

特发性脊柱侧弯患者躯干倾斜角与脊柱 Cobb 角、冠状面平衡的相关性研究

鲁德志¹,王金武²,许金霞¹,王彩萍³,王孝文¹

【摘要】 目的:研究单胸腰弯特发性脊柱侧弯患者的躯干倾斜角与脊柱 Cobb 角、冠状面平衡的相关性,为明确脊柱形变与躯干外观畸形的关系提供理论基础。方法:在前期的脊柱侧弯筛查中,选取符合要求的患者 40 例,其中男性 5 例,女性 35 例。使用 Scoliometer 测量患者的躯干倾斜角(ATI);选取患者近一个月的脊柱全长 X 光片,测量 Cobb 角、C7 椎体垂直线与骶骨中垂线之间的距离(C7PL-CSVL)、顶椎偏离骶骨中垂线的距离(AVT),并分析 ATI 与 Cobb 角、C7PL-CSVL 和 AVT 之间的相关性。结果:ATI 角与 Cobb 角之间有相关性($r=0.702, P<0.01$),ATI 角的增加可表示 Cobb 角的增加,此相关性适用于单胸腰弯 AIS 患者;ATI 角与 C7PL-CSVL 间的差异无统计学意义($r=0.294, P>0.05$);ATI 角与 AVT 之间有相关性($r=0.499, P<0.01$)。结论:在单胸腰弯 AIS 患者中,躯干的外观畸形程度可以反映脊柱畸形的程度;在 AIS 患者的诊治过程中,可将 ATI 角作为评估指标来量化与监测躯干外观畸形程度。

【关键词】 特发性脊柱侧弯;躯干倾斜角;脊柱冠状面平衡;Cobb 角

【中图分类号】 R49;R681.5 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2021.01.001

Correlation of trunk inclination angle with Cobb angle and coronal plane balance in idiopathic scoliosis Lu Dezhi, Wang Jinwu, Xu Jinxia, et al. *Rehabilitation Medicine of Wei Fang Medical University*, Weifang 261053, China

【Abstract】 **Objective:** To study the correlation of trunk inclination angle (ATI) with Cobb angle and coronal plane balance in patients with idiopathic scoliosis of single thoracic and lumbar spine, so as to provide theoretical basis for clarifying the relationship between spinal deformation and trunk deformity. **Methods:** In the early stage of scoliosis screening, 40 patients who met the requirements were selected, including 5 males and 35 females. Scoliometer was used to measure the ATI of the patients. On the spine X-ray films performed less than one month ahead of the study, the Cobb angle, offset between central sacral vertical line (CSVL) and C7 vertebra plumb line (C7PL) (C7PL-CSVL), and apex vertebral translocation (AVT) were measured, and the correlation between ATI and Cobb angle, and between C7PL-CSVL and AVT was analyzed. **Results:** It was found that there was a significant correlation between ATI angle and Cobb angle ($r=0.702, P=0.000$), and the increase of ATI angle could indicate the increase of Cobb angle. This correlation was applicable to patients with AIS with single-thoracic lumbar curvature. There was no significant difference between ATI angle and C7PL-CSVL ($r=0.294, P=0.065$). There was a correlation between ATI angle and AVT ($r=0.499, P=0.001$). The ATI angle was related to the partial

imbalance of the coronal plane of the spine. **Conclusion:** In patients with single thoracolumbar AIS, the apparent deformity of the trunk can reflect the deformity of the spine. In the diagnosis and treatment of AIS patients, ATI angle can be used as an evaluation index to quantify and monitor the deformity of trunk appearance.

【Key words】 idiopathic scoliosis; angle of trunk inclination; coronal plane balance of spine; Cobb angle

基金项目:国家科技部重点研发计划项目“老年全周期康复技术体系与信息化管理研究”(2018YFC2002300);国家科技部重点研发计划项目“假肢矫形器个性化设计与增材制造应用示范”(2018YFB1107000);上海交通大学医学院附属第九人民医院临床研究型 MDT 项目“基于 3D 打印康复辅具的单髁性膝骨关节炎及青少年脊柱侧弯的多学科诊疗”(201914);山东省大学生创新创业训练计划项目“潍坊市青少年脊柱侧凸筛查与康复治疗”(S201910438021S);潍坊医学院大学生科技创新基金项目“潍坊市青少年脊柱侧凸筛查与康复治疗”(KX2019058)

收稿日期:2020-03-13

作者单位:1. 潍坊医学院康复医学院,山东 潍坊 261053;2. 上海市骨科内植物重点实验室,上海交通大学医学院附属第九人民医院骨科,上海 200011;3. 上海交通大学生物医学工程学院,上海 200011

作者简介:鲁德志(1994-),男,硕士生,主要从事脊柱侧弯康复方面的研究。

通讯作者:王孝文, wangxiaowen2003@126.com

青少年特发性脊柱侧弯^[1-2] (adolescent idiopathic scoliosis, AIS)是指青少年在快速生长期出现的脊柱三维畸形,伴随着椎体矢状面的前凸或后凸、冠状面的侧凸、轴状面的椎体旋转。国际脊柱侧弯研究学会(Scoliosis Research Society, SRS)将 Cobb 角大于 10° 称为脊柱侧弯,AIS 是最为常见的一种,发病率范围约为 $0.93\% \sim 12.00\%$ 。由于 AIS 尚未发现明确的病因,早发现早治疗是临床康复的关键。

有研究发现^[3],AIS 患者在就诊过程中大约接受 25 次的放射性检查。Martin 等^[5,31]人利用计算机模拟和数学公式定量计算在放射性累积有效剂量和癌症风险,结果显示测试人群相应累积的癌症风险为 $0.08\% \sim 0.17\%$,并且他发现女性的有效放射累积剂量和癌症风险显著高于男性。国内外使用较为普遍的筛查与评估工具是 scoliometer,测量 AIS 患者的躯干倾斜角度,脊柱超声和云纹系统由于成本较高、不易携带等问题尚未大范围推广,但其无辐射、信度高等优点是未来研究的方向之一。目前,通过 scoliometer 来量化躯干的不对称性,作为躯干倾斜角(Angle of trunk inclination, ATI)评估和畸形进展监测的手段,可以辅助诊断脊柱侧弯,减少放射性检查的次数,节省患者的医疗成本,对 AIS 患者如何长期监测曲线进展具有重要意义。

在 AIS 中,冠状面平衡、躯干倾斜以及肩部平衡是主要考虑的美观因素,脊柱冠状面平衡对患者心理和身体健康是必不可少的,脊柱冠状面的失衡与躯干倾斜角之间具体的联系尚无文献报道^[6-7]。本文对 AIS 患者的躯干倾斜角与脊柱冠状面平衡参数之间的相关性进行研究,为更好地理解躯干外观畸形与脊柱畸形间的关系提供理论及临床依据,寻找更加直观、便捷、辐射少的评估办法,为更好地理解 AIS 的症状和危害非常重要,为以后预防及治疗 AIS 提供新的思路。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2019 年 1 月~2020 年 5 月,选取潍坊医学院附属医院和上海交通大学医学院附属第九人民医院门诊上确诊为“C”型侧弯的 AIS 的患者 40 例,诊断标准^[32]:根据国际疾病分类(international classification of diseases, ICD)诊断标准:站立位脊柱正位 X 线片测量 Cobb 角,角度 $>10^\circ$ 者称为脊柱侧凸。其中男 5 例,女 35 例;年龄 (13.55 ± 1.50) 岁,sciometer 测量的 ATI 值为 $(10.05 \pm 2.91)^\circ$,体重指数(BMI)为 $(18.86 \pm 1.19) \text{ kg/m}^2$ 。纳入标准^[1]:年龄 10~17 岁;Risser 征 0~IV°;“C”型侧弯类型(顶椎在 T₁₂-L₁);此

前未接受过相关治疗。排除标准:诊断是非特发性脊柱侧凸;其他相关脊柱疾病;存在智力或其他肢体障碍;长短腿患者。

1.2 方法 患者未经过任何治疗,使用 scoliometer 测量患者的 ATI 角度;拍摄站立位脊柱全长 X 光片,并测量出 C7 椎体中垂线到骶骨中垂线的距离、顶椎偏离骶骨中垂线距离、Cobb 角指标。通过统计学方法研究 ATI 值与脊柱 Cobb 角、冠状面平衡的相关性。

1.3 评定标准 ①测量 ATI(如图 1):受试者背对测试者,除去上身衣物,受试者做 Adam 前屈试验。具体姿势^[9-10]:双脚分开保持约 15cm 的距离,肩膀放松,膝盖伸直,双手放在膝盖前,肘部伸直,掌心相对。将 scoliometer(图 2)放在患者背部,零标度正对脊柱中点,读出躯干倾斜角的度数,取最大值进行记录。②脊柱冠状面平衡参数^[7-8]:患者站立位拍摄后前位脊柱全长 X 片,测量患者脊柱冠状面平衡参数。所有参数均有两个专业人员测量,取平均值。具体参数包括 Cobb 角、C7 椎体中垂线(C7 plumb line, C7PL)到骶骨中垂线(Center Sacral Vertical Line, CSVL)的距离、顶椎偏离骶骨中垂线距离(apex vertebral translocation, AVT)。Cobb 角是诊断脊柱侧弯的黄金标准^[10]:用直线标出上端椎的上终板和下端椎的下终板,两线延长线的夹角或者两线垂线的交角即为 Cobb 角。C7 椎体中垂线到骶骨中垂线的距离(C7PL-CSVL);过 C7 椎体中心做铅垂线(C7PL),测量 C7PL 到 CSVL 的距离。AVT:脊柱侧凸的顶椎(或椎间盘)的中点到 CSVL 的水平距离。

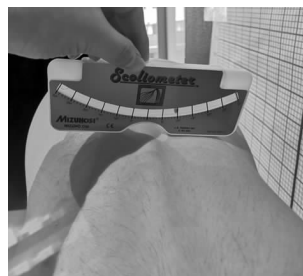


图 1 KAdam 前屈试验下测量躯干倾斜角



图 2 scoliometer

1.4 统计学方法 采用 SPSS 25.0 版统计学软件对各组数据进行统计分析,将数据进行正态性检验,服从正态分布的数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示。利用 Pearson 检验进行相关性研究,以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

对40名单胸腰弯 AIS 患者进行分析, AVT 为 (2.85 ± 0.83) cm, ATI 角度为 $(9.78 \pm 2.92)^\circ$, C7PL-CSVL 为 (1.69 ± 0.77) cm。ATI 角度与 C7PL-CSVL 无显著相关性 ($r=0.294, P=0.065$); ATI 角度与 AVT 的呈正相关 ($r=0.499, P=0.001$)。

对40名单胸腰弯 AIS 患者进行分析, ATI 角与 Cobb 角明显正相关 ($r=0.702, P<0.01$)。分组后比较, ATI 角与 $10\sim 20^\circ$ 的 Cobb 角线性相关程度较高 ($r=0.898, P=0.015$); ATI 角与 $20\sim 40^\circ$ 的 Cobb 角线性相关程度较好 ($r=0.511, P=0.005$); ATI 角与 40° 以上的 Cobb 角之间的不存在相关性 ($r=0.783, P=0.117$)。见表1。

表1 ATI 角度与不同 Cobb 角度之间的相关性

项目	n	ATI 角度($^\circ$)	Cobb 角度($^\circ$)	r 值	P 值
所有患者	40	9.78 ± 2.92	28.98 ± 10.19	0.702	0.000
Cobb 角 $10\sim 20^\circ$	6	7.17 ± 1.17	17.83 ± 2.32	0.898	0.015
Cobb 角 $21\sim 40^\circ$	29	10.10 ± 2.65	27.07 ± 4.58	0.511	0.005
Cobb 角 40° 以上	5	13.40 ± 1.67	48.20 ± 5.26	0.783	0.117

3 讨论

2020年两会期间,农工党委员提交关于尽快开展儿童青少年脊柱侧弯防控工作的提案,建议尽快建立我国儿童青少年脊柱侧弯综合防控体系,避免复杂的脊柱三维畸形对青少年的身心健康造成更大的危害。轻、中度的 AIS 建议采用矫形器、运动疗法等保守治疗,重度的患者建议进行手术治疗,但相关方面的研究较少,现今脊柱侧凸治疗共识认为早发现早介入可取得较好的治疗效果^[11-12]。考虑到实际情况,建议由学校组织相应的脊柱侧弯科普,对在校青少年进行早期筛查,使用 scoliometer 测量 ATI 是最为经济、合适的途径。在芝加哥的某家儿童医院,医务人员将 ATI 角作为监测曲线进展的指标,当 ATI 与之前的测量值相差大于 3° 时,进行影像学 X 线检查,确认曲线是否进展。其优点在于可以反复多次测量评估、花费少、无辐射,对于早期的脊柱侧弯有一定的准确性。Frederic 等^[23]使用带有 Scoligauge APP 的 iPhone 手机测量 ATI,其测量结果与 scoliometer 测量值平均差异很小,临床上差异不显著;Chen 等^[30]对 2702 名七年级学生进行筛查,认为智能手机 APP 的可靠性不如 scoliometer,后者的诊断能力明显优于前者。使用 scoliometer 对青少年进行脊柱侧弯的早期筛查已经常见,但是用于监测脊柱侧弯进展的研究较少,并且没有文献关注评估指标与椎体平衡间的关系。

对于多数的 AIS 患者,由脊柱侧弯导致的外观畸

形是他们最关心的问题,因此众多研究者采用多种方法评估量化躯干的外观畸形^[13-14]。相对于影像学指标的改善, AIS 患者更关心的是外观畸形的改善情况。外观畸形对患者会产生一定程度的社会心理压力,畸形程度越重,心理应激越大;即使脊柱曲线得到很好的矫正,但一些外观畸形依然存在,使患者对治疗并不满意。已有研究对脊柱侧弯导致的足底压力分布、步态、躯干的生物力学等进行研究^[7,33-34],希望可以在脊柱侧弯的理论研究上做出突破,躯干外观畸形研究也是方向之一。目前用于评估外观畸形的指标很多,其中 ATI 在临床上广泛应用,但关于 ATI 与脊柱畸形参数之间的相关性尚未有权威的研究,本研究希望能在在这方面做一些尝试^[15-17]。

AIS 的最佳筛查与评估方法在世界上一直存在争议。研究发现^[29-30],脊柱生长的第二个高峰期出现在 $10\sim 14$ 岁之间,这个年龄段是进行 AIS 筛查的最佳时间,然而 X 射线不适用大规模的筛查,为了保护青少年, scoliometer 成为最常使用的筛查评估工具。自 1984 年由 Bunnellml 提出以来, scoliometer 作为一种测量躯干倾斜角度的简易工具被越来越多地使用在筛查实践中,其可靠性和有效性也得到了许多研究的支持^[24]。但其他研究者也提出不同的方法, Matamalas 等^[13]使用 TAPS-Phy 表来评估躯干畸形的严重程度,但操作复杂、有一定程度的主观性。标准站立位脊柱全长 X 线平片作为定义和评估脊柱侧凸严重程度的金标准^[10],多次反复暴露在射线下对身体会有一定风险,并且 Cobb 角无法评估脊柱的外观畸形。应从躯干外观畸形和脊柱畸形的角度出发,寻找一种较为安全的方法。

研究发现^[19],躯干的不平衡与 Cobb 角显著相关,并且外观畸形在脊柱侧弯的评估中非常重要。Carlson 等^[17]人研究了躯干畸形与脊柱畸形测量值之间的关系,用 scoliometer 测量的 ATI 表示躯干畸形的程度,用 Cobb 角和椎体旋转程度代表脊柱畸形程度,结果发现 ATI 与 Cobb 角、椎体旋转程度在胸段和胸腰段侧弯中有非常密切的关系;并且,胸腰段的相关性高于胸段,作者认为这种差异原因是胸廓畸形影响 scoliometer 测量的 ATI 值。ATI 作为躯干外观畸形的评定指标,经研究证明有足够的信度与效度^[27],但对于 ATI 值与脊柱畸形参数之间的关系尚不明确。Ma 等^[18]的研究中用一条数学公式表示了 ATI 角与 Cobb 角的关系,并且将通过 ATI 值计算出 Cobb 角,发现与 X 线上测量的 Cobb 角无明显的差异。我们的研究中,主要观察单胸腰弯类型的 AIS 患者,发现 ATI 值与 Cobb 角有显著正相关性。考虑将不同侧弯类型的

患者混合在一起进行分析并不合理,本研究只选取顶椎在 $T_{12} \sim L_1$ 之间的单侧弯 AIS 患者作为研究对象,在一定程度上减少了其他因素的影响。

Bunnell 等^[20]的研究发现 ATI 角 5° 与 Cobb 角 11° 有高度相关性,ATI 角 7° 与 Cobb 角 20° 有高度相关性。在我们的研究中,发现 Cobb 角在 $10 \sim 40^\circ$ 之间时与 ATI 角有较好的正相关性,并且所有患者 ATI 角度均在 5° 及以上。我们认为 ATI 角在 5° 及以上时,脊柱侧弯几率较高,建议转诊到骨科医师进行评估。ATI 角与 40° 以上的 Cobb 角相关性差,分析原因:脊柱作为一个整体,一部分出现侧弯,会引起其他部分的代偿。当 Cobb 角超过一定值之后,脊柱其他部分也会发生变化,从而使躯干外观畸形变得复杂。脊柱冠状面是脊柱畸形和躯干外观畸形的主要平面,我们的研究中,将 C7PL-CSVL 和 AVT 两个脊柱冠状面平衡参数考虑在内。其中,C7PL-CSVL 是脊柱冠状面整体平衡参数,C7 椎体中垂线偏离 CSVL 超过 2cm 即可视为脊柱冠状面失衡,常常出现躯干外观畸形,腰椎旋转加重等典型症状^[21]。我们的研究发现,ATI 角与 C7PL-CSVL 并无相关性,有研究者认为 C7PL-CSVL 与 AIS 患者的高低肩、足底压力分布相关。另外,AVT 是脊柱冠状面局部平衡参数。根据我们的研究,ATI 角与 AVT 存在正相关性,脊柱局部的失衡会影响躯干外观畸形程度。脊柱顶椎偏离骶骨正中线的距离越大,身体外观畸形会更加明显,ATI 角更大。通过 scoliometer 测量,可以预测顶椎偏离正中线的程度,减少放射性检查的次数。在 Jankowski 等^[28]人的研究中,应用辐射量大的计算机断层成像技术测定 AIS 患者的腰椎椎体的旋转,发现 ATI 角度与椎体旋转程度存在显著相关性,但不能精确的评估椎体的旋转。身体外观畸形与脊柱椎体的旋转也有关,顶椎旋转角度的增加,会在一定程度上影响身体外观。

研究表明,使用 scoliometer 测量 ATI 角的方法在评估和监测 AIS 患者的曲线进展方面具有可靠、经济和安全的优势。从节省医疗资源和成本的角度考虑,也是一种最小化支出的实用方法。Larson 等^[25]的研究中提到,使用 ATI 代替影像学监测脊柱侧弯的进展,每位患者约节省 160 美元,避免约 0.6 微西弗的辐射,而中国人口基数大,更多患者的累积将使节省的成本更加显著。另外,丹麦的一项研究发现^[26],脊柱侧弯患者的癌症发生率是与同年龄段人群的 17 倍,减少脊柱侧弯患者的辐射暴露是有必要的。因此,研究 ATI 角与脊柱形态变化之间的关系具有重要的临床意义。我们认为在 X 线确诊为脊柱侧弯后,应减少影像学检查的次数,将 ATI 角作为脊柱侧弯临床监测和

评估曲线进展的指标。应从脊柱三维的角度出发,考虑更多的躯干畸形评估指标,代替影像学检查来监测曲线进展。探讨外观畸形与脊柱畸形参数之间的关系,对于更好地理解疾病的原理和选择治疗方法来说很重要。现今 3D 打印脊柱侧弯矫形器已经逐渐在临床上使用^[22],其个性化的电脑设计对于 AIS 的保守治疗方式是一大优点。从个性化设计出发,同时考虑躯干畸形与脊柱冠状面平衡两个方面,设计出矫正效果更好的支具。脊柱侧弯的康复不仅要矫正脊柱的失衡,亦要改善患者的躯干畸形,这对患者的身体与心理健康都至关重要。

本研究尚存在一定限制。未将体重指数考虑在内,其对 ATI 值也会有一定的影响,但是考虑的太多会导致无法明确两者之间的关系。所有受试者只考虑“C”型脊柱侧弯,结论无法适用于其他侧弯类型的患者,在接下来的研究中,应扩大样本量,进一步观察其他侧弯类型的患者的 AIT 角与脊柱冠状面平衡参数之间的关系。最后,scoliometer 测量具有轻微的组内与组间差异,但是已有文献证明其具有足够的可重复测量性^[24],是一种可靠非侵入式评估方法。

在 AIS 患者中,ATI 角与 Cobb 角、AVT 密切相关,表明躯干的外观畸形与脊柱冠状面失衡存在联系。研究躯干外观畸形评估与脊柱骨骼形变之间的关系,希望为脊柱侧弯的精准治疗提供基础,量化椎体变形对躯干外观的影响。ATI 角作为躯干畸形的评估指标之一,可以方便地监测、量化、记录和评估脊柱侧凸的进展,用于脊柱侧弯的康复治疗和改善患者身体外观畸形。脊柱侧弯康复治疗的最终目的,不仅是恢复脊柱的形态,预防其他疾病,更是改善身体的外观畸形,给予青少年一个健康积极的生活状态。

【参考文献】

- [1] Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, et al. 2016 SOSORT guidelines: Orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth[J]. *Scoliosis Spinal Disord*. 2018, 10(13):3-3.
- [2] Negrini S, Aulisa AG, Aulisa L, et al. 2011 SOSORT guidelines: Orthopaedic and Rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth[J]. *Scoliosis*. 2012, 20, 7(1):3-3.
- [3] Ng JK, Kippers V, Richardson CA, et al. Range of motion and lordosis of the lumbar spine: reliability of measurement and normative values[J]. *Spine*. 2011, 26(1):53-60.
- [4] Law M, Ma WK, Lau D, et al. Cumulative effective dose and cancer risk for pediatric population in repetitive full spine follow-up imaging: How micro dose is the EOS microdose protocol? [J]. *Eur J Radiol*. 2018, 101:87-91.
- [5] Law M, Ma WK, Lau D, et al. Cumulative radiation exposure and associated cancer risk estimates for scoliosis patients: Impact

- of repetitive full spine radiography [J]. *Eur J Radiol.* 2016,85(3):625-628.
- [6] Neuman BJ, Baldus C, Zebala LP, et al. Patient Factors That Influence Decision Making: Randomization Versus Observational Nonoperative Versus Observational Operative Treatment for Adult Symptomatic Lumbar Scoliosis [J]. *Spine (Phila Pa 1976).* 2016,41(6):E349-E358.
- [7] Ma Q, Lin H, Wang L, et al. Correlation between spinal coronal balance and static baropodometry in children with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Gait Posture.* 2020,75:93-97.
- [8] 刘巍,吴会东,刘垚,等. 矫形器和运动训练对青少年特发性脊柱侧凸的效果比较[J]. *中国康复理论与实践*, 2019, 25(8): 869-874.
- [9] 陈楠,杜青,陈佩杰,等. 利用 Scoligauge 测量脊柱侧凸时躯干倾斜角度的可靠性分析[J]. *中国康复医学杂志*, 2015,30(3):247-250.
- [10] Patias P, Grivas TB, Kaspiris A, et al. A review of the trunk surface metrics used as Scoliosis and other deformities evaluation indices[J]. *Scoliosis.* 2010,5:12-12.
- [11] Deurloo JA, Verkerk PH. To screen or not to screen for adolescent idiopathic scoliosis? A review of the literature [J]. *Public Health.* 2015,129(9):1267-1572.
- [12] Dunn J, Henrikson NB, Morrison CC, et al. Screening for Adolescent Idiopathic Scoliosis: Evidence Report and Systematic Review for the US Preventive Services Task Force [J]. *JAMA.* 2018,319(2):173-187.
- [13] Asher MA, Burton DC. Adolescent idiopathic scoliosis: natural history and long-term treatment effects[J]. *Scoliosis*,2006,1(1): 2-11.
- [14] Matamalas A, D'Agata E, Sanchez-Raya J, et al. Trunk appearance perception scale for physicians (TAPS-Phy)-a valid and reliable tool to rate trunk deformity in idiopathic scoliosis[J]. *Scoliosis Spinal Disord.* 2016,11:24-24.
- [15] 王斌,邱旭升,马薇薇,等. Lenke5、Lenke6 型青少年特发性脊柱侧凸后路矫形术后影像学及临床美学评估[J]. *中国脊柱脊髓杂志*,2010,20(10):825-829.
- [16] Seoud L, Dansereau J, Labelle H, et al. Non invasive clinical assessment of trunk deformities associated with scoliosis [J]. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2013,17(2):392-401.
- [17] Carlson BB, Burton DC, Asher MA. Comparison of trunk and spine deformity in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Scoliosis.* 2013,25,8(1):2-2.
- [18] Ma HH, Tai CL, Chen LH, et al. Application of two-parameter scoliometer values for predicting scoliotic Cobb angle [J]. *Biomed Eng Online.* 2017,16(1):136-136.
- [19] Fortin C, Grunstein E, Labelle H, et al. Trunk imbalance in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Spine J.* 2016,16(6):687-693.
- [20] Margalit A, McKean G, Constantine A, et al. Body Mass Hides the Curve: Thoracic Scoliometer Readings Vary by Body Mass Index Value [J]. *J Pediatr Orthop.* 2017,37(4): e255-e260.
- [21] MÁRKUS I, SCHLÉGL Á T, BURKUS M, et al. The effect of coronal decompensation on the biomechanical parameters in lower limbs in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018, 104: 609-616.
- [22] 王金武,王黎明,左建强,等. 3D打印矫形器设计、制造、使用标准与全流程监管的专家共识[J]. *中华创伤骨科杂志*,2018,20(1):5-9.
- [23] Balg F, Juteau M, Theoret C, et al. Validity and reliability of the iPhone to measure rib hump in scoliosis [J]. *J Pediatr Orthop.* 2014,34(8):774-779.
- [24] Bonagamba GH, Coelho DM, Oliveira AS. Inter and intra-rater reliability of the scoliometer [J]. *Rev Bras Fisioter.* 2010,14(5): 432-438.
- [25] Larson JE, Meyer MA, Boody B, et al. Evaluation of angle trunk rotation measurements to improve quality and safety in the management of adolescent idiopathic scoliosis [J]. *J Orthop.* 2018,15(2):563-565.
- [26] Aimony A, Hansen EJ, Christensen SB, et al. Incidence of cancer in adolescent idiopathic scoliosis patients treated 25 years previously [J]. *Eur Spine J.* 2016,25:3366-3370.
- [27] Coelho DM, Bonagamba GH, Oliveira AS. Scoliometer measurements of patients with idiopathic scoliosis [J]. *Braz J Phys Ther.* 2013,17:179-184.
- [28] Jankowski PP, Yaszay B, Cidambi KR, et al. The Relationship Between Apical Vertebral Rotation and Truncal Rotation in Adolescent Idiopathic Scoliosis Using 3D Reconstructions [J]. *Spine Deform.* 2018,6(3):213-219.
- [29] Adobor RD, Rimeslatten S, Steen H, et al. School screening and point prevalence of adolescent idiopathic scoliosis in 4000 Norwegian children aged 12 years [J]. *Scoliosis.* 2011,24(6):23-23.
- [30] Chen C, Yu R, Xu W, et al. A Practical Study of Diagnostic Accuracy: Scoliosis Screenings of Middle School Students by a Trained Nurse with a Smartphone Versus a Spine Surgeon with a Scoliometer. *Spine (Phila Pa 1976).* 2020,45(5): E266-E271.
- [31] Law M, Ma WK, Chan E, et al. Evaluation of cumulative effective dose and cancer risk from repetitive full spine imaging using EOS system: Impact to adolescent patients of different populations [J]. *Eur J Radiol.* 2017, 96:1-5.
- [32] 徐纯鑫,赵菁,元相喜,等. Rodin4D 技术与传统石膏技术制作青少年特发性脊柱侧凸矫形器的临床疗效观察[J]. *中国康复医学杂志*,2019,34(8):941-944.
- [33] 郑倩,苏强,张勇,等. 生物力学评估在矫形器治疗青少年特发性脊柱侧弯的应用[J]. *中国康复*,2017,32(6):502-502.
- [34] 陈禹彤,姚黎清,李旺祥,等. 青少年特发性脊柱侧凸与伏案时长的相关性研究及其足底压力分析[J]. *中国康复*,2020,35(4):187-190.