

· 综述 ·

儿童青少年脊柱侧弯筛查和干预研究进展

邹艳¹, 林云², 章荣华¹, 罗建勇², 顾昉¹, 孟佳¹, 李娟娟¹

1.浙江省疾病预防控制中心, 浙江 杭州 310051; 2.嘉兴市疾病预防控制中心

摘要: 脊柱侧弯严重影响儿童青少年的身心健康, 如不及时进行筛查和干预, 会导致畸形程度加重, 劳动能力下降, 出现心肺并发症、腰背部疼痛甚至截瘫。本文对国内外脊柱侧弯的筛查和干预策略进行综述, 发现我国对儿童青少年脊柱侧弯的筛查工作开展较少, 筛查方法差异较大, 结果难以横向比较, 建议将脊柱侧弯筛查纳入学校的卫生保健工作中, 制定准确性和安全性更高的筛查策略; 同时, 三维扫描和打印技术在脊柱侧弯筛查和干预中有较好的应用前景, 值得进一步研究开发。

关键词: 脊柱侧弯; 筛查; 干预; 儿童青少年

中图分类号: R726.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-5087 (2019) 10-1017-05

Research progress in screening and intervention of scoliosis among children and adolescents

ZOU Yan*, LIN Yun, ZHANG Rong-hua, LUO Jian-yong, GU Fang, MENG Jia, LI Juan-juan

**Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China*

Abstract: Scoliosis seriously affects the physical and mental health of children and adolescents. Without timely screening and intervention, it will lead to increased deformity, decreased labor capacity, cardiopulmonary complications, back pain and even paraplegia. This article reviews screening and intervention strategies for scoliosis at home and abroad. It concludes that there is lack of scoliosis screening in children and adolescents in China, and the screening results are difficult to compare horizontally because of the significant differences between strategies. It is suggested that scoliosis screening should be included in school healthcare work and formulate strategies with higher accuracy and safety. At the same time, three-dimension technology has good prospects in scoliosis screening and intervention, which is worthy of further development.

Key words: Scoliosis; Screening; Intervention; Children and adolescents

脊柱弯曲异常是危害儿童青少年身心健康的常见疾病之一。《学校卫生工作条例》明确规定:“学校应当积极做好近视、弱视、沙眼、龋齿、寄生虫、营养不良、贫血、脊柱弯曲、神经衰弱等学生常见疾病的群体预防和矫治工作。”但相比较其他学生常见疾病,对脊柱弯曲异常的研究工作明显滞后。我国脊柱弯曲类型以脊柱侧弯为主,占脊柱弯曲异常的82%^[1]。脊柱侧弯严重影响青少年的身心健康,特别是8~12岁生长发育旺盛期间,侧弯畸形发展得更快,如果不进行治疗干预,则畸形程度加重,劳动能

力下降,出现心肺并发症、腰背部疼痛甚至截瘫,还会导致社会心理问题^[2-4]。目前临床上大部分脊柱侧弯患者就诊时机较晚,导致治疗难度增大,治疗费用增加,治疗效果变差^[5],因此,早期发现、早期诊断、早期治疗对于脊柱侧弯患者及整个社会均具有重要意义。本文对脊柱侧弯的筛查方法和策略进行综述,为我国制定儿童青少年脊柱侧弯筛查和干预策略提供参考。

1 儿童青少年脊柱侧弯分类

早在公元前,“西方医学之父”希波克拉底就对脊柱畸形做了简单的描述。随着影像学技术的发展和三维空间理论的认识,人们逐渐发现脊柱畸形不单是脊柱在身体某一个平面的失衡或异常弯曲,而是

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2019.10.010

基金项目:浙江省公益技术研究计划(LGF19H260002)

作者简介:邹艳,硕士,副主任医师,主要从事儿童青少年疾病防控工作

通信作者:邹艳, E-mail: yzou@cdc.zj.cn

脊柱在冠状面、矢状面和横断面等三维空间中的畸形。脊柱侧弯是一种三维的脊柱和躯干扭转异常,包括在冠状面上的侧方弯,水平面上的椎体旋转和矢状面上的脊柱正常生理曲度改变。国际脊柱侧弯研究学会(Scoliosis Research Society, SRS)将脊柱侧弯定义为应用 Cobb 法测量站立位脊柱正位 X 线片的脊柱弯曲,角度大于 10° [6]。脊柱侧弯分为先天性脊柱侧弯、后天性脊柱侧弯和特发性脊柱侧弯。后天性脊柱侧弯根据病因可分为姿态性脊柱侧弯、神经病理性脊柱侧弯、胸部病理性脊柱侧弯和营养不良性脊柱侧弯。脊柱侧弯中最常见的是特发性脊柱侧弯,又称青少年特发性脊柱侧弯(adolescent idiopathic scoliosis, AIS),国外文献报道发病率约为 1%~3% [7],好发于女生,一般 10 岁左右起病,发病机制尚不清楚,但目前研究认为与遗传、激素水平、内分泌异常(如褪黑素)等因素有关 [8]。

2 儿童青少年脊柱侧弯筛查

2.1 国外脊柱侧弯筛查方法 国外在 20 世纪 80 年代就在学龄儿童中开展脊柱侧弯筛查,通常包括体格检查,即通过视觉观察受检者的肩膀、肩胛骨和臀部是否存在不对称。Adams 前屈试验(Adams 试验)是通过让受检者躯干前屈而进行背部观察。脊柱测量尺是配合 Adams 试验来测量躯干旋转角度。云纹照相法(Moire 测量法)用于绘制背部三维轮廓。1979 年, WILLNER [9] 利用 Moire 图像对脊柱侧弯进行检查,建立 Moire 图像的非对称性与 Cobb 角之间的关系来判断脊柱侧弯,同时指出在凹的部位 Moire 条纹变形严重,而在凸的部位显得清晰。

1981 年, ASHWORTH [10] 介绍了脊柱侧弯的综合性普查方法: Adams 试验 + 脊柱 X 线摄片,这种方法准确,但需要大量 X 线摄片; Adams 试验 + Moire 测量 + 脊柱 X 线摄片, Adams 试验为公认的首要检查方法,阳性者采用 Moire 测量,两者结合可降低 Adams 试验的假阳性,节约资源,适用于城市普查; Adams 试验 + 脊背倾斜角测量 + 脊柱 X 线摄片,采用脊柱测量尺测量脊背倾斜角,携带方便,适用于学校和乡村普查。1982 年, LONSTEIN 等 [11] 介绍了儿童青少年脊柱侧弯筛查的 Adams 试验,并提出采用 Adams 试验筛查时有一项可疑即进入复查。1982 年, JACKMAN [12] 给出了用 Moire 图像中 Moire 条纹上的一对非对称点信息计算 Cobb 角的公式,用于判断脊柱侧弯程度。2006 年, RAMIREZ 等 [13] 利用 Minolta VIVID 700 激光扫描仪获取人背部的三

维精确数据,根据其对称性特征和支持向量机方法判断脊柱侧弯,判别率为 85%。同时, BERRYMAN 等 [14] 利用矩形结构光重建出人体背部,并提取其三维对称性特征来判断脊柱侧弯。PATIAS [15] 比较了 Adams 试验、光学测量技术等多种脊柱侧弯筛查方法的测量参数,提出表面度量与 Cobb 角度测量的相关性很小,在不同平面上测量的指数不相互关联,且不同指标在观测误差、准确性、敏感性和特异性等方面表现出明显的差异性,患者定位复杂和解剖标志模糊是导致观察者变异的主要原因。

2.2 国内脊柱侧弯筛查方法 国内曾用电视透视 X 线机进行脊柱侧弯筛查,此种方法工作量小、速度快,但会使正常儿童受到不必要的辐射,不被学校和家长接受。二步法即体检 + X 线摄片,同样增加了 X 线的暴露。三步法即体检 + Moire 测量 + X 线摄片,增加了 Moire 测量进行筛选,虽然减少了 X 线摄片的数量,但漏诊增加,且步骤繁琐,费用也高。国内也有自制脊柱旋转度测量尺,但使用范围受到限制。2014 年国家卫生计生委发布了 GB/T 16133—2014《儿童青少年脊柱弯曲异常的筛查》,代替 GB/T 16133—1995《儿童青少年脊柱弯曲异常的初筛》,规定了儿童青少年脊柱弯曲异常筛查的原则、方法和结果评定,内容包括脊柱侧弯的一般检查、前驱试验、脊柱运动试验、俯卧试验和脊柱侧弯测量仪检查,同时询问病史、有无残疾和压痛等,对筛查异常者进一步进行 Moire 测量法和直立位全脊柱 X 线摄片检查,在 X 线片上画线测量 Cobb 角, Cobb 角 $> 10^{\circ}$ 者为脊柱侧弯。国内研究表明,合理应用前屈试验和脊柱测量仪,能减少转诊,并能提高筛查阳性率 [16]。目前在学校开展的学生体检中并无脊柱侧弯专项检查,因此检出率普遍较低。同时,国内开展的研究存在测量方法不统一、技术水平参差不齐等现状,为脊柱侧弯的进一步探讨、预防和早期干预治疗带来困难。选择准确性更高的筛查策略,避免不必要的 X 线摄片,应是开展儿童青少年脊柱侧弯筛查工作的重要环节。

2.3 三维扫描技术的引入 随着现代影像学技术和电子信息技术的发展, Cobb 角测量方法也与时俱进,在临床和科研工作中的应用越来越广。Cobb 角测量方法分为传统手工测量和计算机辅助测量;传统手工测量采用标尺和角度测量仪直接在 X 线或其他类型的影像学胶片上测量;计算机辅助测量是利用相关软件在数字化的胶片或图片上测量。近年来,三维扫描技术在临床应用中初显优势。三维扫描是指集光、机、电和计算机技术于一体的高新技术,主要通过

物体空间外形和结构及色彩进行扫描,获得物体表面的空间坐标,用于重建物体的数字模型,无放射性。2007年和2009年相继有关于光学扫描表面三维重建的报道^[17-18]。三维扫描已实现1:1精准获取外部轮廓,应用于临床研究及实践,尤其适用以外形轮廓为主的病变:在口腔医学领域,应用三维扫描获取患者颌面部三维图像可以帮助医生根据牙齿的移动位置准确判断上唇形态位置,以利于获取最佳的面部形态^[19];在颅骨成形手术中,三维扫描仪可帮助医生评估患者术前与术后的头颅外形^[20]。HEBAL等^[21]报道应用白光扫描仪扫描漏斗胸患儿胸廓来评估漏斗胸的严重程度。将三维扫描技术引入脊柱侧弯筛查方案,有望提高筛查的灵敏度,同时减少不必要的辐射,提高筛查效率;三维打印实体模型可以提供更加直观、详细的解剖学信息^[22]。三维扫描技术应用于脊柱侧弯筛查中以早期发现可疑患者,将是减少筛查对象X线暴露和提高筛查效率的热点领域。

2.4 国内外儿童青少年脊柱侧弯筛查工作开展情况许多国家对儿童青少年脊柱侧弯都有全国性的筛查计划。AIS的学校筛查最早于20世纪60年代在美国特拉华州开展,随后推广到美国全境以及加拿大、欧洲等国家和地区,但对是否实施强制筛查是有争议的^[23]。美国系统地评价AIS筛查工作,纳入了14个研究,覆盖448 276人,发现筛查能探测AIS,通过支具和运动治疗能防止或延缓疾病进展^[3,24]。澳大利亚的研究结果支持在学校开展脊柱侧弯筛查,以利于使学生获得早期治疗^[23]。丹麦的研究发现,没有开展学校脊柱侧弯筛查的卫生保健系统与开展学校脊柱侧弯筛查的相比,患者被发现时的脊柱侧弯角度更大^[25]。新加坡的研究认为脊柱侧弯筛查具有重要的临床意义,将继续作为常规的卫生服务项目^[26]。

1995年,香港卫生署将脊柱侧弯筛查纳入常规卫生服务,近年来我国其他地区也相继开展脊柱侧弯的流行病学调查,但各级政府及教育部门尚未将其纳入中小学校体检内容。1985年上海市应用Moire测量法和目测法对2 500名7~16岁的中小學生进行脊柱侧弯普查,患病率为12.05%^[27]。1988年北京市对20 418名7~15岁学生采用前驱试验、Moire测量法和X线照相法联合筛查,得出脊柱侧弯患病率为1.04%^[28]。2002年广东省对城乡87 546名7~18岁在校学生采用体检、波纹照相、X线照片进行脊柱侧弯普查,患病率为7.5%^[29]。2002年西安市对城乡25 725名7~15岁学生开展脊柱侧弯筛查,患病率为1.33%^[30]。王振堂等^[31]于2005—2006年对

北京市区及周边的63所中小学57 581名学生进行了脊柱侧弯普查,患病率仅为0.11%,明显低于其他地区调查结果。唐占英等^[32]于同时期调查上海市6 062名在校学生,发现脊柱侧弯患病率高达2.64%。由此可见,国内脊柱侧弯筛查工作开展较少,筛查方法差异较大难以相互比较和评估,建议参照国外经验把脊柱侧弯筛查纳入到学校的卫生保健工作中,统一筛查方法,定期开展筛查,并对检出的可疑者进行复核确诊,并提供治疗方案,以期早期发现和控制儿童青少年脊柱侧弯。

3 脊柱侧弯干预

脊柱侧弯的干预方法主要包括观察、康复训练、支具干预和手术治疗。北美地区一般采用观察法,Cobb角 $>25^\circ$ 时应用支具干预^[7]。大多数欧洲国家会对曲线小和进展危险不大的患者采用物理治疗、运动疗法等控制脊柱侧弯的进展,但也有文献报道积极参加体育活动不会影响脊柱侧弯程度^[33]。2011年国际脊柱侧弯矫形和康复治疗协会指南^[34]推荐:Cobb角 $<10^\circ$ 时可定期观察;Cobb角 $10^\circ\sim 20^\circ$ 时可选择运动干预;Cobb角 $>20^\circ\sim 45^\circ$ 时可选择支具治疗配合运动疗法;Cobb角 $>45^\circ$ 时可考虑手术治疗。

运动干预是为了恢复正常的肌肉骨骼功能或减少疾病损伤引起的疼痛而设计和制定的身体活动方案,其目的是通过脊柱和胸廓三维方向的功能锻炼,防治或延缓脊柱侧弯曲线进一步加重,尽量避免或减少脊柱侧弯角度小和进展危险不大的患者使用支具和手术治疗。一般性运动干预包括瑜伽、平衡球、游泳和跳绳等;特定性运动干预(physiotherapeutic specific exercises, PSE)需在治疗师的指导下进行,主要包括里昂疗法、施罗特疗法、脊柱侧弯科学锻炼疗法、巴塞罗那脊柱侧弯物理治疗学疗法、DoboMed疗法、侧移疗法和脊柱侧弯功能性个体化疗法。

支具矫形是被认为唯一有效的保守干预方法^[35],目的是在曲线进展危险期内防止曲线的进展直到患者达到骨骼成熟,最大可能地减少手术治疗。最早于1958年在骨科术后应用了Milwaukee支具,然后进行改良,去掉颈椎部分,采用更优材料,成为胸腰骶支具(thoraco lumbo sacral orthoses, TLSO)。目前临床疗效显著并广泛应用的支具主要有Boston支具系统和Cheneau支具系统。Cheneau支具^[36]能产生一种高度的矫正力,通过应用高矫正率的模具和衬垫产生更大的去旋转力,有助于改善呼吸功能^[37]。Boston支具利用支具与人体三点接触的力学原理所产生的弹

力,沿凸侧的肋骨传导到脊柱,肋骨与脊柱之间形成的锐角使弹力被分成两份,使脊柱受到水平方向的推力和纵向的拉力,从而达到矫形的目的^[38]。软支具也是近期研究的热点。弹性矫形带 SpineCor 属非硬性支具,使用初始以及在1年和2年的随访中有降低 Cobb 角的趋势^[37],目前已应用于临床,并可控制脊柱侧弯进展^[39]。

对支具矫形的干预效果也有不同观点, DOLAN 等^[40]综述了青少年特发性脊柱侧凸的观察法和支具使用后的手术率,两种方法后续的手术率差异并无统计学意义。

目前定制脊柱矫形器为手工制作,具有繁琐的阳模、阴模与矫形器实体的制造过程,所以生产周期长,环境污染大。三维打印有直接成型的优点,可进行数字化定制。国外已进行三维打印脊柱侧弯矫形器^[41-42],而国内尚待研发。

近年来,三维技术也被引入脊柱侧弯患者的手术治疗中^[43-44]。已有研究报道采用三维打印技术打印出患者仿真脊柱侧弯模型,并按照虚拟内固定设计方案进行椎弓根螺钉最佳位置设计,螺钉长度测量,螺钉进入途经设计等一系列内固定操作前模拟内固定,使现实手术更加精准^[45]。

4 结 语

鉴于目前我国脊柱侧弯筛查工作开展较少,筛查方法不统一,结果难以横向比较,建议参照国外经验把脊柱侧弯筛查纳入学校的卫生保健工作中,制定准确性和安全性更高的筛查策略,避免不必要的 X 线摄片,以期早期发现儿童青少年脊柱侧弯;三维扫描和打印技术在筛查和干预过程中的价值日益突出,值得进一步研究开发。

参考文献

- [1] 季成叶. 现代儿童少年卫生学 [M]. 2 版. 北京: 人民卫生出版社, 2010: 461.
- [2] WEINSTEIN S L, DOLAN L A, SPRATT K F, et al. Health and function of patients with untreated idiopathic scoliosis: a 50-year natural history study [J]. *JAMA*, 2003, 289 (5): 559-567.
- [3] HA A S, BEAUCHAMP E C. Editorial on "Screening for adolescent idiopathic scoliosis: US preventive services task force recommendation statement" [J]. *J Spine Surg*, 2018, 4 (4): 812-816.
- [4] BALAGUE F, PELLISE F. Adolescent idiopathic scoliosis and back pain [J]. *Scoliosis Spinal Disord*, 2016, 11 (1): 27.
- [5] BETTANY-SALTIKOV J, WEISS H R, CHOCKALINGAM N, et al. Surgical versus non-surgical interventions in people with adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015 (4): CD010663.
- [6] ASHER M A, BURTON D C. Adolescent idiopathic scoliosis: natural history and long term treatment effects [J]. *Scoliosis*, 2006, 1 (1): 1-10.
- [7] WEINSTEIN S L, DOLAN L A, CHENG J C, et al. Adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Lancet*, 2008, 371 (9623): 1527-1537.
- [8] ZHU Z, TANG N L, XU L, et al. Genome-wide association study identifies new susceptibility loci for adolescent idiopathic scoliosis in Chinese girls [J]. *Nat Commun*, 2015, 6: 1-6.
- [9] WILLNER S. Moire topography for the diagnosis and documentation of scoliosis [J]. *Acta Orthop Scand*, 1979, 50 (3): 295-302.
- [10] ASHWORTH M D. Measurement of the rib hump inclination: a potential aid in scoliosis screening [J]. *Orthop Trans*, 1981, 5: 33.
- [11] LONSTEIN J E, BJORKLUND S, WANNINGER M H, et al. Voluntary school screening for scoliosis in Minnesota [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1982, 19 (4): 481-488.
- [12] JACKMAN K. Moiré fringe topography and spinal deformity [J]. *Am J Dis Child*, 1982, 136 (6): 565-566.
- [13] RAMIREZ L, DURDLE N G, RASO V J, et al. A support vector machines classifier to assess the severity of idiopathic scoliosis from surface topography [J]. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 2006, 10 (1): 84-91.
- [14] BERRYMAN F, PYNSENT P, FAIRBANK J, et al. A new system for measuring three-dimensional back shape in scoliosis [J]. *European Spine Journal*, 2008, 17 (5): 663-672.
- [15] PATIAS P, GRIVAS T B, KASPIRIS A, et al. A review of the trunk surface metrics used as Scoliosis and other deformities evaluation indices [J]. *Scoliosis*, 2010, 5: 1-20.
- [16] 唐盛平, 付桂兵, 孙客, 等. 前屈试验、脊柱测量仪与 Cobb 角的比较 [J]. *中华小儿外科杂志*, 2006, 27 (7): 372-374.
- [17] PONCET P, KRAVARUSIC D, RICHART T, et al. Clinical impact of optical imaging with 3D reconstruction of torsotopography in nonanterior chest wall anomalies [J]. *J Pediatr Surg*, 2007, 42 (5): 898-903.
- [18] GLINKOWSKI W, SITNIK R, WITKOWSKI M, et al. Method of pectusexcavatum measurement based on structure delight technique [J]. *J Biomed Opt*, 2009, 14 (4): 044041.
- [19] KIM H H, LEE J W, CHAK S, et al. Three-dimensional assessment of upper lip positional changes according to simulated maxillary anterior tooth movements by white light scanning [J]. *Korean J Orthod*, 2014, 44 (6): 281-293.
- [20] TENHAGEN M, BRUSE J L, RODRIGUEZFLOREZ N, et al. Three-dimensional handheld scanning to quantify head-shape changes in spring assisted surgery for sagittal craniosynostosis [J]. *J Craniofac Surg*, 2016, 27 (8): 2117-2123.
- [21] HEBAL F, PORT E, HUNTER C J, et al. A novel technique to measure severity of pediatric pectus excavatum using white light scanning [J]. *J Pediatr Surg*, 2018, 54 (4): 656-662.
- [22] CAI T, RYBICKI F J, GIANNOPOULOS A A, et al. The residual STL volume as a metric to evaluate accuracy and reproducibility of anatomic models for 3D printing: application in the validation of

- 3D-printable models of maxillofacial bone from reduced radiation dose CT images [J]. *3D Print Med*, 2015, 1 (1): 1-9.
- [23] ALTAF F, DRINKWATER J, PHAN K, et al. Systematic review of school scoliosis screening [J]. *Spine Deform*, 2017, 5 (5): 303-309.
- [24] DUNN J, HENRIKSON N B, MORRISON C C, 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.
- [25] OHRT-NISSEN S, HALLAGER D W, HENRIKSEN J L, et al. Curve magnitude in patients referred for evaluation of adolescent idiopathic scoliosis: five years' experience from a system without school screening [J]. *Spine Deform*, 2016, 4 (2): 120-124.
- [26] FONG D Y, CHEUNG K M, WONG Y W, et al. A population-based cohort study of 394, 401 children followed for 10 years exhibits sustained effectiveness of scoliosis screening [J]. *Spine J*, 2015, 15 (5): 825-833.
- [27] 陆健民, 裘麟, 赵光复, 等. 脊柱侧弯的云纹照相普查法 [J]. *上海第一医学院学报*, 1985, 12 (4): 12-14.
- [28] LIU S L, HUANG D S. Scoliosis in China. A general review [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1996 (323): 113-118.
- [29] 刘尚礼, 李卫平, 李远景, 等. 广东省青少年脊柱侧凸患病率调查报告 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2002, 12 (1): 41-43.
- [30] 程斌, 李锋涛, 宋金辉. 西安市 25 725 名中小学生脊柱侧弯患病率调查 [J]. *中国临床康复*, 2006, 10 (8): 8-9.
- [31] 王振堂, 李中实, 刘朝晖, 等. 北京市中小学生脊柱侧凸患病率调查报告 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2007, 17 (6): 440-442.
- [32] 唐占英, 钱雪华, 王拥军, 等. 上海市在校小学生脊柱侧凸现状调查分析研究 [C] // *中华中医药学会骨伤分会第四届第二次会议论文汇编*, 2007.
- [33] KENANIDIS E, PPTOUPNIS M E, PAPAVALIIOU K A, et al. Adolescent idiopathic scoliosis and exercising: is there truly a liaison? [J]. *Spine*, 2008, 33 (20): 2160-2165.
- [34] NEGRINI S, AULISA A G, AULISA L, et al. 2011 SOSORT guidelines: Orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth [J]. *Scoliosis*, 2012, 7 (1): 1-35.
- [35] PARENT S, NEWTON P O, WENGER D R. Adolescent idiopathic scoliosis: etiology, anatomy, natural history, and bracing [J]. *Instr Course Lect*, 2005, 54: 529-536.
- [36] RIGO M, NEGRINI S, WEISS H R, et al. SOSORT consensus paper on brace action: TLSO biomechanics of correction (investigating the rationale for force vector selection) [J]. *Scoliosis*, 2006, 1: 1-8.
- [37] SHAUGHNESSY W J. Advances in scoliosis brace treatment for adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Orthop Clin North Am*, 2007, 38 (4): 469-475.
- [38] COILLARD C, LEROUX M A, ZABJEK K F, et al. SpineCor—a non-rigid brace for the treatment of idiopathic scoliosis: post-treatment results [J]. *Eur Spine J*, 2003, 12 (2): 141-148.
- [39] GUO J, LAM T P, WONG M S, et al. A prospective randomized controlled study on the treatment outcome of SpineCor brace versus rigid brace for adolescent idiopathic scoliosis with follow-up according to the SRS standardized criteria [J]. *Eur Spine J*, 2014, 23 (12): 2650-2657.
- [40] DOLAN L A, WEINSTEIN S L. Surgical rates after observation and bracing for adolescent idiopathic scoliosis: an evidence-based review [J]. *Spine*, 2007, 32 (Suppl 19): S91-S100.
- [41] GIGNAC D, AUBIN C E, DANSEREAU J, et al. Optimization method for 3D bracing correction of scoliosis using a finite element model [J]. *Eur Spine J*, 2000, 9 (3): 185-189.
- [42] COBETTO N, AUBIN C É, PARENT S, et al. 3D correction of AIS in braces designed using CAD/CAM and FEM: a randomized controlled trial [J]. *Scoliosis Spinal Disord*, 2017, 12: 1-8.
- [43] CARTIAUX O, PAUL L, FRANCO B G, et al. Improved accuracy with 3D planning and patient-specific instruments during simulated pelvic bone tumor surgery [J]. *Ann Biomed Eng*, 2014, 42 (1): 205-213.
- [44] LI C, YANG M, XIE Y, et al. Application of the polystyrene model made by 3-D printing rapid prototyping technology for operation planning in revision lumbar discectomy [J]. *J Orthop Sci*, 2015, 20 (3): 475-480.
- [45] 张树芳, 陈荣春, 郭朝阳, 等. 基于 3D 打印技术选择性椎弓根螺钉治疗青少年特发性脊柱侧凸 [J]. *中国组织工程研究*, 2016, 20 (48): 7225-7231.

收稿日期: 2019-06-20 修回日期: 2019-07-25 本文编辑: 徐文璐