

综述

青少年特发性脊柱侧凸患者骨骼生长发育评价的研究进展

Research progress of skeletal growth and development evaluation in adolescent idiopathic scoliosis patients

王欢^{1,2}, 顾强¹, 陆清达¹, 刘趁心¹, 杨帅^{1,2}

(1 西安交通大学附属红会医院儿童骨病医院 710054 西安市; 2 延安大学 716000 延安市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2023.02.11

中图分类号: R682.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2023)-02-0174-05

脊柱侧凸一直是儿童骨科中最复杂的发育性疾病之一。脊柱侧凸是青少年人群中较常见的一类疾病, 青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)在脊柱侧凸中更常见^[1]。AIS 多发生在青春期, 尤其是女性患者, 且具有较高的发病率, 流行病学调查显示, AIS 在不同人群发病率为 0.5%~3%^[2-3]。在我国青少年人群中, 发病率达 2.4%^[4], 且呈逐年增加的趋势, 已成为继肥胖、近视后, 我国儿童、青少年健康面临的第三大“杀手”。骨骼生长发育潜力在 AIS 的治疗中起着重要作用, 早期筛查和诊断对 AIS 的支具治疗、手术时机和预后情况起到关键的作用, 而 AIS 畸形进展风险预测和评估是治疗的核心。因此早期筛查及精准预测评估在治疗 AIS、维持青少年身心健康、减轻家庭及社会负担具有重要意义^[5]。

目前对于 AIS 治疗技术的研究已经日臻成熟^[6-9], 但关于 AIS 疾病进展风险早期预警, 仍然没有统一有效的标准。既往大量研究报道表明, AIS 患者侧凸畸形进展风险与骨骼生长发育潜能密切相关, 生长发育潜能越大其进展的风险就越高。目前在临床上, 常用的 AIS 患者骨骼生长发育评价指标包括 Risser 征、Y 型软骨(TRC)、手部骨化模式等, 这些评价指标的研究不断取得新进展, 为医务工作者通过评价骨骼生长发育潜力来预测患儿脊柱侧凸畸形进展风险提供更多参考。笔者详细介绍了几种骨骼生长发育潜力的评估方法, 并对其预测 AIS 进展风险的价值进行比较, 为临床工作者提供指导, 综述如下。

1 骨骼生长发育潜力的评估方法

1.1 拇指骨化综合指数(TOCI)

Hung 等^[10]试图进一步简化目前的骨骼生长发育评价指标的分级系统, 通过拇指近远端骨骺闭合情况和拇收肌

周围的籽骨将其分为 8 级(1~8 级): 1 级, 拇指近端指骨骨骺宽度与干骺端宽度相同; 2 级, 拇指近端指骨骨骺宽度超过干骺端宽度; 3 级, 骨骺开始覆盖拇指近端指骨干骺端, 且籽骨开始出现骨化现象; 4 级, 骨骺早期覆盖拇指近端指骨干骺端; 5 级, 骨骺持续覆盖拇指近端指骨干骺端; 6 级, 骨骺和拇指远端指骨干骺端完全融合; 7 级, 骨骺和拇指近端指骨干骺端开始融合; 8 级, 骨骺和拇指近端指骨干骺端完全融合。在 TOCI4~5 级时, 儿童达到生长高峰速度, 具有较大的生长发育潜力。Hung 等希望手部特征能够以更快、更容易的方式预测儿童骨骼生长发育情况。LAU 等^[11]使用 EOS 成像系统评估 TOCI 在观察者之间和观察者内部的一致性, 发现具有良好的一致性。Hung 等^[10]通过拇指骨化综合指数(TOCI)等方法验证 TOCI 和 Sanders 评分之间的差异性。进一步验证 TOCI 的可靠性, 得出 TOCI 分类和 Sanders 分类对应阶段有良好的可替换性^[12]。Chazono 等^[13]通过实验验证 Sanders 评分和 TOCI 评分都可较好预测脊柱侧凸患者的生长高峰速度, 这在临床工作中使用影像学检查去评估青春期患者骨骼成熟度和预测生长潜力至关重要。国内学者刘盾等^[14]通过分析拇指骨化综合指数(TOCI)和 Risser 征、指骨骨龄评分(DSA)之间的相关性, 发现 TOCI 和他们之间有较高的相关性($r=0.962, 0.813$)。认为 TOCI 可以预测 AIS 患者的生长发育, 且对 Risser 征是一个临床补充, 但 TOCI 评分和 Risser 征的优劣性还需要进一步验证。Yang 等^[15]也进一步用 TOCI 方法验证骨骼生长发育与骨密度之间的关系, 认为 TOCI 分类系统可准确评估 AIS 患者青春期前后的骨骼生长发育情况。TOCI 分类系统是一种较新颖的骨骼生长发育测定办法, 具有一定的简便性, 但此方法缺少大规模多中心研究去验证临床适用性。

1.2 Tanner-Whitehouse III(TW III法)

Tanner-Whitehouse III 评分系统由 Tanner 和 Whitehouse 于 1976 年提出。该评分标准基于尺骨、桡骨、掌骨及末端指骨骨骺的不同形态。分为尺骨、桡骨、掌骨(radius、ulna and small bones, RUS)和腕骨(carpal bones, CARP)两种骨龄评分法。该方法涉及用一个与特定加权分数相关

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(81871743); 陕西省儿童骨骼畸形与损伤疾病临床研究中心(2020LCZX-03); 骨骼遗传与发育畸形研究创新团队(2020TD-036)

第一作者简介: 男(1996-), 硕士研究生, 研究方向: 脊柱侧凸

电话: 18992121814 E-mail: wanghuan201754@163.com

通讯作者: 顾强 E-mail: jieqiangchina@126.com

的字母对单个骨骼进行专门评分。腕骨(CARP)和桡骨、尺骨和手的小骨(RUS)的分数是分开的。文章研究发现在 RUS 评分的各个骨头评分中,桡骨和尺骨与畸形加速期的相关性最低。因此,学者测试了没有桡骨和尺骨的 RUS 系统,并称之为数字骨骼年龄(DSA)(相关系数 $r=0.93$)。在 DSA 评分在 400~425 之间,曲线进展的可能性很高。DSA 评分也是基于手部各骨头发育形态评分获得,不同学者结合本国国情比较 Tanner-Whitehouse III 和 Gruelich-pyle 骨龄测定方法^[16,17],认为 Gruelich-pyle 有较强的种族限制,而 Tanner-Whitehouse III 有更好的适用性。学者普遍认为 Tanner-Whitehouse III 和 Gruelich-pyle 骨龄测定方法较复杂,在临床使用价值小,有学者就此问题提出对应的解决办法,通过建立模型对比人工智能和权威专家之间对同一方法的阅片比较,发现两者之间没有统计学差异,可用人工智能模型代替投入临床使用,提高疗效^[18]。不同的临床工作者之间对骨龄的观察存在着一定的误差,为了提高观察者之间的可信度,许多学者^[19-22]通过人工智能模型来消除观察者之间的误差,使人工智能模型更好地服务临床工作。

1.3 Sanders 评分

Tanner-Whitehouse III 评分系统在临床工作中使用相对较烦琐,学习时间长。Sanders 等阐述了一种较为简单的手部骨骼分类系统,定义为 Sanders 系统。Sanders 等^[23]对 22 例青少年脊柱侧凸患者进行了一项前瞻性研究分析,描述了脊柱侧凸患者的脊柱畸形角度 Cobb 角和 Tanner-Whitehouse III 骨龄评分之间的关系,并建立模型预测两者之间的联系。在研究中发现 Tanner-Whitehouse III 评分中的一些不足,Sanders 等^[24]对实验进一步改进优化,继续使用原来 22 例脊柱侧凸患者资料,把 Tanner-Whitehouse III 进一步简化,提出了一种更适合临床上使用的评价骨龄的办法。该方法主要是通过平片对患儿左手各指骨和掌骨的形态变化进行分类,用该方法评价脊柱侧凸 Cobb 角小于 50°时,患者生长发育过程中需要手术治疗的概率(Sanders 等认为 Cobb 角大于 50°是需要手术治疗的指标)。Sanders 等通过模型分析 Sanders 系统评分中每个阶段和脊柱侧弯不同 Cobb 角之间的关系,从而得到一个侧凸患者在生长发育过程中不同 Sanders 系统评分等级和不同 Cobb 角之间相对应的需要手术治疗的概率。由于 Sanders 等的研究只有小样本的女性患儿,且未包括所有的 Sanders 分期,Sitoula 等^[25]在此基础上进一步增加样本量到 161 例,且包括男性患者,通过回顾性研究得出各阶段 Sanders 分类和脊柱侧凸曲线之间的预测关系。从而得到一个表格,临床工作中通过查阅表格可进一步指导其治疗及预后。Johnson 等^[26]进一步加大样本量,在 Sanders 等的基础上重复实验,得到相似的结果。国内学者刘盾等^[27]就此方法结合国内情况进一步研究发现 Sanders 评分在临床工作中可以更好地预测 AIS 的进展状况。在 Sanders 评分 3 级时,患儿达到一个生长高峰阶段,骨骼具有较大的

生长潜力。这样可以更好为临床工作者提供诊治措施。

1.4 肱骨头分型和股骨近端骨骼生长发育指标

上述方法需要通过额外增加其他部位的 X 线片,增加了患儿受辐射的机会,为了减少辐射对患儿的影响,有学者认为^[28,29]通过肱骨近端肱骨头的骨骺发育进程将其分为 5 级:第 1 级,肱骨近端骨骺端明显比干骺端窄,且有一个明显的斜坡;第 2 级,骨骺外侧缘持续生长,较先前变圆滑;第 3 级,骨骺和干骺端外侧共线,没有明显的融合;第 4 级,骨骺的内侧部分开始部分融合;第 5 级,骨骺和干骺端基本完全融合。在肱骨头的分型中第 1 级骨骼生长潜力最大,之后呈递减趋势。有学者认为在拍摄脊柱全上片可以包括肱骨头,这样可以减少拍摄其他部位的 X 线片,从而减少患儿受辐射的机会,他们的研究发现肱骨近端骨化系统与生长高峰速度及剩余生长潜力有良好的相关性,肱骨近端骨化系统联合 Sanders 评分有更好的精度预测脊柱侧凸患儿生长高峰速度的时间,从而更好地预测特发性脊柱侧凸进展的可能性。Lopyan 等^[30]重复上述试验,他们发现该系统观察者内部和观察者之间的一致性和可靠性并没有良好的相关性,如果将原来的分类系统重新划分为生长高峰之前和生长高峰之后,则可进一步提高一致性。由于患儿肱骨头形态易受体位影响,Cheung 等^[31]通过股骨近端骨骼成熟度指标(PFMI)来判断患儿骨骼生长潜力,PFMI 分型是通过股骨头、大转子及 Y 型软骨的形态分为 7 级(0~6 级):0 级,股骨头骨骺较干骺端窄;1 级,股骨头骨骺较干骺端宽;2 级,在大转子处有明显呈三角形骨骺;3 级,股骨头内外侧骨骺开始闭合,大转子处骨骺形成双等高线,Y 型软骨开始闭合;4 级,股骨头的骨骺板变窄或部分融合,大转子的骨骺与干骺端也开始融合、Y 型软骨闭合;5 级,股骨头和大转子的骨骺和干骺端基本融合,股骨头处隐约可见生长板;6 级,股骨头和大转子的骨骺和干骺端完全融合。他们研究发现患儿在 PFMI3 级达到生长高峰,具有较大的生长潜力。PFMI 和 Risser 征,Sanders 评分等具有良好的对应关系,可以更好地应用到骨骼生长发育潜力的评估,但该方式还存在一些限制,辐射对儿童性腺部位的影响,PFMI0 级的男性患者数量较少,且缺乏对不同种族之间的评估。

1.5 Risser 征

Risser 征是 Joseph C. Risser 在 1958 年提出的,作为侧凸治疗重要指标。是脊柱侧凸中骨骼生长发育的常用标志,骨盆正位 X 线片上,在髂前上棘到髂后上棘的总长度均分为四段,分为:0 级,没有骨骺出现;I 级,前 1/4 有骨骺出现;II 级,前 1/2 有骨骺出现;III 级,前 3/4 有骨骺出现;IV 级,前 4/4 有骨骺出现,但未与髂骨融合;V 级,骨骺完全与髂骨融合。当骨化的骨骺与髂骨完全融合时(Risser V 级),患儿骨骼生长发育就完全成熟。患儿处于 Risser 0 级或 I 级(其次是 II 级)说明脊柱生长潜力大,畸形进展的风险较高。因此,用 Risser 征评估患儿骨骼生长发育指标在 AIS 患者的治疗中被普遍接受^[32]。然而,Risser 征主要依

赖于对髂嵴骨化的观察,观察者间差异影响其判读。不同学者通过对 Risser 征和 AIS 之间的相关性进行验证,发现与其他部位的骨骼生长发育比,Risser 征与 AIS 相关性较差,但 Risser 征是国际公认的具有临床意义的骨骼生长发育评价指标。目前常用的版本包括美国版本和法国版本,而不同版本 Risser 征在医务工作者的使用中产生一些混淆。Biondi 等^[33]描述髂骨发育的各个阶段,并验证了 Risser 征和 AIS 之间的关联,他们认为美国版较法国版的 Risser 征更能评价骨骼生长发育。邱勇等^[34]通过比较发现 Risser 征和 AIS 之间的一致性较差。虽然 Risser 征是临床上目前最常用的侧凸进展风险的骨性评估指标,但亦有其自身的不足之处。约 40% 的 AIS 患儿存在不同程度的髂嵴骨化异常,加上目前没有统一的、针对异常骨化进行分级的国际标准,从而严重影响 Risser 征等级的判断^[35]。

1.6 Y 型软骨(TRC)

Y 型软骨(TRC)分为开放、正在闭合和闭合三个分型。部分学者^[36]通过实验研究 Y 型软骨(TRC)是否可以作为支具治疗 AIS 的一个预测因素,通过实验比较在 TRC 开放或关闭状态下支具治疗 AIS 的效果,发现在闭合状态下 AIS 患者的曲线进展慢,治疗的失败率较低,但 TRC 并不能作为一个独立的预测因素。鉴于此,不少学者将 TRC 的开放和闭合状态纳入 Risser 征,提出了一个改良的 Risser 分级系统,Troy 等^[37]将北美和欧洲的 Risser 征差异结合 Y 型软骨的分型提出了新的 Risser+系统,该系统包括八个分型,他们通过比较该分类系统的可靠性和一致性,并分析与在 AIS 的相关性。最终发现 Risser+系统有较好的可靠性(ICC=0.96)和一致性,该分类与脊柱侧凸进展的高风险具有较好的相关性,但没有达到作者期望的阈值 0.8($k>0.6$)。笔者认为该研究纳入的对象只限于女性患者,所以还需在各个地区结合综合情况进行反复的验证及推广。

2 不同骨骼生长发育潜力评估的比较

在骨骼生长发育潜力预测 AIS 患者预后方面,一直有许多学者通过不同部位骨骼的生长发育去探讨其与 AIS 患者的预后。一些学者^[38]针对 Risser 征和 Sanders 评分进行比较发现,由于 Risser 征 0 期代表了骨骼不成熟患者的年龄范围较大,Sanders 评分可以进一步细分生长速度在峰值之前或处于峰值的患者,认为 Sanders 评分能更好地用于儿童脊柱外科中脊柱侧凸的评估。有学者称^[39]通过匹配 Sanders 评分和 Risser 征的容错性,发现 Risser 征分期通常高估骨骼生长发育潜力,不应该用于确定生长潜力或指导治疗方案。对于 TW 评分、Risser 征、Sanders 评价系统和 TOCI 评价系统之间的联系,有学者^[40]评估他们之间的亚组对应关系,且具有显著的相关性,可通过不同的评价系统更加精确地反应骨骼生长发育情况,更好地预测 AIS 的进展风险。笔者认为外科医生在管理 AIS 患者时对骨骼生长发育的测定根据患儿情况而决定,可通过相互验

证提高准确度(表 1)。

表 1 Risser 征和 Sanders 评分、TOCI 评分和 TRC 的对应关系

序号	Risser 征 (级)	Sanders 评分 (级)	TOCI 评分 (级)	TRC
1	0	1	2	开放
2	0	2	3/4	开放
3	0	3	5	开放
4	0	4	6	开放
5	0	5	6	闭合
6	1~3	6	7	闭合
7	4	7	8	闭合
8	5	8	—	闭合

3 总结

AIS 是青少年脊柱侧凸中最常见的一个类型,而在 AIS 评估和治疗中,骨骼生长发育潜力对生长的评估始终是必要的,直接关联畸形进展预测及治疗方案的选择。本文通过总结归纳目前已有的骨骼生长发育的预测方法和指标,分析其中各自的优缺点,从而帮助临床医生更好预测 AIS 患者的进展风险。目前临床上常使用的预测指标是 Risser 征、三角软骨等,但其精确程度存在一定不足;Tan-ner-Whitehouse III 等预测指标较为烦琐,临床上使用较少;相信在不就的将来通过人工智能预测可进一步提高使用率。TOCI、Sanders 评价系统操作相对简单,学习曲线短,有较高的可重复性和一致性,两个骨骼生长发育评价系统具有较高的互换性,可进一步提高准确性,但这两种分型都需要通过手部 X 线确定,会增加患儿受辐射剂量,从而增加癌变的风险。肱骨头分型和 PFMI 都不需要通过增加其他部位骨骼的 X 线片,可减少患儿的辐射剂量;肱骨头分型在研究者的使用中发现有良好的一致性,但有学者研究发现并没有特别高的一致性,这需要进一步去验证,同样 PFMI 是否存在类似问题?PFMI 中射线对性腺影响值得关注,可通过低剂量设备拍摄患儿的脊柱全长 X 线片。由于这两种分型提出时间较短,还需通过大量实验去验证与各种骨骼生长发育评价指标的关系。笔者认为未来的研究需要聚焦于完善现有评价体系、使各种评价系统之间有一个良好的匹配关系以及进一步开发出更适合临床的评分方法或模型去预测 AIS 的进展过程。

4 参考文献

1. Lonstein JE. Adolescent idiopathic scoliosis[J]. Lancet, 1994, 344(8934): 1407-1412.
2. 丁幸坡, 滕军燕, 柴爽, 等. 郑州市郑东新区初中生特发性脊柱侧弯的患病率调查[J]. 中医正骨, 2020, 32(6): 31-37.
3. Weinstein SL, Dolan LA, Wright JG, et al. Effects of bracing in adolescents with idiopathic scoliosis [J]. N Engl J Med, 2013, 369(16): 1512-1521.

4. 徐帅, 苏永佳, 王振波, 等. 中国大陆中小學生脊柱側凸的患病特点: 关于 72 項研究的 Meta 分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31(10): 901–910.
5. Adamczewska K, Wiernicka M, Malchrowicz-Mosko E, et al. The angle of trunk rotation in school children: a study from an idiopathic scoliosis screening. prevalence and optimal age screening value[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(18): 3426.
6. Cheung ZB, Selverian S, Cho BH, et al. Idiopathic scoliosis in children and adolescents: emerging techniques in surgical treatment[J]. *World Neurosurg*, 2019, 130: E737–E742.
7. Ruf M, Drumm J, Jeszensky D. Anterior instrumented fusion for adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(2): 31.
8. Cheung JPY, Cheung PWH, Shigematsu H, et al. Controversies with nonoperative management for adolescent idiopathic scoliosis: study from the APSS Scoliosis Focus Group [J]. *J Orthop Surg(Hong Kong)*, 2020, 28(2): 1–7.
9. Kaelin AJ. Adolescent idiopathic scoliosis: indications for bracing and conservative treatments[J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(2): 28.
10. Hung ALH, 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.
11. Lau LCM, Hung ALH, Chau WW, et al. Sequential spine–hand radiography for assessing skeletal maturity with low radiation EOS imaging system for bracing treatment recommendation in adolescent idiopathic scoliosis: a feasibility and validity study[J]. *J Child Orthop*, 2019, 13(4): 385–392.
12. Hung ALH, Shi BL, Chow SKH, et al. Validation study of the thumb ossification composite index (toci) in idiopathic scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2018, 100(13): 88.
13. Chazono M, Obata S. A simplified skeletal maturity scale and thumb ossification composite index to assess skeletal maturity and predict height velocity in Japanese females with adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Spine Surg Relat Res*, 2021, 5(4): 244–251.
14. 刘盾. 拇指骨骺评分在青少年特发性脊柱侧凸患者生长潜能评估中的应用价值[J]. 南京大学, 2020.
15. Yang KG, Lee WYW, Hung ALH, et al. Decreased cortical bone density and mechanical strength with associated elevated bone turnover markers at peri–pubertal peak height velocity: a cross–sectional and longitudinal cohort study of 396 girls with adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Osteoporos Int*, 2022, 33(3): 725–735.
16. Shah N, Khadilkar V, Lohiya N, et al. Comparison of bone age assessments by greulich–pyle, gilsanz–ratib, and tanner whitehouse methods in healthy Indian children [J]. *Indian J Endocrinol Metab*, 2021, 25(3): 240–246.
17. Shin N, Lee B, Kang J, et al. Evaluation of the clinical efficacy of a TW3–based fully automated bone age assessment system using deep neural networks [J]. *Imaging Sci Dent*, 2020, 50(3): 237–243.
18. Lee K, Lee K, Kang C, et al. Clinical validation of a deep learning–based hybrid (greulich–pyle and modified tanner–whitehouse) method for bone age assessment [J]. *Korean J Radiol*, 2021, 22(12): 2017–2025.
19. Halabi SS, Prevedello LM, Kalpathy–Cramer J, et al. The RSNA pediatric bone age machine learning challenge [J]. *Radiology*, 2019, 290(2): 498–503.
20. Larson DB, Chen MC, Lungren MP, et al. Performance of a deep–learning neural network model in assessing skeletal maturity on pediatric hand radiographs[J]. *Radiology*, 2018, 287(1): 313–322.
21. Lee BD, Lee MS. Automated bone age assessment using artificial intelligence: the future of bone age assessment [J]. *Korean J Radiol*, 2021, 22(5): 792–800.
22. Koitka S, Kim M, Qu M, et al. Mimicking the radiologists’ workflow: estimating pediatric hand bone age with stacked deep neural networks [J]. *Med Image Anal*, 2020, 64: 101743.
23. Sanders JO, Browne RH, McConnell SJ, et al. Maturity assessment and curve progression in girls with idiopathic scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2007, 89(1): 64–73.
24. 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.
25. Sitoula P, Verma K, Holmes L, et al. Prediction of curve progression in idiopathic scoliosis validation of the sanders skeletal maturity staging system [J]. *Spine*, 2015, 40(13): 1006–1013.
26. Johnson MA, Flynn JM, Anari JB, et al. Risk of scoliosis progression in nonoperatively treated adolescent idiopathic scoliosis based on skeletal maturity [J]. *J Pediatr Orthop*, 2021, 41(9): 543–548.
27. 刘盾, 朱泽章, 夏三强, 等. 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 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(9): 780–784, 800.
28. Li DT, Cui JJ, Devries S, et al. Humeral head ossification predicts peak height velocity timing and percentage of growth remaining in children[J]. *J Pediatr Orthop*, 2018, 38(9): E546–E50.
29. Li DT, Linderman GC, Cui JJ, et al. The proximal humeral ossification system improves assessment of maturity in patients with scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101(20): 1868–1874.
30. Lopyan AH, Gagnier JJ, Gagnet P, et al. Humeral head ossification growth prediction: can this method be reproduced

- [J]. J Pediatr Orthop, 2021, 41(7): E575-E579.
31. Cheung PWH, Canavese F, Chan CYW, et al. The utility of a novel proximal femur maturity index for staging skeletal growth in patients with idiopathic scoliosis [J]. J Bone Joint Surg Am, 2022, 104(7): 630-640.
 32. Magnide E, Tchaha GW, Joncas J, et al. Automatic bone maturity grading from EOS radiographs in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Comput Biol Med, 2021, 136: 104681.
 33. Biondi J, Weiner DS, Bethem D, et al. Correlation of risser sign and bone -age determination in adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Pediatr Orthop, 1985, 5(6): 697-701.
 34. 邱勇, 王渭君, 郑欣, 等. 不同 Risser 征定义对女性青少年特发性脊柱侧凸生长潜能评估的比较[J]. 中华骨科杂志, 2012, 32(1): 7-12.
 35. 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.
 36. Ryan PM, Puttler EG, Stotler WM, et al. Role of the triradiate cartilage in predicting curve progression in adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Pediatr Orthop, 2007, 27(6): 671-676.
 37. Troy MJ, Miller PE, Price N, et al. The "Risser plus" grade: a new grading system to classify skeletal maturity in idiopathic scoliosis[J]. Eur Spine J, 2019, 28(3): 559-566.
 38. Vira S, Husain Q, Jalai C, et al. The interobserver and intraobserver reliability of the sanders classification versus the risser stage[J]. J Pediatr Orthop, 2017, 37(4): E246-E249.
 39. Minkara A, Bainton N, Tanaka M, et al. High risk of mismatch between sanders and risser staging in adolescent idiopathic scoliosis: are we guiding treatment using the wrong classification[J]. J Pediatr Orthop, 2020, 40(2): 60-64.
 40. Bian Z, Guo Y, Lyu XM, et al. Relationship between hand and wrist bone age assessment methods [J]. Medicine, 2020, 99(39): E22392.

(收稿日期:2022-03-22 末次修回日期:2022-11-24)

(本文编辑 彭向峰)

(上接第 173 页)

- induced degeneration of endplate chondrocytes by driving m6A-dependent maturation of miR-126-5p [J]. J Cell Mol Med, 2020, 24(23): 14013-14025.
33. Xiao L, Hu B, Ding B, et al. N(6)-methyladenosine RNA methyltransferase like 3 inhibits extracellular matrix synthesis of endplate chondrocytes by downregulating sex-determining region Y-box transcription factor 9 expression under tension [J]. Osteoarthritis Cartilage, 2022, 30(4): 613-625.
 34. Fang S, Zeng F, Chen R, et al. SIAH1 promotes senescence and apoptosis of nucleus pulposus cells to exacerbate disc degeneration through ubiquitinating XIAP [J]. Tissue Cell, 2022, 76: 101820.
 35. Zhu H, Sun B, Zhu L, et al. N6-methyladenosine induced miR-34a-5p promotes TNF- α -induced nucleus pulposus cell senescence by targeting SIRT1[J]. Front Cell Dev Biol, 2021, 9: 642437.
 36. Yuan XQ, Li TF, Shi L, et al. Human umbilical cord mesenchymal stem cells deliver exogenous miR-26a-5p via exosomes to inhibit nucleus pulposus cell pyroptosis through METTL14/NLRP3[J]. Mol Med, 2021, 27(1): 91.
 37. Li G, Ma L, He S, et al. WTAP-mediated m(6)A modification of lncRNA NORAD promotes intervertebral disc degeneration[J]. Nat Commun, 2022, 13(1): 1469.
 38. Li Y, Chen L, Gao Y, et al. Oxidative stress and intervertebral disc degeneration: pathophysiology, signaling pathway, and therapy[J]. Oxid Med Cell Longev, 2022, 2022:1984742.
 39. Chen PB, Shi GX, Liu T, et al. Oxidative stress aggravates apoptosis of nucleus pulposus cells through m(6)A modification of MAT2A pre-mRNA by METTL16[J]. Oxid Med Cell Longev, 2022, 2022: 4036274.
 40. Lan T, Shiyu H, Shen Z, et al. New insights into the interplay between miRNAs and autophagy in the aging of intervertebral discs[J]. Ageing Res Rev, 2021, 65: 101227.
 41. Li GC, Song Y, Liao ZW, et al. Bone-derived mesenchymal stem cells alleviate compression-induced apoptosis of nucleus pulposus cells by N6 methyladenosine of autophagy[J]. Cell Death Dis, 2020, 11(2): 103.
 42. Li G, Luo R, Zhang W, et al. m6A hypomethylation of DNMT3B regulated by ALKBH5 promotes intervertebral disc degeneration via E4F1 deficiency[J]. Clin Transl Med, 2022, 12(3): e765.
 43. Huang W, Chen TQ, Fang K, et al. N6-methyladenosine methyltransferases: functions, regulation, and clinical potential [J]. J Hematol Oncol, 2021, 14(1): 117.

(收稿日期:2022-10-10 末次修回日期:2023-02-09)

(本文编辑 彭向峰)