

临床论著

退变性腰椎侧凸患者矢状面平衡的特点及对腰椎侧凸的影响

吴海龙¹, 郭尔斐¹, 张 帅¹, 梁丙寅¹, 张 斌¹, 武建忠¹, 张立兴¹, 丁文元²

(1 石家庄市第一医院骨科 050000 石家庄市; 2 河北医科大学第三医院脊柱外科 050001 石家庄市)

【摘要】目的:分析退变性腰椎侧凸矢状面平衡参数的特点及其对腰椎侧凸的影响,探讨矢状面平衡参数改变在退变性腰椎侧凸进展中的作用。**方法:**回顾分析 2012 年 3 月~2017 年 3 月经我院诊治的退变性腰椎侧凸患者(病例组)90 例,男 37 例,女 53 例,年龄 51~77 岁(57.1±5.8 岁)。选取同时期、同年龄段及同性别比的无腰椎侧凸的 55 例腰椎退行性疾病患者作为对照组(对照组),男 31 例,女 24 例,年龄 50~76 岁(56.8±6.1 岁)。所有患者均行脊柱全长 X 线检查,同时填写 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)、视觉模拟评分(visual analogue scale/score, VAS)及脊柱侧凸研究学会 22 项(scoliosis research society-22, SRS-22)量表。测量矢状面平衡相关参数:(1)脊柱参数,脊柱矢状轴(sagittal vertical axis, SVA)、胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK)、腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、骶骨倾斜角(sacrum slope, SS);(2)骨盆参数,骨盆入射角(pelvic incidence, PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT);(3)脊柱-骨盆参数, T1 骨盆角(T1 pelvic angle, TPA)、L1 骨盆角(L1 pelvic angle, LPA)。比较两组患者各矢状面平衡参数是否具有统计学差异,分析各矢状面平衡参数与生活质量及腰椎侧凸 Cobb 角的相关性。**结果:**两组患者的 SVA、TK、PI、PT 及 TPA 差异无统计学意义($P>0.05$);SS、LL 及 LPA 差异有统计学意义($P<0.05$)。两组患者 ODI、VAS 及 SRS-22 差异有统计学意义($P<0.05$)。病例组资料相关性分析显示, ODI、VAS 及 SRS-22 与矢状面平衡参数 SS、LL 及 LPA 有显著相关性($-1<r<1, P<0.05$),与 SVA、TK、PI、PT 及 TPA 无显著相关性($P>0.05$);侧凸 Cobb 角与 LL 呈负相关($-1<r<0, P<0.05$);与 SS 及 LPA 均呈正相关($0<r<1, P<0.05$)。进一步回归分析显示,侧凸 Cobb 角与 SS、LL 及 LPA 存在直线回归关系($F=417.331, P<0.01$),其回归方程为 Cobb 角=19.526-8.223×LL+3.727×SS+1.618×LPA。**结论:**退变性腰椎侧凸患者矢状面平衡参数以 LL 和 SS 改变为主,表现为 LL 减小及 SS 增大并随侧凸的加重而进展,降低了患者的生活质量。

【关键词】矢状面平衡;腰椎侧凸;椎间盘退变;生活质量

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.01.03

中图分类号: R682.3 文献标识码 A 文章编号: 1004-406X(2019)-01-0016-05

The characteristics of sagittal balance parameter in degenerative lumbar scoliosis and its effect to lumbar scoliosis/WU Hailong, GUO Erfei, ZHANG Shuai, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2019, 29(1): 16-20

【Abstract】 Objectives: To analyze the characteristics of sagittal balance parameter in degenerative lumbar scoliosis and its effects on lumbar scoliosis, and to explore its characteristics and roles in degenerative lumbar scoliosis. **Methods:** The imaging data of 90 patients who diagnosed primary degenerative lumbar scoliosis in our hospital from March 2012 to March 2017 were retrospectively reviewed as the case group. The imaging data of 55 patients diagnosed as lumbar degenerative diseases excluding lumbar scoliosis were selected as the control group. The two groups were matched with same time period, same age period and same sex ratio and all cases were performed on whole spine X-ray. Oswestry disability index(ODI), visual analog scale(VAS) and SRS-22 questionnaire were completed by the patients. Through software J, the following sagittal balance parameters were measured: sagittal vertical axis(SVA), thoracic kyphosis(TK), lumbar lordosis(LL), pelvic incidence(PI), sacral slope(SS), pelvic tilt(PT), T1 spino-pelvic angle(TPA) and L1 spino-pelvic angle(LPA). The

基金项目:河北省医学科学研究重点课题指令计划(20150161);河北省科技计划自筹经费项目(152777173)

第一作者简介:男(1976-),副主任医师,医学硕士,研究方向:脊柱外科

电话:(0311)86919510 E-mail:helonsuper@163.com

sagittal balance parameters were compared in two groups, and the lumbar Cobb angle and the sagittal balance parameter were analyzed. **Results:** By using paired-*t* test, the overall balance parameter of sagittal plane(SVA, TK, PI, PT, TPA) between the case and control group had no significant difference($P>0.05$), while the local balance parameter of sagittal plane(SS, LL, LPA) between two groups had significant difference($P<0.05$). ODI, VAS and SRS-22 between two groups had significant difference($P<0.05$). Correlation analysis showed that ODI, VAS and SRS-22 had significant correlation ($-1<r<1$, $P<0.05$) with the local balance parameter of sagittal plane(SS, LL, LPA), and had no significant correlation ($P>0.05$) with the overall balance parameters of sagittal plane(SVA, TK, PI, PT, TPA). The lumbar Cobb angle was negatively correlated with LL and LPA($-1<r<0$, $P<0.05$) and positively correlated with SS($0<r<1$, $P<0.05$). Further regression analysis showed that there was a linear regression relationship of Cobb angle with SS, LL and LPA ($F=417.331$, $P<0.01$), and its regression equation was Cobb angle= $19.526-8.223\times LL+3.727\times SS+1.618\times LPA$. **Conclusions:** For the degenerative lumbar scoliosis, the LL and SS are more serious than other sagittal balance parameters and show the decrease of LL and the increase of SS which are worse with the progress of lumbar scoliosis. These changes affect the quality of life of patients.

[Key words] Balance of sagittal plane; Lumbar scoliosis; Intervertebral disc degeneration; The quality of life

[Author's address] The Department of Orthopaedic Surgery, the First Hospital of Shijiazhang, Shijiazhuang, 050000, China

退变性腰椎侧凸 (degenerative lumbar scoliosis, DLS) 发生于中老年人, 既往无脊柱侧凸病史, 成年后继发于椎间盘、终板、关节突不对称退变而出现的原发性腰椎侧凸, 腰椎冠状位侧凸 Cobb 角 $>10^\circ$ 。该病因复杂, 病程相对较长, 呈渐进性进展^[1-3]。研究^[2,3]发现, 退变性腰椎侧凸患者不仅表现为冠状面的侧凸畸形, 也表现为矢状面腰椎前凸角的减小。椎间盘退变是腰椎退行性疾病的始动因素, 椎间盘退变引起了椎间高度丢失、椎间活动度增加及一系列腰椎生物力学的改变, 在影像学上则表现为腰椎前凸减小、胸椎后凸增加、躯干前倾、骨盆后旋等脊柱-骨盆矢状面失衡的表现^[2-5]。脊柱-骨盆矢状面平衡是近年来脊柱外科的研究热点, 尤其对于退变性脊柱侧凸的研究表明矢状面平衡与生活质量有显著相关性^[6]。目前国内外对脊柱-骨盆矢状面平衡的研究主要集中在对平衡参数的测量及临床意义的研究, 而退变性腰椎侧凸是腰椎退变性疾病的特殊类型, 对于退变性腰椎侧凸患者矢状面平衡参数的特点及对腰椎侧凸的影响研究较少。本研究通过观察退变性腰椎侧凸患者的矢状面平衡参数, 研究退变性腰椎侧凸矢状面平衡参数改变的特点, 分析矢状面平衡参数对腰椎侧凸发生发展的影响。

1 资料和方法

1.1 一般资料

病例组纳入标准: (1) 脊柱侧凸 Cobb 角 $>10^\circ$;

(2) 年龄 >50 岁; (3) 影像学资料完整, 且影像学表现符合退变性腰椎侧凸。排除标准: (1) 成人特发性脊柱侧凸患者; (2) 合并脊柱肿瘤、压缩骨折、峡部裂性腰椎滑脱、下肢骨关节疾病及骨盆骨折等; (3) 既往有脊柱手术史; (4) 因各类疾病的严重强迫体位导致侧凸畸形的患者。

2012 年 3 月~2017 年 3 月诊断为退变性腰椎侧凸的患者 90 例纳入本研究。其中男性 37 例, 女性 53 例; 年龄 51~77 岁 (57.1 ± 5.8 岁)。病程 6 个月~35 年, 中位病程 10.6 年。腰椎侧凸 Cobb 角为 $28.7^\circ\pm 15.6^\circ$ 。伴腰椎管狭窄症 61 例; 伴腰椎失稳症 6 例; 伴腰椎间盘突出症 78 例。

选取同时期、同年龄段及同性别比 55 例诊断为腰椎退变性疾病(无腰椎侧凸)的患者的影像学资料作为对照组。对照组无脊柱侧凸或畸形, 无脊柱手术史。男性 31 例, 女性 24 例; 年龄 50~76 岁, 平均 56.8 ± 6.1 岁。伴腰椎管狭窄症 37 例; 伴腰椎失稳症 8 例; 伴腰椎间盘突出症 44 例。

所有患者随访资料齐全, 就诊时均摄自然立位全脊柱正位及侧位 X 线片, 同时填写 Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI)、视觉模拟评分 (visual analogue scale/score, VAS) 及脊柱侧凸研究学会 22 项 (scoliosis research society-22, SRS-22) 量表, 同意参加本研究。

1.2 矢状面平衡参数的测量及评估

采用 Image J 软件测量矢状面平衡参数, 所有影像学测量均由同一个人完成, 连续测量 2 次

后取平均数。(1)脊柱参数:脊柱矢状轴(sagittal vertical axis, SVA), C7 铅垂线至 S1 终板后上角的垂直距离;胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK), T5 椎体上终板与 T12 椎体上终板之间的角度;腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL), L1 椎体上终板与 S1 椎体上终板之间的角度;骶骨倾斜角(sacrum slope, SS), S1 上缘与水平线的夹角。(2)骨盆参数:骨盆入射角(prlbrv incidence, PI), S1 上缘中点至股骨头中心点连线与 S1 上缘中垂线的夹角;骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT), S1 上缘中点至股骨头中心点连线与铅垂线的夹角。测量中如双侧股骨头不重合时,取两侧股骨头中心点连线的中点。(3)脊柱-骨盆参数:T1 骨盆角(T1 pelvic angle, TPA), T1 上终板中点与股骨头中点连线和股骨头中点与 S1 上终板中点连线所形成的夹角;L1 骨盆角(L1 pelvic angle, LPA), L1 上终板中点与股骨头中点连线和股骨头中点与 S1 上终板中点连线所形成的夹角。采用 Cobb 法测量腰椎侧凸 Cobb 角:正位 X 线片侧凸范围内上方倾斜度最大椎体上终板垂线与下方倾斜度最大椎体下终板垂线的夹角(图 1、2)。

1.3 统计学方法

使用 SPSS 16.0 软件分析数据,独立样本 t 检验对两组的矢状面各平衡参数及生活质量评分进行比较,病例组资料中相关性分析采用 Pearson 相关分析,回归分析采用多元线性回归分析。 $P < 0.05$ 为有差异统计学意义。

2 结果

两组患者矢状面平衡参数及生活质量评分的比较见表 1,两组患者的 SVA、TK、PI、PT、TPA 差异无统计学意义($P > 0.05$);LL、SS、LPA 差异有统计学意义($P < 0.05$);ODI、VAS 及 SRS-22 评分差异有统计学意义($P < 0.05$)。

病例组资料相关性分析(表 2)显示,ODI、VAS 及 SRS-2 与矢状面局部平衡参数(SS、LL、LPA)有显著相关性($-1 < r < 1, P < 0.05$),与整体平衡参数(SVA、TK、PI、PT、TPA)无显著相关性($P > 0.05$);侧凸 Cobb 角与 LL 呈负相关($-1 < r < 0, P < 0.05$);与 SS 及 LPA 均呈正相关($0 < r < 1, P < 0.05$)。进一步回归分析显示,侧凸 Cobb 角与 SS、LL 及 LPA 存在直线回归关系($F = 417.331, P < 0.01$),其回归方程为 Cobb 角 = $19.526 - 8.223 \times LL + 3.727 \times$

$SS + 1.618 \times LPA$ 。

3 讨论

近年来,随着脊柱畸形及脊柱生物力学研究的进展,越来越多的医生认识到矢状面平衡的重要性。众所周知,人类在进化过程中逐渐地双足直立行走,脊柱为了适应这一过程,在矢状面上形成了四个生理弯曲,骶椎与髌骨之间为微动关节,生物力学研究往往将其视为一个整体,也称作骨盆椎^[7]。生物力学研究表明^[2,3,8],脊柱的生理弯曲在矢状面上始终保持一种动态平衡,一旦该平衡被打破将导致脊柱矢状面畸形的发生和发展。朱文艺等^[8]通过检索 CNKI、PubMed 和 ELSEVIER 数据库,总结近几年脊柱矢状面平衡参数方面的研究成果,发现脊柱侧凸矢状面平衡的研究提出很多的参数,测量方法逐渐由距离测量向角度和面积测量的变化。乔军等^[9]通过随访 76 例退变性脊柱侧凸的患者发现,TPA 能够反映脊柱-骨盆矢



图 1 冠状位侧凸 Cobb 角的测量 图 2 矢状位平衡参数的测量:SVA, 脊柱矢状轴;TK, 胸椎后凸角;LL, 腰椎前凸角;SS, 骶骨倾斜角;PI, 骨盆入射角;PT, 骨盆倾斜角;LPA, L1 骨盆角

Figure 1 Measurement of convex Cobb angle in the coronal side **Figure 2** Measurement of sagittal balance parameters. SVA for sagittal vertical axis, TK for thoracic kyphosis, LL for lumbar lordosis, SS for sacrum slope, PI for prlbrv incidence, PT for pelvic tilt, LPA for L1 pelvic angle

状面的整体和局部平衡,且矢状面平衡参数与患者的生活质量密切相关。退变性腰椎侧凸是腰椎退变性疾病的一个特殊类型,而且具有脊柱侧凸

表 1 两组患者矢状面平衡参数及生活质量评分的比较的比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of sagittal balance parameters and the quality of life of patients in the two groups

	病例组 (n=90) Case group	对照组 (n=55) Control group
脊柱矢状轴 (mm) Sagittal vertical axis	64.3±42.1	59.6±38.8
胸椎后凸角 (°) Thoracic kyphosis	16.7±11.5	15.4±10.8
腰椎前凸角 (°) Lumbar lordosis	14.1±11.5	39.4±12.8 ^①
骨盆入射角 (°) Prlbrv incidence	45.7±11.5	45.4±10.8
骨盆倾斜角 (°) Pelvic tilt	28.9±10.5	25.4±9.8
骶骨倾斜角 (°) Sacrum slop	17.9±8.5	28.4±7.8 ^①
T1 骨盆角 (°) T1 pelvic angle	21.1±11.5	19.4±9.8
L1 骨盆角 (°) L1 pelvic angle	18.6±8.8	10.4±7.8 ^①
Oswestry 功能障碍指数 (分) Oswestry disability index	38.8±11.8	24.6±8.9 ^①
视觉模拟评分 (分) Visual analogue scale/score	6.9±4.5	4.8±3.9 ^①
脊柱侧凸研究学会 22 项 (分) Scoliosis Research Society-22	48.8±15.9	69.2±10.1 ^①

注:①与病例组相比 $P<0.05$

Note: ①Compared with the case group, $P<0.05$

的特点,研究其矢状面平衡参数的特点对于把握该病的发生、发展和治疗具有重要的意义。本研究通过比较退变性腰椎侧凸及无侧凸的腰椎退变性疾病患者的矢状面平衡参数的特点发现,两组患者的 SVA、TK、PI、PT、TPA 差异无统计学意义 ($P>0.05$);LL、SS、LPA 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。由此可见,退变性腰椎侧凸患者不仅在矢状面平衡上表现为脊柱-骨盆整体功能的代偿性改变,更主要表现为腰椎本身的矢状面功能改变及结构形态学的变化,如矢状面的椎体楔形变、椎间角变小甚至为负角、椎体滑脱、腰骶角变大等一系列的结构形态学改变,最终导致较为严重的腰椎矢状面局部平衡参数改变。退变性腰椎侧凸较无侧凸的腰椎退变性疾病患者表现为更严重的腰椎矢状面局部失衡(LL、SS、LPA),患者的生活质量明显降低。所以退变性腰椎侧凸患者不仅表现为脊柱-骨盆矢状面平衡参数的改变,而且矢状面局部平衡参数改变更为严重,将退变性腰椎侧凸的矢状面平衡参数分为脊柱-骨盆矢状面整体平衡参数(SVA、TK、PI、PT、TPA)和腰椎矢状面局部平衡参数(LL、SS、LPA)具有一定的临床指导意义。

Dubousset 等^[10]最早提出经济圆锥(conus of ecomomy)的概念来描述矢状位平衡在维持人体姿势及躯体平衡中的作用,指出当人体躯干矢状位平衡遭到破坏时,为了保持直立需付出更多的

表 2 病例组资料 ODI、VAS、SRS-22 及 Cobb 角与矢状面平衡参数的相关性分析

Table 2 The correlation analysis of ODI, VAS, SRS-22 and Cobb angle and sagittal balance parameters with the case group data

	Oswestry 功能障碍指数 Oswestry disability index		视觉模拟评分 Visual analogue scale/score		脊柱侧凸研究学会 22 项 Scoliosis Research Society-22		Cobb 角 Cobb angle	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
脊柱矢状轴 Sagittal vertical axis	0.174	0.069	0.191	0.052	0.189	0.056	0.178	0.071
胸椎后凸角 Thoracic kyphosis	0.054	0.547	0.062	0.515	0.051	0.603	0.049	0.784
腰椎前凸角 Lumbar lordosis	0.784	0	0.799	0	0.812	0	0.816	0
骨盆入射角 Prlbrv incidence	0.039	0.742	0.047	0.615	0.041	0.694	0.182	0.07
骨盆倾斜角 Pelvic tilt	0.068	0.547	0.159	0.077	0.063	0.515	0.194	0.053
骶骨倾斜角 Sacrum slop	0.501	0	0.538	0	0.585	0	-0.602	0
T1 骨盆角 T1 pelvic angle	0.168	0.07	0.184	0.056	0.171	0.07	-0.201	0.051
L1 骨盆角 L1 pelvic angle	0.16	0.068	0.19	0.056	0.174	0.07	-0.292	0.002

代价,导致疲劳和疼痛。刘辉等^[1]通过对 126 例腰椎退行性疾病患者的随访观察,发现腰椎间盘退变与脊柱-骨盆矢状面平衡性密切相关,L5/S1 椎间盘退变是引起躯干失衡的重要因素。研究表明,椎间盘退变患者的 SS、LL、TK 和 PT 较正常人群均有显著差异,表现为 SS、LL、TK 减小,PT 增大;反之,矢状面平衡改变也影响椎间盘退变^[5,7,11]。椎间盘-终板不对称退变与腰椎侧凸 Cobb 角密切相关,椎间盘-终板不对称退变是退变性腰椎侧凸发生、发展的重要因素^[1~3]。本研究通过对退变性腰椎侧凸患者的侧凸 Cobb 角与矢状面局部平衡参数的相关性分析显示侧凸 Cobb 角与 SS 呈正相关、与 LL、LPA 呈负相关且存在直线回归关系。由此可见,对于退变性腰椎侧凸患者随着椎间盘-终板不对称退变的加重而导致侧凸的进展,腰椎侧凸的加重出现腰椎矢状面局部平衡参数的改变,表现为腰椎前凸的减小或消失,腰骶角增大导致腰骶部不稳加重,从而进一步恶化椎间盘-终板的不对称退变和腰椎侧凸的进展,最终导致严重的腰椎矢状面局部失衡,出现严重的脊柱畸形和顽固性的腰背痛,严重影响患者的生活质量。本研究显示退变性腰椎侧凸患者较无侧凸的腰椎退变性疾病患者的生活质量明显降低,生活质量与腰椎矢状面局部平衡参数(LL、SS、LPA)有显著相关性。研究表明腰椎局部平衡参数(LL)是影响退变性腰椎侧凸患者生存质量的最重要因素,恢复 LL 是恢复腰椎矢状面平衡的最重要手段^[12,13]。LPA 整合了 LL 减小及 SS 的增大,LPA 的稳定可能提示腰椎局部矢状面平衡的代偿机制,如 LPA 明显减小可能预示腰椎局部矢状面严重失衡,但该推测有待进一步研究。

综上所述,退变性腰椎侧凸患者矢状面平衡参数改变以矢状面局部平衡参数改变为重,是引起腰椎矢状面局部失衡的重要因素,表现为腰椎前凸角减小及腰骶角增大并随侧凸的进展而加重,严重影响患者的生存质量。退变性腰椎侧凸患者脊柱-骨盆矢状面整体平衡与腰椎矢状面局部平衡相互影响,整体失衡是局部平衡的代偿,局部失衡是整体平衡的进展。

4 参考文献

1. Wu HL, Ding WY, Shen Y, et al. Prevalence of vertebral endplate modic changes in degenerative lumbar scoliosis and its associated factors analysis[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2012, 37(23): 1958-1964.
2. 丁文元, 吴海龙, 申勇, 等. 退变性脊柱侧凸椎间盘-终板退变与骨性结构参数的相关性研究及意义 [J]. 中华外科杂志, 2011, 49(12): 1119-1123.
3. 吴海龙, 丁文元, 申勇, 等. 退变性腰椎侧凸两侧椎间高度及关节突矢状角参数特点及其对侧凸等影响[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(7): 573-577.
4. Roussouly P, Nadi C. Sagittal plane deformity: an overview of interpretation and management[J]. Eur Spine J, 2010, 19(11): 1824-1836.
5. Barrey C, Roussouly P, Perrin G, et al. Sagittal balance disorders in severe degenerative spine. Can we identify the compensatory mechanisms?[J]. Eur Spine J, 2011, 20(Suppl 5): 626-633.
6. Schwab FJ, Blondel B, Bess S, et al. Radiographical spinopelvic parameters and disability in the setting of adult spinal deformity: a prospective multicenter analysis[J]. Spine, 2013, 38(13): 803-812.
7. Johnson RD, Valore A, Villaminar A, et al. Sagittal balance and pelvic parameters—a paradigm shift in spinal surgery[J]. J Clin Neurosci, 2013, 20(2): 191-196.
8. 朱文艺, 藏磊, 海涌, 等. 脊柱侧弯矢状面平衡参数的研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2015, 23(13): 1227-1231.
9. 乔军, 邱勇, 朱锋, 等. T1 骨盆角与退变性脊柱侧凸患者脊柱-骨盆矢状面平衡以及生活质量的相关性分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(8): 686-690.
10. Dubousset J, Haddad F, Zeller R, et al. Ischio-vertebral dysplasia: a dangerous syndrome for the spinal cord[J]. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1994, 80(7): 619-625.
11. 刘辉, 希腊本大, 郑召民, 等. 腰椎间盘退变与脊柱-骨盆矢状面平衡的相关性[J]. 中华医学杂志, 2013, 93(15): 1123-1128.
12. 王乃国, 王以朋, 邱贵兴, 等. 短节段融合对退变性腰椎侧凸邻近节段椎间角的影响[J]. 中华外科杂志, 2010, 48(7): 506-510.
13. Murata Y, Takahashi K, Hanaoka E, et al. Changes in scoliotic curvature and lordotic angle during the early phase of degenerative lumbar scoliosis[J]. Spine, 2002, 27(20): 2268-2273.

(收稿日期:2018-01-04 修回日期:2018-10-10)

(英文编审 庄乾宇/贾丹彤)

(本文编辑 姜雅浩)