

基础研究

椎间盘和关节突关节在退变性脊柱侧凸
发生发展中的作用

郑 杰, 杨永宏

(解放军第 117 医院骨一科 310013 杭州市)

【摘要】目的:对退变腰段脊柱尸体标本进行生物力学测试,探讨椎间盘和关节突关节在退变性脊柱侧凸发生和发展中的作用。**方法:**对 39 例腰骶椎(T12~S1)新鲜尸体标本进行 CT 扫描,并行三维重建,测量脊柱侧凸 Cobb 角、椎间隙楔形角(Cobb 角)、关节突关节冠状位角,应用 Ostrix Dicom Viewer 影像系统对椎间盘、关节突退变程度分别根据 Mimura 及 Lane 评分标准评估。利用脊柱力学测试仪以 $\pm 7.5\text{Nm}$ 、 0.005Hz 对本体进行力学加载,获取每个椎间隙屈伸(flexion-extension, FE)、侧屈(lateral bending, LB)及旋转(axial torsion, AT)的活动度(range of motion, ROM)和中性区(neutral zone, NZ),每个测试模式的第三个周期测试结果用于数据分析。将 ROM、NZ 测试数据利用单因素方差分析进行组间比较,将椎间盘退变程度评分、椎间盘形态(椎间隙 Cobb 角)及关节突关节退变程度评分、关节突关节形态(不对称角)与 ROM、NZ 进行 Pearson 相关性分析。**结果:**39 例腰骶椎标本均为退变型,按 Cobb 角分为 3 组:Cobb 角 $>10^\circ$ 为退变性脊柱侧凸组(degenerative scoliosis group, DS 组),共 5 例; $3^\circ \leq \text{Cobb 角} \leq 10^\circ$ 为侧凸前组(pre-degenerative scoliosis group, PS 组),共 9 例;Cobb 角 $<3^\circ$ 为无侧凸组(none scoliosis group, NS 组),共 25 例。总共 187 个脊柱功能单位,其中 38 例存在关节突关节不对称。PS 组及 DS 组 AT 的 ROM 和 NZ 均显著性大于 NS 组($P<0.05$),而 FE 和 LB 的 ROM 与 NZ 均无显著性差异($P>0.05$);椎间盘退变程度与 AT 的 ROM 和 NZ 有显著相关性($P<0.05$),椎间隙 Cobb 角即椎间盘的不对称与 AT 的 ROM 和 NZ 有显著相关性($P<0.05$);关节突关节退变程度与 AT 的 ROM 和 NZ 有显著相关性($P<0.05$);关节突关节的不对称与脊柱 ROM 和 NZ 无显著相关性($P>0.05$)。**结论:**椎间盘和关节突关节的退变均可使脊柱旋转增加,椎间盘退变的不对称可促使脊柱旋转而导致侧凸的形成及进展,关节突关节的不对称形态与侧凸的发生相关性不大。

【关键词】椎间盘;关节突关节;退变;侧凸;生物力学

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.09.09

中图分类号:R681.5, R318.01 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2018)-09-0826-06

Effects of intervertebral disc and articular facet joint on occurrence and development of degenerative scoliosis: a biomechanical analysis on cadaveric spine/ZHENG Jie, YANG Yonghong//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2018, 28(9): 826-831

【Abstract】 Objectives: To investigate the role of intervertebral disc and articular facet joint in occurrence and development of degenerative scoliosis by biomechanical analysis on cadaveric lumbar specimens. **Methods:** A total of 39 fresh cadaveric lumbosacral spines(T12~S1) was evaluated by three-dimensional CT, scoliosis Cobb's angles, wedging angle of discs and orientation of facet joints were measured. The Osirix Dicom imaging system was used to assess the degeneration of intervertebral disc and facet joints with Mimura and Lane's standard. Spine mechanical tests were performed in sinusoidal displacement control with a maximum torque equal to 7.5Nm and a frequency of 0.005Hz , and intervertebral disc range of motion (ROM), neutral zone(NZ) of flexion-extension(FE), lateral bending(LB) and axial torsion(AT) were obtained. Each specimen underwent 3 times of test, and the results of the 3rd test were collected for data analysis. The ROM and NZ

基金项目:浙江省自然科学基金重点项目(LZ15H060001);浙江省科技厅公益项目(2014C33121);原南京军区医疗创新重大专项课题(ZX38);原南京军区重点项目(14ZD45)

第一作者简介:女(1975-),副主任医师,医学博士,研究方向:脊柱外科

电话:(0571)87348641 E-mail:13777868175@126.com

通讯作者:杨永宏 E-mail:yyhong117@163.com

test data were compared among groups by one-way ANOVA. Pearson correlation analysis was performed on the degenerative degree of intervertebral disc, the shape of disc (intervertebral Cobb angle), the degenerative degree of facet joints, the shape of facet joints(asymmetric angle), with ROM and NZ. **Results:** All the 39 lumbar spine specimens were degenerated, among them 5 specimens were in degenerative scoliosis(DS) group with Cobb angles $>10^\circ$, 9 specimens were in pre-degenerative scoliosis(PS) group with Cobb angles between 3° and 10° , and 25 specimens were in none scoliosis(NS) group with Cobb angles $<3^\circ$. Among the total 187 functional spinal units (FSU), 38 pairs of facet joints were asymmetrical. In comparison among the three groups, biomechanical analysis showed that AT in PS group and DS group was significantly greater than that in NS group($P<0.05$), FE and LB had no significant difference among 3 groups($P>0.05$). Correlation analysis showed that the degenerative degree of intervertebral discs and facet joints and the wedging angles of discs were positively correlated to AT($P<0.05$). There was no significant difference between asymmetrical facet joints and spine biomechanical parameters($P>0.05$). **Conclusions:** Degeneration of intervertebral disc and facet joint can cause greater AT, and asymmetric degeneration of intervertebral discs can cause spinal rotation and DS formation. There is no correlation between asymmetric degeneration of facet joints and DS formation.

[Key words] Intervertebral discs; Facet joints; Degeneration; Scoliosis; Biomechanics

[Author's address] Department of Orthopaedics, the 117 Hospital of PLA, Hangzhou, 310013, China

退变性脊柱侧凸 (degenerative scoliosis, DS) 的发病原因至今仍不明确, 目前研究认为年龄^[1]、性别^[2]、种族^[3]、骨质疏松^[4,5]、椎体侧方移位、L5 与骶嵴的位置关系^[6]、不对称的椎间盘退变及 L3 椎体旋转^[6,7]、腰椎前凸角减小、L4 椎体大小及 L4 倾斜角^[1]等均与侧凸的发生、发展有关。大多数学者所公认的病理基础则是椎间盘及关节突关节的不对称退变, 导致了椎体发生倾斜和不正常活动, 从而产生脊柱的不稳和不对称, 形成了脊柱的三维畸形。如果冠状面 Cobb 角超过了 10° 则定义为 DS, 多发于腰段及胸腰段。关于上述病理机制的推断很多都是基于 DS 的临床影像学随访得出, 关于其生物力学方面的研究较少报道。本研究对退变腰段脊柱的尸体标本进行力学测试, 分析椎间盘及关节突关节退变在 DS 发生、发展中的生物力学机制。

1 资料与方法

1.1 实验标本来源及处理

本实验在美国阿勒格尼综合医院神经外科脊柱生物力学研究所进行, 所有标本由美国 ASRI 解剖使用委员会批准, 符合该机构标准, 所用方法均按照相关的指导方针和规定进行, 并且从所有符合美国科学捐赠人体组织法律的志愿者中获得了知情同意, 无伦理争议。本研究共计 39 例新鲜尸体标本, 包括 T12~S1 全节段腰椎, 双层塑料袋密封 -20°C 冰箱冷藏。女性 19 例, 男性 20 例, 年龄 44~74 岁 (59.6 ± 8.0 岁), 身高为 104.1~190.5cm

($167.4\pm 14.7\text{cm}$), 体重 40.5~153.5kg ($96.8\pm 35.8\text{kg}$)。试验前 24h 标本放置室温解冻, 去除标本上的肌肉组织, 韧带组织予以保留。对所有标本进行 CT 扫描, 层厚 0.6mm, 利用 Scan IP (Version 6.0, Simpleware, Exeter, 英国) 进行三维重建, 之后进行脊柱侧凸 Cobb 角、椎间隙楔形角 (Cobb 角) 及关节突关节冠状位角度的测量 (图 1~3), 利用 Ostrix Dicom Viewer 影像系统 (Version 6.5, Pixmeo, 瑞士) 对椎间盘及关节突关节退变程度分别根据 Mimura^[8] 及 Lane^[9] 评分标准进行影像学退

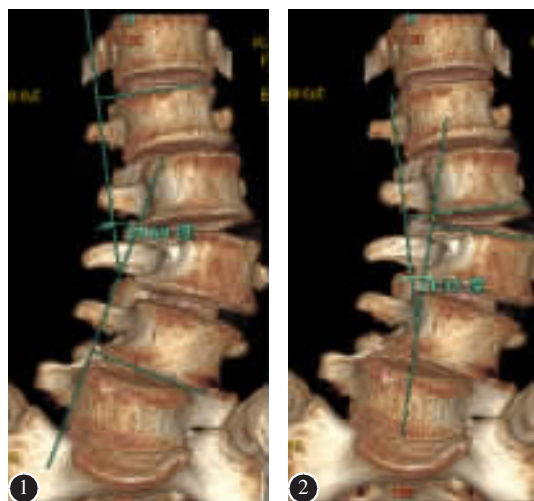


图 1 脊柱侧凸 Cobb 角的测量方法 图 2 椎间隙楔形角的测量方法

Figure 1 Measurement of Cobb angle in scoliosis

Figure 2 Measurement of wedge angle in intervertebral space

变程度评估(表 1、2)。

1.2 测试方法及数据采集

固定标本 T12 及骶骨,保留 L1~S1 完整椎间盘(图 4),椎体前方放置四个红外发光二极管(LED),插在精密加工的铝合金跟踪体内。力学试验采用 6 个自由度的脊柱测试仪(Bose,智能测试系列,Eden Prairie,MN)进行,将固定好的标本置于气动控制的双轴测试框架内(图 5),以±7.5Nm、0.005Hz 进行三个周期的正弦加载,每个测试模式的前两个周期用于标本的预处理,第三个周期所采集的数据用于分析。整个实验过程用 Optotrak Certus motion capture system(Optotrak, Northern Digital Instruments, Waterloo, ON, 加拿大)以 10Hz、0.1mm 的精确度记录每个椎体的位置和方向,以获取每个椎间隙屈伸(flexion-extension, FE)、侧屈(lateral bending, LB)及旋转(axial torsion, AT)的活动度(range of motion, ROM)和中性区(neutral zone, NZ)。

1.3 统计学分析

所有数据采用 SPSS 统计软件 (Version 22, IBM, Armonk, 纽约)处理,将 ROM、NZ 测试数据

利用单因素方差分析进行组间比较,将椎间盘退变程度评分、椎间盘形态(椎间隙 Cobb 角)及关节突关节退变程度评分、关节突关节不对称角与 ROM、NZ 进行 Pearson 相关性分析, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

39 例腰椎标本按照 Mimura^[8]标准评估均为退变型,脊柱功能单位(functional spinal unit,

表 1 腰椎间盘退变的正侧位影像学评分

Table 1 Radiographic grading of lumbar disc degeneration on lateral and antero-posterior views

椎间盘高度变化 Disc height changes	骨赘形成 Osteophyte formation	终板硬化 Endplate sclerosis
0=正常 0=Normal	0=0 分 0=0 point	0=无 0=None
1=轻微(>75%) 1=Mild (>75%)	1=1~4 分 1=1-4 points	1=单侧终板 1=Either endplate
2=中度(>50%) 2=Moderate (>50%)	2=5~8 分 2=5-8 points	2=双侧终板 2=Both endplate
3=严重(>25%) 3=Severe (>25%)	3=9~12 分 3=9-12 points	
4=非常严重 4=Very severe (<25%)	4=13~16 分 4=13-16 points	

注:①骨赘的评分:将相邻 2 个椎体的前后、上下 8 个边缘的骨赘情况进行总和评估:无骨赘为 0 分,骨赘<3mm 为 1 分,≥3mm 但<6mm 为 2 分,≥6mm 为 3 分;②根据椎间盘高度、骨赘、硬化分值的总和,每个椎间盘的评分分为 1~4 级:1 级,0~1.5 分;2 级,2.0 ~3.5 分;3 级,4.0~6.0 分;4 级,>6.0 分

Note: ①Osteophyte formation evaluation: Sum of points of eight edges. No osteophytes: 0 points; <3mm: 1 point; ≥3mm but <6mm: 2 points; ≥6mm: 3 points. ②According to the sum of the disc height, osteophyte, and sclerosis scores, each disc was graded on a scale of 1 to 4 with: Grade 1, 0.0 to 1.5 points; Grade 2, 2.0 to 3.5 points; Grade 3, 4.0 to 6.0 points; Grade 4, >6.0 points

表 2 关节突关节退变在 CT 扫描的分级

Table 2 Grading of lumbar facet joint degeneration on CT scans

分级 Grade	CT 表现 CT scans
0 级 Grade 0	正常 Normal
1 级 Grade 1	关节间隙变窄(轻度退变性疾病) Joint space narrowing (mild degenerative disease)
2 级 Grade 2	间隙变窄加硬化或肥大(中度退变性疾病) Narrowing plus sclerosis or hypertrophy (moderate degenerative disease)
3 级 Grade 3	严重的关节炎伴随间隙变窄,硬化,肥大(重度退变性疾病) Severe osteoarthritis with narrowing, sclerosis and osteophytes (severe degenerative disease)

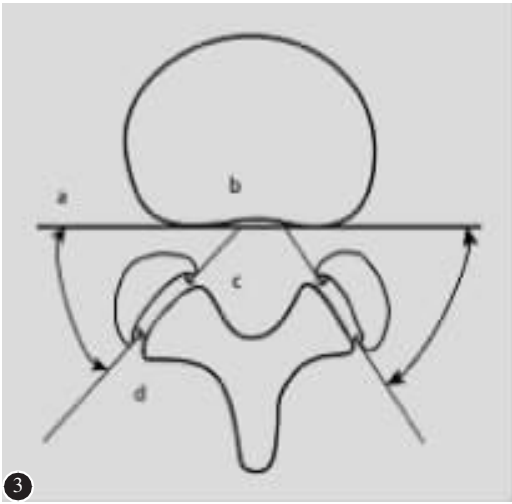


图 3 关节突关节角度测量方法:直线 ab 为通过椎体后缘的水平线;直线 cd 连接关节突关节的两个点,c 代表通过关节突关节前内侧缘部分,d 代表关节突关节后外侧的部分。ab 连线与 cd 连线所形成的角度即为关节突关节角

Figure 3 Measurement of facet joint angle: Line ab was drawn tangential to the posterior vertebral body. Line cd connected 2 points at the facet joint: the anteromedial part of the facet(c) and the posterolateral part of the facet (d). The facet orientation angle was measured at the junction of these 2 lines(angle abcd)

FSU)退变指数 ≥ 3 。按照 ScanIP 软件测量的每个椎间隙的楔形角,对 $>3^\circ$ 的椎间隙所在的整个腰段脊柱进行评估,将整个脊柱节段进行 CT 三维重建,确定上下终椎,利用与传统 X 线片 Cobb 角测量方法相同的方法进行测量,将其中 Cobb 角度 $>10^\circ$ 称为退变性脊柱侧凸组(DS 组),共 5 例; $3^\circ \leq$ Cobb 角 $\leq 10^\circ$ 称为侧凸前组(PS 组),共 9 例;Cobb 角 $<3^\circ$ 称为无侧凸组(NS 组),共 25 例。所有标本共 195 个脊柱功能单位(FSU),其中存在 38

个关节突关节不对称。PS 组及 DS 组 AT 的 ROM 和 NZ 均显著性大于 NS 组($P<0.05$),而 FE 和 LB 三组间无显著差异(表 3, $P>0.05$)。椎间盘退变程度与 AT 的 ROM 和 NZ 有显著相关性($P<0.05$);椎间隙 Cobb 角与 AT 的 ROM 和 NZ 有显著相关性($P<0.05$);关节突关节退变程度与 AT 的 ROM 和 NZ 有显著相关性($P<0.05$);关节突关节的不对称与脊柱的 ROM、NZ 均无显著相关性(表 4, $P>0.05$)。

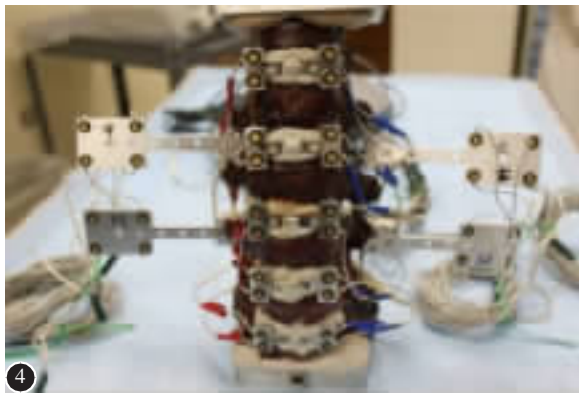


图 4 测试标本的固定及电极安放
图 5 脊柱生物力学测试仪

Figure 4 Fixed specimens and electrode placement of test

Figure 5 Spinal biomechanical test instrument

表 3 三组脊柱功能单位 ROM 和 NZ 的比较

($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

Table 3 Comparison of ROM and NZ between different groups

	FSU	脊柱活动度 ROM			中性区 NZ		
		旋转 AT	屈伸 FE	侧屈 LB	旋转 AT	屈伸 FE	侧屈 LB
退变性脊柱侧凸组 DS group	25	5.22 $\pm$ 3.00	9.78 $\pm$ 3.50	9.53 $\pm$ 2.81	5.22 $\pm$ 3.00	9.78 $\pm$ 3.50	9.53 $\pm$ 2.81
侧凸前组 PS group	43	4.7 $\pm$ 2.48	9.74 $\pm$ 3.74	9.23 $\pm$ 3.12	4.7 $\pm$ 2.48	9.74 $\pm$ 3.74	9.23 $\pm$ 3.12
无侧凸组 NS group	119	3.72 $\pm$ 2.15 ^{①②}	9.45 $\pm$ 3.59	8.51 $\pm$ 2.77	3.72 $\pm$ 2.15 ^{①②}	9.45 $\pm$ 3.59	8.51 $\pm$ 2.77

注:①与退变性脊柱侧凸组比较 $P<0.05$;②与侧凸前组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with DS group, $P<0.05$; ②Compared with PS group, $P<0.05$

表 4 椎间盘退变、椎间盘形态、关节突关节退变、关节突关节不对称角与 ROM、NZ 的相关性

Table 4 Intervertebral disc degeneration, disc morphology, facet joint degeneration, facet joint morphology and ROM, NZ correlation

	脊柱活动度 ROM						中性区 NZ					
	旋转 AT		屈伸 FE		侧屈 LB		旋转 AT		屈伸 FE		侧屈 LB	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
椎间盘退变评分 Disc degeneration score	0.349	0	0.093	0.208	-0.017	0.819	0.380	0	0.198	0.007	0.196	0.007
椎间隙 Cobb 角 Cobb angle of intervertebral space	0.138	0.059	0.134	0.068	0.027	0.714	0.166	0.023	0.108	0.142	0.074	0.314
关节突关节退变评分 Articular process degeneration score	L 0.094	0.059	-0.127	0.083	-0.152	0.037	0.151	0.039	-0.045	0.543	0.007	0.927
	R 0.131	0.074	0.056	0.447	-0.045	0.538	0.168	0.022	0.096	0.192	0.139	0.059
关节突关节不对称角 Asymmetrical angle of articular process joint	0.033	0.851	-0.074	0.671	0	0.999	0.003	0.988	-0.213	0.220	-0.057	0.745

3 讨论

目前对于 DS 的病理基础,多数学者认为其基于椎间盘及关节突关节的退变,然而退变后具体通过何种力学机制导致了脊柱的三维畸形,相关的生物力学研究甚少。本研究利用退变的脊柱尸体标本,对 NS、PS 和 DS 的标本分别进行生物力学测试,对椎间盘退变程度、形态及关节突关节的退变程度、关节突关节形态等对脊柱的力学影响进行了相关性分析,从而明确了椎间盘及关节突关节在 DS 发生、发展中的力学作用。对于椎间盘退变的判断及脊柱稳定性的评估,无论是体外、体内研究均表明 NZ 在一定程度上比 ROM 更敏感,因为 NZ 是指在此脊柱活动范围内,脊柱节段活动的内部阻力较小,属于生理性活动范围的一部分,此时总内应力(活动阻力)保持最小值状态,当脊柱退变、损伤等导致脊柱失稳时其均可增大。而 DS 是在椎间盘退变的病理基础上导致了脊柱的不稳而出现的脊柱畸形,所以对于其生物力学的研究,将 ROM 和 NZ 共同作为评估指标比较全面。

正常情况下椎间盘与两个关节突关节在水平面方向上构成稳定的三角,在纵向方向则构成一个对称的三棱柱状立体结构,从而在整体上形成一稳定的三关节联合体,三者相互制约,保持脊柱的稳定性^[10]。随着椎间盘的退变,脊柱的力学稳定性也会发生相应的变化,然而对由椎间盘退变导致的脊柱力学变化不同的学者得出的结论不尽相同。Kirkaldy-Willis 和 Farfan^[11]把椎间盘退变引起的脊柱力学变化分为三期:暂时的功能紊乱期、不稳定期和稳定期。Tanaka 等^[12]认为在椎间盘退变的三期(Thompson scale 病理分型)可以引起下腰椎的 AT 增加,而 FE、LB 的变化较小。而 Fujiwara 等^[13]则认为椎间盘退变的四期可使脊柱的 FE、AT 增大,三期时可使 LB 增大。也有研究认为椎间盘严重退变(四、五期)仅出现 AT 的增大,而 FE、LB 则减少^[14]。在本组研究中,可以看出从 NS 到 PS 到 DS,椎间盘的退变程度逐渐增加,而脊柱力学的变化(ROM、NZ)是随着侧凸角度、椎间盘退变程度的增大 AT 增大(DS>PS>NS),而 FE 和 LB 的变化虽有增加的趋势,但均无显著性差异,结论与 Tanaka 相似。因本研究主要出于对退变性脊柱侧凸标本的力学测试,而其他研究中仅是针对椎间盘的退变而言,故从本研究可以看出,随着侧凸角

度的逐渐出现和增加,AT 的变化更为明显,且有侧凸组(PS、DS)的 AT 明显大于无侧凸退变组(NS)。由此可以推论,AT 在侧凸的发生、发展中占有力学主导地位,而对于侧凸的发生,可能是由于椎间盘的退变引起了脊柱的 AT 增加,从而出现了脊柱的旋转移位。然而,并不是所有的椎间盘退变均可导致侧凸。为此,本研究加入了椎间盘形态的研究。在本研究中,测量了所有椎间隙的 Cobb 角,从而评价椎间盘的形态不对称与脊柱的力学相关性。结果显示,椎间隙 Cobb 角与 AT 具有明显相关性,而与 FE、LB 无明显相关。由此推论,只有椎间盘退变导致了椎间隙的不对称,或者说不对称的椎间盘退变导致了脊柱的旋转应力增加,不对称的旋转应力导致了脊柱的旋转以及侧凸畸形。

关节突关节在脊柱的稳定、抗扭转、承载作用中发挥重要作用,其所承受的压缩载荷占腰椎总载荷的 18%,承受的剪切载荷占总载荷的 1/3,其余 2/3 由椎间盘承受,但由于椎间盘的粘弹性受载后发生蠕变与松弛,几乎所有的剪切载荷都由小关节来承受,而附着于椎弓后方的肌肉收缩使上、下关节突相互靠拢,使关节面软骨上产生较大的应力。实验研究表明,当轴向旋转范围超过 $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 时,即可造成关节突关节的破坏^[10]。一些学者认为小关节退变晚于椎间盘退变出现,小关节的作用部分取决于椎间盘的退变程序及小关节的骨关节炎病。对于 DS 来讲,椎间盘退变作为始动因素,当其发生磨损、撕裂等损伤后可导致椎间隙高度降低,脊柱的前、后纵韧带失去支持和稳定作用,尤其是椎间盘的不对称退变将导致关节突关节方向发生变化,从而打破两侧关节突关节与椎间盘之间的平衡。本研究结果证实,关节突关节退变程度与脊柱的旋转具有相关性,而椎间盘的不对称退变所致的椎间隙不平衡导致了脊柱的旋转增加,当脊柱运动时,双侧关节突关节的不协调运动导致关节突关节软骨面受力不均衡,受力大的一侧关节软骨及关节周围肌肉韧带更易引起慢性劳损而发生退变性骨关节炎,由此恶性循环,关节突关节的不对称退变和磨损可使椎弓根发生扭曲,加重椎体的旋转移位,导致侧凸的进展。另外,在本研究中还发现,187 个脊柱功能单位中存在 38 个关节突关节的不对称,从测试结果来看,关节突关节的不对称与脊柱力学无明显相关性。该

结论与 Bao 等^[15]提出的“严重的关节突不对称与椎体的旋转半脱位有明显相关”有所不同。这可能是由于本组包括了所有程度的关节突关节不对称与脊柱力学活动的相关性测试,而不是仅仅包括严重关节突关节不对称与脊柱力学变化的测试研究。

本研究对于椎间盘退变程度、形态及关节突关节退变程度及角度不对称性在 DS 发生、发展的力学测试中发现,旋转应力是侧凸发生、发展的主导力学因素,而椎间盘及关节突关节的退变是侧凸发生、发展的病理基础,椎间盘退变的不对称可促使脊柱的旋转增加而导致侧凸的形成及进展,而关节突关节的不对称与旋转应力相关性不甚明显,即关节突关节的不对称形态与侧凸的发生相关性不大。该结论同时也验证了 Panjabi^[16]的脊柱稳定性“三亚系模型”,即水平旋转运动中脊柱的稳定性主要由椎间盘和关节突关节维系的理论。反之,椎间盘及关节突关节的退变可导致脊柱水平旋转稳定性下降。

本研究利用尸体标本对 DS 进行了力学研究,但纳入的标本数量不是很大,在今后的研究工作中需继续收集标本,并将测试结果纳入;另外本研究仅包括了较小度数的退变性侧凸,主要是观察侧凸从 NS 到 PS 到 DS 发生、发展的力学过程,在以后的研究中,可纳入侧凸角度更大的标本,以观察严重侧凸与轻中度侧凸的力学差异,更加全面地对 DS 的生物力学进行分析。同时尸体标本的力学测试中不能包括肌肉组织对脊柱的力学影响,这也是尸体生物力学研究的固有缺陷,而肌肉在 DS 发生、发展的力学机制中也起着重要的作用,需进一步完善计算机有限元模型的模拟得以实现。

4 参考文献

1. Jimbo S, Kobayashi T, Aono K, et al. Epidemiology of degenerative lumbar scoliosis[J]. Spine, 2012, 37(20): 1763-1770.
2. Xu LL, Sun X, Huang SS, et al. Degenerative lumbar scoliosis in Chinese Han population: prevalence and relationship to age, gender, bone mineral density, and body mass index[J].

Eur Spine J, 2013, 22(6): 1326-1331.

3. Kebaish KM, Neubauer PR, Voros GD, et al. Scoliosis in adults aged forty years and older prevalence and relationship to age, race, and gender[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2011, 36(9): 731-736.
4. Vanderpool DW, James JI, Wynne-Davies R. Scoliosis in the elderly[J]. J Bone Joint Surg Am, 1969, 51(3): 446-455.
5. Daffner SD, Vaccaro AR. Adult degenerative lumbar scoliosis [J]. Am J Orthop(Belle Mead NJ), 2003, 32(2): 77-82.
6. Seo JY, Ha KY, Hwang TH, et al. Risk of progression of degenerative lumbar scoliosis[J]. J Neurosurg Spine, 2011, 15(5): 558-566.
7. Tsutsui S, Yoshimura N, Watanuki A, et al. Risk factors and natural history of de novo degenerative lumbar scoliosis in a community-based cohort: the Miyama study[J]. Spine Deformity, 2013, 1(4): 287-292.
8. Mimura M, Panjabi MM, Oxland TR, et al. Disc degeneration affects the multidirectional flexibility of the lumbar spine [J]. Spine(Phila Pa 1976), 1994, 19(12): 1371-1380.
9. Lane NE, Nevitt MC, Genant HK, et al. Reliability of new indices of radiographic osteoarthritis of the hand and hip and lumbar disc degeneration [J]. J Rheumatol, 1993, 20 (11): 1911-1918.
10. 高飞, 赵斌. 腰椎关节突关节基础研究新进展[J]. 国际影像学杂志, 2009, 19(7): 925-927.
11. Kirkaldy-Willis WH, Farfan HF. Instability of the lumbar spine[J]. Clin Orthop Relat Res, 1982, 165: 110-123.
12. Tanaka N, An HS, Lim TH, et al. The relationship between disc degeneration and flexibility of the lumbar spine[J]. Spine J, 2001, 1(1): 47-56.
13. Fujiwara A, Lim TH, An HS, et al. The effect of disc degeneration and facet joint osteoarthritis on the segmental flexibility of the lumbar spine [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2000, 25(23): 3036-3044.
14. Berg S, Isberg B, Josephson A, et al. The impact of discography on the surgical decision in patients with chronic low back pain[J]. Spine J, 2012, 12(4): 283-291
15. Bao H, Zhu F, Liu Z, et al. Vertebral rotatory subluxation in degenerative scoliosis: facet joint tropism is related [J]. Spine(Phila Pa 1976), 2014, 39(26 Spec No.): B45-51.
16. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine (Part I): Function, dysfunction, adaptation, and enhancement[J]. J Spinal Disord, 1992, 5(4): 383-389.

(收稿日期:2018-05-16 末次修回日期:2018-07-25)

(英文编审 唐翔宇/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)