (37.9~59.7)	16.2±2.3 (13.1~21.2)	5.48±0.69 (4.16~6.80)
L5/S1	1.51±0.25 (0.81~2.22)	44.5±5.8 (36.6~57.4)	18.3±4.1 (10.5~25.3)	4.77±0.61 (3.86~5.77)

目前颈腰椎全椎间盘置换装置已研发了很多,并逐步用于临床,取得了令人鼓舞的结果^[9,10]。但这些装置在设计上,重点关注的是腰椎在各个轴向上的活动度和如何更稳定地置入体内,以减少装置滑脱和终板塌陷,还没有仔细考虑过每个

椎体具体的 ICR 分布情况,各节段安装的人工椎间盘的活动中心是一致的^[11]。本研究结果显示,各腰椎 ICR 是在更靠近下位椎体上终板的位置上,程度并不相同,而前后位置上 L1~L5 逐渐偏向后方。在头尾部分布上, L5 更接近椎间盘中间的位置。如果 ICR 的位置设定不准确将会对置入器械产生不良工况,同时也会改变脊柱前中后柱的应力分布^[12,13],从而导致各种并发症的发生,带来严重的后果^[14,15]。这种特殊的 ICR 分布规律要求针对不同节段设计出与该节段特有活动参数相匹配的器械,从而实现非融合节段脊柱正常的活动状态。

对于后路动态固定器械,椎弓根螺钉进钉点位置的屈伸活动轨迹是设计此类器械的重要参考数据,设计出能够准确模拟椎弓根运动路径的装置才能够提供脊柱良好的灵活性。目前脊柱后路动态内固定系统发展很快,如应用时间最长、最广泛的 Dynesys,但其不能提供可靠的后路稳定而使其应用受到局限^[16]。近年来一些新器械大多选择固定其中一个节段,令另一节段做简单的上下活动^[17],如 NFlex 动态稳定系统;或者是利用弹性材料的特性维持椎体活动^[18],如 Stabilimax NZ 后路腰椎椎弓根螺钉动力固定系统;或是利用铰链结构使椎弓根螺钉微动^[19],如 Cosmic 动态稳定系统。但这些椎弓根螺钉系统所提供的活动功能并没有完全符合腰椎在屈伸运动时 PPSI 位置上的运动轨迹,使得这些器械忽略了不同腰椎节段活动具有的差异性,不能使器械较好地模拟脊柱后路活动状态,仅提供了一定的活动空间而并不能达到脊柱的正常生理活动状态,长期置入将可能出现器械与置入椎体之间的应力增加,最终导致置入物的不稳定,活动受限,甚至置入失败^[20],达不到重建效果。PPSI 的运动轨迹具有规律性和特殊性,但需依靠大量正常人体样本测量得出,研发此类非融合器械时也要根据不同腰椎节段后路的活动特点设计,尤其注意 L5/S1 节段的特殊性。

虽然男女样本身高和椎体大小有显著性差异,但男女样本的 ICR 与 PPSI 并无明显差异,提示我们在设计非融合器械时性别差异并不能作为设计规格的影响因素,而是要更加关注各腰椎节段的不同活动特性。本研究中 ICR 的位置被描述为在 X 轴和 Y 轴方向上远离上终板前后径中点(坐标原点)的程度,是实际距离值占上终板前后

径的百分比,具有正负性。期间经过了局部坐标系和数据的转化过程,并不是常规的测量值统计方法,目的是为了能够将所有个体 ICR 的测量值放在标准统一的坐标系中进行比较和统计。如果 ICR 平均值越靠近原点,则值越接近 0,因此从表 1 中直观看来各标准差较大。但根据本研究的方法,表 1 中的标准差和平均值之间进行比较是没有意义的,标准差仅反映了平均值的离散程度。

倾斜角数据说明了椎弓根屈伸运动时有着自后下至前向上运动的特性,这个角度从 L1~L4 不断增大,L5 例外,其倾斜角和 L2 接近,位移值与 L4 比较也没有明显增加,可能是因为 L5/S1 椎间盘前部更宽大,该节段附近的肌肉韧带分布与其他腰椎不同^[21]。有待进一步研究。各腰椎节段屈伸活动度的变化趋势同各节段 PPSI 的位移值、倾斜角变化趋势有部分一致,提示较易测量的腰椎节段屈伸活动度与 PPSI 的运动轨迹之间是否具有相关性,也有待更大样本量的系统分析。

4 参考文献

1. Bae HW,Zhao L,Kanim LE, et al. Intervariability and intravariability of bone morphogenetic proteins in commercially available demineralized bone matrix products [J].*Spine (Phila Pa 1976)*,2006,31(12):1299-1308.
2. Ghiselli G,Wang JC,Bhatia NN,et al.Adjacent segment degeneration in the lumbar spine [J].*J Bone Joint Surg Am*,2004,86-A(7):1497-1503.
3. Younger EM, Chapman MW. Morbidity at bone graft donor sites[J].*J Orthop Trauma*,1989,3(3):192-195.
4. Gillet P.The fate of the adjacent motion segments after lumbar fusion [J].*J Spinal Disord Tech*,2003,16(4):338-345.
5. Reuleaux F.The Kinematics of Machinery:Outlines of a Theory of Machines[M].London:Macmillan,1876.60-67.
6. Karahalios DG, Apostolides PJ, Sonntag VKH. Technique of pedicle screw fixation of the lumbosacral spine[J].*Operative Techniques in Neurosurgery*,1998,1(3):134-141.
7. Phillips FM,Ho E,Cunningham BW. Radiographic criteria for placement of translaminar facet screws[J].*Spine J*,2004,4(4):465-467.
8. Amevo B,Apriil C,Bogduk N. Abnormal instantaneous axes of rotation in patients with neck pain[J].*Spine (Phila Pa 1976)*,1992,17(7):748-756.
9. Nockels RP. Dynamic stabilization in the surgical management of painful lumbar spinal disorders [J].*Spine (Phila Pa 1976)*,2005,30(16 Suppl):S68-S72.
10. Stoll TM,Dubois G,Schwarzenbach O. The dynamic neutralization system for the spine:a multi-center study of a novel non-fusion system[J].*Eur Spine J*,2002,11(Suppl 2):S170-S178.
11. Huang RC,Wright TM,Panjabi MM, et al. Biomechanics of nonfusion implants [J].*Orthop Clin North Am*,2005,36(3):271-280.
12. Adams MA,Dolan P. Spine biomechanics[J].*J Biomech*,2005,38(10):1972-1983.
13. Lemaire JP,Carrier H,Sariail E,et al. Clinical and radiological outcomes with the Charite artificial disc:a 10-year minimum follow-up [J].*J Spinal Disord Tech*,2005,18(4):353-359.
14. Lemaire JP,Skalli W, Lavaste F, et al. Intervertebral disc prosthesis:results and prospects for the year 2000 [J].*Clin Orthop Relat Res*,1997(337):64-76.
15. Van Ooij A,Oner FC,Verbout AJ. Complications of artificial disc replacement:a report of 27 patients with the SB Charite disc[J].*J Spinal Disord Tech*,2003,16(4):369-383.
16. Schmoelz W,Huber JF,Nydegger T,et al. Dynamic stabilization of the lumbar spine and its effects on adjacent segments:an in vitro experiment [J].*J Spinal Disord Tech*,2003,16(4):418-423.
17. Barrey CY,Ponnappan RK,Song J,et al.Biomechanical evaluation of pedicle screw-based dynamic stabilization devices for the lumbar spine:a systematic review [J].*SAS J*,2008,2(4):159-170.
18. Meyers K,Tauber M,Sudin Y, et al. Use of instrumented pedicle screws to evaluate load sharing in posterior dynamic stabilization systems [J].*Spine J*,2008,8(6):926-932.
19. Schmoelz W,Onder U,Martin A,et al.Non-fusion instrumentation of the lumbar spine with a hinged pedicle screw rod system:an in vitro experiment [J].*Eur Spine J*,2009,18(10):1478-1485.
20. Bertagnoli R,Schonmayr R. Surgical and clinical results with the PDN prosthetic disc-nucleus device [J].*Eur Spine J*,2002,11(Suppl 2):S143-S148.
21. Tsuji H,Yoshioka T,Sainoh H.Developmental balloon disc of the lumbar spine in healthy subjects [J].*Spine (Phila Pa 1976)*,1985,10(10):907-911.

(收稿日期:2010-02-01 修回日期:2010-03-12)

(英文编审 蒋欣/郭万首)

(本文编辑 李伟霞)