

解剖学因素在退变性腰椎滑脱发生中的意义

张剑刚, 丁文元, 申 勇, 徐佳欣, 安志辉, 杨少坤

(河北医科大学第三医院脊柱外科 050051 河北省石家庄市)

【摘要】目的:探讨退变性腰椎滑脱(degenerative lumbar spondylolisthesis, DLS)的解剖学危险因素。**方法:**以 2009 年 7 月~2010 年 9 月在我院确诊的 60 例 DLS 患者为观察对象(滑脱组),男 20 例,女 40 例,年龄 51~75 岁,平均 65.3 ± 7.8 岁, L4 滑脱 42 例, L5 滑脱 18 例。以性别和年龄匹配无 DLS 的 60 例健康志愿者为对照(对照组)。在腰椎侧位 X 线片上测量腰椎前凸角(lumbar lordosis angle, LLA)、骶骨水平角(sacral horizontal angle, SHA)及滑脱节段(对照组取相应节段)的椎体指数(lumbar index, LI)、椎间盘角度(disc angle, DA)、椎间盘高度(disc height, DH),在腰椎正位 X 线片上测量 L5 横突的长度(the length of transverse process of L5, TPL)和宽度(the width of transverse process of L5, TPW)。采用 t 检验比较两组间各指标的差异,应用 Logistic 逐步回归分析影响退变性腰椎滑脱的解剖学危险因素。**结果:**滑脱组患者 LLA、SHA、LI、DA、DH 分别 $45.83^\circ \pm 10.42^\circ$ 、 $28.35^\circ \pm 11.16^\circ$ 、 0.85 ± 0.13 、 $7.24^\circ \pm 3.83^\circ$ 、 9.12 ± 2.73 mm;对照组分别为 $47.48^\circ \pm 10.75^\circ$ 、 $23.16^\circ \pm 10.68^\circ$ 、 0.96 ± 0.10 、 $9.68^\circ \pm 5.54^\circ$ 、 10.54 ± 2.48 mm, 两组间 SHA、LI、DA、DH 有显著性差异($P < 0.05$), LLA 无显著性差异($P > 0.05$)。滑脱组 TPL、TPW 分别为 2.15 ± 0.43 cm、 1.64 ± 0.41 cm,对照组为 2.06 ± 0.39 cm、 1.57 ± 0.32 cm,两组间比较无显著性差异($P > 0.05$)。Logistic 回归分析结果显示 DLS 与 LI、DA 有显著性相关关系,回归系数分别为 -1.693、-1.406。**结论:**DLS 患者的 LI 下降,DA 减小,其可能是 DLS 的危险因素。

【关键词】退变性腰椎滑脱;腰椎前凸角;椎体指数;椎间盘高度

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2012.05.13

中图分类号:R681.5,R813 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2012)-05-0443-05

The significance of the anatomical factors in the occurrence of degenerative lumbar spondylolisthesis/ZHANG Jiangang, DING Wenyuan, SHEN Yong, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2012, 22(5): 443-447

【Abstract】Objectives: To analyzed the risk factors of degenerative lumbar spondylolisthesis(DLS). **Methods:** Retrospectively reviewed 60 cases of DLS patients as the case group, from July 2009 to September 2010. Male 20 cases, female 40 cases, age 51-75 years old, averaged 65.3 ± 7.8 years old. Enrolled 60 cases age- and sex-matched volunteers without DLS as the control group. The lumbar lordosis angle(LLA), sacral horizontal angle(SHA), lumbar index(LI), disc angle(DA), disc height(DH) were measured on the lateral radiograph film and the length of transverse process of L5(TPL), the width of transverse process of L5(TPW) were measured on the anterior-posterior radiograph film. The LI, DA, DH of the control group were the parameter of vertebral and disc, which were corresponding to the slippage level of the case group. Examined the differences of these variables between groups and the association between DLS and these variables. **Results:** LLA, SHA, LI, DA, DH of the case group were $45.83^\circ \pm 10.42^\circ$, $28.35^\circ \pm 11.16^\circ$, 0.85 ± 0.13 , $7.24^\circ \pm 3.83^\circ$, 9.12 ± 2.73 mm, and the control group were $47.48^\circ \pm 10.75^\circ$, $23.16^\circ \pm 10.68^\circ$, 0.96 ± 0.10 , $9.68^\circ \pm 5.54^\circ$, 10.54 ± 2.48 mm. SHA, LI, DA, DH had significant differences between groups($P < 0.05$). TPL, TPW of the case group were 2.15 ± 0.43 cm, 1.64 ± 0.41 cm, and TPL, TPW of the control group were 2.06 ± 0.39 cm, 1.57 ± 0.32 cm. There was no significant difference between groups($P > 0.05$). Logistic regression analysis showed statistically significant associations between DLS and LI, DA. The regression coefficients of LI and DA were -1.693, -1.406. **Conclusions:** DLS is significantly correlated with LI and DA. The decline of LI and DA may be the risk factors of DLS.

第一作者简介:男(1985-),硕士研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(0311)88602017 E-mail:280419166@qq.com

通讯作者:丁文元 E-mail:dingwyster@gmail.com

[Key words] Degenerative lumbar spondylolisthesis; Lumbar lordosis; Lumbar index; Disc height

[Author's address] Department of Spinal Surgery, the 3rd Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang, 050051, China

退变性腰椎滑脱 (degenerative lumbar spondylolisthesis, DLS) 是指腰椎退行性变引起的相邻椎体间的滑移, 随着年龄增长发病率增加^[1]。发病初期主要表现为腰痛, 保守治疗大多可获得满意效果。当滑脱加重、合并椎管狭窄, 出现神经根性疼痛、间歇性跛行等临床症状时, 保守治疗往往效果欠佳, 是手术的适应证。文献^[2]报道有 1/3 以上的 DLS、腰椎管狭窄症或两者合并的患者需要接受手术治疗。明确 DLS 的发病机制, 对防止滑脱进一步加重, 降低患者的手术率有重要意义。本研究通过 X 线平片观测患者腰椎解剖学特点, 探讨 DLS 的危险因素。

1 资料与方法

1.1 研究对象

以 2009 年 7 月~2010 年 9 月在我院确诊的 60 例 DLS 患者为研究对象 (滑脱组), 纳入标准: (1) 年龄 50~75 岁; (2) 因腰痛就诊, 初次诊断为 DLS; (3) 腰椎正侧位、双斜位、动力位影像学资料完整、清晰; (4) 单个椎体向前滑移; (5) 未接受过手术治疗。以性别和年龄匹配的无 DLS 的 60 例健康志愿者为对照组。两组均无腰椎移行椎。滑脱组: 年龄 51~75 岁, 平均 65.3 ± 7.8 岁, 男 20 例, 女 40 例, L4 滑脱 42 例, L5 滑脱 18 例。对照组: 年龄 50~75 岁, 平均 66.8 ± 7.0 岁, 男 20 例, 女 40 例。两组间年龄比较无统计学差异 ($P > 0.05$)

1.2 研究方法

两组均拍摄站立位腰椎正侧位 X 线片, 在 X 线片上测量以下参数 (图 1): (1) 腰椎前凸角 (lumbar lordosis angle, LLA), L1 与 S1 上终板的夹角; (2) 骶骨水平角 (sacral horizontal angle, SHA), S1 上终板与水平线的夹角; (3) 椎体指数 (lumbar index, LI)^[3], 目标椎体后缘高度 (VPH)/椎体前缘高度 (VAH); (4) 椎间盘角度 (disc angle, DA), 目标椎体下终板与下位相邻椎体上终板的夹角; (5) 椎间盘高度 (disc height, DH), 目标椎体下终板中点到下位相邻椎体上终板的距离; (6) L5 横突长度 (the length of transverse process of L5, TPL), 椎弓根外侧缘到横突远端的距

离; (7) L5 横突宽度 (the width of transverse process of L5, TPW), 椎弓根外侧缘到横突远端线段的中垂线与横突上下缘两个交点之间的距离。对照组取与滑脱组滑脱节段相对应的椎体、椎间盘测量 LI、DA、DH 等参数。所有测量均由我院影像科同一医师完成, 连续测量两次, 取平均值。

1.3 统计学分析

数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用 SPSS 13.0 软件进行分析。两组间各参数比较采用 t 检验, 应用 Logistic 逐步回归分析 DLS 的危险因素, 入选检验水准 $\alpha = 0.05$, 剔除检验水准 $\alpha = 0.10$ 。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

两组 LLA、SHA、LI、DA、DH、TPL、TPW 见表 1。滑脱组中 L4 滑脱患者与 L5 滑脱患者的 LLA、SHA、LI、DA、DH、TPL、TPW 比较无统计学差异, 对照组 L4 和 L5 的 LLA、SHA、LI、DA、DH、TPL、TPW 亦无统计学差异。合并后进行统计学比较, 两组 SHA、LI、DA、DH 比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 滑脱组 LI、DA、DH 均小于对照组, SHA 大于对照组; 两组 LLA、TPL、TPW 比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。Logistic 逐步回归分析结果见表 2。DLS 与 LI (OR=0.184, 95% CI=0.091~0.371, $P < 0.01$)、DA (OR=0.245, 95% CI=0.108~0.575, $P < 0.01$) 有显著性相关关系。

3 讨论

DLS 多见于中老年人, 女性较男性多^[4]。与峡部裂型腰椎滑脱不同, DLS 患者的椎板完整, 滑脱程度通常不超过下位相邻椎体的 30%^[5]。DLS 易于诊断, 但其病因和治疗尚存争议。以往文献报道大多是通过 CT 或 MRI 分析解剖学参数与 DLS 的关系, 且形成了两种病因学说: (1) 椎间盘的异常; (2) 关节突关节方向的改变^[6-8]。Nagaosa 等^[7]认为关节突关节更偏向矢状位是 DLS 的解剖学基础, 当椎间盘退变, 尤其伴椎间不稳时, 滑脱随之出现。本研究通过腰椎 X 线平片测量 LLA、SHA、LI、DA、DH 等指标, 旨在评价其与 DLS 的关系。



图 1 腰骶解剖学参数测量方法 **a** 在侧位 X 线片上测量: (1)腰椎前凸角 (lumbar lordosis angle, LLA), L1 与 S1 上终板的夹角; (2)骶骨水平角 (sacral horizontal angle, SHA), S1 上终板与水平线的夹角; (3)椎间盘角度 (disc angle, DA), 滑脱椎体下终板与下位相邻椎体上终板的夹角 **b** 在侧位 X 线片上测量: (1)滑脱椎体后缘高度 (VPH); (2)椎体前缘高度 (VAH); (3)椎间盘高度 (disc height, DH), 滑脱椎体下终板中点到下位相邻椎体上终板的距离 **c** 在正位 X 线片上测量: (1)L5 横突长度 (the length of transverse process of L5, TPL), 椎弓根外侧缘到横突远端的距离; (2)L5 横突宽度 (the width of transverse process of L5, TPW), 椎弓根外侧缘到横突远端线段的中垂线与横突上下缘两个交点之间的距离

Figure 1 Method of measuring anthropometric parameters **a** Measured on the lateral radiograph film: (1)lumbar lordosis angle(LLA), the angulation between the superior endplate of L1 and sacrum; (2)sacral horizontal angle(SHA), the angulation of the superior endplate of S1 with respect to a horizontal line; (3)disc angle(DA), the angulation between the inferior endplate of the slipped level and the superior endplate of the slipped level **b** Measured on the lateral radiograph film: (1)posterior height of the slipped vertebrae(VPH); (2)anterior height of the slipped vertebrae(VAH); (3) Disc height (DH), the distance between the midpoint of superior endplate of the slipped level and the midpoint of the inferior endplate of the slipped level **c** Measured on the anterior-posterior radiograph film: (1)the length of transverse process of L5 (TPL), the distance of the transverse process of L5 from the lateral margin of the pedicle to the tip; (2)the width of transverse process of L5(TPW), the distance of the perpendicular bisector of the length line

表 1 滑脱组与对照组腰骶解剖学各参数测量结果

Table 1 Anthropometric parameters between case group and control group ($\bar{x} \pm s$)

	滑脱组 spondylolisthesis group			对照组 control group		
	L4	L5	L4+L5	L4	L5	L4+L5
腰椎前凸角(°) Lumbar lordosis angle(LLA)	45.79±8.74	45.92±9.23	45.83±10.42	47.28±7.94	47.99±8.05	47.48±10.75
骶骨水平角(°) Sacral horizontal angle(SHA)	28.08±8.65	28.98±9.23	28.35±11.16	22.84±7.95	23.87±8.64	23.16±10.68 ^①
椎体指数 Lumbar index(LI)	0.86±0.06	0.83±0.08	0.85±0.13	0.97±0.06	0.94±0.07	0.96±0.10 ^①
椎间盘角度(°) Disc angle(DA)	6.98±2.43	7.84±2.52	7.24±3.83	9.50±3.95	10.10±4.12	9.68±5.54 ^①
椎间盘高度(mm) Disc height(DH)	9.08±1.96	9.21±2.24	9.12±2.73	10.48±1.56	10.68±1.63	10.54±2.48 ^①
L5 横突长度(cm) Length of transverse process of L5(TPL)	2.13±0.32	2.19±0.38	2.15±0.43	1.99±0.31	2.22±0.33	2.06±0.39
L5 横突宽度(cm) Width of transverse process of L5(TPW)	1.62±0.31	1.68±0.35	1.64±0.41	1.54±0.26	1.64±0.27	1.57±0.32

注:①与滑脱组合并后比较 $P < 0.05$

Note: ①Compared with spondylolisthesis group

表 2 Logistic 逐步回归方程分析各参数的估计值

Table 2 The risk factors of degenerative lumbar spondylolisthesis by Logistic regression analysis

	椎体指数 Lumbar index	椎间盘角度 Disc angle
b	-1.693	-1.406
Sb	0.358	0.416
Wald χ^2	22.364	11.423
P	<0.001	<0.001
OR	0.184	0.245
95% CI	0.091~0.371	0.108~0.575

本研究中滑脱组 LLA 为 $45.83^\circ \pm 10.42^\circ$, 对照组为 $47.48^\circ \pm 10.75^\circ$, 在以往文献^[9-11]报道的 LLA 范围之内, 两组间比较无统计学意义。Chen 等^[12]也有相似的研究结果。Murrie 等^[13]用 MRI 测量了 27 例腰痛患者和 29 例无腰痛者的 LLA, 发现两组间没有统计学差异, 并认为 LLA 的下降是一个微弱的临床体征。Kalichman 等^[14]通过 CT 评价腰椎前凸与腰椎退变时发现, 退变性腰椎滑脱与 LLA 没有显著性相关关系, 腰椎 5 个椎体向背侧楔入(椎体腹侧的高度大于背侧的高度时角度向背侧楔入)的角度之和越大, 以及 5 个椎间盘(L1~S1)向背侧楔入的角度之和越小, 滑脱越易发生。

骨盆形态对脊柱-骨盆的平衡有很重要的作用^[15,16]。Schuller 等^[17]发现骨盆前倾角(股骨头中心与骶骨终板中点的连线与骶骨终板垂直线的夹角)、SHA 的大小与 DLS 有关。本研究中拍摄的腰椎侧位 X 线片不包括髋关节, 没有测量骨盆前倾角, 但 SHA 可以在一定程度上反映骨盆前倾角的大小^[16,18,19]。滑脱组的 SHA 大于对照组, 差异有统计学意义。与上述报道相符, 但 SHA 未能进入 Logistic 逐步回归方程, 这可能与样本的选取有关。此外, 本研究侧重退变因素对 DLS 的影响, 而骨盆的形态在人体发育停止以后是不变的, 因此骨盆前倾角也是不变的, 不随人体姿势和骨盆位置的变化而改变, 骨盆形态对 DLS 的影响可能相对不显著。Chen 等^[12]认为先天性脊柱-骨盆失衡的患者, 如骨盆前倾角大的患者, 发生滑脱的时间可能较早, 假如早期没有发生滑脱, 随着年龄的增加, 椎间盘的退变、韧带的松弛影响脊柱-骨盆的平衡, 可能会导致 DLS。

LI 是椎体后缘高度与前缘高度的比值, 反映了椎体的楔形变程度, LI 越小, 椎体向背侧楔入

的角度就越大, 该椎体所承受的向前剪切力也就越大, 椎体发生滑脱的几率增加^[20]。一项前瞻性、随访 20 年的研究^[20]发现, DLS 的患者 LI 较低, 并认为是腰椎滑脱的一个危险因素。本研究中, 滑脱组 LI 小于对照组, Logistic 逐步回归分析 LI 与 DLS 有显著性相关关系, 证实了上述观点。但 Chen 等^[12]通过测量中年女性 DLS 患者滑脱节段下位 LI, 发现滑脱组的 LI 高于相同年龄段的健康女性, 差异有统计学意义, Logistic 回归分析滑脱节段下位椎体的 LI 增加时 DLS 的危险因素, 并认为下位椎体的 LI 越大, 上位椎体承受的剪切力越大, 从而造成滑脱。以上研究结果的差异可能与研究方法、样本的选择等因素有关。

随着年龄增长, 椎间盘的退变会导致 DH 和容积的下降^[9,21], 以及随之出现的腰椎局部不稳, 从而引起椎体滑脱。Jaovisidha 等^[22]对 100 例腰痛患者的观察发现, 当 DLS 出现时, 椎间盘均有不同程度的退变。本研究中滑脱组 DH 均有不同程度的下降, 且与对照组比较有统计学差异, 滑脱组 DA 小于对照组, Logistic 逐步回归分析显示 DLS 与 DA 显著性相关, 而与 DH 无显著相关关系。Chen 等^[12]测量了滑脱节段椎间盘前缘、中点、后缘的高度, 发现 DLS 与椎体前缘高度下降相关, DA 大小与椎间盘前后缘高度有关, 前缘高度的下降会造成角度的变小, 椎间盘退变不仅会引起椎间隙高度的下降, 还会引起 DA 的改变。至于 DLS 患者的椎间盘是否存在前后的不对称性退变, 有待进一步研究。

DLS 好发于 L4、L5 椎体, 且 L4 多于 L5, 这可能与腰骶部韧带有关^[23-25]。Crawford 等^[26]通过尸体研究发现, 腰骶部韧带能保护 L5/S1 椎间盘, L4/S5 椎间盘更易于退变, 因此 L4 椎体更易发生滑脱。Ohmori 等^[25]认为 L5 横突的大小与腰骶部韧带的强度成正相关。本研究测量比较了不同滑脱节段患者的 TPL、TPW, 没有发现统计学差异, 而 Chen 等^[12]的研究发现 L5 滑脱患者的 TPL 大于 L4 滑脱患者的 TPL, 且有统计学差异。研究结果的差异可能与样本有关。尽管 L4 滑脱与 L5 滑脱之间存在着解剖学及生物力学差异, 但两者均有椎体、椎间盘的退变。

综上所述, DLS 与 LI、DA 显著相关, LI 下降和 DA 减小可能是 DLS 的危险因素。但本研究样本量偏小, 只选择单个椎体向前滑脱、无腰骶移行

椎,且无高位椎体滑脱的回顾性研究,可能影响研究结果。其确切关系尚需要前瞻性、大样本的纵向研究进一步分析证实。

4 参考文献

1. Vogt MT, Rubin D, Valentin RS, et al. Lumbar olisthesis and lower back symptoms in elderly white women: the study of osteoporotic fractures[J]. Spine, 1998, 23(23): 2640-2647.
2. Davis H. Increasing rates of cervical and lumbar spine surgery in the United States, 1979-1990[J]. Spine, 1994, 19(10): 1117-1124.
3. Antoniadis SB, Hammerberg KW, DeWald RL. Sagittal plane configuration of the sacrum in spondylolisthesis [J]. Spine, 2000, 25(9): 1085-1091.
4. Grobler LJ, Robertson PA, Novotny JE, et al. Etiology of spondylolisthesis: assessment of the role played by lumbar facet joint morphology[J]. Spine, 1993, 18(1): 80-91.
5. Booth KC, Bridwell KH. Minimum 5-year results of degenerative spondylolisthesis treated with decompression and instrumented posterior fusion[J]. Spine, 1999, 24(16): 1721-1727.
6. Sato K, Wakamatsu E, Yoshizumi A, et al. The configuration of the laminae and facet joints in degenerative spondylolisthesis: a clinicoradiologic study[J]. Spine, 1989, 14(11): 1265-1271.
7. Nagaosa Y, Kikuchi S, Hasue M, et al. Pathoanatomic mechanisms of degenerative spondylolisthesis: a radiographic study [J]. Spine, 1998, 23(13): 1447-1451.
8. 颜廷宾, 张佐伦, 袁泽农, 等. 退变性腰椎滑脱与关节突关节的方向性[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2003, 13(3): 151-153.
9. Lin RM, Jou IM, Yu CY. Lumbar lordosis: normal adults[J]. J Formos Med Assoc, 1992, 91(3): 329-333.
10. Vaz G, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine [J]. Eur Spine J, 2002, 11(1): 80-87.
11. Been E, Barash A, Pessah H, et al. A new look at the geometry of the lumbar spine[J]. Spine, 2010, 35(20): E1014-1017.
12. Chen IR, Wei TS. Disc height and lumbar index as independent predictors of degenerative spondylolisthesis in middle-aged women with low back pain[J]. Spine, 2009, 34(13): 1402-1409.
13. Murrie VL, Dixon AK, Hollingworth W, et al. Lumbar lordosis: study of patients with and without low back pain [J]. Clin Anat, 2003, 16(2): 144-147.
14. Kalichman L, Li L, Hunter DJ, et al. Association between computed tomography-evaluated lumbar lordosis and features of spinal degeneration, evaluated in supine position[J]. Spine J, 2011, 11(4): 308-315.
15. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. The importance of spino-pelvic balance in L5-S1 developmental spondylolisthesis: a review of pertinent radiologic measurements[J]. Spine, 2005, 30(6 Suppl): S27-34.
16. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study[J]. Spine, 2004, 29(18): 2049-2054.
17. Schuller S, Charles YP, Steib JP. Sagittal spinopelvic alignment and body mass index in patients with degenerative spondylolisthesis[J]. Eur Spine J, 2011, 20(5): 713-739.
18. Barrey C, Jund J, Perrin G, et al. Spinopelvic alignment of patients with degenerative spondylolisthesis[J]. Neurosurgery, 2007, 61(5): 981-986.
19. Barrey C, Jund J, Nosedá O, et al. Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases: a comparative study about 85 cases[J]. Eur Spine J, 2007, 16(9): 1469-1470.
20. Saraste H, Brostrom LA, Aparisi T. Prognostic radiographic aspects of spondylolisthesis[J]. Acta Radiol Diagn (Stockh) 1984, 25(5): 427-432.
21. Pfirrmann CW, Metzendorf A, Elfering A, et al. Effect of aging and degeneration on disc volume and shape: a quantitative study in asymptomatic volunteers[J]. J Orthop Res, 2006, 24(5): 1086-1094.
22. Jaovisidha S, Techatipakorn S, Apiyasawat P, et al. Degenerative disk disease at lumbosacral junction: plain film findings and related MRI abnormalities [J]. J Med Assoc Thai, 2000, 83(8): 865-871.
23. Aihara T, Takahashi K, Yamagata M, et al. Does the iliolumbar ligament prevent anterior displacement of the fifth lumbar vertebra with defects of the pars [J]? J Bone Joint Surg Br, 2000, 82(6): 846-850.
24. Aihara T, Takahashi K, Yamagata M, et al. Biomechanical functions of the iliolumbar ligament in L5 spondylolysis[J]. J Orthop Sci, 2000, 5(3): 238-242.
25. Ohmori K, Ishida Y, Takatsu T, et al. Vertebral slip in lumbar spondylolysis and spondylolisthesis: long-term follow-up of 22 adult patients[J]. J Bone Joint Surg Br, 1995, 77(5): 771-773.
26. Crawford NR, Cagli S, Sonntag VK, et al. Biomechanics of grade I degenerative lumbar spondylolisthesis(Part 1): in vitro model[J]. J Neurosurg, 2001, 94(1 Suppl): 45-50.

(收稿日期:2011-11-03 修回日期:2012-01-19)

(英文编审 孙浩林/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)