

# 骨密度与退行性腰椎滑脱症手术疗效的相关性分析

赵兴 周珂 马彦 方向前 赵凤东 徐文斌 范顺武

**【摘要】** 目的 探讨接受腰椎后路椎体间融合术 (posterior lumbar interbody fusion, PLIF) 的退行性腰椎滑脱症患者骨密度 (bone mineral density, BMD) 与术后疗效的相关性。方法 回顾性分析 2006 年 1 月至 2010 年 12 月, 接受 PLIF 术治疗的 69 例退行性腰椎滑脱症患者资料。根据腰椎 BMD, 将患者分为骨量正常组 ( $T \geq -1.0$ ) 33 例 [男 16 例, 女 17 例; 年龄 (56.5±9.0) 岁; L<sub>4,5</sub> 滑脱 20 例, L<sub>5</sub>S<sub>1</sub> 滑脱 13 例] 和骨量减少组 ( $T < -1.0$ ) 36 例 [男 13 例, 女 23 例; 年龄 (60.5±7.8) 岁; L<sub>4,5</sub> 滑脱 21 例, L<sub>5</sub>S<sub>1</sub> 滑脱 15 例]。记录两组患者手术时间、术中出血量及手术并发症等。应用视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS) 评估手术前、后腰腿痛情况; 应用 Roland-Morris (RM) 量表评估患者手术前后功能障碍改善情况。对两组患者的年龄、体重指数、术中出血量、VAS 改善、RM 改善的差异进行比较; 分析不同骨量与性别、年龄、椎弓根螺钉松动、融合器沉降、融合率及病变节段的相关性。**结果** 骨量正常组患者术后 VAS 和 RM 评分分别为 (2.42±0.83) 分和 (4.06±1.34) 分, 骨量减少组 VAS 和 RM 评分分别为 (2.61±1.02) 分和 (4.61±2.39) 分, 与各自术前 VAS 和 RM 评分比较, 差异均有统计学意义。骨量正常组平均出血量 (415.5±105.8) ml, 显著低于骨量减少组 (528.3±128.7) ml, 两组比较差异具有统计学意义。骨量正常组平均手术时间为 (169.7±44.3) min, 骨量减少组平均手术时间为 (176.4±42.6) min, 两组比较差异无统计学意义。骨量正常组的 VAS 和 RM 改善与骨量减少组比较, 差异均无统计学意义。手术出血量与 BMD 呈负相关 ( $r = -0.407, P = 0.001$ ), BMD 越低, 手术出血量越多。而 BMD 与手术时间、VAS 改善、RM 改善、融合器沉降、不融合、螺钉松动等无明显相关性。**结论** 退行性腰椎滑脱症患者接受 PLIF 术治疗时, BMD 与出血量呈负相关, BMD 越低, 手术出血量越多; 其他手术指标和并发症与 BMD 无明显相关性。

**【关键词】** 骨密度; 腰椎; 脊柱融合术

**The correlation between bone mineral density and surgical outcomes of lumbar degenerative spondylolisthesis** Zhao Xing, Zhou Ke, Ma Yan, Fang Xiangqian, Zhao Fengdong, Xu Wenbin, Fan Shunwu. Department of Orthopaedics, SIR RUN RUN SHAW Hospital, Medical College of Zhejiang University, Hangzhou 310016, China

**【Abstract】 Objective** To observe the correlation between bone mineral density (BMD) and surgical outcomes of posterior lumbar interbody fusion (PLIF) for lumbar degenerative spondylolisthesis (DS). **Methods** From January 2006 to December 2010, 69 patients with DS had undergone PLIF by the same surgical team. According the BMD, the cases were divided into two groups. Normal group ( $T \geq -1.0$ ) had 33 cases [Male 16 cases, Female 17 cases; mean age, (56.5±9.0) yrs; L<sub>4,5</sub> 20 cases, L<sub>5</sub>S<sub>1</sub> 13 cases]. The osteopenia group ( $T < -1.0$ ) had 36 cases [Male 13 cases, Female 23 cases; mean age, (60.5±7.8) yrs; L<sub>4,5</sub> 21 cases, L<sub>5</sub>S<sub>1</sub> 15 cases]. Blood loss, surgical duration, intra- and post-operative complications were collected. The clinical improvement was quantified by measurement of pain (visual analogue scale, VAS) and Roland-Morris (RM) Disability Questionnaire. Between two groups, the differences of age, body mass index, blood loss, VAS improvement, and RM improvement were compared. The correlation between BMD and sex, age, segment, screw loose, nonunion, and cage subsidence was analyzed. **Results** In two groups, the difference between pre- and post-operative RM and VAS was significant respectively. The blood loss was 415.5±105.8 ml in normal group, significantly less than 528.3±128.7 ml in osteopenia group. There was no significant difference in the duration between normal group (169.7±44.3 min) and osteopenia group (176.4±42.6 min). The improvement of VAS and RM between two groups had no significant difference. There was a negative correlation between the BMD and blood loss ( $r = -0.407, P = 0.001$ ). The other surgical outcomes (surgical duration, VAS improvement, RM improvement, cage subsidence, nonunion, screw loose and etc.) had no correlation with BMD. **Conclusion** There is a negative correlation between the BMD and blood loss in DS patients managed by PLIF. BMD has no effect on other surgical outcomes.

**【Key words】** Bone density; Lumbar vertebrae; Spinal fusion

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2014.01.007

基金项目: 国家自然科学基金(81171739、81101378、81271971、81271972); 浙江省科技厅公益项目

(2013C33144)

作者单位: 310016 浙江大学医学院附属邵逸夫医院骨科, 浙江大学邵逸夫临床医学研究所

通信作者: 范顺武, E-mail: fansw@srrsh.com

随着人口的老龄化,脊柱疾病中老年患者的比例不断增加<sup>[1-2]</sup>。在美国,1988至2001年,脊柱融合术中60岁以上人群数量增加230%,40~59岁人群增加180%<sup>[3]</sup>。Jakola等<sup>[4]</sup>治疗的腰椎管狭窄患者中,76岁以上患者占43.6%。与年轻人不同,老年患者常伴随更多的躯体疾病,如骨质疏松症、心肺功能障碍、糖尿病等,手术将面临更多的风险和并发症。其中骨量减少是中老年患者最常见的病理状态,可能导致植入物失败、假关节形成等<sup>[2-3,5-7]</sup>。

退行性腰椎滑脱症常导致机械性疼痛和神经症状,如果保守治疗效果不佳,则需要手术治疗。后路腰椎椎体间融合术(posterior lumbar interbody fusion, PLIF)是标准的治疗方案<sup>[8-9]</sup>。该方法通过切除增生的骨赘和突出椎间盘实现彻底减压;植入融合器撑开椎间隙,恢复椎间孔高度和腰椎生理曲度;椎弓根内固定系统的应用,提供了即刻稳定性,为骨性融合创造良好的生物力学环境;同时,手术器械和内固定的联合应用,可实现滑脱复位,恢复脊柱矢状位排列<sup>[10]</sup>。然而,PLIF术的优势均以骨量正常为基础,在骨量减少的中老年人群中是否具有类似的手术效果仍存在争议<sup>[11]</sup>。

文献报道,年龄导致的骨量减少是影响老年退行性腰椎滑脱患者行PLIF术后手术疗效的因素之一<sup>[2,4,6-7,12]</sup>。然而,这些文献均以年龄作为间接推测脊柱骨量的指标,而非以更加客观的指标——骨密度(bone mineral density, BMD)作为判断依据。由于单个个体中BMD数值与年龄趋势并非完全相符,所以用年龄代替BMD讨论脊柱骨量对临床疗效的影响存在较大缺陷。

本研究回顾性分析2006年1月至2010年12月采用PLIF术治疗退行性腰椎滑脱症患者资料,并以BMD作为独立影响因素,目的是:(1)分析PLIF术治疗中老年退行性腰椎滑脱症的手术疗效,(2)探讨骨量变化对临床疗效的影响。

### 资料与方法

#### 一、一般资料

2006年1月至2010年12月,采用PLIF术治疗退行性腰椎滑脱症患者69例,男29例,女40例;年龄35~76岁,平均(58.6±8.6)岁;L<sub>4,5</sub>41例,L<sub>5</sub>S<sub>1</sub>28例;均为单节段轻中度腰椎滑脱。所有患者应用双能X线骨密度仪(Lunar Prodigy, GE公司,美国)测量和记录腰椎BMD。根据世界卫生组织骨质疏松及骨量减少标准<sup>[13]</sup>,将患者分为骨量正常组(T≥-1.0)和骨量减少组(T<-1.0)。具体分组情况见表1,两组患者的性别构成、年龄、体重指数、病变节段等比较,差异均无统计学意义(均P>0.05)。

本组患者临床均表现为腰腿痛,VAS评分4~9分,平均(6.38±1.25)分;其中43例出现不同程度的下肢麻木、无力等症状。本组患者均经正规保守治疗3个月无效,严重影响患者日常工作和生活;均无腰椎手术史、心肺功能严重异常及精神疾病等。

本组患者术前均行X线、CT和(或)MR检查,并均诊断为单节段退行性腰椎滑脱,不伴峡部裂。

#### 二、手术方法

患者全身麻醉,俯卧于手术床,确保腰椎正位能够透视。“C”型臂影像增强器透视,确定腰椎病变节段;体表分别标出双侧上、下椎弓根位置。做双侧棘突旁切口,切口长约3cm,纵向切开皮肤、皮下组织、腰背筋膜,经多裂肌肌束直达椎板,使用微型椎板拉钩牵开,暴露手术区域。利用关节突最低点和人字嵴顶点确定椎弓根螺钉进针点,根据术前对椎弓根宽度的测量结合术中透视,选择最大直径的椎弓根螺钉进行植入,并保证螺钉植入深度超过椎体1/2。撑开器左右交替撑开椎间隙进行滑脱复位,并按照PLIF术的标准步骤处理椎间隙,刮除软骨终板时注意轻柔操作,防止损伤骨性终板。根据椎间隙形态和骨性终板面积,选择两枚最匹配和最大接触面积的融合器,置于终板的后外侧区域,并在融合器前方充填和压实植骨颗粒。最后安装、抱紧连接杆。放置引流管后闭合切口。

手术材料采用Synthes公司(美国)椎弓根钉锁系统和融合器。所有手术由同一组手术医生完成。

#### 三、术后处理

表1 骨量正常组和骨量减少组患者的一般资料

分组	例数	骨密度T值	男/女	年龄(岁)	体重指数(kg/m <sup>2</sup> )	滑脱节段	
						L <sub>4,5</sub>	L <sub>5</sub> S <sub>1</sub>
骨量正常组	33	≥-1.0	16/17	56.5±9.0	25.0±2.5	20	13
骨量减少组	36	<-1.0	13/23	60.5±7.8	23.8±2.4	21	15
统计量	-	-	χ <sup>2</sup> =1.082, P=0.298	t=1.959, P=0.054	t=1.974, P=0.052	χ <sup>2</sup> =0.037, P=0.848	

术后24~48 h拔除引流管后,即在硬质腰围保护下下床活动。请康复科会诊,指导功能锻炼和物理治疗。住院期间予以下肢间歇性气压治疗,预防深静脉血栓形成。术后硬质腰围保护3个月,6个月内避免扭转、过度屈伸等腰部活动。

#### 四、随访方法及评价标准

记录术后并发症,如切口感染、深静脉血栓、硬膜外血肿、肺部感染、心功能衰竭等。术后3、6、12、24个月门诊随访,摄X线和(或)CT评估内固定和融合器松动、移位、断裂、沉降、邻近节段退变等<sup>[14]</sup>。

应用视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)评估手术前、后腰腿痛情况。0分:无痛;1~3分:有轻微的疼痛,能忍受;4~6分:疼痛并影响睡眠,尚能忍受;7~10分:有渐强烈的疼痛,疼痛难忍,影响食欲,影响睡眠。VAS改善=术前VAS评分-术后24个月VAS评分。

应用Roland-Morris(RM)功能障碍问卷表评估患者手术前后功能障碍改善情况<sup>[15]</sup>。该问卷由与下腰痛密切相关的24个问题组成,包括患者的行走、上楼、站立、弯腰、工作、食欲、睡眠、穿衣、精神状态等方面,每个问题分值1分,总分24分。回答“是”得1分,回答“否”得0分。分值越大,说明因下腰痛导致的功能障碍越严重。RM改善=术前RM评分-术后24个月RM评分。

#### 五、统计学分析

应用SPSS 17.0(IBM公司,美国)对所有数据进行统计学分析。应用One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test对数据进行正态性检验。两组患者的年龄、体重指数、术中出血量、术后VAS改善、术后RM改善呈正态性分布,故应用独立样本 $t$ 检验比较

以上指标两组的差异。两组患者的手术时间呈偏态分布,应用Mann-Whitney Test分析两组患者手术时间差异。应用单样本 $t$ 检验分析两组患者术前、术后VAS及RM评分的差异。应用 $\chi^2$ 检验分析两组椎弓根螺钉松动、融合器沉降及不融合率的差异。应用简单相关分析说明BMD与手术疗效(术中出血量、手术时间、术后VAS改善、术后RM改善)的相关性。检验水准 $\alpha$ 值取双侧0.05。

## 结 果

### 一、手术时间及出血量

两组患者均成功施行手术,无一例发生神经损伤、硬脊膜撕裂、脑脊液漏、腹侧血管内脏损伤等术中并发症和切口感染、深静脉血栓、硬膜外血肿、肺部感染、心功能衰竭等术后并发症。术后两组患者均获得至少24个月随访。

骨量正常组平均手术时间为(169.70±44.30)min,骨量减少组为(176.40±42.60)min,两组比较差异无统计学意义( $Z=1.017, P=0.309$ )。骨量正常组平均出血量为(415.50±105.80)ml,骨量减少组为(528.30±128.70)ml,两组比较差异有统计学意义( $t=3.957, P<0.001$ ,表2)。这说明骨量的差异对手术时间无明显影响。

### 二、VAS和RM评分

骨量正常组与骨量减少组VAS和RM改善比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$ ,表2),这表明骨量的差异对PLIF术的手术疗效无明显影响。两组患者手术前、后VAS和RM评分比较,差异均有统计学意义(均 $P<0.001$ ,表3),表明无论是骨量正常还是骨量减少者,在接受PLIF术后均能得到明显的

表2 骨量正常组和骨量减少组手术疗效比较

分组	例数	手术时间(min)	术中出血(ml)	VAS改善(分)	RM改善(分)	松动(例)	沉降(例)	不融合(例)
骨量正常组	33	169.70±44.30	415.50±105.80	3.76±1.68	9.52±3.36	2	3	1
骨量减少组	36	176.40±42.60	528.30±128.70	3.94±1.35	9.56±3.89	3	4	1
统计量	-	$Z=1.017,$ $P=0.309$	$t=3.957,$ $P<0.001$	$t=0.512,$ $P=0.611$	$t=0.046,$ $P=0.963$	$\chi^2=0.132,$ $P=0.716$	$\chi^2=0.077,$ $P=0.781$	$\chi^2=0.004,$ $P=0.950$

表3 骨量正常组和骨量减少组手术前、后VAS和RM评分比较( $\bar{x}\pm s$ )

分组	例数	VAS评分(分)				RM评分(分)			
		术前	术后	$t$ 值	$P$ 值	术前	术后	$t$ 值	$P$ 值
骨量正常组	33	6.12±1.24	2.42±0.83	12.87	<0.001	13.58±3.94	4.06±1.34	16.29	<0.001
骨量减少组	36	6.56±1.25	2.61±1.02	17.52	<0.001	14.17±3.63	4.61±2.39	14.72	<0.001

疼痛和功能改善。

### 三、术后并发症

至末次随访,骨量正常组螺钉松动(椎弓根螺钉周围出现透亮线)2例,分别于术后6、12个月X线随访时证实;融合器沉降3例,均于术后6个月证实;不融合1例,于术后24个月证实。骨量减少组螺钉松动3例,其中1例于术后6个月、2例于术后12个月发现;沉降4例,其中3例于术后6个月、1例于术后12个月发现;不融合1例,于术后24个月发现。两组螺钉松动率、融合器沉降率、不融合率比较,差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$ ,表2)。上述并发症均在X线随访时发现,患者无不适主诉,体格检查无异常发现,因此均未予外科干预治疗。

### 四、BMD与手术疗效的相关性

BMD与手术疗效分析结果显示,手术出血量与BMD呈负相关( $r = -0.407, P = 0.001$ ),说明BMD越低,手术出血量越多。BMD与手术时间( $r = -0.038, P = 0.759$ )、术后VAS改善( $r = -0.040, P = 0.743$ )、术后RM改善( $r = 0.086, P = 0.482$ )无明显相关性。

## 讨 论

### 一、BMD对内固定稳定性的影响

老年脊柱手术患者常伴有骨量减少,可能导致术后内固定失败、假关节形成、邻近节段脆性骨折等并发症,并最终影响手术疗效。Chin等<sup>[5]</sup>测量516例50岁以上接受脊柱手术的亚裔患者,46.1%的男性骨量减少,14.5%骨质疏松;41.4%的女性骨量减少,51.3%骨质疏松。他们认为,脊柱骨量减少增加了术后内固定失败的风险。在本研究组中,骨量减少患者比例高达52.2%(36/69),BMD的这些改变可能对PLIF的手术操作和临床疗效产生影响。

生物力学研究发现,插入椎弓根螺钉的最大扭力和螺钉的把持力与BMD密切相关。当BMD降低时,椎弓根螺钉的力学参数也相应降低,从而导致PLIF术后螺钉松动、拔出风险增加<sup>[1, 5, 16-18]</sup>。Okuyama等<sup>[11]</sup>回顾了52例接受PLIF术治疗的患者资料,结果发现椎弓根螺钉松动患者的BMD明显低于未松动者。但是,研究同时发现,椎弓根螺钉的稳定性除与BMD相关外,还与螺钉直径、植入深度、螺钉设计、术后保护等相关<sup>[1, 11, 18-19]</sup>。

本研究未发现螺钉松动与BMD的相关性,可能与下列因素相关:(1)经研究证实,椎弓根螺钉深度超过椎体1/2时,螺钉的把持力明显增加<sup>[1, 11, 18]</sup>。本研究中,每例患者的椎弓根螺钉深度均超过1/2椎

体。(2)研究发现,螺钉直径越大,稳定性越好<sup>[1, 11]</sup>。本研究中,每例患者术前均测量了椎弓根宽度,术中根据透视并结合术前测量结果,采用最大直径的椎弓根螺钉,增加了稳定性。(3)在腰椎滑脱的复位过程中,我们主要依靠椎间隙交替撑开进行复位,而非椎弓根螺钉的提拉作用,最大程度保护了螺钉稳定性。(4)术后常规应用硬质腰围保护3个月,6个月内避免扭曲等腰部活动,在获得足够稳定性和植骨融合前,提供了最大程度的保护,减少了作用于椎弓根螺钉上的应力,从而降低了松动等并发症。本组病例螺钉松动总发生率为7.2%(5/69),低于文献报道的12%<sup>[1]</sup>。

### 二、BMD对植骨融合的影响

PLIF术后融合器沉降是一个备受关注的并发症,尤其在骨量减少的患者中,可能导致畸形、神经压迫以及不融合等并发症。与融合器界面接触的终板强度是影响沉降最重要的因素。生物力学研究发现,终板强度与BMD密切相关;BMD数值越小,终板强度越低<sup>[20]</sup>。但是在本研究中,与骨量正常患者比较,骨量减少组患者发生沉降的风险并没有明显增加。该结果可能与本研究者的手术操作相关。研究证实,无论是骨量正常还是骨质疏松,终板的后外侧均是强度最大的区域<sup>[20-21]</sup>。本研究中,融合器均置于该强度最大的区域。同时,为完成理想的支撑和融合,需提供至少30%植骨和支撑面积<sup>[22]</sup>。本研究根据终板面积,选择两枚最大接触面积的椎间融合器,并在融合器的前方填充和压实颗粒植骨块,使融合和支撑面积大幅超过30%。此外,我们在撑开椎间隙、处理终板时,特别注意轻柔操作,尤其对骨质疏松症患者,以防损伤骨性终板。另外,研究显示融合器与终板的匹配程度影响稳定性,两者匹配越好,稳定性越佳<sup>[20, 23]</sup>;因此我们选择与椎间隙形状最匹配的融合器。总之,上述操作作为融合器提供了最大的支撑力量、降低了沉降的发生率。

如上描述,在本研究中,椎弓根螺钉提供了即时稳定性,椎间融合器提供了足够的支撑和植骨面积,为最终植骨融合创造了良好的生物力学环境。因此,与骨量正常比较,骨量减少患者不融合及融合器沉降的风险并没有增加(图1)。

### 三、BMD对临床疗效的影响

PLIF术的诸多手术操作涉及到骨的处理,如:椎板和关节突关节切除、终板准备、椎弓根螺钉植入等,因此骨的质量可能影响术中出血和手术时



图1 女,73岁, $L_{4,5}$ 退行性腰椎滑脱,骨密度 $T=-2.8$ ,骨质疏松 a,b 术前侧位X线片及矢状位MRI  $T_2$ 加权像提示腰椎退行性改变,骨质疏松, $L_{4,5}$  I度滑脱,相应椎管狭窄,硬脊膜受压 c,d 术后正、侧位X线片示滑脱大部分复位,内固定位置理想 e,f 术后12个月CT薄层扫描三维重建示椎体间骨性融合,融合器无明显沉降

间。与骨量正常者比较,骨量减少者骨强度降低,因此术中操作可能更加省力、省时;但同时骨量减少者常伴随严重的脊柱退变,如关节突关节增生、硬化等,使得手术操作的解剖标志模糊甚至消失,增加了手术的难度,故本研究中BMD的变化并没有明显影响手术时间。Modi等<sup>[24]</sup>回顾了44例行脊柱侧凸后路矫形术患者资料,结果发现,骨质疏松患者平均出血量是骨量正常组的9倍。本研究发现,术中出血量与BMD呈负相关,BMD越低,出血量越大。不考虑其他基础疾病对出、凝血功能的影响,骨量减少患者的骨小梁变细,骨小梁间隙增加,充血量增多,可能是导致术中出血增加的主要原因。

此外,本研究发现,无论是骨量正常还是减少,手术后VAS和RM评分均得到明显改善;但骨量改变与VAS和RM改善无明显相关性。该结论佐证了目前多数文献报道的老年患者与年轻人的手术疗效比较无明显差异的结论<sup>[2,4,6-7,12]</sup>。我们认为,PLIF术治疗退行性腰椎滑脱满足了减压、稳定和植骨融合的要求,去除引起患者症状的不稳定和神经压迫等问题,患者术后可获得满意的临床疗效。本研究

同时发现,不同骨量的两组患者均无明显术中和术后并发症,如神经损伤、硬脊膜撕裂、腹侧血管和器官损伤、切口感染、硬膜外血肿、深静脉血栓、心功能衰竭、肺部感染等。

综上所述,退行性腰椎滑脱患者接受PLIF术治疗时,BMD与手术出血量呈负相关,而与其他手术指标(手术时间、VAS改善、RM改善)和并发症(融合器沉降、螺钉松动、不融合等)无明显相关性。

### 参 考 文 献

- [1] Becker S, Chavanne A, Spitaler R, et al. Assessment of different screw augmentation techniques and screw designs in osteoporotic spines[J]. *Eur Spine J*, 2008, 17(11): 1462-1469.
- [2] Nanjo Y, Nagashima H, Dokai T, et al. Clinical features and surgical outcomes of lumbar spinal stenosis in patients aged 80 years or older: a multi-center retrospective study[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2013, 133(9):1243-1248.
- [3] Deyo RA, Gray DT, Kreuter W, et al. United States trends in lumbar fusion surgery for degenerative conditions [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005, 30(12): 1441-1447.
- [4] Jakola AS, Sørli A, Gulati S, et al. Clinical outcomes and safety assessment in elderly patients undergoing decompressive laminectomy

- tomy for lumbar spinal stenosis: a prospective study. *BMC Surg*, 2010, 10: 34.
- [5] Chin DK, Park JY, Yoon YS, et al. Prevalence of osteoporosis in patients requiring spine surgery: incidence and significance of osteoporosis in spine disease [J]. *Osteoporos Int*, 2007, 18 (9): 1219-1224.
- [6] Jo DJ, Jun JK, Kim KT, et al. Lumbar Interbody Fusion Outcomes in Degenerative Lumbar Disease : Comparison of Results between Patients Over and Under 65 Years of Age [J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2010, 48(5):412-418.
- [7] Lee P, Fessler RG. Perioperative and postoperative complications of single-level minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion in elderly adults [J]. *J Clin Neurosci*, 2012, 19 (1): 111-114.
- [8] DiPaola CP, Molinari RW. Posterior lumbar interbody fusion [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2008, 16(3): 130-139.
- [9] Sengupta DK, Herkowitz HN. Degenerative spondylolisthesis: review of current trends and controversies [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005, 30(6 Suppl): S71-81.
- [10] Madan SS, Harley JM, Boeree NR. Circumferential and posterolateral fusion for lumbar disc disease [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2003(409): 114-123.
- [11] Okuyama K, Abe E, Suzuki T, et al. Influence of bone mineral density on pedicle screw fixation: a study of pedicle screw fixation augmenting posterior lumbar interbody fusion in elderly patients [J]. *Spine J*, 2001, 1(6):402-407.
- [12] Benz RJ, Ibrahim ZG, Afshar P, et al. Predicting complications in elderly patients undergoing lumbar decompression [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2001(384): 116-121.
- [13] Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group [J]. *World Health Organ Tech Rep Ser*, 1994, 843: 1-129.
- [14] Fogel GR, Toohey JS, Neidre A, et al. Fusion assessment of posterior lumbar interbody fusion using radiolucent cages: X-ray films and helical computed tomography scans compared with surgical exploration of fusion. *Spine J*, 2008, 8(4): 570-577.
- [15] Fan S, Hu Z, Hong H, et al. Cross-cultural adaptation and validation of simplified Chinese version of the Roland-Morris Disability Questionnaire [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37 (10): 875-880.
- [16] Akbay A, Bozkurt G, Ilgaz O, et al. A demineralized calf vertebra model as an alternative to classic osteoporotic vertebra models for pedicle screw pullout studies [J]. *Eur Spine J*, 2008, 17(3): 468-473.
- [17] Andersen T, Christensen FB, Langdahl BL, et al. Fusion mass bone quality after uninstrumented spinal fusion in older patients [J]. *Eur Spine J*, 2010, 19(12): 2200-2208.
- [18] Lee JH, Lee JH, Park JW, et al. The insertional torque of a pedicle screw has a positive correlation with bone mineral density in posterior lumbar pedicle screw fixation [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2012, 94(1): 93-97.
- [19] Weinstein JN, Rydevik BL, Rauschnig W. Anatomic and technical considerations of pedicle screw fixation [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1992(284): 34-46.
- [20] Hou Y, Yuan W. Influences of disc degeneration and bone mineral density on the structural properties of lumbar end plates [J]. *Spine J*, 2012, 12(3):249-256.
- [21] Cvijanovic O, Bobinac D, Zoricic S, et al. Age- and region-dependent changes in human lumbar vertebral bone: a histomorphometric study [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004, 29(21): 2370-2375.
- [22] Javernick MA, Kuklo TR, Polly DW Jr. Transforaminal lumbar interbody fusion: unilateral versus bilateral disk removal--an in vivo study [J]. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*, 2003, 32(7): 344-348.
- [23] Okuda S, Oda T, Miyauchi A, et al. Surgical outcomes of posterior lumbar interbody fusion in elderly patients [J]. *Surgical technique. J Bone Joint Surg Am*, 2007, 89 Suppl 2 Pt.2: 310-320.
- [24] Modi HN, Suh SW, Hong JY, et al. Intraoperative blood loss during different stages of scoliosis surgery: A prospective study [J]. *Scoliosis*, 2010, 5:16.

(收稿日期:2013-09-15)

(本文编辑:闫富宏)