

青少年特发性脊柱侧凸交感神经系统 活性左右侧对称性的观察

王智伟, 邱旭升, 王渭君, 朱泽章, 刘臻, 孙旭, 王斌, 邱勇

(南京大学医学院附属南京鼓楼医院脊柱外科 210008 南京市)

【摘要】目的:探讨交感神经系统(sympathetic nervous system, SNS)活性在 AIS 病因学中可能存在的作用。**方法:**前瞻性研究。纳入 68 例右胸弯 AIS 女性患者为观察对象, 年龄 11~18 岁, 平均 14.2 ± 2.4 岁; 主弯 Cobb 角 $11^\circ \sim 64^\circ$, 平均 $37.2^\circ \pm 13.5^\circ$ 。选取 5 例青少年先天性脊柱侧凸(CS)女性患者和 28 例正常年轻女性作为对照, CS 患者年龄 12~18 岁, 平均 14.7 ± 3.1 岁; 正常年轻女性 11~22 岁, 平均 17.9 ± 4.0 岁。采用交感神经皮肤反应(sympathetic skin response, SSR)评估 3 组的 SNS 活性, 以上下肢潜伏期和振幅右侧/左侧的比值作为评估指标。组间及组内比较采用独立样本 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。**结果:**正常年轻女性组中, 上下肢潜伏期和振幅右/左比值在正常青少年(13.6 ± 2.8 岁, 11~17 岁)和年轻女性(20.7 ± 1.2 岁, 19~22 岁)间无显著性差异($P > 0.05$)。女性 AIS 患者上肢潜伏期右侧/左侧比值(1.01 ± 0.05)显著性大于正常年轻女性(0.98 ± 0.04 , $P = 0.036$), 上肢振幅、下肢潜伏期和下肢振幅右侧/左侧比值在女性 AIS 患者与正常年轻女性间无显著性差异($P > 0.05$)。CS 患者上、下肢潜伏期和振幅的右侧/左侧比值与正常年轻女性间无显著性差异($P > 0.05$); 女性 AIS 患者上、下肢潜伏期和振幅右侧/左侧比值在小角度($< 40^\circ$)和大角度($\geq 40^\circ$)间亦无显著性差异($P > 0.05$)。**结论:**女性 AIS 患者身体两侧 SNS 活性存在不对称性, 其可能与发病有关, 但是与侧凸的严重程度无显著相关性。

【关键词】 青少年特发性脊柱侧凸; 交感神经系统; 交感神经皮肤反应

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2014.10.11

中图分类号: R682.3, R444 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2014)-10-0923-05

The asymmetry of the activity of sympathetic nervous system in the patients with adolescent idiopathic scoliosis/WANG Zhiwei, QIU Xusheng, WANG Weijun, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2014, 24(10): 923-927

【Abstract】Objectives: To explore the probable associations of the sympathetic nervous system(SNS) activity with the etiology in adolescent idiopathic scoliosis (AIS). **Methods:** A prospective study including 68 right thoracic AIS female patients, 5 congenital scoliosis (CS) and 28 healthy girls with a mean age of 14.2 ± 2.4 y (11-18y), 14.7 ± 3.1 y (12-18y) and 17.9 ± 4.0 y (11-22y), respectively was carried out. The mean Cobb angle of major curve in AIS was $37.2^\circ \pm 13.5^\circ$ ($11^\circ \sim 64^\circ$). The asymmetry of SNS activity was presented by the right/left (R/L) ratios of latency and the amplitude of sympathetic skin response (SSR) obtained in upper and lower limbs. Student's t test was used in inter- and intra-group comparisons. A statistically significant difference was defined by $P < 0.05$. **Results:** In the normal control group, there was no significant difference in the L/R ratios of latency and amplitude of SSR in upper and lower limbs between adolescents (13.6 ± 2.8 y, 11-17y) and young adults (20.7 ± 1.2 y, 19-22y) ($P > 0.05$). The R/L ratios of the latency in AIS upper limbs (1.01 ± 0.05) were significantly greater than those in normal controls (0.98 ± 0.04 , $P = 0.036$), which indicated that the symmetry of the SNS activities in AIS was significantly different from that in normal controls; while there were no significant differences in the R/L ratios of the upper limb amplitude, lower limb latency and lower limb amplitude between AIS and normal controls ($P > 0.05$). Moreover, there was no significant difference in the R/L ratios of the latency and amplitude between normal controls and CS ($P > 0.05$); meanwhile, no significant

基金项目: 南京市医学科技发展资金资助项目(JQX12005)

第一作者简介: 男(1982-), 医学硕士, 研究方向: 脊柱畸形

电话: (025)83105121 E-mail: wangzhiwei929@163.com

通讯作者: 邱勇 E-mail: scoliosis2002@sina.com

difference was found in the R/L ratios of latency and the amplitude between AIS patients with mild curve ($<40^\circ$) and those with great curve ($\geq 40^\circ$) ($P>0.05$), which showed no significant association between the curve severity and the abnormality of SNS activity in AIS. **Conclusions:** The asymmetry of SNS activity in AIS female patients is significantly different from that in normal controls, which indicates a probable involvement of the abnormality of the SNS activity in the etiology of AIS, but is not associated with the severity.

【Key words】 Adolescent idiopathic scoliosis; Sympathetic nervous system; Sympathetic skin response

【Author's address】 Spine Surgery, Nanjing Drum Tower Hospital, Nanjing University Medical School, Nanjing, 210008, China

青少年特发性脊柱侧凸 (adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 病因不明^[1], 而神经系统异常被认为是导致 AIS 发病的重要原因^[2]。交感神经系统 (sympathetic nervous system, SNS) 是神经系统的重要组成部分, 不仅广泛分布于外周组织器官, 并且从外周逆行经脊髓和脑干投射到前脑下丘脑核和非下丘脑核, 同时交感神经纤维及肾上腺素受体也在骨组织中广泛分布, 是调控骨代谢的重要解剖学和组织学基础。有动物实验研究^[3]表明, 下丘脑-交感神经系统可能是中枢脑室内的瘦素作用于外周骨组织的唯一通路, 而瘦素作用异常目前被认为参与了 AIS 的发病^[4,5]。此外, 也有研究^[6-8]发现, AIS 患者的临床表型与和组织学特征可能与其 SNS 活性异常有关。也有学者^[3,9-11]提出瘦素-下丘脑-交感神经系统 (leptin-hypothalamus-sympathetic nervous system, LHS) 假说: 由于遗传或其他原因, 下丘脑左右侧对瘦素的反应性不同, 使得身体两侧 LHS 通路传导不对称, 引起躯干两侧骨、血管及神经等不对称生长, 导致脊柱侧凸发生。本研究通过检测 AIS 患者身体两侧 SNS 活性, 观察 AIS 患者是否存在 SNS 活性不对称, 进而探讨 SNS 是否参与 AIS 的发生发展。

1 资料和方法

1.1 临床资料

本研究为前瞻性研究。2010 年 7 月~2014 年 7 月, 以本中心门诊及住院手术的 AIS、先天性脊柱侧凸 (congenital scoliosis, CS) 女性患者、自诉肩背部不对称但无症状的女孩和在本中心工作实习的年轻女医护人员为初选对象。AIS 和 CS 患者纳入标准: (1) 年龄 11~18 岁; (2) 主弯 Cobb 角 $>10^\circ$; (3) 就诊前无任何支具治疗史; (4) AIS 选取在站立位全脊柱正位片上表现典型的右侧胸主弯患者。正常人群入选由本中心主任医师经问诊和体格检查排除患有相关脊柱脊髓疾病。AIS 住院

手术患者和所有 CS 患者经全脊髓 MRI 检查排除 Chiari 畸形、脊髓空洞等相关脊柱脊髓病变; 同时, 所有入选 AIS、CS 和正常个体均由本中心一名主任医师和一名神经内科医师联合诊断排除伴有以下情况: (1) 经历可能影响脊柱形态的外伤或手术等; (2) 患有内分泌系统疾病, 如糖尿病等; (3) 患有抑郁或人格障碍等心理疾病; (4) 患有外周神经系统疾病或受损等。经筛选满足上述条件的 AIS 患者共 68 例, 年龄 11~18 岁, 平均 14.2 ± 2.4 岁, 主弯 Cobb 角 $11^\circ \sim 64^\circ$, 平均 $37.2^\circ \pm 13.5^\circ$; CS 患者 5 例, 年龄 12~18 岁, 平均 14.7 ± 3.1 岁, 主弯 Cobb 角 $39^\circ \sim 56^\circ$, 平均 $45.7^\circ \pm 9.1^\circ$; 正常组 28 例, 年龄 11~22 岁, 平均 17.9 ± 4.0 岁, 其中正常青少年 12 例, 平均年龄 13.6 ± 2.8 岁 (11~17 岁); 正常年轻女性 16 例, 平均年龄 20.7 ± 1.2 岁 (19~22 岁)。所有受试者的检查均获得其本人知情同意 (如果受试者为未成年人, 即年龄 ≤ 18 岁, 则获得其家长知情同意)。本研究获得医院伦理委员会批准。

1.2 SNS 活性检测

应用电生理检测仪器 (XLTEK 公司, 加拿大), 低阻抗硅胶电极片 (XLTEK 公司, 加拿大), 根据国际临床神经生理学技术标准^[12-15], 保持室内微暗、安静, 室温 $25^\circ\text{C} \sim 29^\circ\text{C}$, 于每日 15:00~18:00 行交感神经皮肤反应 (sympathetic skin response, SSR) 检测。受试者清洁双手、足部, 仰卧位, 记录电极分别置于双手、足掌心, 参考电极置于手背或足背; 检测电极间阻抗 $<5\text{k}\Omega$, 设置持续刺激时间 0.1ms, 带通 1~30Hz, 电流 20mA, 分析时间为 5000ms, 灵敏度 1.0mV/div。嘱受试者睁眼静躺 15min 后, 于右腕横纹上 2cm 处无规律电刺激腕正中神经, 重复 3 次, 间隔大于 1min, 取 3 次平均值。记录 SSR 潜伏期 (从刺激起始至基线首次开始偏斜的时间) 和振幅 (负波峰与正波峰之间的垂直距离)。

既往文献^[14,16]对 SSR 异常的定义为:①波形消失;②潜伏期>正常对照组 $\pm 2.5s$;③波幅<正常对照组最小值等。因为本研究旨在调查 AIS 患者身体两侧 SNS 活性是否存在不对称性,同时为降低体重、身高等个体因素^[12]对 SNS 活性的影响,所以采用上下肢潜伏期或振幅右侧/左侧比值作为评估指标(上肢 SSR 潜伏期不对称性=右上肢 SSR 潜伏期/左上肢 SSR 潜伏期)。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 统计软件(17.0 版本,SPSS 公司,芝加哥,美国)进行统计学分析。分别计算所有受试者上下肢潜伏期和振幅的右侧/左侧比值。所有数值以平均数 $\pm$ 标准差进行描述。正常对照组根据年龄进一步分为青少年组(11~18 岁)和年轻成年组(19~22 岁),用于评估 SNS 活性与年龄间的关系;CS 组与正常对照相比较,用于调查 SNS 活性异常是否属于侧凸的继发性改变;AIS 组根据主弯 Cobb 角分为小角度组($<40^\circ$)和大角度组($\geq 40^\circ$),以评估 SNS 活性与侧凸严重程度间关系。组间及各组内比较采用独立样本 t 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

各组 SNS 活性检测结果见表 1。正常女性中青少年和年轻成年间无显著性差异($P>0.05$),提示在正常青少年和年轻成年女性间左右侧 SNS 活性不存在显著性差异。AIS 患者上肢潜伏期右

侧/左侧比值(1.01 ± 0.05)显著大于正常对照组(0.98 ± 0.04 , $P=0.036$),提示 AIS 患者 SNS 活性可能存在显著不对称,表现为相对于正常人右侧降低,或左侧升高;但上肢振幅、下肢潜伏期和下肢振幅在 AIS 和正常组间未发现显著性差异($P>0.05$)。CS 患者上、下肢潜伏期和振幅的右侧/左侧比值与正常组间无显著性差异($P>0.05$)。AIS 小角度和大角度患者上、下肢潜伏期和振幅的右侧/左侧比值无显著性差异($P>0.05$),提示异常的 SNS 活性为 AIS 的原发性改变,与侧凸的严重程度无显著相关性。

3 讨论

有研究^[6,7,17]发现,AIS 患者可能存在 SNS 组织学或活性异常,因此有一些学者^[8,18,19]认为 AIS 的低骨量、低体重指数和肢体较长等诸多特殊临床表型可能与其 SNS 异常有关;此外,结合 SNS 的特殊解剖结构,不仅广泛存在脊柱脊髓周围,还可上行与中枢神经系统相联系,也能下行调控外周骨组织代谢,所以 Burwell 等^[11]提出 LHS 假说,认为 SNS 异常可能会导致 AIS 的发生发展。本研究基于 LHS 假说,通过研究 AIS 患者身体两侧 SNS 活性是否存在不对称,探讨 SNS 在 AIS 病因学中可能存在的作用。

既往已有研究^[7,17,20,21]表明,SNS 活性异常与可能 AIS 病因学密切相关。Repko 等^[17]对 12 个 AIS 患者及 3 例正常成人取身体两侧交感神经组

表 1 正常对照组、CS 和 AIS 患者的 SSR 检测结果

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

Table 1 The evaluation of SSR in normal controls, CS and AIS

	正常对照组 Normal control group			CS 组 CS group n=5	AIS 组 AIS group		
	青少年 Adolescent n=12	年轻成年 Young adult n=16	全部 All n=28		小角度 Mild curve n=32	大角度 Great curve n=36	全部 All n=68
年龄(岁) Age (yrs)	13.6 $\pm$ 2.8	20.7 $\pm$ 1.2	17.9 $\pm$ 4.0	14.7 $\pm$ 3.1	14.1 $\pm$ 1.9	15.4 $\pm$ 2.8	14.2 $\pm$ 2.4
上肢潜伏期(右/左) Latency of upper limb (R/L)	0.99 $\pm$ 0.03	0.98 $\pm$ 0.04	0.98 $\pm$ 0.04	0.97 $\pm$ 0.02	1.00 $\pm$ 0.05	1.01 $\pm$ 0.04	1.01 $\pm$ 0.05 ^①
上肢振幅(右/左) Amplitude of upper limb (R/L)	1.03 $\pm$ 0.16	0.91 $\pm$ 0.15	0.95 $\pm$ 0.16	0.97 $\pm$ 0.15	1.04 $\pm$ 0.25	0.95 $\pm$ 0.12	0.99 $\pm$ 0.20
下肢潜伏期(右/左) Latency of lower limb (R/L)	0.97 $\pm$ 0.04	1.01 $\pm$ 0.03	0.99 $\pm$ 0.04	0.99 $\pm$ 0.03	1.01 $\pm$ 0.08	1.00 $\pm$ 0.09	1.01 $\pm$ 0.09
下肢振幅(右/左) Amplitude of lower limb (R/L)	1.18 $\pm$ 0.32	0.95 $\pm$ 0.16	1.03 $\pm$ 0.25	0.93 $\pm$ 0.20	1.05 $\pm$ 0.58	1.14 $\pm$ 0.44	1.10 $\pm$ 0.51
胸弯($^\circ$) Thoracic curve ($^\circ$)	—	—	—	45.7 $\pm$ 9.1	25.0 $\pm$ 7.9	48.0 $\pm$ 6.5	37.2 $\pm$ 13.5

注:右/左表示上下肢潜伏期或振幅右侧与左侧的比值;①与正常对照组比较, $P<0.05$

Note: R/L is the right/left (R/L) ratio of the SSR latency or amplitude obtained in upper and lower limbs; ①to compare with normal controls, $P<0.05$

织行组织学检查,发现 AIS 患者凸侧含 23.7% 的有髓神经纤维,12.2% 的无髓纤维,5.0% 的 Schwann 细胞;凹侧含 17.3% 的有髓神经纤维,5.8% 的无髓纤维,5.2% 的 Schwann 细胞;而正常对照含 29.9% 的有髓神经纤维,19.9% 的无髓纤维,16.7% 的 Schwann 细胞,因此他们认为 SNS 在 AIS 患者和正常人之间存在显著性差异,同时在 AIS 患者凹凸侧也存在差异。不过该研究未详细说明所取标本的解剖部位,样本量较少,且两组人群年龄不匹配。Iliopoulos 等^[20]和 Korovessis 等^[21]也发现人体 SNS 异常可导致两侧肋间血供不对称(主要是胸廓内动脉),推测该不对称可能会引起躯干两侧肋骨发育不对称,进而导致脊柱侧凸。但也有学者认为其结论尚存在争议^[22]。

SSR 是人体在中枢神经系统参与下出现的皮肤发汗反射,是在接受相关交感神经刺激之后皮肤产生的反射性电位^[12],由于其无创性、敏感、操作简易且可靠等优点,可用于评估 SNS 活性,目前已广泛应用于临床^[13,14]。本研究通过对 AIS 患者行 SSR 检测,发现其上肢 SNS 活性异常,表现为与正常人相比,AIS 患者 SNS 活性右侧升高或左侧降低,这与 Repko 等^[17]的活检结果一致,即提示 AIS 患者存在显著的左右侧 SNS 活性不对称,且上半身较为明显,这与侧凸多发于胸段和胸腰段的临床表型相一致。此外,有研究表明 AIS 患者的 SNS 活性异常不是仅局限于脊柱旁,而是广泛性全身性表现。Enslein 等^[9]通过对 56 例 AIS 患者和 25 例正常人群进行对比研究,发现 AIS 患者整体 SNS 活性显著高于正常人;也有研究^[8,18,19,23]表明,SNS 与体重指数、体脂量及骨密度存在显著相关性,即当 SNS 活性增加时,体重指数、体脂量和骨密度下降,这一现象与 AIS 患者瘦高及低骨量的临床表型相吻合。同时,本研究发现侧凸角度小于 60° 的 CS 患者身体两侧不存在 SNS 活性不对称,这提示非严重型脊柱侧凸不会影响身体两侧的 SNS 活性。结合本研究 AIS 患者 SNS 活性异常的结果及既往文献报道^[6,8,17-19,23],我们认为 AIS 的 SNS 活性不对称不是脊柱侧凸的继发性改变,而是其原发性病变,并且有可能通过影响其所支配的骨组织、血管等生长而出现身体两侧发育不对称,进而导致脊柱侧凸的发生。但是由于人体标本获取难度较大,本研究领域目前仍然缺乏直接有效的人体组织学证据。

同时,本研究结果也发现 SNS 活性在小角度(11°~39°)和大角度($\geq 40^\circ$) AIS 患者间不存在显著性差异,这提示 AIS 的 SNS 活性可能对脊柱侧凸的严重性无显著性影响;结合 AIS 患者存在 SNS 活性不对称的结果,我们认为 SNS 活性异常是 AIS 的原发性病变,在 AIS 的发病中发挥着“开”或“关”的作用,但不能进一步影响侧凸的严重程度。

此外,本研究结果显示 AIS 患者除上肢潜伏期右/左比值显著异于正常人外,上肢振幅和下肢的潜伏期及振幅右/左比值均与正常人无显著性差异。根据既往 SSR 研究^[13,24]报道,相对于上肢 SSR,下肢潜伏期及振幅的稳定性较差且变异率较高,而 SSR 振幅的稳定性整体弱于潜伏期,即 SSR 上肢潜伏期对于 AIS 的 SNS 活性评估更具有指导意义,结合迄今为止未发现 AIS 患者存在左右侧 SNS 活性不对称的临床体征(如发汗试验、皮肤划痕试验等)的报道,由此我们推测 AIS 患者 SNS 活性异常程度较轻,不足以引起相应的临床表现,只能在组织形态学或电生理学水平影响 AIS 的发生。

在本研究结果中,我们发现 SSR 潜伏期和振幅个体间变异较大,与既往文献一致^[13,24],同时为降低身高、体重等个体因素对 SNS 活性的影响,因此我们采用 SSR 右侧/左侧比值作为评估 SNS 活性不对称的指标,而且在今后的研究中将继续扩大样本量,防止因个体差异而出现抽样误差相对较大的缺陷;其次,因中枢神经系统在 SSR 冲动传导过程中发挥协调作用,所以也不能排除 LHS 通路上游即 AIS 患者中枢神经系统在功能或结构上可能存在左右侧的不对称,这也将在今后进一步研究。

综上所述,本研究发现 AIS 女性患者两侧 SNS 活性异于正常女性,表现为右侧 SNS 活性降低或左侧升高,结合 AIS 患者身体其他部位的 SNS 异常表现,提示其属于 AIS 原发性病变,与 AIS 的发病有关,但是该不对称性与侧凸的严重程度无显著相关性。

4 参考文献

1. 邱勇,朱丽华,宋知非,等.脊柱侧凸的临床病因学分类研究[J].中华骨科杂志,2000,20(5):265-268.
2. Chu WC, Man GC, Lam WW, et al. Morphological and functional electrophysiological evidence of relative spinal cord

- tethering in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine*, 2008, 33(6): 673–680.
3. Elefteriou F, Takeda S, Ebihara K, et al. Serum leptin level is a regulator of bone mass [J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2004, 101(9): 3258–3263.
4. Liu Z, Tam EM, Sun GQ, et al. Abnormal leptin bioavailability in adolescent idiopathic scoliosis: an important new finding[J]. *Spine*, 2012, 37(7): 599–604.
5. Qiu Y, Sun X, Qiu X, et al. Decreased circulating leptin level and its association with body and bone mass in girls with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine*, 2007, 32(24): 2703–2710.
6. Enslein K, Chan DP. Multiparameter pilot study of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine*, 1987, 12(10): 978–982.
7. Hinojosa-Laborde C, Chapa I, Lange D, et al. Gender differences in sympathetic nervous system regulation [J]. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 1999, 26(2): 122–126.
8. Hursel R, Westerterp-Plantenga MS. Thermogenic ingredients and body weight regulation[J]. *Int J Obes(Lond)*, 2010, 34(4): 659–669.
9. Takeda S. Central control of bone remodelling[J]. *J Neuroendocrinol*, 2008, 20(6): 802–807.
10. Fu L, Patel MS, Bradley A, et al. The molecular clock mediates leptin-regulated bone formation[J]. *Cell*, 2005, 122(5): 803–815.
11. Burwell RG, Aujla RK, Grevitt MP, et al. Pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis in girls – a double neuro – osseous theory involving disharmony between two nervous systems, somatic and autonomic expressed in the spine and trunk: possible dependency on sympathetic nervous system and hormones with implications for medical therapy [J]. *Scoliosis*, 2009, 4: 24.
12. Kucera P, Goldenberg Z, Kurca E. Sympathetic skin response: review of the method and its clinical use[J]. *Bratisl Lek Listy*, 2004, 105(3): 108–116.
13. Ellaway PH, Kuppuswamy A, Nicotra A, et al. Sweat production and the sympathetic skin response: improving the clinical assessment of autonomic function[J]. *Auton Neurosci*, 2010, 155: 109–114.
14. Toyokura M. Paradoxical shortening of sympathetic skin response latency at distal recording sites[J]. *Clin Neurophysiol*, 2009, 120(1): 123–127.
15. Claus D, Schondorf R. Sympathetic skin response: the International Federation of Clinical Neurophysiology[J]. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl*, 1999, 52: 277–282.
16. Boettger MK, Greiner W, Rachow T, et al. Sympathetic skin response following painful electrical stimulation is increased in major depression[J]. *Pain*, 2010, 149(1): 130–134.
17. Repko M, Horky D, Krbec M, et al. The role of the autonomic nervous system in the etiology of idiopathic scoliosis: prospective electron microscopic and morphometric study [J]. *Childs Nerv Syst*, 2008, 24(6): 731–734.
18. Ravussin E, Tataranni PA. The role of altered sympathetic nervous system activity in the pathogenesis of obesity [J]. *Proc Nutr Soc*, 1996, 55(3): 793–802.
19. Peterson HR, Rothschild M, Weinberg CR, et al. Body fat and the activity of the autonomic nervous system[J]. *N Engl J Med*, 1988, 318(17): 1077–1083.
20. Iliopoulos P, Korolessis P, Koureas G, et al. Asymmetric evolution of anterior chest wall blood supply in female adolescents with progressive right-convex thoracic idiopathic scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(9): 1343–1347.
21. Korolessis P, Iliopoulos P, Koureas G, et al. Evolution of anterior chest wall blood supply in female adolescents with progressive right-convex thoracic idiopathic scoliosis [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2007, 20(3): 190–194.
22. Zhu F, Chu WC, Sun G, et al. Rib length asymmetry in thoracic adolescent idiopathic scoliosis: is it primary or secondary?[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(2): 254–259.
23. Cheung SK, Lee TK, Tse K, et al. Abnormal peri-pubertal anthropometric measurements and growth pattern in adolescent idiopathic scoliosis: a study of 598 patients[J]. *Spine*, 2003, 28(18): 2152–2157.
24. Aghamollaii V, Harirchian MH, Modabbernia A, et al. Sympathetic skin response (SSR) in multiple sclerosis and clinically isolated syndrome: a case-control study[J]. *Neurophysiol Clin*, 2011, 41(4): 161–171.

(收稿日期:2014-06-22 修回日期:2014-07-31)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)