·临床研究·

青少年特发性脊柱侧凸畸形角度与心肺运动耐力相关性观察

范起萌[1]　杜青[1]　周璇[1]　陈楠[1]　李欣[1]　梁菊萍[1]　靳梦蝶[1]　李艳艳[1]　于虹[1]　李会珍[1]
宋圆圆[2]　张桢[2]　牛瑶[2]
[1]上海交通大学医学院附属新华医院康复医学科,上海　200092; [2]上海交通大学医学院附属新华医院崇明分院康复医学科,上海　202150
通信作者:杜青,Email:duqing@ xinhuamed.com.cn

【摘要】 **目的**　探讨青少年特发性脊柱侧凸(AIS)畸形角度与心肺运动耐力的相关性。**方法**　纳入上海交通大学医学院附属新华医院康复医学科就诊且符合入选标准的 64 例 AIS 患者临床资料,所有患者均行心肺运动试验(CPET)评估及拍摄站立位脊柱全长 X 线片,组间比较采用独立性 t 检验,用 Pearson 相关、多元线性回归和两分段线性回归分析 AIS 患者 Cobb 角与心肺运动耐力的相关性。**结果**　Pearson 相关分析显示,Cobb 角与最大潮气量(VTmax)呈显著负相关($r=-0.345$, $P<0.001$),与呼吸频率(RR)呈显著正相关($r=0.273$, $P<0.05$)。调整性别、年龄、身高和体重后,多元线性回归分析结果显示,Cobb 角与 VTmax 呈显著的负相关性($\beta=-0.013$, $P<0.05$),与 RR 呈显著的正相关性($\beta=0.421$, $P<0.05$);Cobb 角与心肺运动耐力水平呈非线性关系,当 Cobb 角>34°时,Cobb 角每增加 1°,心肺运动耐力降低的概率增加了 1.399 倍($P<0.05$);当 Cobb 角≤34°时,随着 Cobb 角每增加 1°,患者心肺运动耐力降低的概率增加 0.873 倍,但差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论**　AIS 患者的 Cobb 角与运动过程中的通气功能呈负相关,Cobb 角 34°以上的 AIS 患者畸形角度越严重,心肺运动耐力越差。

【关键词】 青少年特发性脊柱侧凸;　Cobb 角;　心肺运动试验;　心肺运动耐力

基金项目:上海市卫生健康委员会卫生行业临床研究专项(202040292);上海市卫生健康委先进适宜技术推广项目(2019SY021);崇明区医学重点专科项目;国家自然科学基金面上项目(81972030);促进市级医院临床技能与临床创新能力三年行动计划项目(SHDC2020CR3041B)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.05.012

Spine curvature and the cardiopulmonary exercise endurance of adolescents with idiopathic scoliosis

Fan Qimeng[1], Du Qing[1], Zhou Xuan[1], Chen Nan[1], Li Xin[1], Liang Juping[1], Jin Mengdie[1], Li Yanyan[1], Yu Hong[1], Li Huizhen[1], Song Yuanyuan[2], Zhang Zhen[2], Niu Yao[2]
[1]Department of Rehabilitation Medicine, Xinhua Hospital Affiliated to Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 200092, China; [2]Department of Rehabilitation Medicine, Chongming Branch of Xinhua Hospital Affiliated to Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 202150, China
Corresponding author: Du Qing, Email: duqing@ xinhuamed.com.cn

【**Abstract**】 **Objective**　To quantify any correlation between the severity of spinal curvature of an adolescent with idiopathic scoliosis and their cardiopulmonary exercise endurance. **Methods**　The cardiopulmonary exercise test (CPET) results and the full-length spinal X-rays in a standing position of 64 adolescents with idiopathic scoliosis were reviewed retrospectively. Independent t-tests were used to compare the two datasets obtained from those with left or right thoracic scoliosis. The correlation between the Cobb angle and cardiopulmonary exercise endurance was analyzed using Pearson correlation coefficients, multiple factor linear regression and two-stage linear regression. **Results**　After adjusting for gender, age, height and weight, the multiple linear regression analysis showed that the Cobb angle was significantly negatively correlated with maximum tidal volume ($\beta=-0.013$) and significantly positively correlated with the rate of respiration ($\beta=0.421$). The relationship between the Cobb angle and cardiopulmonary exercise endurance was non-linear. With a Cobb angle > 34°, a 1° increase reduces cardiopulmonary exercise endurance by a factor of 1.4 on average. At smaller Cobb angles the corresponding increase is about 0.87 times. **Conclusions**　The Cobb angle is a negative predictor of ventilation during exercise among adolescents with idiopathic scoliosis. The more severe a patient's spinal curvature, the lower the cardiopulmonary exercise endurance is likely to be.

【Key words】 Adolescent idiopathic scoliosis; Cobb angle; Cardiopulmonary exercise testing; Cardiopulmonary exercise endurance; Scoliosis

Funding: A Special Clinical Research Project of the Shanghai Municipal Health Commission (202040292); an Advanced Appropriate Technology Promotion Project of the Shanghai Municipal Health Commission (2019SY021); a Medical Key Specialty Project of Shanghai's Chongming District; The National Natural Science Foundation of China (81972030); a project of the Three-year Action Plan to Promote Clinical Skills and Clinical Innovation Capacity in Municipal Hospitals (SHDC2020CR3041B)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.05.012

青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)是一种病因未明的脊柱畸形,患病率约2%~3%[1-4]。AIS 患者在生长发育期间易发生胸廓变形、椎体旋转、脊柱运动减少,可影响心血管和呼吸系统功能[5],降低心肺运动耐力;虽然患者在日常生活中可能不会出现呼吸不适[6],但运动能力已有减退[7-8]。心肺运动试验(cardiopulmonary exercise testing, CPET)是一种客观评价心肺运动耐力的检测方法,主要强调心肺功能的联合测定[9-10]。

目前,关于脊柱畸形对心肺运动耐力的影响尚存在争议。部分学者研究发现,AIS 患者在 CPET 中存在心肺耐力的降低[8],表现为通气功能的降低,重度患者可出现氧脉搏、心率储备和收缩压的降低,进而限制患者的运动能力[11-12]。Saraiva等[13]研究认为,脊柱畸形可能会导致患者运动过程中代谢功能和通气功能异常,而另一研究则显示脊柱畸形对患者的心肺运动耐力无显著影响[14]。本研究回顾性分析中度 AIS 患者 CPET 的结果资料,探讨中度 AIS 患者畸形角度与心肺运动耐力的相关性,为 AIS 患者运动处方的制订提供科学依据。

对象与方法

一、研究对象

入选标准:①年龄 10~16 岁;②明确诊断为特发性脊柱侧凸;③Cobb 角 20°~45°;④完成站立位脊柱全长正位 X 线射片的拍摄和标准 CPET 评估(Quarkb2 型心肺功能测试仪,意大利科时迈公司),选择 Bruce 方案,若达到体力下降无法维持运动、呼吸困难和明显的气促、血氧饱和度小于 90%、心电图显著改变可终止试验[11]。

排除标准:①先天性、姿势性、神经肌肉性或者其它疾病(如神经纤维瘤病、马凡综合征、骨发育不良、代谢性或者内分泌疾病等)引起的脊柱侧凸;②首次就诊前有康复治疗史或者手术史;③既往有其它呼吸系统、骨骼肌肉或者神经系统疾病;④既往有先天性心脏病、心律失常等可影响心肺运动耐力的疾病。

选取 2018 年 1 月至 2020 年 7 月上海交通大学医学院附属新华医院康复医学科收治且符合上述标准的 AIS 患者 64 例。根据研究需要自行设计一般资料调查表收集资料,包括患者姓名、性别、门诊号、出生日期、年龄、初诊时间、身高、体重、体重指数和体脂率等。最终纳入研究的 64 例患者中,男 10 例,女 54 例,平均年龄(13.84±1.89)岁,平均身高(161.40±7.16)cm,平均体重(47.89±9.23)kg,平均体脂率(21.75±5.59)%,平均 Cobb 角(28.44±6.83)°;运动耐力正常者有 39 例(60.94%),运动耐力降低者有 25 例(39.06%)。本研究获上海交通大学医学院附属新华医院医学伦理委员会批准(批准文号 XHEC-D-2021-016)。

二、研究方法

由同一位康复医师进行全脊柱正位 X 线片的测量,用标准直尺和量角器按照 Cobb 角法测量,记录 Cobb 角度值,对于胸腰双弯的患者,按最大 Cobb 角记录;并由同一位康复医师进行 CPET 指标的分析,调取研究对象 CPET 测试的下列主要指标。

1.代谢气体交换相关的指标:相对峰值摄氧量(peak oxygen uptake volume per kilogram, PeakVO$_2$)、峰值摄氧量占预计值的百分比(peak oxygen uptake volume as a percentage of the estimated value, PeakVO$_2$%pred)、代谢当量(metabolic equivalent, MET)。其中,患者运动耐力水平根据 PeakVO$_2$%pred 的大小判断,PeakVO$_2$% pred ≥ 84% 为心肺运动耐力正常,PeakVO$_2$%pred<84%为降低[15]。

2.通气功能相关的指标:呼吸交换比(respiratory exchange ratio, RER)、呼吸频率(respiratory rate, RR)、最大通气量(maximum ventilation, VEmax)、最大潮气量(maximum tidal volume, VTmax)、呼吸储备(breathing reserve, BR)。

3.循环系统相关的指标:氧脉博(oxygen pulse, VO$_2$/HR)、最大心率(maximum heart rate, HRmax)、最大心率占预计值的百分比(percentage of maximum heart rate, HRmax% pred)、心率储备(heart rate reserve, HRR)、运动试验前后收缩压的变化(changes of systolic blood pressure before and after exercise test, ΔSBP)。

表 1　不同侧凸方向 CPET 指标测定

组别	例数	PeakVO$_2$ [ml/(kg·min)]	PeakVO$_2$% pred (% of pred)	MET	RER	VEmax (ml/min)	VT max (L)	BR(ml)
左胸弯组	11	41.87±6.43	87.00±17.02	11.86±1.63	1.17±0.09	70.17±6.89	1.43±0.29	33.72±13.53
右胸弯组	41	38.96±5.53	79.34±9.50	11.22±1.83	1.15±0.09	68.98±16.19	1.32±0.31	50.70±11.10

组别	例数	HRmax (次/min)	HRmax% pred (% of pred)	RR (次/min)	HRR (次/min)	ΔSBP (mmHg*)	VE/VCO$_2$max	VO$_2$/HR (ml/次)
左胸弯组	11	187.09±6.30	90.73±3.10	50.70±11.10	19.45±6.36	10.27±10.89	30.89±3.56	10.77±1.23
右胸弯组	41	186.83±9.78	90.93±3.62	53.82±9.78	19.34±9.14	11.10±8.28	32.02±7.76	10.36±2.57

注：* 1 mmHg=0.133 kPa

4.气体交换相关的指标：氧通气当量(equivalent of oxygen ventilation, VE/VCO$_2$)。

三、统计学方法

使用 SPSS 25.0 和基于 R 语言的 EmpowerStas 软件进行统计分析。计量资料用($\bar{x}\pm s$)描述，计数资料用百分比表示；胸弯组患者不同侧凸方向组间比较采用独立性 t 检验，使用 Pearson 相关系数分析各项指间的相关性，用多元线性回归分析 Cobb 角与心肺运动耐力的相关性。以心肺运动耐力水平为因变量，以二元结果表示，心肺运动耐力正常赋值为 0，心肺运动耐力降低赋值为 1，运用两分段线性回归模型探讨 Cobb 角与心肺运动耐力水平是否存在非线性关系，$P<0.05$ 认为差异有统计学意义。

结　　果

一、患者 CPET 各项指标分析

根据不同侧凸部位进行分组，胸弯组 52 例，腰弯组 12 例；52 例胸弯组不同侧凸方向的 CPET 相关指标组间对比结果显示，差异均无统计学意义($P>0.05$)，具体数据详见表 1。

二、脊柱侧凸 Cobb 角与心肺运动耐力的相关性分析

选择 PeakVO$_2$、VTmax、RR、VEmax、VO$_2$/HR 分别作为因变量，以 Cobb 角作为自变量进行相关性分析，结果显示，Cobb 角与 VTmax 呈显著负相关($P<0.001$)，与 RR 呈显著正相关($P<0.05$)；与 PeakVO$_2$、VEmax 和 VO$_2$/HR 无显著相关($P>0.05$)，详见表 2。

表 2　CPET 指标与 Cobb 角之间的相关性(r)

变量	r 值	P 值
PeakVO$_2$	−0.098	0.464
VTmax	−0.345	<0.001
RR	0.273	0.045
VEmax	0.041	0.142
VO$_2$/HR	0.014	0.672

三、Cobb 角对心肺运动耐力影响的多元线性回归分析

分别以 CPET 相关的指标作为因变量，以 Cobb 角作为自变量纳入方程，调整混杂因素的影响(调整性别、年龄、身高和体重后)，多元线性回归分析结果显示，Cobb 角与 VTmax 呈显著的负相关，偏回归系数为 −0.013($P<0.05$)，与 RR 呈显著的正相关，偏回归系数为 0.421($P<0.05$)，与 PeakVO$_2$、VEmax 和 VO$_2$/HR 均不存在明显相关性($P>0.05$)，具体数据详见表 3。

四、Cobb 角与心肺运动耐力水平的关联关系

调整混杂因素的影响(调整性别、年龄、身高和体重后)，患者 Cobb 角与心肺运动耐力水平呈非线性关系(如图 1 所示)，通过两分类分段线性回归模型分析，计算出 Cobb 角拐点为 34°。当 Cobb 角≤34°时，随着 Cobb 角每增加 1°，患者心肺运动耐力降低的概率增加 0.873 倍(95%CI 为 0.752~1.014)，差异无统计学意义($P>0.05$)；当 Cobb 角>34°时，随着 Cobb 角每增加 1°，心肺运动耐力降低的概率增加了 1.399 倍(95% CI 为 1.003~1.952)，差异有统计学意义($P<0.05$)，详见表 4。

表 3　Cobb 角对心肺运动耐力影响的多元线性回归分析

因变量	偏回归系数(β)	标准误	标准化回归系数	t 值	95%CI	P 值	F 值
VTmax	−0.013	0.004	−0.396	−3.037	(−0.022, −0.005)	0.004	6.476
RR	0.421	0.206	0.273	2.049	(0.009, 0.834)	0.045	4.200
PeakVO$_2$	−1.146	1.792	−0.096	−0.639	(−0.224, 0.359)	0.525	1.172
VEmax	−0.005	0.045	−0.028	−0.118	(−0.094, 0.084)	0.906	2.307
VO$_2$/HR	0.079	0.047	0.231	1.691	(−0.015, 0.174)	0.097	2.888

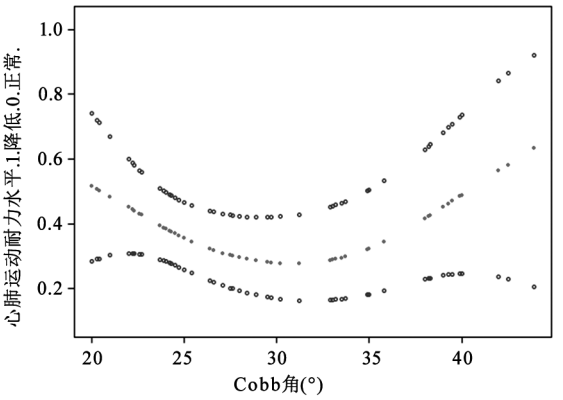

图 1　中度脊柱侧凸 Cobb 角与心肺运动耐力水平关系图

表 4　Cobb 与心肺运动耐力水平的关系

Cobb 角(°)	心肺运动耐力水平	
	模型Ⅰ β(95%CI)	模型Ⅱ β(95%CI)
≤34°	0.860 (0.747,0.990)	0.873 (0.752,1.014)
>34°	1.361 (1.013,1.828)	1.399 (1.003,1.952)

讨　论

本研究以 $PeakVO_2$%pred 作为心肺运动耐力的评价指标[9,15],发现 AIS 患者存在运动耐力的降低,发生率为 39.06%。轻中度脊柱侧凸患者虽然在日常活动中无明显呼吸不适,常规的静态肺功能测试可能无法发现无症状患者的肺功能障碍[16],既往研究也发现脊柱侧凸患者出现有不同程度的心肺运动耐力降低,也有学者证实 CPET 可反映 AIS 患者潜在的心肺功能损害。张路等[17]研究发现,中重度 AIS 患者静息肺功能无异常,但其中 78.26%患者出现不同程度的心肺运动耐力降低。此外,Czaprowski 等[18]也发现 Cobb 角 25°~40°的患者运动中的最大摄氧量显著低于 Cobb 角 10°~24°的患者。

有研究表明,不同侧凸方向可能会影响患者的肺功能,由于人体的右支气管与脊柱平行且比左支气管更靠近脊柱,支气管前后及横向压缩程度与脊柱椎体位置及侧凸方向存在明显的关系,脊柱右侧弯曲时可能更容易阻塞右支气管出现气流阻塞[19]。本研究分析不同侧凸方向患者的心肺运动耐力指标结果显示,组间对比差异无统计学意义(P>0.05)。因此,从解剖学角度来讲,不同侧凸方向可能对肺功能产生主要影响,而对心肺运动耐力则无显著影响。

本研究主要选择与肺功能、代谢气体交换和通气功能相关的指标进行分析,VEmax、VTmax 和 RR 反映患者运动达到最大运动耐量时的通气功能[9]。本研究结果显示,AIS 患者畸形角度可影响患者的通气功能,患者的 Cobb 角与 VTmax 呈显著负相关,与 RR 呈显著正相关。Chong 等[20]研究报道,Cobb 角每增加 20°,运动持续时间就会显著降低;Cobb 角与 VEmax 值呈负相关,椎体旋转角度与肺功能呈负相关,反映了畸形角度越大运动过程中的通气功能越低,椎体旋转和继发性肺扭转可能对通气功能有限制作用。但 Martinez-Llorens 等[14]认为,运动高峰时患者的通气储备相对较高,且血氧饱和度未发生变化,所有患者均因下肢无力而终止运动,下肢肌肉功能障碍是患者心肺运动耐力降低的主要影响因素,研究结果的差异可能与患者的个体差异和疾病的不同阶段有关。在疾病相对早期的阶段,通气功能可能是影响患者心肺运动耐力的主要因素,随着病情进展,下肢肌肉功能障碍和心血管功能失调可能是心肺运动耐力的主要影响因素[6]。因此,在疾病的早期应重视患者的呼吸训练,提高患者的通气功能。但本研究只分析了脊柱畸形角度对心肺运动耐力的影响,后期研究尚需加入其它影响因素来获得更为准确地变化轨迹。

$PeakVO_2$ 是峰值运动时连续 30 s 摄氧量的最大平均值,是反映心脏功能和肺功能的主要指标[9]。本研究显示 Cobb 角与 $PeakVO_2$ 不存在线性相关,调整混杂因素后进一步分析发现,当 Cobb 角>34°时,Cobb 角每增加 1°,患者的心肺运动耐力降低的风险增加;当 Cobb 角≤34°时,Cobb 角与患者心肺运动耐力水平无相关性。关于上述 Cobb 角与心肺运动耐力的关系,原因可能是 Cobb 角大小对心肺运动耐力水平的影响存在阈值效应,Cobb 角增加到一定程度后对心肺运动耐力负面影响逐步呈现,随着脊柱畸形的增加限制胸廓的运动,导致运动过程中呼吸活动受限与肺泡通气不足,通气功能降低,进而降低心肺运动耐力[21]。因此,建议在早期康复治疗介入的过程中定期进行心肺运动耐力的评估。

综上所述,AIS 患者 Cobb 角与运动中的通气功能呈负相关,Cobb 角 34°以上的 AIS 患者畸形角度越严重,心肺运动耐力越低。因此,建议 Cobb 角 34°及以上的 AIS 患者需进行心肺运动耐力的评估及康复干预。

参　考　文　献

[1] Asher MA, Burto DC. Adolescent idiopathic scoliosis: natural history and long term treatment effects [J]. Scoliosis, 2006, 1(1): 2. DOI: 10.1186/1748-7161-1-2.

[2] Weinstein SL, Dolan LA, Cheng JCY, et a1. Adolescent idiopathic scoliosis[J]. Lancet, 2008, 371(9623): 1527-1537. DOI: 10.1016/S0140-6736(08)60658-3.

[3] Du Q, Zhou X, Negrini S, et al. Scoliosis epidemiology is not similar all over the world: a study from a scoliosis school screening on Chongming Island (China)[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2016, 17: 303. DOI: 10.1186/s12891-016-1140-6.

[4] Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, et al. 2016 SOSORT guidelines: or-

thopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth[J]. Scoliosis Spinal Disord, 2018, 13: 3. DOI: 10.1186/s13013-017-0145-8.

[5] Abdelaal AAM, Abd El Kafy EMAES, Elayat MSEM, et al. Changes in pulmonary function and functional capacity in adolescents with mild idiopathic scoliosis: observational cohort study[J]. J Int Med Res, 2018, 46(1): 381-391. DOI: 10.1177/0300060517715375.

[6] Shen JX, Lin YX, Luo JM, et al. Cardiopulmonary exercise testing in patients with idiopathic scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2016, 98(19): 1614-1622. DOI: 10.2106/JBJS.15.01403.

[7] Sperandio EF, Alexandre AS, Yi LC, et al. Functional aerobic exercise capacity limitation in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine J, 2014, 14(10): 2366-2372. DOI: 10.1016/j.spinee.2014.01.041.

[8] Barrios C, Pérez-Encinas C, Maruenda JI, et al. Significant ventilatory functional restriction in adolescents with mild or moderate scoliosis during maximal exercise tolerance test[J]. Spine, 2005, 30(14): 1610-1615. DOI: 10.1097/01.brs.0000169447.55556.01.

[9] 刘锦铭,刘海舰.心肺运动试验的基本概念及其临床意义[J].中华结核和呼吸杂志, 2012, 35(12): 954-956. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2012.12.027.

[10] American Thoracic Society, American College of Chest Physicians, ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2003, 167(2): 211-277. DOI: 10.1164/rccm.167.2.211.

[11] Lin YX, Shen JX, Chen LX, et al. Cardiopulmonary function in patients with congenital scoliosis: an observational study[J]. J Bone Joint Surg Am, 2019, 101(12): 1109-1118. DOI: 10.2106/JBJS.18.00935.

[12] DiRocco PJ, Breed AL, Carlin JI, et al. Physical work capacity in adolescent patients with mild idiopathic scoliosis.[J]. Arch Phys Med Rehabil, 1983, 64(10): 476-478.

[13] Saraiva BMA, Araujo GS, Sperandio EF, et al. Impact of scoliosis severity on functional capacity in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. Pediatr Exerc Sci, 2018, 30(2): 243-250. DOI: 10.1123/pes.2017-0080.

[14] Martínez-Llorens J, Ramírez M, Colomina MJ, et al. Muscle dysfunction and exercise limitation in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Eur Respir J, 2010, 36(2): 393-400. DOI: 10.1183/09031936.00025509.

[15] 王乐民,沈玉芹.慢性稳定性心力衰竭运动康复中国专家共识[J].中国循环杂志, 2014, 34(z2): 113-119. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2014.z2.026.

[16] Johnston CE, Richards BS, Sucato DJ, et al. Correlation of preoperative deformity magnitude and pulmonary function tests in adolescent idiopathic Scoli-osis[J]. Spine, 2011, 36(14): 1096-1102. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181f8c931.

[17] 张路,丛卉,刘淑芬,等.肺功能正常的 46 例青少年特发性脊柱侧凸患者心肺运动试验结果分析[J].中华物理医学与康复杂志, 2018, 40(1): 43-47. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.01.012.

[18] Czaprowski D, Kotwicki T, Biernat R, et al. Physical capacity of girls with mild and moderate idiopathic scoliosis: influence of the size, length and number of curvatures[J]. Eur Spine J, 2012, 21(6): 1099-1105. DOI: 10.1007/s00586-011-2068-z.

[19] Ito K, Kawakami N, Miyasaka K, et al. Scoliosis associated with airflow obstruction due to endothoracic vertebral hump[J]. Spine, 2012, 37(25): 2094-2098. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31825d2ea3.

[20] Chong KC, Letts RM, Cumming GR. Influence of spinal curvature on exercise capacity[J]. J Pediatr Orthop, 1981, 1(3): 251-254. DOI: 10.1097/01241398-198111000-00002.

[21] 范起萌,周璇,杜青.特发性脊柱侧凸心肺运动试验的研究进展[J].教育生物学杂志, 2020, 8(3): 198-202. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4301.2020.03.009.

(修回日期:2022-02-25)
(本文编辑:汪　玲)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊对基金项目的有关要求

论文所涉及的课题若取得国家或部、省级以上基金资助或属攻关项目,请以中英文双语形式脚注于文题页左下方,如“基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2013CB532002);国家自然科学基金(30271269);Funding: National Key Basic Research Program of China(973 Program)(2013CB532002); National Natural Science Foundation of China(30271269)”,并请附基金证书复印件。论文刊登后获奖者,请及时通知编辑部,并附获奖证书复印件。