

临床论著

简化骨龄评分系统对女性特发性脊柱侧凸患者生长潜能的预测价值

刘 盾, 朱泽章, 夏三强, 石 博, 李 洋, 史本龙, 刘 臻, 邱 勇

(南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科 210008 南京市)

【摘要】目的:分析简化骨龄评分系统(simplified skeletal maturity scoring system, SSMS)与其他骨骼发育成熟度评估指标的相关性,探讨其对特发性脊柱侧凸(idiopathic scoliosis, IS)患者生长潜能的预测价值。**方法:**回顾性分析于我院门诊行规范支具治疗的 50 例女性 IS 患者,其中胸主弯 32 例,胸腰弯 18 例,随访时间 3.1 ± 0.9 年($2.0 \sim 5.6$ 年)。于患者每次随访时拍摄的左手掌正位 X 线片上进行 SSMS 评分、指骨骨龄(digital skeletal age, DSA)评分和尺桡掌骨(radius, ulna, and small bones, RUS)骨龄评分,随访间隔为 4~6 个月。记录患者每次随访时的年龄、月经情况及纵向身高资料,计算患者每次随访时的身高纵向生长速率(height velocity, HV)。采用 Spearman 相关系数分析 SSMS 评分与 DSA 评分及 RUS 评分间的相关性。**结果:**患者初诊年龄为 10.8 ± 1.4 岁($8.0 \sim 12.9$ 岁),月经初潮年龄为 12.5 ± 2.2 岁($10.1 \sim 14.8$ 岁),初诊 SSMS 评分为 2.0 ± 0.9 分($1 \sim 3$ 分),初诊 DSA 评分为 370.1 ± 55.7 分($240 \sim 487$ 分),初诊 RUS 评分为 582.3 ± 88.6 分($419 \sim 699$ 分)。随访中患者身高纵向生长速率峰值(peak height velocity, PHV)为 7.6 ± 1.6 cm/年($5.3 \sim 10.0$ cm/年),PHV 的年龄为 12.1 ± 1.1 岁($10.5 \sim 13.8$ 岁)。26%(13/50)的患者在 SSMS 评分 2 分时达到 PHV, 52%(26/50)的患者在 SSMS 评分 3 分时达到 PHV, 16%(8/50)的患者在 SSMS 评分 4 分时达到 PHV, 4%(2/50)的患者在 SSMS 评分 5 分时达到 PHV, 2%(1/50)的患者在 SSMS 评分 6 分时达到 PHV。Spearman 相关性分析表明,每次随访时的 SSMS 评分与 DSA 评分及 RUS 评分均具有良好的相关性($r=0.958$ 和 0.967 , $P<0.001$)。**结论:**SSMS 评分 2~4 分预示着女性 IS 患者具有较高的生长潜能和纵向生长速率。SSMS 评分是一种易于掌握且对女性 IS 患者生长潜能具有较高预测能力的骨龄评分系统。

【关键词】特发性脊柱侧凸;简化骨龄评分;身高纵向生长速率

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2018.09.03

中图分类号:R682.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2018)-09-0780-06

The value of simplified skeletal maturity scoring system in the prediction of growth potential in female idiopathic scoliosis/LIU Dun, ZHU Zezhang, XIA Sanqiang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2018, 28(9): 780-784, 800

【Abstract】 Objectives: To investigate the correlation between simplified skeletal maturity scoring system (SSMS) and other maturity indicators, and to evaluate its predictive value for growth potential in idiopathic scoliosis (IS) girls. **Methods:** Fifty female IS patients undergoing standardized bracing treatment were recruited in our study, including 32 major thoracic curves and 18 thoracolumbar curves. The average follow-up period was 3.1 ± 0.9 ($2.0 \sim 5.6$) years. SSMS, digital skeletal age (DSA) and radius, ulna, and small bones (RUS) scores were measured on posteroanterior radiographs of left hand at each visit, and the follow-up interval was 4-6 months. Moreover, the chronologic age, stage of menarche, standing height at each visit were recorded, and the height velocity (HV) was calculated at each follow-up. The Spearman coefficients were used to investigate the correlations of SSMS with DSA scores and RUS scores. **Results:** The average chronologic age, menarche age, SSMS stages, DSA scores and RUS scores at initial visit were 10.8 ± 1.4 ($8.0 \sim 12.9$) years, 12.5 ± 2.2 ($10.1 \sim 14.8$) years, 2.0 ± 0.9 ($1 \sim 3$), 370.1 ± 55.7 ($240 \sim 487$), 582.3 ± 88.6 ($419 \sim 699$), respectively. During the follow-up, the

基金项目:江苏省自然科学基金青年基金资助项目(BK20170126);中国博士后科学基金面上资助项目(2017M610323)

第一作者简介:男(1995-),研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(025)68182022 E-mail:jsliudun@163.com

通讯作者:朱泽章 E-mail:zhuzezhang@126.com

average peak height velocity(PHV) was $7.6 \pm 1.6(5.3-10.0)$ cm/years and the average age was $12.1 \pm 1.1(10.5-13.8)$ years. 26%(13/50) of the IS patients in our study attained their PHV in SSMS 2, 52%(26/50) in SSMS 3, 16%(8/50) in SSMS 4, 4%(2/50) in SSMS 5, and 2%(1/50) in SSMS 6. Significant correlations of SSMS with DSA scores and RUS scores at each visit were found by the Spearman correlation analysis ($r=0.958$ and 0.967 , $P<0.001$). **Conclusions:** The SSMS 2-4 suggests high growth potential and high height velocity in IS girls. Hence, SSMS can serve as a reliable predictor for growth potential in braced female IS patients.

【Key words】 Idiopathic scoliosis; Simplified skeletal maturity scoring system; Height velocity

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

特发性脊柱侧凸 (idiopathic scoliosis, IS) 是女性青春发育高峰期常见的脊柱畸形, 其发生和进展与患者的骨龄及生长潜能密切相关^[1,2]。目前, 文献中报道的 IS 患者骨龄评估指标主要为 Tanner-whitehouse III 评分系统^[3] 和指骨骨龄 (digital skeletal age, DSA) 评分^[4], 两者均已被证实对 IS 患者生长潜能和侧凸进展风险具有较高的预测能力。然而, 临床上应用这两种评分方法时需对照指骨、腕骨、桡骨和尺骨骨骺形态变化的评分图谱并单独计算各骨骺加权分值, 使用过程繁琐且难以记忆, 极大地限制了其在临床中的广泛应用。2008 年, Sanders 等^[5]对 DSA 评分进行了简化并提出简化骨龄评分系统 (simplified skeletal maturity scoring system, SSMS), 认为其操作简便且易于掌握, 同时保留了对 IS 患儿生长潜能和骨骼成熟度较高的预测价值。然而, 国内目前少有文献报道 SSMS 评分在 IS 患者生长潜能评估中的应用价值。本研究旨在对比分析 SSMS 评分与其他成熟度指标, 探讨 SSMS 评分对 IS 患者生长潜能和骨骼发育成熟度的预测价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2006 年 5 月~2013 年 10 月于我院门诊行规范支具治疗的女性 IS 患者, 符合下列标准的患者纳入本研究: (1) 接受规范支具治疗; (2) 初诊时月经未至、Risser 征 0 级且 Y 三角软骨未闭合; (3) 初诊和每次随访时均拍摄左手掌正位 X 线片; (4) 每次随访问隔为 4~6 个月, 随访时间 ≥ 2 年; (5) 具有完整的实足年龄、月经初潮年龄、身高等人口统计学资料。排除标准: (1) 既往左手有手术史; (2) 有生长发育障碍及异常等。符合上述标准的 50 例女性 IS 患者纳入本研究, 初诊年龄为 10.8 ± 1.4 岁 (8.0~12.9 岁)。本研究获得本

单位伦理委员会批准。

1.2 观察指标

于患者初诊和每次随访时拍摄的左手掌正位 X 线片上计算 DSA 评分^[4]、尺桡掌骨 (radius, ulna, and small bones, RUS) 骨龄评分^[6]及 SSMS 评分^[5]。SSMS 评分方法^[5]: 首先根据左手各指节骨骺及掌骨的不同形态将其分为 E 级 (指骨、掌骨骨骺长度比干骺端短)、F 级 (指骨、掌骨骨骺和干骺端长度相同, 但仍未“成帽”)、G 级 (指骨、掌骨骨骺开始卷曲且开始“成帽”)、H 级 (指骨、掌骨骨骺开始闭合) 和 I 级 (指骨、掌骨骨骺完全闭合)。然后依据各指节骨骺分级情况将 SSMS 评分分为: 1 分, 存在 E 级的指节或掌骨骨骺; 2 分, 各指节和掌骨均为 F 级; 3 分, 各指节和掌骨均为 G 级; 4 分, 远端指节为 H 级而其余指节和掌骨为 G 级; 5 分, 远端指节为 I 级而其余指节和掌骨为 G 级; 6 分, 远端指节为 I 级而其余指节和掌骨为 H 级; 7 分, 各指节和掌骨均为 I 级, 但桡骨远端未完全闭合; 8 分, 各指节、掌骨均为 I 级, 且桡骨远端完全闭合 (表 1)^[5]。

根据患儿初诊和每次随访时的实足年龄及身高等临床资料计算纵向身高生长速率 (height velocity, HV): $HV = [\text{身高}_n - \text{身高}_{(n-1)}] / [\text{时间间隔}_n - (n-1)]$, 身高纵向生长速率峰值 (peak height velocity, PHV) 即每次随访 HV 值的最大值^[7]。

1.3 统计学方法

应用 SPSS 17.0 进行统计分析, 临床资料统计数据均以平均值 $\pm$ 标准差 (最小值~最大值) 表示。采用 Spearman 相关性分析 SSMS 评分和 DSA 评分及 RUS 评分的相关性。 $P<0.05$ 表示有统计学差异。

2 结果

本研究共纳入 50 例 IS 患者, 其中胸主弯 32

例,胸腰弯 18 例。初诊时,年龄为 $10.8\pm1.4(8.0\sim12.9)$ 岁,身高为 $142.3\pm6.9\text{cm}(131.0\sim153.2\text{cm})$, Cobb 角为 $28.3^\circ\pm8.9^\circ(20^\circ\sim40^\circ)$, DSA 评分为 370.1 ± 55.7 分 ($240\sim487$ 分), RUS 评分为 582.3 ± 88.6 分 ($419\sim699$ 分), SSMS 评分为 $2.0\pm0.9(1\sim3)$ 分。所有患者随访总计 475 次,随访时间为 $3.1\pm0.9(2.0\sim5.6)$ 年。

不同 SSMS 评分的患者人次、年龄、DSA 评分及 RUS 评分详见表 2。本研究共进行 475 次 SSMS 评分(图 1)。SSMS 评分与实足年龄、DSA 评分和 RUS 评分变化趋势高度相似。Spearman 相关性分析表明,每次随访时的 SSMS 评分与 DSA 评分及 RUS 评分均具有显著的相关性 ($r=0.958$ 和 $0.967, P<0.001$)。

50 例患者 PHV 值为 $7.6\pm1.6\text{cm/年}$ ($5.3\sim$

10.0cm/年), PHV 的年龄为 12.1 ± 1.1 岁 ($10.5\sim13.8$ 岁), 达到 PHV 时的 SSMS 评分分布情况见图 2, 超过 90%(47/50)的 IS 患者在 SSMS 评分 2~4 分时达到 PHV, 其中 26%(13/50)的患者在 SSMS 评分 2 分时达到 PHV, 52%(26/50) 的患者在 SSMS 评分 3 分时达到 PHV, 16%(8/50)的患者在 SSMS 评分 4 分时达到 PHV, 4%(2/50) 的患者在 SSMS 评分 5 分时达到 PHV, 2%(1/50) 的患者在 SSMS 评分 6 分时达到 PHV。

2 例患者在本研究截止时月经初潮仍未至, 其余患者月经初潮年龄为 12.5 ± 2.2 岁 ($10.1\sim14.8$ 岁), 月经初潮时 SSMS 评分分布情况见图 3, 其中 27.1% (13/48)、31.3% (15/48)、18.8% (9/48) 和 14.6% (7/48) 的患者月经初潮分别发生于 SSMS 评分 3、4、5 和 6 分。

表 1 SSMS 评分对照表^[5]

Table 1 Chart of SSMS

SSMS 评分 SSMS stage	DP 1-5	MP 2-5	PP 1-5	MC 1-5	桡骨 Radius
1	E	E	E	E	/
2	F	F	F	F	/
3	G	G	G	G	/
4	H	G	G	G	/
5	I	G	G	G	/
6	I	H	H	H	/
7	I	I	I	I	Non-I
8	I	I	I	I	I

注: DP, 远端指节; MP, 中段指节; PP, 近端指节; MC, 掌骨; 1~5 分别代表拇指、食指、中指、无名指和小指

Note: DP, distal phalange; MP, middle phalange; PP, proximal phalange; MC, metacarpal; 1-5 represent thumb, index finger, middle finger, ring finger and little finger, respectively

3 讨论

既往文献^[8,9]研究发现 IS 患者的侧凸进展与其生长潜能和纵向生长速率关系密切, 故准确评估 IS 患者生长潜能对于制定治疗方案及改善患者预后具有重要意义。1976 年, Tanner 等^[3]首次提出 Tanner-Whitehouse III 评分, 其以指骨、腕骨、桡骨和尺骨为基础, 根据各骨骺不同形态赋予不同的加权分值并计算总和, 其评分越低, 预示生长潜能越大, 侧凸进展的风险也越大。然而, 完整的 Tanner-Whitehouse III 评分系统包括骨骺形态变化图谱及相对应的加权分值图表, 使用过程极为繁琐。Sanders 等^[4]在 Tanner-Whitehouse III 评分基础上剔除桡骨和尺骨骨龄评分部分, 并将之定义为 DSA 评分。相比于 Tanner-Whitehouse III 评分系统, DSA 评分虽然得到一定程度上的简化并

表 2 不同 SSMS 评分对应的人次、实足年龄、DSA 评分和 RUS 评分

Table 2 Number, Ages, DSA scores and RUS scores at different SSMS stages

SSMS 评分	人次 NO.	年龄(岁) Age(year)			DSA 评分 DSA scores			RUS 评分 RUS scores		
		$\bar{x}\pm s$	中位数 Median	区间 Range	$\bar{x}\pm s$	中位数 Median	区间 Range	$\bar{x}\pm s$	中位数 Median	区间 Range
1	14	9.4±0.5	9.5	8.4~10.1	280.4±22.4	277.0	253~320	462.7±33.2	471.0	412~507
2	31	10.5±0.8	10.7	8.5~12.5	361.0±43.1	356.0	293~439	560.8±71.3	585.0	424~673
3	128	11.5±0.9	11.5	8.5~12.5	432.1±40.0	432.0	316~574	700.1±70.6	696.0	487~892
4	59	12.1±0.9	12.1	10.4~14.0	487.6±34.7	490.5	390~546	799.2±53.2	796.5	690~904
5	54	12.5±0.9	12.4	10.7~14.4	533.7±31.3	540.0	450~598	876.0±51.1	877.0	777~985
6	60	13.1±1.0	13.1	10.9~15.0	581.3±21.1	581.0	512~609	957.7±35.4	968.0	851~1000
7	77	13.5±1.0	13.5	11.4~16.0	606.9±7.4	609.0	552~609	998.0±7.3	1000.0	943~1000

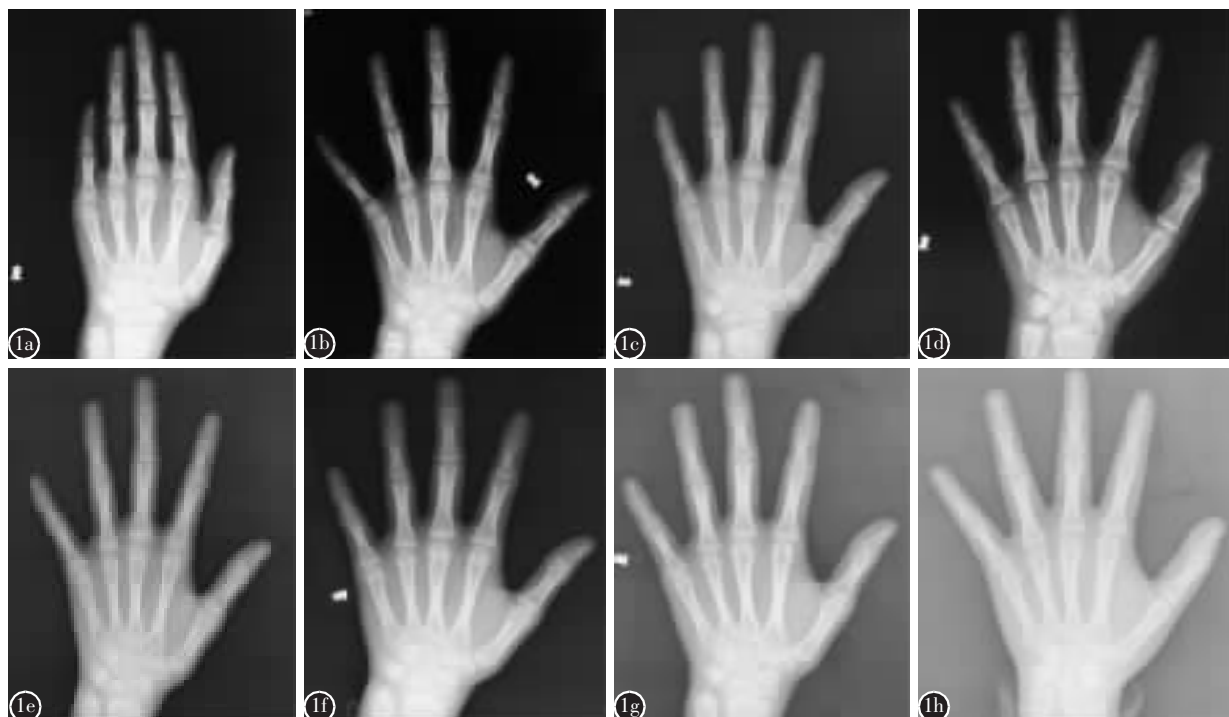


图 1 患者女, 左手掌正位 X 线片 **a** 初诊时 9.3 岁, 存在 E 级指节, SSMS 评分为 1 分 **b** 9.9 岁随访时, 所有指节和掌骨均处于 F 级, SSMS 评分为 2 分 **c** 随访时 10.5 岁, 所有指节和掌骨均处于 G 级, SSMS 评分为 3 分 **d** 11.2 岁随访时, 远端指节处于 H 级而其他指节和掌骨仍处于 G 级, SSMS 评分为 4 分 **e** 11.6 岁随访时, 远端指节处于 I 级而其他指节和掌骨仍处于 G 级, SSMS 评分为 5 分 **f** 随访时 12.8 岁, 远端指节处于 I 级而其他指节和掌骨仍处于 H 级, SSMS 评分为 6 分 **g** 13.3 岁随访时, 所有指节和掌骨均处于 I 级, 但桡骨远端处于 G 和 H 级, SSMS 评分为 7 分 **h** 14.4 岁随访时, 所有指节、掌骨及桡骨远端均处于 I 级, SSMS 评分为 8 分

Figure 1 Female, posteroanterior radiographs of the left hand **a** 9.3 years old at initial visit, in existence of stage E, SSMS 1 **b** 9.9 years old at follow-up, when all digits are at stage F, SSMS 2 **c** 10.5 years old at follow-up, when all digits are at stage G, SSMS 3 **d** 11.2 years old at follow-up, when any distal phalanges are at stage H while others remain at stage G, SSMS 4 **e** 11.6 years old at follow-up, when all distal phalanges are at stage I while others remain at stage G, SSMS 5 **f** 12.8 years old at follow-up, when all distal phalanges are at stage I while others remain at stage H, SSMS 6 **g** 13.3 years old at follow-up, when all digits are at stage I, the distal radial physis is at stage G or H, SSMS 7 **h** 14.4 years old at follow-up, all digits are at stage I, SSMS 8

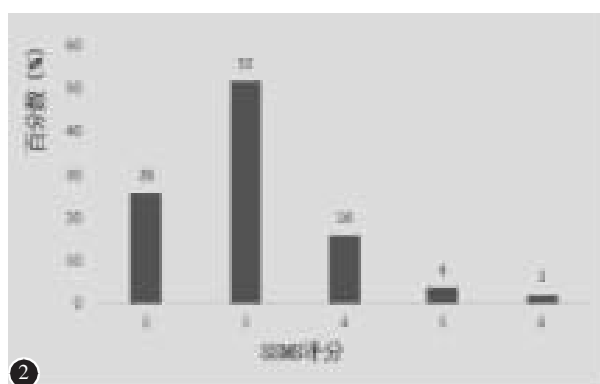


图 2 50 例 IS 患者达到 PHV 时的 SSMS 评分分布情况

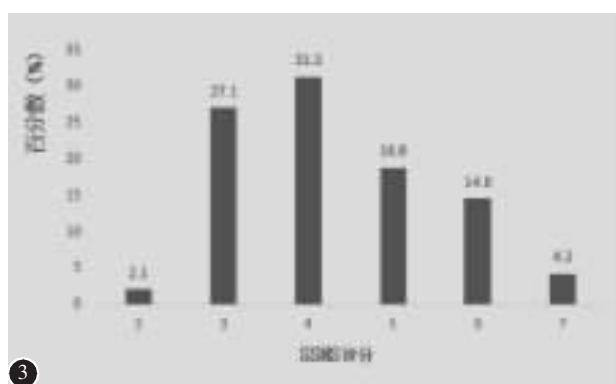


图 3 48 例 IS 患者达到月经初潮时的 SSMS 评分分布情况

Table 2 SSMS stages at the time of PHV of 50 IS girls

Table 3 Percentages of menarche at different SSMS stages

of 48 IS girls

保留了较高的 IS 患者生长潜能预测价值,但完整的 DSA 评分仍较为复杂,亦不利于临床的广泛推广使用。

为寻求一种操作简便且具有较好临床应用价值的骨龄评分方法,2008 年,Sanders 等^[9]进一步简化了 DSA 评分,将之命名为 SSMS 评分,认为 SSMS 评分与生长潜能和身高生长速率具有较好的相关性,且预测 IS 患者生长潜能时具有稳定的可靠性,更为重要的是其操作简便,便于掌握,十分适用于繁忙的日常临床工作。本研究对比分析 50 例 IS 女性患者的 SSMS 评分与其他骨龄评估指标之间的相关性,结果发现 SSMS 评分与实足年龄、DSA 评分及 RUS 评分呈高度类似的变化趋势,且 SSMS 评分与 DSA 评分及 RUS 评分具有显著相关性($P<0.001$),这表明 SSMS 评分能准确地预测 IS 患者的生长潜能。更为重要的是,相较于 DSA 评分及 RUS 评分,其使用较为方便,易于记忆,因此十分适用于生长潜能的评估。

目前临床上常用的 IS 患儿生长潜能评估指标是多维度的,主要分为骨骼系统评估指标和人体测量学指标,两者在 IS 患儿的生长潜能及侧凸进展风险的预测中均发挥了重要作用^[10]。其中如实足年龄、PHV、月经初潮年龄等指标可以直接反映 IS 患者的生长潜能,指导调整支具治疗方案,并已广泛应用于临床。本组患者达到 PHV 的年龄为 12.1 ± 1.1 岁(10.5~13.8 岁),平均 PHV 为 7.6 ± 1.6 cm/年(5.3~10.0cm/年),这与 Sanders 等^[11]的研究结果类似。另外,本研究中约 95%(47/50)的 IS 患者在 SSMS 评分 2~4 分时达到 PHV,这说明处于 SSMS 评分 2~4 分的 IS 患者具有更高的生长潜能和纵向生长速率。Sitoula 等^[12]报道了 86 例处于 SSMS 评分 3 分或 4 分且接受规范支具治疗的 AIS 患者,发现其中 73.3%(63/86)的患者最终发生了侧凸进展,进一步说明处于 SSMS 评分 2~4 分的 IS 患者具有较高的生长潜能,在支具治疗过程中需要密切随访,警惕侧凸进展的发生。

除 PHV 外,IS 女孩的月经初潮年龄也是评估其生长潜能和侧凸进展风险的重要指标之一,易于观察、获取方便,亦已在临床中广泛推广使用。本研究 48 例 IS 女性患者月经初潮年龄 12.5 ± 2.2 岁(10.1~14.8 岁),达到 PHV 的年龄为 12.1 ± 1.1 岁(10.5~13.8 岁),PHV 平均比月经初潮早约 5 个月,这与 Mao 等^[13]研究结果类似。Hung 等^[14]报道

了 125 例 IS 女孩月经初潮时间,发现其跨度较大且无法包含于特定 SSMS 评分。本组患者月经初潮时间跨度亦较大,但超过 75% 的患者月经初潮发生于 SSMS 评分 3~5 分,说明 SSMS 评分 3~5 分与 IS 患者的快速生长发育期重合。此外,本组女性患者中超过 60% 的患者月经初潮发生于提示 PHV 的 SSMS 评分 2~4 分,表明月经初潮与 IS 女孩生长发育高峰期有较大的重叠,这与 Goldstein 等^[15]和 Buckler 等^[16]报道的 IS 患者生长发育模式相似,进一步证明 SSMS 评分能够较为准确地预测 IS 患者的生长潜能。

综上所述,本研究系统性分析了 SSMS 评分在 IS 患者生长潜能中的预测价值,SSMS 评分 2~4 分提示 IS 患者具有较高的生长潜能和身高生长速率。另外,SSMS 评分使用过程简单方便,易于记忆且与 DSA 评分和 RUS 评分均具有良好的相关性,是一种具有较好临床使用价值的 IS 患者生长潜能评估指标,值得在临床工作中广泛推广使用。但因仅入选了 50 例 IS 患者且未纳入男性 IS 患者,这可能会造成较大的选择偏倚,需要在后期的研究中进一步完善。

4 参考文献

1. Ascani E, Bartolozzi P, Logroscino CA, et al. Natural history of untreated idiopathic scoliosis after skeletal maturity [J]. Spine, 1986, 11(8): 784-789.
2. Bunnell WP. The natural history of idiopathic scoliosis [J]. Spine, 1986, 11(8): 773-776.
3. Tanner JM, Whitehouse RH. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty[J]. Arch Dis Child, 1976, 51(3): 170-179.
4. Sanders JO, Browne RH, McConnell SJ. Maturity assessment and curve progression in girls with idiopathic scoliosis [J]. J Bone Joint Surg Am, 2007, 89(1): 64-73.
5. Sanders JO, Khoury JG, Kishan S, et al. Predicting scoliosis progression from skeletal maturity: a simplified classification during adolescence[J]. J Bone Joint Surg Am, 2008, 90(3): 540-553.
6. Tanner JM, Whitehouse RH, Marshall WA, et al. Assessment of Skeleton Maturity and Maturity and Prediction of Adult Height (TW2 Method)[M]. In: New York: Academic Press, 1975. 499-500.
7. Sanders JO, Browne RH, Cooney TE, et al. Correlates of the peak height velocity in girls with idiopathic scoliosis [J]. Spine, 2006, 31(20): 2289-2295.

(下转第 800 页)

- of secondary adjacent vertebral compression fracture in percutaneous kyphoplasty[J]. *Int J Surg*, 2016, 6(Pt A): 138–142.
18. Seel EH, Davies EM. A biomechanical comparison of kyphoplasty using a balloon bone tamp versus an expandable polymer bone tamp in a deer spine model [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2007, 89(2): 253–257.
 19. Fahim DK, Sun K, Tawackoli W, et al. Premature adjacent vertebral fracture after vertebroplasty: a biomechanical study [J]. *Neurosurgery*, 2011, 69(3): 733–744.
 20. Berlemann U, Ferguson SJ. Adjacent vertebral failure after vertebroplasty: a biomechanical investigation[J]. *Bone Joint Surg Br*, 2002, 84(5): 748–752.
 21. Staples MP, Howe BM, Ringler MD, et al. New vertebral fractures after vertebroplasty: 2-year results from a randomised controlled trial[J]. *Arch Osteoporos*, 2015, 10: 229.
 22. Villarraga ML, Bellezza AJ, Harrigan TP, et al. The biomechanical effects of kyphoplasty on treated and adjacent non-treated vertebral bodies[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2005, 18(1): 84–91.
 23. Rohlmann A, Zander T, Bergmann G. Spinal loads after osteoporotic vertebral fractures treated by vertebroplasty or kyphoplasty[J]. *Eur Spine J*, 2006, 15(8): 1255–1264.
 24. Belkoff SM, Mathis JM, Jasper LE, et al. An ex vivo biomechanical evaluation of a hydroxyapatite cement for use with vertebroplasty[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2001, 26(14): 1542–1546.
 25. Uppin AA, Hirsch JA, Centenera LV, et al. Occurrence of new vertebral body fracture after percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporosis[J]. *Radiology*, 2003, 226(1): 119–124.
 26. Grados F, Depriester C, Cayrolle G, et al. Long-term observations of vertebral osteoporotic fractures treated by percutaneous vertebroplasty[J]. *Rheumatology(Oxford)*, 2000, 39(12): 1410–1414.
 27. Luo J, Annesley-Williams DJ, Adams MA, et al. How are adjacent spinal levels affected by vertebral fracture and by vertebroplasty? a biomechanical study on cadaveric spines[J]. *Spine J*, 2017, 17(6): 863–874.
 28. Aquarius R, Homminga J, Verdonchot N, et al. The fracture risk of adjacent vertebrae is increased by the changed loading direction after a wedge fracture[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2011, 36(6): 408–412.
 29. Li H, Yang DL, Ma L, et al. Risk factors associated with adjacent vertebral compression fracture following percutaneous vertebroplasty after menopause: a retrospective study[J]. *Med Sci Monit*, 2017, 23: 5271–5276.
- (收稿日期:2018-05-31 末次修回日期:2018-07-27)
(英文编审 唐翔宇/贾丹彤)
(本文编辑 卢庆霞)

(上接第 784 页)

8. Dimeglio A, Canavese F, Charles YP, et al. Growth and adolescent idiopathic scoliosis: when and how much [J]. *J Pediatr Orthop*, 2011, 31(1 Suppl): 28–36.
 9. Sun X, Wang B, Qiu Y, et al. Outcomes and predictors of brace treatment for girls with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Orthop Surg*, 2010, 2(4): 285–290.
 10. 史本龙, 毛赛虎, 朱泽章, 等. 青少年特发性脊柱侧凸生长潜能及侧凸进展风险评估的研究进展 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, 26(5): 471–474.
 11. Sanders JO. Maturity indicators in spinal deformity [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2007, 89(Suppl 1): 14–20.
 12. Sitoula P, Verma K, Holmes L Jr, et al. Prediction of curve progression in idiopathic scoliosis: validation of the sanders skeletal maturity staging system [J]. *Spine*, 2015, 40(13): 1006–1013.
 13. Mao SH, Jiang J, Sun X, et al. Timing of menarche in Chinese girls with and without adolescent idiopathic scoliosis: current results and review of the literature[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(2): 260–265.
 14. Hung A, Chau WW, Shi B, et al. Thumb ossification composite index(TOCI) for predicting peripubertal skeletal maturity and peak height velocity in idiopathic scoliosis: a validation study of premenarchal girls with adolescent idiopathic scoliosis followed longitudinally until skeletal maturity [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2017, 99(17): 1438–1446.
 15. Goldstein H, Cameron N, Healy JM, et al. Assessment of skeletal maturity and predication of adult height (TW3 Method)[J]. *Gov & Oppo*, 2001, 36(1): 27–47.
 16. Buckler JMH. *A Longitudinal Study of Adolescent Growth* [M]. London: Springer. 1990. 690–691.
- (收稿日期:2018-07-01 修回日期:2018-08-06)
(英文编审 庄乾宇/贾丹彤)
(本文编辑 李伟霞)