

DOI:10.16781/j.0258-879x.2020.11.1183

· 专题报道 ·

青少年特发性脊柱侧凸术前柔韧性影响因素及评估方法研究进展

白锦毅, 陈自强, 赵颖川, 李明*

海军军医大学(第二军医大学)长海医院骨科, 上海 200433

[摘要] 脊柱侧凸柔韧性评估是青少年特发性脊柱侧凸患者术前常规检查, 其对确定融合节段、选择手术入路、预测术后矫形效果等具有重要意义。然而, 随着矫形理念的革新和内固定矫形器械不断发展, 目前常用的脊柱侧凸柔韧性评估方法如仰卧位侧屈位法、支点侧屈位法、牵引法等暴露出预测性差、评估标准不一致及射线暴露损害等问题。因此, 如何针对脊柱侧凸患者临床特点选择合适的脊柱侧凸柔韧性评估方法至关重要。本文就青少年特发性脊柱侧凸柔韧性的影响因素及不同脊柱柔韧性评估方法作一综述。

[关键词] 青少年特发性脊柱侧凸; 柔韧性; 影像学; 影响因素

[中图分类号] R 682.3

[文献标志码] A

[文章编号] 0258-879X(2020)11-1183-05

Influencing factors and evaluation methods of preoperative flexibility in patients with adolescent idiopathic scoliosis: research progress

BAI Jin-yi, CHEN Zi-qiang, ZHAO Ying-chuan, LI Ming*

Department of Orthopaedics, Changhai Hospital, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[Abstract] The assessment of flexibility of scoliosis is a conventional preoperative examination for adolescent idiopathic scoliosis, and it is important in selecting fusion level, deciding surgical approach, and predicting postoperative correction. With the innovation of orthopaedic concepts and the continuous development of internal fixation orthopaedic instruments, the commonly used methods for assessing scoliosis flexibility, including supine side-bending, fulcrum-bending and traction, however, have showed some disadvantages such as poor predictability, inconsistent evaluative criteria and radiation exposure. Therefore, it is important to choose a suitable method to evaluate the flexibility of scoliosis according to the clinical characteristics. This paper reviews the influencing factors and different evaluation methods for the flexibility of adolescent idiopathic scoliosis.

[Key words] adolescent idiopathic scoliosis; flexibility; imaging; influencing factors

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2020, 41(11): 1183-1187]

青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)是一种复杂的三维脊柱畸形, 发病率为2%~3%, 常发生于青春期前女性^[1]。脊柱侧凸柔韧性评估是AIS患者术前的常规检查, 准确评估脊柱柔韧性对确定融合节段、选择手术入路、预测术后矫形效果等有着重要意义^[2-4]。随着矫形理念的革新和内固定矫形器械不断发展, 既往作为脊柱侧凸柔韧性评估金标准的仰卧位侧屈位法逐渐暴露出重复性差、术后预测准确度低等缺点^[4]。因此, 有学者提出新的脊柱柔韧性评估方法, 但目前还没有一种能适用于所有类型脊柱侧凸

的评估方法。本文主要就AIS患者脊柱柔韧性的影响因素及评估方法作一综述, 以指导临床工作中选择合适的术前脊柱柔韧性评估方法。

1 脊柱柔韧性的影响因素

1.1 侧凸角度和年龄因素 Deviren等^[5]回顾了75例特发性胸腰弯和腰弯脊柱侧凸患者的资料, 获得线性回归方程: 结构弯柔韧性=130-(Cobb角+年龄/2), 认为侧凸角度越大或年龄越大脊柱柔韧性越差。对于Cobb角>40°的侧凸, 每增加10°其柔韧性约降低10%; 年龄每增加10岁

[收稿日期] 2019-08-29 [接受日期] 2020-02-13

[基金项目] 国家自然科学基金(81372012)。Supported by National Natural Science Foundation of China (81372012).

[作者简介] 白锦毅, 硕士生, 住院医师。E-mail: baibaibaijy@163.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-31161700, E-mail: limingch@21cn.com

结构弯的柔韧性降低 5%, 腰骶段部分的侧凸柔韧性降低 10%^[5]。但该研究仅纳入了胸腰弯和腰弯患者, 未纳入单纯胸弯患者。Clamp 等^[6]也通过线性回归模型证实 Cobb 角和年龄是 AIS 患者脊柱柔韧性的预测指标。刘文军等^[7]研究发现在排除侧凸类型及性别影响后, AIS 患者的 Cobb 角和年龄与脊柱柔韧性呈显著负相关, 并分别归因于骨骼塌陷严重和刚性增强。陈自强等^[8]通过回顾性分析 150 例 AIS 患者的临床资料, 发现立位冠状面 Cobb 角是影响侧凸柔韧性的因素, 立位冠状面 Cobb 角每增加 10°, 柔韧性降低约 8%。

1.2 主弯位置因素 Clamp 等^[6]的研究显示腰弯 AIS 患者的脊柱柔韧性优于胸弯, 并分析这可能与胸廓限制胸椎活动有关。刘文军等^[7]按顶椎位置将 AIS 患者分胸弯组和胸腰弯/腰弯组, 比较两组脊柱柔韧性的差异, 结果显示胸腰弯/腰弯组的脊柱柔韧性明显好于胸弯组 ($P < 0.05$), 与 Clamp 等^[6]的研究结论一致。陈自强等^[8]在排除侧凸角度、年龄等因素的影响后比较了不同侧凸位置对脊柱柔韧性的影响, 发现胸椎侧凸的脊柱柔韧性比腰椎侧凸约小 10%。

1.3 性别因素 Ameri 等^[9]的研究纳入 150 例 AIS 患者, 发现男性患者的脊柱僵硬程度高于女性 [柔韧性 (30.1 ± 13.5)% vs (40.3 ± 17.8)%, $P = 0.01$], 但导致男性患者脊柱柔韧性低的因素复杂, 包括侧凸角度、年龄等混杂因素。Marks 等^[10]开展的一项多中心研究对 547 例 AIS 患者的资料进行了分析, 发现男性患者的脊柱柔韧性较女性略差 (44% vs 49%, $P = 0.01$), 但手术矫正效果没有明显差异。刘文军等^[7]分析了影响 AIS 患者脊柱柔韧性的因素, 发现女性患者的脊柱柔韧性高于男性, 但男性和女性患者脊柱柔韧性又分别有各自的影响因素。然而陈自强等^[8]的研究表明男性和女性 AIS 患者的脊柱柔韧性没有区别。

1.4 脊柱柔韧性评估方法因素 目前脊柱柔韧性的评估主要基于影像学检查, 还有部分评估方法借用新技术进行非侵袭体表测量 (光学摄影技术、脊柱倾角测量仪等)。基于影像学检查, 脊柱外科医师通过让患者变换体位拍摄 X 线片评估脊柱柔韧性, 目前主要的方法有仰卧位侧屈位法、仰卧位推压法、支点弯曲位法、牵引法、仰卧位牵引推压法。由于体位及矫形力的变化主要是改变了 Duval-Beaupère 等^[11]提出的脊柱柔韧性的塌陷性和还原性, 因此即使同一例患者, 应用的脊柱柔韧性评估方法不同, 其评估结果也不同。

2 脊柱柔韧性的评估方法

虽然脊柱柔韧性的评估方法很多, 但是目前尚没有一种柔韧性评估方法能被所有学者认同, 部分柔韧性评估方法已无法对矫形效果进行很好地预测与评价。现从脊柱柔韧性评估价值与术后矫形率预测方面分析不同脊柱柔韧性评估方法的优劣。

2.1 仰卧位侧屈位法 侧屈位法通过让患者自主向侧凸的凸侧方向进行躯干最大程度弯曲从而评估脊柱侧凸柔韧性, 包括站立位和仰卧位 2 种方法。由于在仰卧位时柔韧性中的“塌陷”作用被消除, 并且冠状位的侧屈力和胸腹部矢状位作用力完成了三维矫形的效果, 因此仰卧位侧屈位法自 1972 年被 Moe^[12]提出后, 现已发展为脊柱外科医师评估脊柱柔韧性的金标准。1992 年国际脊柱侧弯协会 (Scoliosis Research Society, SRS) 年会达成共识, 认为仰卧位侧屈位法评估脊柱柔韧性更准确。尽管仰卧位侧屈位法逐渐暴露出重复性差、术后预测准确度低等缺点^[4,13-15], 但仍在诊断方面具有重要作用 (如区分结构性与非结构性侧凸), 目前仍是常规的脊柱柔韧性评估方法^[16]。

在术后矫形率预测方面, Takahashi 等^[17]的研究纳入了接受 Cotrel-Dubousset 矫形器械手术治疗的 74 例特发性脊柱侧凸患者, 发现术后侧凸角度与术前仰卧位侧屈位法测得的 Cobb 角具有较好的相关性 (胸弯: $r = 0.81$, $P < 0.001$; 腰弯: $r = 0.41$, $P = 0.044$)。随着内固定器械的发展和现代手术技术理念的进步, 仰卧位侧屈位法预测的矫形率不再能准确地反映实际手术侧凸矫形率。Aronsson 等^[18]通过比较 45 例侧凸患者不同矫形器械矫形术前和术后的仰卧位侧屈位 X 线片, 发现术前仰卧位侧屈位法预测的术后矫形平均角度 (22°) 均小于实际手术矫形效果 (Harrington 技术: 23° ; Drummond/Wisconsin 技术: 29° ; TSRH 技术: 36°)。Gotfryd 等^[19]与 McCall 和 Bronson^[20]的研究结果也显示椎弓根螺钉和 CD 系统矫形后侧凸角度与仰卧位侧屈位法预测的角度有偏差。

2.2 支点侧屈位法 Cheung 等^[21]于 1997 年设计了支点侧屈位法。测量时, 患者侧卧于塑料圆筒上, 共有 3 个定制标准 (19、23、27 cm) 的圆筒供选择, 选择 1 个最小且能够让患者身体抬离桌面的圆筒, 胸椎侧凸者将圆筒置于胸椎侧凸顶椎对应的肋骨下方并使肩膀离开桌面, 腰椎侧凸者将圆筒直接放置于对应的顶椎下方并使骨盆离开桌面。Luk 等^[22]于 1998 年首次提出支点弯曲矫正指数,

该指数在评估脊柱柔韧性的同时考虑了侧凸的柔韧性和器械的矫形力, 从而能更好地评估冠状面矫形效果。

仰卧位侧屈位法主要依赖患者主观意愿和医师经验, 而支点侧屈位法则是依靠合适的圆筒对抗体重而产生的侧屈力, 其往往比仰卧位侧屈位法产生的侧屈力大, 稳定性好, 且可重复性佳。Hamzaoglu 等^[4]比较了仰卧位侧屈位法、支点侧屈位法、仰卧位牵引法、全身麻醉条件下仰卧位牵引法评估脊柱柔韧性的效果, 发现无论严重型 (Cobb 角 $>65^{\circ}$) 还是适中型 (Cobb 角 $>40^{\circ}\sim 65^{\circ}$) 侧凸, 支点侧屈位法测得的柔韧性均优于仰卧位侧屈位法。Cheung 等^[21]回顾性分析了 30 例行节段内固定术的 AIS 患者资料, 结果显示支点侧屈位法比仰卧位侧屈位法更能准确地预测脊柱的柔韧性和矫形效果。在不同部位脊柱侧凸方面, Hamzaoglu 等^[4]的研究前瞻性纳入了 37 例 AIS 患者, 在评估 $>40^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 胸弯时支点侧屈位法评估柔韧性的效果优于仰卧位侧屈位法, 而在评估胸腰弯 / 腰弯和 $>65^{\circ}$ 胸弯时两者没有区别。费琦等^[23]的研究根据术前正位 X 线片 Cobb 角将 68 例 AIS 患者分为 4 组: 中度胸弯组 (Cobb 角 $>40^{\circ}\sim 60^{\circ}$)、重度胸弯组 (Cobb 角 $>60^{\circ}$)、中度腰弯组 (Cobb 角 $>35^{\circ}\sim 60^{\circ}$)、重度腰弯组 (Cobb 角 $>60^{\circ}$)。研究结果显示在中、重度胸弯组支点侧屈位法评估柔韧性的效果明显优于仰卧位侧屈位法, 并且对中度胸弯手术效果的评估最为准确; 在腰弯中, 支点侧屈位法和仰卧位侧屈位法评估效果的差异不明显。但陈庆贺等^[24]研究却认为支点侧屈位法对胸弯或胸腰弯 / 腰弯都能准确预测手术效果。

在术后矫形率预测方面, Cheung 等^[21]在设计支点侧屈位法的同时, 将 AIS 患者术前、术后侧凸情况与预测的矫形情况进行比较, 发现支点侧屈位法相对于仰卧位侧屈位法能更好地预测矫形效果。对于胸椎侧凸, Cheung 等^[25]和 Hay 等^[26]分别在不同手术入路及术式中证实支点侧屈位法能够准确地预测术后矫形效果。而对于腰弯, Klepps 等^[27]比较了矫形后 Cobb 角、仰卧位侧屈位法预测的 Cobb 角和支点侧屈位法预测的 Cobb 角, 发现三者差异无统计学意义 (P 均 >0.05)。Hamzaoglu 等^[4]则认为侧凸角度为 $40^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 时, 通过支点侧屈位法预测的矫形效果优于仰卧位侧屈位法和全身麻醉下牵引法; 对于严重的侧凸 (Cobb 角 $>65^{\circ}$), 全身麻醉下牵引法能更好地预测矫形效果。

2.3 俯卧位推压法 俯卧位推压法是由 Kleinman

等^[28]于 1982 年提出的一种脊柱柔韧性评估方法。测量时, 患者取俯卧位, 一名医师在主弯顶椎施加适当压力, 另一名医师在凹侧腋窝和骨盆处施加压力, 两人同时施加压力后拍摄 X 线片。但该检查过程中施加的力不能量化, 并且协助检查的医师也需暴露于 X 线。

Kleinman 等^[28]对 58 例特发性脊柱侧凸患者进行了 Harrington 矫形手术, 认为俯卧位推压法对术后矫形效果有很好的预测作用, 但未与仰卧位侧屈位法进行比较。而 Vedantam 等^[13]比较了仰卧位侧屈位法和俯卧位推压法, 认为两者均不能很好地预测术后矫形效果, 同时也发现俯卧位推压法可以很好地预测最下固定椎平移矫正和旋转情况。Klepps 等^[27]的研究也表明俯卧位推压法与其他评估方法不同, 认为俯卧位推压法主要用于评估整体脊柱平衡情况。

在术后矫形率预测方面, Vedantam 等^[13]在 1 项纳入 40 例接受前路和部分前后路联合胸腰椎 / 腰椎侧凸手术治疗的 AIS 患者的研究中, 发现俯卧位推压法和仰卧位侧屈位法均不能有效预测实际的矫形效果。Klepps 等^[27]的研究显示俯卧位推压法和仰卧位侧屈位法预测的矫形效果均劣于术后实际矫形情况, 而 Kleinman 等^[28]则认为俯卧位推压法预测的 Cobb 角与矫形后实际 Cobb 角无明显差异 ($P>0.05$)。以上研究结果的不同可能与各研究中患者接受的手术入路、术式及矫形器械不同有关。

2.4 牵引法 牵引法主要针对患有精神疾病或神经肌肉疾病的患者, 主要形式有仰卧位牵引、站立位牵引 (悬吊) 和全身麻醉下牵引等。Takahashi 等^[17]于 1997 年设计了一种标准仰卧位牵引方法, 具体做法为侧凸患者取仰卧位, 将下颌和枕部置于牵引带连接弹力称, 骨盆双侧牵引带固定到可滑动的尾端进行反向牵引以评估脊柱侧凸柔韧性。而 Büchler 等^[29]采取患者站立于旋转加载台并将下颌和枕部置于缚头带连接牵引系统的方法进行牵引, 比较患者在未牵引和牵引力相当于患者体重的 30% 所产生的重力时拍摄 X 线片评估的柔韧性, 结果显示对于主弯侧凸角度 $>45^{\circ}$ 时, 站立位牵引评估的柔韧性较仰卧位侧屈位法差。Vaughan 等^[30]比较了仰卧位侧屈位法和 Risser 台牵引法测量的柔韧性对 AIS 选择融合阶段的评估效果, 认为在侧凸角度 $\geq 60^{\circ}$ 时牵引法预测的柔韧性优于仰卧位侧屈位法, 而侧凸角度 $<60^{\circ}$ 时则相反。Polly 和 Sturm^[31]的研究中, 侧凸角度 $<50^{\circ}$ 时, 仰卧位侧屈位法评估

的柔韧性优于牵引法;侧凸角度为 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 时,仰卧位侧屈位法评估胸弯柔韧性时优于牵引法,但在评估腰弯时2种方法没有明显差异。Davis等^[32]针对以上问题,在仰卧位牵引的基础辅以全身麻醉后发现无论侧凸角度的大小,全身麻醉下牵引法预测的柔韧性优于仰卧位侧屈位法,该结果一定程度上说明在评估侧凸柔韧性时,肌肉的收缩影响着侧凸的矫形效果。Hamzaoglu等^[4]研究表明全身麻醉下牵引法评估中度胸弯、重度胸弯和腰弯的柔韧性优于仰卧位侧屈位法,而在评估中度腰弯时则相反。

在术后矫形率预测方面,Takahashi等^[17]研究发现术前仰卧位牵引法预测的Cobb角与术后实际Cobb角呈强相关性(胸弯: $r=0.82, P<0.001$;腰弯: $r=0.54, P<0.001$)。Davis等^[32]在提出全身麻醉下牵引法后也证明全身麻醉下牵引法预测的柔韧性优于仰卧位侧屈位法($P<0.001$),并能准确地预测术后矫形($P=0.13$)。近年来,随着EOS影像系统和牵引力可量化技术的出现,站立位牵引法成为一种新的测量脊柱柔韧性的方法,但其预测的柔韧性与术后矫形效果与其他评估方法的对比仍留有空白,需要开展更多深入的研究进行分析。

2.5 牵引推压法 牵引推压法是将牵引法和推压法相结合评估脊柱柔韧性的一种新方法,可在麻醉辅助下进行操作。Chen等^[33]研制了一种电动牵引推压床,在牵引力和推压力均相当于患者体重1/3所产生的重力的情况下评估AIS患者的脊柱柔韧性,结果显示对于胸弯,仰卧位牵引推压法评估的柔韧性优于仰卧位侧屈位法[(54.92 ± 13.38)% vs (47.95 ± 15.93)%, $P=0.010$];对于胸腰弯/腰弯,仰卧位牵引推压法和仰卧位侧屈位法评估的柔韧性相似[(65.24 ± 9.45)% vs (66.65 ± 16.21)%, $P=0.681$]。Rodrigues等^[34]在全身麻醉下评估Lenke I型和III型AIS患者的脊柱柔韧性,发现全身麻醉牵引推压法预测的柔韧性优于仰卧位侧屈位法。

在术后矫形率预测方面,Chen等^[33]的研究发现,无论胸弯还是腰弯,牵引推压法预测的矫形率与实际手术矫形率差异均无统计学意义($P=0.122、0.068$);对比仰卧位侧屈位法、站立位牵引法、支点侧屈位法发现,牵引推压法预测的Cobb角与矫形术后实际Cobb角相关性最强(胸弯: $r=0.957, P<0.001$;腰弯: $r=0.608, P<0.001$)。Rodrigues等^[34]也发现全身麻醉下牵引推压法评估的柔韧性较好,并且预测的矫形率与实际矫形率无明显差异。

3 小结

目前脊柱侧凸柔韧性的评估方法有多种,并且随着各种技术的发展新的评估方法也不断被提出,但尚没有一种通用的柔韧性评估方法适用于所有脊柱侧凸患者。仰卧位侧屈位法评估脊柱柔韧性的准确率不高,但仍是目前术前常规评估方法。俯卧位推压法通过外力作为被动矫形力可以很好地评估融合节段上下方的代偿情况,但同时使协助检查的医师暴露于X线。支点侧屈位法和全身麻醉下牵引法虽然可提高脊柱柔韧性对手术效果预测的准确性,但具体操作和准备工作复杂。牵引推压法考虑了多维度矫形,但目前仍在探索阶段。因此,重视术前脊柱柔韧性的评估、合理选择评估方法对于AIS患者的手术治疗具有重要意义。

[参考文献]

- [1] WEINSTEIN S L. Natural history[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1999, 24: 2592-2600.
- [2] 丁旗,邱勇,孙旭,王斌,朱泽章,俞杨,等.主胸腰弯或腰弯型青少年特发性脊柱侧凸行前路选择性融合术后胸弯失代偿的危险因素[J].中华外科杂志,2012,50:518-523.
- [3] NI H J, SU J C, LU Y H, ZHU X D, HE S S, WU D J, et al. Using side-bending radiographs to determine the distal fusion level in patients with single thoracic idiopathic scoliosis undergoing posterior correction with pedicle screws[J]. J Spinal Disord Tech, 2011, 24: 437-443.
- [4] HAMZAOGLU A, TALU U, TEZER M, MIRZANLI C, DOMANIC U, GOKSAN S B. Assessment of curve flexibility in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2005, 30: 1637-1642.
- [5] DEVIREN V, BERVEN S, KLEINSTUECK F, ANTINNES J, SMITH J A, HU S S. Predictors of flexibility and pain patterns in thoracolumbar and lumbar idiopathic scoliosis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2002, 27: 2346-2349.
- [6] CLAMP J A, ANDREWS J R, GREVITT M P. A study of the radiologic predictors of curve flexibility in adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Spinal Disord Tech, 2008, 21: 213-215.
- [7] 刘文军,邱勇,孙旭,刘臻,束昊,王信华,等.青少年特发性脊柱侧凸患者脊柱柔韧性的影响因素[J].中国脊柱脊髓杂志,2009,19:882-886.
- [8] 陈自强,谢杨,徐瑾,王传锋,杨长伟,赵颖川,等.青少年特发性脊柱侧凸柔韧性影响因素分析及仰卧侧屈角度的预测[J].脊柱外科杂志,2010,8:103-107.
- [9] AMERI E, BEHTASH H, MOBINI B, OMIDI-KASHANI F, MOMENI B. Radiographic outcome of surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis in males versus females[J/OL]. Scoliosis, 2008, 3: 12. doi:

- 10.1186/1748-7161-3-12.
- [10] MARKS M, PETCHARAPORN M, BETZ R R, CLEMENTS D, LENKE L, NEWTON P O. Outcomes of surgical treatment in male versus female adolescent idiopathic scoliosis patients[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32: 544-549.
- [11] DUVAL-BEAUPÈRE G, LESPARGOT A, GROSSIORD A. Flexibility of scoliosis. What does it mean? Is this terminology appropriate? [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1985, 10: 428-432.
- [12] MOE J H. Methods of correction and surgical techniques in scoliosis[J]. *Orthop Clin North Am*, 1972, 3: 17-48.
- [13] VEDANTAM R, LENKE L G, BRIDWELL K H, LINVILLE D L. Comparison of push-prone and lateral-bending radiographs for predicting postoperative coronal alignment in thoracolumbar and lumbar scoliotic curves[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2000, 25: 76-81.
- [14] CHEUNG W Y, LENKE L G, LUK K D. Prediction of scoliosis correction with thoracic segmental pedicle screw constructs using fulcrum bending radiographs[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2010, 35: 557-561.
- [15] KUKLO T R, POTTER B K, LENKE L G. Vertebral rotation and thoracic torsion in adolescent idiopathic scoliosis: what is the best radiographic correlate? [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2005, 18: 139-147.
- [16] CHEH G, LENKE L G, LEHMAN R A Jr, KIM Y J, NUNLEY R, BRIDWELL K H. The reliability of preoperative supine radiographs to predict the amount of curve flexibility in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32: 2668-2672.
- [17] TAKAHASHI S, PASSUTI N, DELÉCRIN J. Interpretation and utility of traction radiography in scoliosis surgery. Analysis of patients treated with Cotrel-Dubousset instrumentation[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1997, 22: 2542-2546.
- [18] ARONSSON D D, STOKES I A, RONCHETTI P J, RICHARDS B S. Surgical correction of vertebral axial rotation in adolescent idiopathic scoliosis: prediction by lateral bending films[J]. *J Spinal Disord*, 1996, 9: 214-219.
- [19] GOTFRYD A O, FRANZIN F J, POLETTI P R, DE LAURA A S, DA SILVA L C. Bending radiographs as a predictive factor in surgical correction of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Rev Bras Ortop*, 2015, 46: 572-576.
- [20] MCCALL R E, BRONSON W. Criteria for selective fusion in idiopathic scoliosis using Cotrel-Dubousset instrumentation[J]. *J Pediatr Orthop*, 1992, 12: 475-479.
- [21] CHEUNG K M, LUK K D. Prediction of correction of scoliosis with use of the fulcrum bending radiograph[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1997, 79: 1144-1150.
- [22] LUK K D, CHEUNG K M, LU D S, LEONG J C. Assessment of scoliosis correction in relation to flexibility using the fulcrum bending correction index[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1998, 23: 2303-2307.
- [23] 费琦, 王以朋, 邱贵兴, 赵宇, 沈建雄, 仇建国, 等. 青少年特发性脊柱侧凸术前柔韧性评价方法比较研究[J]. *中华医学杂志*, 2007, 87: 2484-2488.
- [24] 陈庆贺, 周跃, 高吉昌, 张承敏, 王建, 王仑, 等. 3种摄片方法预测青少年特发性脊柱侧凸矫形结果的对比研究[J]. *中国矫形外科杂志*, 2007, 15: 1815-1817.
- [25] CHEUNG K M, LU D S, ZHANG H, LUK K D. *In-vivo* demonstration of the effectiveness of thoracoscopic anterior release using the fulcrum-bending radiograph: a report of five cases[J]. *Eur Spine J*, 2006, 15(Suppl 5): 578-582.
- [26] HAY D, IZATT M T, ADAM C J, LABROM R D, ASKIN G N. The use of fulcrum bending radiographs in anterior thoracic scoliosis correction: a consecutive series of 90 patients[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33: 999-1005.
- [27] KLEPPS S J, LENKE L G, BRIDWELL K H, BASSETT G S, WHORTON J. Prospective comparison of flexibility radiographs in adolescent idiopathic scoliosis[J/OL]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2001, 26: E74-E79. doi: 10.1097/00007632-200103010-00002.
- [28] KLEINMAN R G, CSONGRADI J J, RINKSY L A, BLECK E E. The radiographic assessment of spinal flexibility in scoliosis: a study of the efficacy of the prone push film[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1982(162): 47-53.
- [29] BÜCHLER P, DE OLIVERIA M E, STUDER D, SCHUMANN S, ZHENG G, SCHNEIDER J, et al. Axial suspension test to assess pre-operative spinal flexibility in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23: 2619-2625.
- [30] VAUGHAN J J, WINTER R B, LONSTEIN J E. Comparison of the use of supine bending and traction radiographs in the selection of the fusion area in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1996, 21: 2469-2473.
- [31] POLLY D W Jr, STURM P F. Traction versus supine side bending. Which technique best determines curve flexibility? [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1998, 23: 804-808.
- [32] DAVIS B J, GADGIL A, TRIVEDI J, AHMED EL-N B. Traction radiography performed under general anesthetic: a new technique for assessing idiopathic scoliosis curves[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004, 29: 2466-2470.
- [33] CHEN Z Q, WANG C F, BAI Y S, ZHU X D, YANG C W, XIE Y, et al. Using precisely controlled bidirectional orthopedic forces to assess flexibility in adolescent idiopathic scoliosis: comparisons between push-traction film, supine side bending, suspension, and fulcrum bending film[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2011, 36: 1679-1684.
- [34] RODRIGUES L M, UENO F H, GOTFRYD A O, MATTAR T, FUJIKI E N, MILANI C. Comparison between different radiographic methods for evaluating the flexibility of scoliosis curves[J]. *Acta Ortop Bras*, 2014, 22: 78-81.