

T1 ρ -MRI 技术评价腰椎不同内固定方式对相邻节段椎间盘退变的影响

魏富鑫¹, 钟锐¹, 王乐¹, 刘少喻^{1*}, 崔尚斌¹, 潘希敏², 孙海兴², 黄阳亮¹
(中山大学附属第一医院 1. 脊柱外科, 2. 放射科, 广东 广州 510080)

摘要:【目的】应用 T1 ρ -MRI 技术定量评价后路腰椎椎间融合固定术(PLIF)与棘突间动态固定术(wallis)对相邻节段椎间盘退变的影响,并分析退变的相关因素。【方法】通过前瞻性研究方法,选取 L4/5 退变性失稳患者 42 例,按随机数字法将患者随机分为 PLIF 组和 Wallis 组,分别为 22 例和 20 例。通过 T1 ρ -MRI 技术以及拍摄 X 线片,测量固定节段上位相邻节段椎间盘髓核 T1 ρ 值、椎间盘高度、椎间隙动态角度变化,并通过 JOA 评分及腰功能障碍指数(ODI)评价临床效果。终末评估时间设为术后 24 个月。【结果】42 例患者均获得随访,Wallis 组手术时间及出血量均少于 PLIF 组,且差异有统计学意义($P < 0.05$)。末次随访,两组 ODI、JOA 评分改善率以及 L3/4 节段影像学退变率均无显著性差异($P > 0.05$);但两组 L3/4 椎间盘 T1 ρ 值末次随访均存在下降趋势,且 PLIF 变化值明显大于 Wallis 组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。【结论】与 PLIF 术式相比,棘突间动态固定(Wallis)具有出血少、用时短等优点,且可显著延缓上位相邻节段椎间盘髓核中 PG 退变趋势,但两者临床效果无显著性差异。

关键词:磁共振;相邻节段;椎间盘退变;内固定;腰椎

中图分类号:R686 文献标志码:A 文章编号:1672-3554(2014)04-0545-07

Analysis of Adjacent Segment Disease after Different Lumbar Instrumented Fusion by Using Magnetic Resonance T1 ρ

WEI Fu-xin¹, ZHONG Rui¹, WANG Le¹, LIU Shao-yu^{1*}, CUI Shang-bin¹, PAN Xi-min², SUN Hai-xing², HUANG Yang-liang¹

(1.Department of Spinal Surgery, 2.Department of Radiology, The First Affiliated Hospital, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510080, China)

Abstract: 【Objective】 To compare the influence of posterior lumbar interbody fusion and wallis interspinous implant on adjacent segment disease, and investigate if the wallis interspinous implant could reduce the adjacent segment disease. 【Methods】 Overall 42 patients with L4/5 degenerative instability were enrolled in this respective study. According to a simple randomized study, 22 patients were treated with posterior lumbar interbody fusion, while 20 patients were managed with wallis interspinous implant. The vertebral height, dynamic intervertebral angle, displacement of slippage of the cranial adjacent segment and T1 ρ value of nucleus pulposus of L3/4 were measured and compared preoperatively, postoperatively and the final follow-up by using magnetic resonance (MRI) and X ray. The clinical results were assessed and compared by using JOA score and Oswestry dysfunction index (ODI). 【Results】 All patients were followed up successfully. The blood loss and operative duration of wallis group were significantly less than that of PLIF group, respectively. There were no significant differences of the recovery rate of ODI, JOA and radiological degenerative rate of L3/4 between the two groups ($P > 0.05$) at final follow-up. The T1 ρ value of nucleus pulposus of L3/4 decreased in both of the two groups at final follow-up, moreover, the PLIF group decreased more significantly than the wallis group ($P < 0.05$). 【Conclusion】 The interspinous (wallis) fixation can decrease the cranial adjacent segment degeneration with less blood loss and operative duration than the PLIF with pedicle screw fixation, however, there are no significant difference of clinical results between the two methods.

Key words: magnetic resonance; adjacent segment; intervertebral disc degeneration; internal fixation; lumbar vertebrae

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2014, 35(4): 545-551]

收稿日期:2014-04-04

基金项目:国家自然科学基金-广东联合基金(U1032001);广东省科技计划项目(2010B031600203);广东省自然科学基金(S2013010015775);广州市黄埔区科技支撑计划(201329-04)

作者简介:魏富鑫,医学硕士,主治医师,研究方向:脊柱外科,E-mail:suifeng720@163.com; *通信作者:刘少喻,E-mail:gzyliu@tom.com

鉴于腰椎间融合术后 (posterior lumbar interbody fusion, PLIF) 导致相邻节段退变的报道屡见不鲜^[1-4], 有学者提出非融合固定技术^[5-6] (即动态固定), 其中棘突间固定系统 (如 wallis、Dynesys 固定系统) 应用较多, 其目的是在限制该节段异常活动的同时, 保证可控制范围内的脊柱运动, 改变运动节段的负荷模式, 从而降低固定术后相邻节段椎间盘退变的发生率^[7-8]。但是, 关于棘突间动态固定系统是否会阻止或延缓相邻节段椎间盘退变仍存在一定争议^[9-10]。针对上述问题, 我们设计前瞻性研究, 采用棘突间 wallis 动态固定术和传统的腰椎椎间融合术 (PLIF) 治疗腰椎单节段退变性失稳患者 42 例, 通过 T1 ρ -MRI 技术定量评价邻近节段椎间盘髓核蛋白多糖 (Proteoglycans, PG) 含量, 并比较其临床效果。目的在于阐述上述两种腰椎不同固定系统对相邻节段椎间盘退变的影响, 并评估 wallis 动态固定是否会延缓相邻节段影像学退变。

1 材料与方法

1.1 纳入和排除标准

纳入标准: ① 年龄范围为 40 ~ 60 岁; ② 腰 4/5 单节段退变性失稳 (动力位 X 线片显示椎体之间成角超过 11° 或滑移 > 3 mm) 导致的下腰痛, 均伴有椎管狭窄或椎间盘突出; ③ MRI 显示腰 4/5 相邻上、下节段无明显椎间盘退变 (Pfirrmann^[11] 分级 \leq 3 级); ④ X 线显示腰 4/5 相邻上、下节段无滑脱、失稳, 参照 University of California at Los Angeles (UCLA) 标准^[12]: 椎间盘退变 \leq II 级) ⑤ 患者症状难以忍受, 保守治疗 4 周无效; ⑥ 随访时间满足术后 36 个月。

排除标准: ① 年龄 < 40 岁, 或 > 60 岁; ② MRI 显示腰 4/5 相邻上、下节段明显椎间盘退变 (Pfirrmann 分级 > 3 级); ③ X 光显示腰 4/5 相邻上、下节段存在滑脱、失稳, 或参照 UCLA 标准: 椎间盘退变 > II 级; ④ X 线显示腰 4/5 椎间滑脱 \geq II 度; ⑤ 合并存在严重的心、肝、肾或血液系统疾病; ⑥ 存在转移瘤或结核等病理因素; ⑦ 患者依从性差, 拒绝术后定期随访者。

1.2 一般资料

自 2007 年 6 月至 2011 年 6 月, 采用上述两种术式固定治疗腰 4/5 单节段退变性失稳患者 42

例, 男 23 例, 女 19 例, 年龄 40 ~ 59 岁, 平均 51.5 岁。均存在难以忍受的下腰痛症状, 其中伴椎间盘突出者 20 例, 伴腰椎管狭窄者 22 例。症状起始至手术时间为 3 ~ 25 个月, 平均 13.6 个月。所有患者术前均行腰椎磁共振、X 线检查, 按 Pfirrmann 分级以及 UCLA 标准对椎间盘进行分级。

1.3 分组

根据随机数字发生器产生随机数字方法按术式将纳入患者分为两组: Wallis 组和 PLIF 组, 末位数是奇数者分入 Wallis 组, 末位数是偶数者分入 PLIF 组。

1.4 手术方法

麻醉后均取俯卧位, 腰稍前凸位, 后正中入路, PLIF 组选择有下肢神经症状侧按常规行椎板间开窗减压 (双侧者行双侧减压)、神经根松解并髓核摘除, 刮除相邻椎体软骨板后, 将自体骨塞入椎间融合器, 行椎体间融合并椎弓根钉固定术。Wallis 组于症状侧向对侧掀开棘上韧带, 咬除棘间韧带后切除黄韧带。对于合并侧隐窝狭窄的患者, 行双侧椎板开窗减压, 直至神经根彻底松弛; 对于术前椎间盘突出明显的患者, 于根性症状侧椎板开窗减压并摘除突出的髓核。然后修整棘突上下缘并打磨椎板, 用撑开器撑开试模后放置合适型号的棘间垫。捆绑带穿过需要固定节段的上下棘间韧带时应尽可能靠近棘突的上缘或下缘, 随后将锁扣逆时针旋转 360° 后固定在棘间垫上, 清脆的“啪”的声音提示锁扣已固定牢靠。顺时针对抗锁紧 2 条捆绑带后, 再次检查锁扣是否牢靠固定在棘间垫上, 并将钛合金圆环压实在距离锁扣 1 ~ 2 mm 的位置 (图 1)。用中钳在固定节段的上下棘突打孔, 并将剥离的棘上韧带复位后通过棘突与对侧棘上韧带缝合。常规放置引流后关闭切口。

1.5 术后处理

术后常规应用抗生素 1 d, 术后 24 ~ 48 h 拔除引流管, 12 ~ 14 d 拆线。术后 3 ~ 5 d 患者可佩戴外固定支具下床活动, 戴支具固定 8 ~ 12 周。3 个月内避免弯腰活动, 3 个月后恢复正常活动。

1.6 随访及评价方法

采用门诊复查的方式进行随访, 术后 1、3、12、24 个月各随访 1 次, 终末评估时间设定为术后第 36 个月。所有患者术前、术后随访均行腰椎磁共振及 X 线检查。

1.7 磁共振影像学评价

磁共振检查使用 Philips 1.5 Tesla MR 仪扫描 (Philips, Best, the Netherlands); 采用 8 通道腰椎线圈。T1WI 和 T2WI 采用快速自旋回波脉冲序列、T2-mapping 技术处理前的 T2WI 图像采集采用多回波 SE (Spin Echo, 自旋回波) 序列、T1 ρ -mapping 采用快速自旋锁定脉冲序列、DCE-MRI 采用矢状位 T1-TSE-SPIR 序列。扫描参数为: T1WI: TE (echo time, 回波时间) 12 ms, TR (repetition time, 重复时间) 540 ms, 视野: 200 mm, 层厚 2 ~ 3 mm; T2WI: TE 100 ms, TR 1 900 ms; 进行磁共振检查后, 收集各项相关的数据。采用 Philips 公司提供的后处理软件对数据进行处理得到 T1 ρ 值图, 再用 Image J 软件手动绘制髓核感兴趣区、伪彩化处理、图像融合并测定 T1 ρ 值(ms), 每个椎间盘

由 3 位不同研究人员各测一次, 然后取平均值。感兴趣区 (Range of interest, ROI) 的绘制在 T2WI 上椎间隙最大的中间层面进行, 尽量包括整个髓核区。

1.8 X 线测量

X 线片上测量以下指标: L3/4 椎间盘高度、椎间隙动态角度和 L3 椎体滑移距离测量方法: 相应椎间盘高度为上、下终板前后缘垂直距离之和的平均值; 椎间隙动态成角为过伸、过屈位 X 线片相邻椎体终板前后缘连线所成角度之和; 椎体间滑移距离为垂直于椎体后缘垂线间的距离。L3/4 节段影像学退变评定标准^[13]: ①与术前相比, 椎间隙高度下降 > 3 mm, 椎间隙动态成角 > 5°; ②动力位 X 线片显示椎体滑移距离 > 3 mm。计算各组最

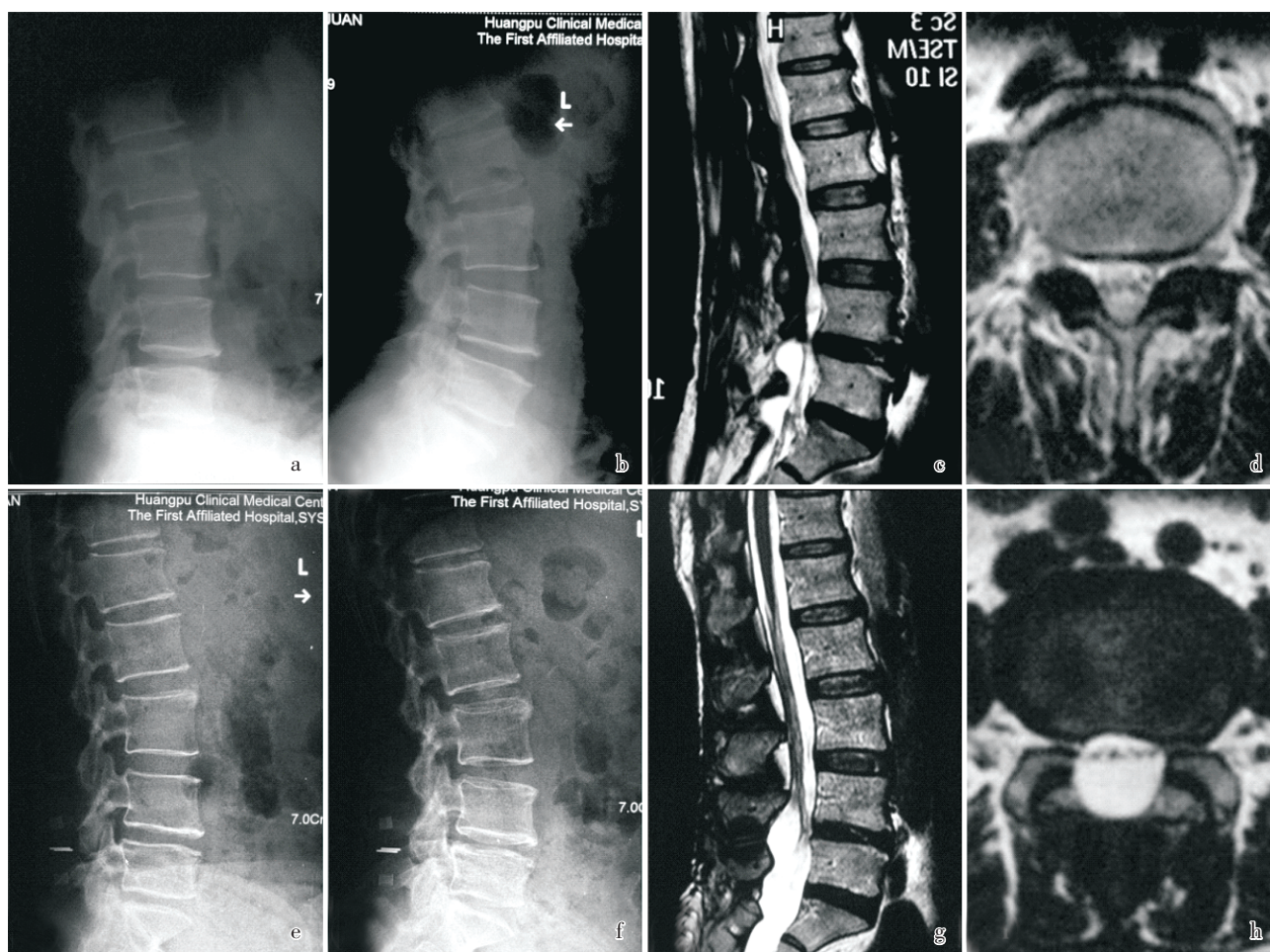


图 1 L4/5 单节段退变性失稳 X 线与 MRI 图

Fig.1 X-ray and MRI of patients with L4/5 degenerative instability

Female, 57 years old. a, b; Preoperative lateral X-rays showed L4/5 degenerative instability; c, d; Preoperative MRI showed that lumbar stenosis at L4/5 due to hypertrophy of ligamentum flavum; e, f; Postoperative lateral X-rays showed good position of internal fixator and stable effects at L4/5 one year after wallis internal fixation; g, h; Postoperative MRI showed good decompression effects of spinal canal at L4/5 two years after operation.

后随访时 L3/4 节段影像学退变率。

1.9 临床评价

所有患者术前、术后及末次随访时采用 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry dysfunctional index, ODI)、JOA 评分进行评估。术后改善率采用 Hirabayashi 方法进行计算:改善率 = (术后评分 - 术前评分) × 100 / (总分 - 术前评分)。

1.10 统计学分析

应用 SPSS 16.0 统计软件包 (SPAA 公司, 美国) 进行统计学处理, 手术前后各变量用 $\bar{x} \pm s$ 来表示。两组内术前与最后随访数据比较采用方差分析 (one way ANOVA) 及均数间多重比较 LSD-*t* 检验 (least significant difference), 两组间术前及末次随访数据比较以及临床功能改善率比较采用 *t* 检验, 最后随访时 L3/4 节段影像学退变率采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组患者术前基本资料

Wallis 组与 PLIF 组患者年龄、性别比例、术前 L3/4 椎间盘 T1 ρ 值均无明显差异 ($P > 0.05$, 表 1)。术中 PLIF 组发生硬膜撕裂 1 例, 给予修补后未见明显脑脊液漏发生; 术后 PLIF 组发生泌尿系

感染 2 例, 经应用抗生素治愈。42 例患者除 1 例因地址变更无法获得随访外, 余均获得随访, 随访率为 97.6%。随访患者均无内固定松脱、神经功能障碍加重、假关节形成等并发症发生。

2.2 手术用时及出血量比较

Wallis 组与 PLIF 组手术时间平均分别为 85.4 (60 ~ 150) min、151.3 (125 ~ 190) min, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); Wallis 组与 PLIF 组术中出血量平均分别为 102 (50 ~ 230) mL、162 (115 ~ 350) mL, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

2.3 影像学评价比较

Wallis 组末次随访 L3/4 节段椎间盘高度、椎间隙动态角度以及 L3 椎体滑移距离与术前相比无明显差异 ($P > 0.05$, 表 2), 同样的趋势存在于 PLIF 组 ($P > 0.05$, 表 2), 两组相应上述指标的术前、末次随访变化值均无显著性差异 ($P > 0.05$, 表 2)。

两组患者术前及术后 1 月 L3/4 节段椎间盘 T1 ρ 值均无明显变化 (两组 P 皆 > 0.05)。末次随访, Wallis 组 T1 ρ 值虽然存在下降趋势, 但较术前差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 而 PLIF 组则较术前相比明显下降, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。两组 T1 ρ 术前、末次随访变化值存在显著性差异 ($P < 0.05$, 表 2)。

表 1 两组患者术前基本资料

Table 1 Demographics and patients' data

Group	No. of patients	Age ($\bar{x} \pm s$)	Gender		UCLA (L3/4)		Pfirrmann (L3/4)		
			Male	Female	I	II	1	2	3
Wallis	20	50.4 ± 8.1	11	9	12	8	7	7	6
PLIF	22	52.6 ± 10.4	12	10	13	9	7	9	6
<i>P</i>	0.83	1.00	0.98		0.67		0.70		

表 2 两组患者术前、术后和末次随访时 L3/4 节段影像学测量指标

Table 2 The radiological outcomes of L3/4 segment before operation, after operation and at the final follow-up period between groups

	Wallis				PLIF			
	Preop	Postop	Follow-up	Changes	Preop	Postop	Follow-up	Changes
Disc height/cm	0.75	0.75	0.65	0.10	0.77	0.78	0.64	0.13 ¹⁾
Dynamic intervertebral angle/(°)	3.86	3.81	4.65	0.79	3.73	3.67	4.61	0.88 ¹⁾
Slippage at the cranial adjacent segment/cm	0.16	0.16	0.24	0.08	0.14	0.10	0.25	0.11 ¹⁾
T1 ρ /ms	111.2	111.5	102.7	8.50	115.4	114.6	96.1	19.3 ²⁾

1) $P > 0.05$ vs. Wallis group; 2) $P < 0.05$ vs. Wallis group

表3 两组患者术前及末次随访临床功能评分比较

Table 3 The clinical outcomes of patients before operation and at final follow up

($\bar{x} \pm s$)

Group	ODI			JOA		
	Preop	Follow up	Recovery rate	Preop	Follow up	Recovery rate
Wallis	36.8 \pm 4.4	8.5 \pm 4.3	76.0 \pm 13.5	12.9 \pm 3.6	15.8 \pm 1.5	68.1 \pm 33.5
PLIF	35.8 \pm 4.9	8.6 \pm 6.4	76.2 \pm 17.0	13.0 \pm 3.2	15.9 \pm 1.9	78.0 \pm 28.8
<i>t</i>	0.65	0.08	0.04	0.16	0.12	1.03
<i>P</i>	0.52	0.97	0.97	0.87	0.91	0.31

按影像学退变评定标准^[13], Wallis 组与 PLIF 组最终随访时分别有 3 例和 5 例出现邻近 L3/4 节段椎间盘退变,退变率分别为 15%、22%,差异无统计学意义($\chi^2 = 14.32, P > 0.05$)。

2.4 临床评价比较

两组患者末次随访 ODI 值以及 JOA 评分均较术前获得明显改善,差异具有统计学意义($P < 0.05$,表 3),两组间末次随访 ODI 值以及 JOA 评分平均改善率无明显差异($P > 0.05$,表 3)。

3 讨论

尽管腰椎融合术为很多患者解除了痛苦,但同时也带来了一些问题,融合术后 ASD 便是其中之一^[1-4]。当某一节段脊柱被融合后,其上下两端就会产生代偿性应力集中,增加该部分的分离倾向和不稳定,导致这些节段的退变加速。影像学上表现为椎间盘变性或突出、椎间隙狭窄、椎体或小关节骨质增生、节段性失稳或滑脱,严重者可出现椎管狭窄^[14]。

随着对 ASD 认识的深入,改变腰椎内固定生物力学环境的动态稳定系统近年来逐渐增多。目的均是使椎间盘及椎间关节应力减小,同时又能限制脊柱部分活动。其中,棘突间撑开装置 Wallis 动态固定系统,因其操作简单、创伤较小,应用逐渐增多,并取得满意临床效果^[15-16]。但关于棘突间动态固定系统是否会减少相邻节段退变仍存在一定争议。Korovessis 等^[15]应用 wallis 固定系统治疗 24 例腰椎退变性失稳患者,发现其与椎弓根钉固定融合术相比可以显著减少相邻节段退变的发生。Schmoelz 等^[17]通过体外实验对棘突间动态固定系统进行研究发现,其在腰椎退变中可以有效维持椎体稳定性,但对相邻节段作用甚微。Kumar 等^[9]分析 32 例患者 2 年随访结果,认为经棘突间

动态固定后相邻节段椎间盘仍继续退变,这种退变可能是疾病本身的发展过程,而不是内固定引起的结果,但以上结果大多停留在影像学宏观改变上,尚无研究从椎间盘髓核蛋白多糖含量变化进行探讨比较。

为进一步明确上述问题,本研究采用体内无创性影像学检测磁共振 T1 ρ 技术探测固定相邻节段椎间盘髓核蛋白多糖含量的变化。研究表明引起椎间盘变性的早期病理因素是髓核蛋白多糖 (proteoglycans, PG) 的丧失^[18]。PG 是保持椎间盘富有弹性和抗压特性的重要软骨基质,而 PG 丢失又是椎间盘退变的最早变化之一。磁共振 T1 ρ 技术可用来量化测定软骨中的 PG,是一种描述水分子在髓核基质大分子中缓慢运动及其交互作用敏感可行的方法^[19-20]。Zuo 等^[21]采用磁共振波谱成像测量正常与退变椎间盘髓核内水及 PG 含量,发现 T1 ρ 与水/PG 峰值比及 PG 含量呈显著相关。本研究结果发现,Wallis 组相邻节段椎间盘 T1 ρ 值最终随访,虽然较术前下降,但是并无显著差异,而 PLIF 组则呈明显下降趋势。由此可以推测,与 PLIF 术式相比,Wallis 动态固定可以减缓其邻近节段椎间盘的退变进程。研究结果也验证了动态固定系统在限制该段异常活动并保证可控制范围内脊柱运动的情况下,通过改变运动节段负荷模式,从而降低固定术后相邻节段椎间盘退变发生率的假说。

尽管既往研究认为,在常规磁共振成像过程中,金属内固定材料的存在会造成图像质量下降并影响检测结果。由于回波时间(TE)是影响图像质量的关键因素,因此,我们在扫描中选择短 TE,同时,选择正中矢状位同样面积的髓核中心(0.75 cm²)作为感兴趣区,最大限度减小感兴趣区域 (ROI) 面积,并采用增加带宽的方式扫描,结果显示,两组患者腰椎间盘 T1 ρ 值在术前及术后首次

复查均无显著变化,提示金属内固定对磁共振 T1 ρ 值测量未构成明显影响。因此,我们认为采用磁共振 T1 ρ 技术评价椎体内固定状态下椎间盘退变程度是可行的。

研究表明,PLIF 术式操作过程中,近端螺钉的置入对邻近下位关节突的干扰是引起邻近椎间盘退变的关键因素之一^[22-23]。Kim 等^[24]通过三维有限元模型检测,发现椎弓根螺钉置入干扰邻近关节突关节后,可明显引起椎间盘内压力和关节突关节负荷增加,因此推测其是导致相邻节段椎间盘退变的不容忽视的因素。Chung 等通过比较人字嵴定位和横突与关节突平分线交点定位两种螺钉置入法,发现前者对关节突关节的侵犯率明显大于后者。因此,本研究 PLIF 组螺钉置入均采用横突与关节突平分线交点定位法,最大限度减小对邻近关节突关节的干扰,以确保研究因素的均衡性。

既往研究表明,脊柱融合固定术后相邻节段椎间盘退变多数发生在术后 2 年。Aota 等^[14]通过随访观察 65 例接受腰椎固定融合术患者,发现术后出现相邻节段失稳等影像学退变的平均时间为 25 个月。Anandjiwala 等^[25]通过随访 74 例接受腰椎固定融合术患者,结果显示出现术后相邻节段椎间盘退变的平均时间为 28.7 个月。鉴于此,本研究将末次随访设定为术后 3 年。另外,本研究同时通过 X 光影像学观察发现,两组患者最终随访邻近节段椎间盘退变率无明显差异。分析认为,术后 3 年尚不足以出现具有统计学差异的影像学宏观改变。这也一定程度侧面证明椎间盘 T1 ρ 值变化在评价椎间盘退变方面较 X 线影像学表现变化更加敏感,可以为我们早期临床干预提供参考依据,更具有临床指导意义。

尽管融合后相邻节段出现退变的发生率较高,但有关其与临床效果之间的相关性仍存在争议^[13]。Okuda 等^[26]对 87 例后路 L4/5 椎体间固定融合患者平均随访 43 个月,发现 29% 的患者显示上位相邻节段出现影像学退变,但临床功能恢复率与未退变组无明显差异。我们曾通过随访观察 49 例后路 L4/5 椎弓根螺钉固定并椎体间融合患者,上位相邻节段影像学退变率为 22%,但退变组与非退变组末次随访时 ODI 与 JOA 评分改善率均无显著性差异。本研究通过观察比较两组患者末次随访时临床功能评分发现,尽管 PLIF 组上位

邻近节段椎间盘退变较 wallis 组明显,但 ODI 值以及 JOA 评分改善率无明显差异。与之前一些文献报道的观点一致。

文献报道腰椎固定术后相邻节段退变多发生在上位相邻节段^[4],因此本研究仅对固定节段上位相邻节段椎间盘退变进行观察评估。研究结果表明,与 PLIF 相比,wallis 动态固定可明显减缓相邻节段退变进程,但两者临床效果之间并无显著差异。但由于条件限制,本研究未设立保守治疗组进行对照研究,因此无法得出上位相邻节段退变是由于固定导致,还是自然退变结果所致的结论,且本研究随访期限仅为中短期随访,例数较少,结论尚需更多高质量的临床研究进一步证实。

参考文献

- [1] Harrop JS, Youssef JA, Maltenfort M, et al. Lumbar adjacent segment degeneration and disease after arthrodesis and total disc arthroplasty [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33(15): 1701-1707.
- [2] Park P, Garton HJ, Gala VC, et al. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004, 29(17): 1938-1944.
- [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] Cheh G, Bridwell KH, Lenke L, et al. Adjacent segment disease following lumbar/thoracolumbar fusion with pedicle screw instrumentation: a minimum 5-year follow-up [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(20): 2253-2257.
- [5] Panjabi M, Henderson G, Abjornson C, et al. Multidirectional testing of one and two-level ProDisc-L versus simulated fusions [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(12): 1311-1319.
- [6] Panjabi M, Malcolmson G, Teng E, et al. Hybrid testing of lumbar CHARITE discs versus fusions [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(9): 959-966.
- [7] Bono CM, Kadaba M, Vaccaro AR. Posterior pedicle fixation based dynamic stabilization devices for the treatment of degenerative diseases of the lumbar spine [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2009, 22(5): 376-383.
- [8] Kanayama M, Togawa D, Hashimoto T, et al. Motion-preserving surgery can prevent early breakdown of adjacent segments: comparison of posterior dynamic

- stabilization with spinal fusion[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2009, 22(7): 463-467.
- [9] Kumar A, Beastall J, Hughes J, et al. Disc changes in the bridged and adjacent segments after Dynesys dynamic stabilization system after two years[J]. *Spine*, 2008, 33(26): 2909-2914.
- [10] S n eg s J, Vital JM, Pointillart V, et al. Long-term actuarial survivorship analysis of an interspinous stabilization system[J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(8): 1279-1287.
- [11] Pfirrmann CW, Metzdorf A, Zanetti M, et al. Magneticresonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration[J]. *Spine*, 2001, 26(17): 1873-1878.
- [12] Ghiselli G, Wang JC, Bhatia NN, Hsu WK, Dawson EG. Adjacent segment degeneration in the lumbar spine [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2004, 86-A(7): 1497-1503.
- [13] Okuda S, Oda T, Miyauchi A, et al. Lamina horizontalization and facet tropism as the risk factors for adjacent segment degeneration after PLIF [J]. *Spine*, 2008, 33(25): 2754-2758.
- [14] Aota Y, Kumano K, Hirabayashi S. Postfusion instability at the adjacent segments after rigid pedicle screw fixation for degenerative lumbar spinal disorders [J]. *J Spinal Disord*, 1995, 8(6): 464-473.
- [15] 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.
- [16] Li CD, Sun HL, Lu HZ. Comparison of the effect of posterior lumbar interbody fusion with pedicle screw fixation and interspinous fixation on the stiffness of adjacent segments [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2013, 126(9): 1732-1737.
- [17] 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.
- [18] Kobayashi Y, Sakai D, Iwashina T, et al. Low-intensity pulsed ultrasound stimulates cell proliferation, proteoglycan synthesis and expression of growth factor-related genes in human nucleus pulposus cell line [J]. *Eur Cell Mater*, 2009, 17(9): 15-22.
- [19] Johannessen W, Auerbach JD, Wheaton AJ, et al. Assessment of human disc degeneration and proteoglycan content using T1rho-weighted magnetic resonance imaging[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006, 31(11): 1253-1257.
- [20] Zuo J, Saadat E, Romero A, et al. Assessment of intervertebral disc degeneration with magnetic resonance single-voxel spectroscopy [J]. *Magn Reson Med*, 2009, 62(5): 1140-1146.
- [21] Zuo J, Joseph GB, Li X, et al. Re: in vivo intervertebral disc characterization using magnetic resonance spectroscopy and T1rho imaging [J]. *Spine*, 2012, 37(3): 214-221.
- [22] Wiltse LL, Radecki SE, Biel HM, et al. Comparative study of the incidence and severity of degenerative change in the transition zones after instrumented versus noninstrumented fusions of the lumbar spine[J]. *J Spinal Disord*, 1999, 12(1): 27-33.
- [23] Chung KJ, Suh SW, Swapnil K, et al. Facet joint violation during pedicle screw insertion; a cadaveric study of the adult lumbosacral spine comparing the two pedicle screw insertion techniques [J]. *Int Orthop*, 2007, 31(5): 653-656.
- [24] Kim HJ, Chun HJ, Kang KT, et al. The biomechanical effect of pedicle screws' insertion angle and position on the superior adjacent segment in 1 segment lumbar fusion [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37(19): 1637-1644.
- [25] Anandjiwala J, Seo JY, Ha KY, et al. Adjacent segment degeneration after instrumented posterolateral lumbar fusion; a prospective cohort study with a minimum five-year follow-up[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(11): 1951-1960.
- [26] Okuda S, Iwasaki M, Miyauchi A, et al. Risk factors for adjacent segment degeneration after PLIF [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004, 29(14): 1535-1540.

(编辑 徐杰)