

支具治疗青少年特发性脊柱侧弯

怡丽丹 魏见伟 王艾琳 骆彪 王德春

摘要 青少年特发性脊柱侧弯(AIS)是青少年常见三维脊柱畸形,可导致患者躯体畸形,心肺功能受损,影响患者生活质量及精神健康。轻、中度 AIS 患者可采用观察随访、支具治疗等保守治疗方法。2013 年一项多中心随机对照试验确立了支具治疗在 AIS 保守治疗中的重要地位。目前,支具治疗是预防 AIS 进展最有效的治疗方法,可有效改变 AIS 的自然史。该文对 AIS 患者支具治疗的进展、应用及前景进行综述,为临床治疗提供参考。

关键词 青少年特发性脊柱侧弯;支具治疗;保守治疗;非手术治疗

DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2021.01.011

引起青少年特发性脊柱侧弯(AIS)的确切原因仍未知,但已有研究阐述了其复杂的发病机制^[1]。当脊柱侧弯进展至超过临界值(Cobb 角 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$),可引发呼吸功能受损和躯体疼痛,并表现出外观畸形。预防 AIS 进展的干预措施主要包括运动疗法、支具治疗和手术治疗。有关支具治疗的疗效曾长期存在争议,直至 2013 年,一项多中心随机对照试验肯定了支具治疗的效果。该研究显示,支具治疗可以有效预防 AIS 患者 Cobb 角进展至手术阈值,即超过 50° ^[1-2]。我们回顾文献,对支具治疗 AIS 的研究进展进行综述。

1 支具治疗概述

根据 2016 年国际脊柱侧弯与康复治疗协会(SOSORT)指南,支具治疗脊柱侧弯的主要目标包括①防止脊柱侧弯进展,甚至实现侧弯的部分矫正;②改善临床症状;③治疗脊柱三维畸形;④缓解疼痛,提高生活质量;⑤避免 Cobb 角进展达到手术阈值^[1]。

1.1 治疗原理

支具治疗矫正脊柱侧弯的理论依据包括额面“三点力系统”、局部“力对系统”和矢状面脊柱平衡。

“三点力系统”指处于同一平面但不在同一直线的三点的受力情况,当其中一点的受力方向与另外两点相反时,根据作用力与反作用力、力的分解定律以及杠杆平衡原理,三点力相互作用而产生矫正作用。

“力对系统”由两个相反方向的力组成,它们自不同方向施加于躯干某个较宽部分,使其旋转(即局部旋转)。“力对系统”必须施加于椎骨旋转最多的顶椎水平,以实现力的最大化。正确的脊柱矢状面平衡主要取决于骨盆、最大腰椎前凸与最大胸椎后凸之间的关系^[3]。此外,Hueter-Volkman 定律也为支具治疗提供了依据,即“骨骺受压增加,骨生长受抑制;骨骺受压减小,骨生长加速”。脊柱侧弯凸侧的椎体骨骺受到牵拉,生长加速,而凹侧的椎体骨骺生长受抑制,导致侧弯角度逐渐增大。因此,增加侧弯脊柱凸侧的骨骺压力,减小凹侧的骨骺压力,可逐步矫正脊柱侧弯。

根据每个患者因脊柱侧弯引起的身体变形情况,采用多组“三点力”,可三维矫正脊柱侧弯畸形。矫正力通过压力垫来实施,压力垫的位置、形状、大小均可影响矫正效果。

1.2 支具治疗的适应证和并发症

国际脊柱侧凸研究协会(SRS)指出,支具治疗适用于骨骼未发育成熟、Cobb 角介于 $20^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之间的 AIS 患者^[4]。对于 Cobb 角 $>45^{\circ}$ 的患者,支具治疗可作为拒绝手术时的替代方案,但其有效性仅有低水平证据支持^[5-6]。此外,近期文献报道,支具不但可阻止侧弯曲线进展,还可能促使脊柱重塑和侧弯角减小,进一步扩大了支具治疗适应证^[7]。

支具治疗可导致一系列潜在的身体损害和心理问题。长时间佩戴支具可导致使用者出现腰背部肌肉萎缩伴肌力下降、腰背部疼痛、肺功能降低、胸廓畸形加重、压疮和皮肤过敏等并发症,生活质量明显下降^[1]。Cheung 等^[8]的研究显示,支具治疗可导致

作者单位:116044, 大连医科大学研究生院(怡丽丹、王艾琳、骆彪);266000, 青岛市市立医院东院脊柱外科(魏见伟、王德春)

通信作者:王德春 E-mail: dechun-w@163.com

使用者出现平背畸形,伴胸椎后凸不足和腰椎前凸不足,但这些矢状位参数的改变似乎与患者生活质量下降无关。AIS患者心理问题发生率很高,患者的应激水平与病情严重程度相关,而与治疗方法无关。佩戴支具是引发和增加心理压力的因素之一,因此综合治疗还应包括对 AIS 患者的心理支持^[9]。

2 支具分类

2.1 颈胸腰骶支具和胸腰骶支具

根据脊柱侧弯位置高低,支具可分为颈胸腰骶支具(CTL SO)和胸腰骶支具(TLSO)。CTL SO 有颈托,适用于顶椎在 T₇ 及以上水平的 AIS 患者,其矫正脊柱侧弯的范围可达颈椎部位,代表支具为 Milwaukee 支具。TLSO 则适用于顶椎在 T₇ 以下水平的 AIS 患者,其高度仅达腋下,也被称为腋下型支具。常见的有 Wilmington 支具、Boston 支具、Charleston 支具、Chêneau 支具等。Boston 支具为常用支具之一,其通过“三点力系统”发挥矫正作用,兼具被动力和主动动力,主要用于腰弯或胸腰弯的患者,但对角度非常大的胸弯患者的矫正效果欠佳。该支具可完全隐藏在衣服下,极大提升了患者依从性。Charleston 支具是首个夜用型支具,用于身体不能向凸侧弯曲的患者。该支具使患者处于过度矫正位置,进一步减轻了侧弯凹侧椎骨终板的负荷,从而可最大程度地矫正弯曲^[10]。Chêneau 支具兼具主动和被动两种矫正机制,在某些情况下 Chêneau 支具可以纠正脊柱侧弯,而不仅仅限于控制侧弯进展^[11]。

2.2 硬体支具与软体支具

依据支具质地可将其分为硬体支具与软体支具。软体支具的代表为 SpineCor 支具,其设计基于生物主动反馈机制。SpineCor 支具的特殊点在于可以提高佩戴者的运动量,且在衣物下可见度明显降低,患者依从性较高。与 TLSO 相似,SpineCor 支具应每日佩戴 22 h,直到骨骼成熟为止^[10]。但是许多证据表明,对处于快速生长期,有高度脊柱侧弯进展风险的患者,硬体支具较 SpineCor 支具能更有效地控制侧弯进展^[12]。

2.3 全日型支具和夜用型支具

根据支具佩戴时间可将其分为全日型支具和夜用型支具。全日型支具需每日佩戴 16~23 h,常见的支具包括 Boston 支具、Wilmington 支具、Milwaukee 支具等。夜用型支具仅在睡眠时佩戴 8~10 h,常见夜用型支具包括 Charleston 支具、

Providence 支具。近期一项回顾性队列研究显示,Cobb 角 $>35^{\circ}$ 的患者应用夜用型支具同样有效^[13]。另一项相似研究的结果表明,主胸弯的 AIS 患者,使用 Providence 支具治疗者尽管其初始 Cobb 角较大,但他们的手术风险与使用 Boston 支具治疗者相近,这表明夜用型支具是全日型支具的一种可行替代物^[14]。

2.4 与计算机技术结合的支具

计算机辅助设计/计算机辅助制造(CAD/CAM)技术的发展,促进了支具改善,使其更加精准、舒适、有效。支具制作由传统的石膏铸模改为使用激光扫描仪,结合 CAD/CAM 程序设计。使用 CAD/CAM 技术制作的支具优于传统石膏支具,其成品更轻巧舒适,提高了患者使用依从性^[15]。基于有限元建模方法的 CAD/CAM 技术可以改善支具的三维平面矫正,且厚度减少 50%,覆盖面减少 20%,使用时更为舒适,可提高患者依从性^[16]。3D 打印技术同样被应用到支具制作中,通过对人体的快速 3D 建模,可节约取模时间,且调整方便,越来越受到医师及患者的青睐。同时,3D 打印支具更为轻巧,透气性更佳,可增加患者依从性^[17]。此外,在 3D 打印支具基础上,增加压力传感器、数据收集器,并结合智能手机应用程序客户端及云数据平台的新型智能支具已面世。新型智能支具可实时收集支具的受力点力值改变、最佳矫正力数值、佩戴支具时长等数据,提供个体化调整方案,从而更大程度地提高佩戴依从性和治疗效果。

3 支具治疗效果

2016 年的 SOSORT 指南指出,评估支具治疗有效性的标准应包括以下几点:①骨骼成熟时曲线进展 $\leq 5^{\circ}$ 患者所占百分比及曲线进展 $\geq 6^{\circ}$ 患者所占百分比;②骨骼成熟时曲线 $>45^{\circ}$ 患者所占百分比及被建议或实施手术的患者所占百分比;③随访时间超过骨骼成熟后 2 年,以确定随后接受手术患者所占百分比^[1]。SRS 和 SOSORT 达成共识,同意将“以患者为中心的治疗结果(包含外观、残疾、疼痛、生活质量)”作为评估有效性的主要指标,而将影像学检查结果作为次要指标。2013 年,一项多中心随机对照试验(BraAIST)表明,支具治疗可以有效预防 Cobb 角进展至手术阈值(通常定义为 $\geq 50^{\circ}$)^[2]。该试验中,支具组患者每天至少佩戴 18 h 支具,骨骼成熟时脊柱侧弯进展至 Cobb 角 $\geq 50^{\circ}$ 即为治疗失败。由于支具治疗确实有效,该试验提前终止。对

该研究结果的分析表明,AIS患者行支具治疗可明显降低高危患者侧弯曲线进展至手术阈值的风险。同时,支具穿戴时间越长,其矫正优势越明显^[2]。

4 影响支具治疗效果的因素

4.1 即刻矫正率

即刻矫正率(IBC)定义为(未佩戴支具时 Cobb 角-佩戴支具后 Cobb 角)/未佩戴支具时 Cobb 角(百分比)。IBC 是预测支具治疗效果最重要的因素,但其预测治疗成功或失败的临界值尚存争议。Xu 等^[18]报道,当 IBC 低于 10% 时预测支具治疗可能失败。van de Bogaart 等^[19]的系统综述研究认为,IBC 是预测支具治疗成功的最有力指标。但 Hawary 等^[20]的系统综述研究认为,支持该结论的证据水平较低。以上研究结果存在差异的原因是采用了不同的方法学标准来量化证据水平。因此,还需开展进一步的研究来确定可预测支具疗效的 IBC 临界值。

4.2 患者依从性

依从性指患者遵医嘱佩戴支具的时间,有 3 项前瞻性研究使用支具内置传感器来监测患者的依从性。BrAIST 研究结果为 I 级证据。该研究表明支具治疗具有剂量-效应关系,即随着支具佩戴时间延长,治疗效果提高。支具组佩戴支具时间平均为 12.9 h/d 时治疗成功率可达 90%~93%。佩戴支具时间为每天 0~6 h 时治疗成功率为 41%,低于观察组的治疗成功率(48%)^[2]。Sanders 等^[21]的前瞻性研究显示,支具佩戴依从性与治疗是否成功密切相关。他们发现,佩戴支具每天至少 14 h 的患者成功率为 100%,佩戴支具每天 2~10 h 的患者成功率为 66.7%,佩戴支具每天少于 2 h 的患者成功率仅为 55.6%。Lou 等^[22]的前瞻性研究表明,支具佩戴依从性为实现治疗成功的重要因素,研究中 56%±19% 的患者可遵医嘱每天佩戴支具 23 h。

4.3 支具治疗质量

支具治疗质量指患者佩戴支具期间支具的松紧度。Lou 等^[22]的研究通过拉紧绑带来评估支具所施加的作用力,他们发现支具松紧度与支具疗效呈正相关。

4.4 初始 Cobb 角

尽管在脊柱侧弯的自然疾病史中,侧弯进展主要取决于初始 Cobb 角和生长阶段,但目前尚不清楚初始 Cobb 角是否与支具治疗成功与否相关。Hawary 等^[20]将初始 Cobb 角>30°视为导致支具治

疗失败的 3 个主要危险因素之一。一项系统综述研究显示,初始 Cobb 角与治疗失败不相关,而与治疗成功是否相关,目前研究证据尚不充足^[19]。

4.5 脊柱侧弯类型

Xu 等^[18]进行的系统综述研究显示,脊柱侧弯类型可作为预测支具治疗成功与否的决定因素。Thompson 等^[23]的研究显示,在初始 Cobb 角和每日支具穿戴时间相似的情况下,主胸弯的 AIS 患者中 Cobb 角进展至≥50°者比例更高。相反,也有部分研究并未将脊柱侧弯类型确定为影响预后的重要因素^[24]。

4.6 骨骼成熟度

最常用的骨骼成熟度参数是 Risser 评级,其余参数有 Sanders 评分、年龄、初潮情况及髌臼“Y”形软骨类型。Xu 等^[18]发现,支具治疗失败的患者 Risser 评分更低。Karol 等^[25]的研究结果显示,Cobb 角>30°时,Risser 0 级且髌臼“Y”形软骨为开放型的患者手术风险为 63.0%,而 Risser 0 级且髌臼“Y”形软骨为封闭型的患者手术风险为 32.4%。Hawary 等^[20]认为,骨骼成熟度较低是支具治疗失败的危险因素。van de Bogaart 等^[19]得出结论,骨骼成熟度作为预测支具治疗成功的因素,其证据尚存争议。此外,有研究表明,Sanders 评分较 Risser 评级能更好地预测支具治疗结果^[26]。

4.7 体质指数

体质指数(BMI)是评价人体营养状况的重要指标。一项综述研究表明,支持低 BMI 与矫正失败相关的证据有限,而支持高 BMI 与矫正失败相关的证据尚存在争议^[19]。Karol 等^[27]认为,低体质量患者每日佩戴支具时间最长(达 15.7 h/d),依从性较好,但他们的手术风险最高(手术率为 60%);超重和肥胖患者每天佩戴支具的时间较少(分别为 11.7 h/d 和 9.0 h/d),而他们的手术率分别为 28.6%和 55.6%。

5 总结与展望

支具治疗 AIS 的疗效确切,已在临床广泛使用,但需认识到支具治疗的局限性。临床治疗中应重视提高患者依从性,减少并发症发生,并为患者提供心理支持。随着基因技术进展,将有助于探明 AIS 的发病机制^[28],预测支具治疗结果,并为患者提供更个性化的治疗方案^[29]。运动疗法可结合支具治疗,进一步提高疗效^[30]。计算机科学、生物力学、材料学等学科的发展,将为支具治疗 AIS 提

供更多可能,未来可为患者制作更舒适、依从性更好、性价比更高、更为美观的支具。

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, 13: 3.
- [2] 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.
- [3] Rigo M, Jelačić M. Brace technology thematic series: the 3D Rigo Chêneau-type brace[J]. *Scoliosis Spinal Disord*, 2017, 12: 10.
- [4] Richards BS, Bernstein RM, D'Amato CR, et al. Standardization of criteria for adolescent idiopathic scoliosis brace studies: SRS committee on bracing and nonoperative management[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005, 30(18): 2068-2075.
- [5] Xu L, Yang X, Wang Y, et al. Brace treatment in Adolescent Idiopathic Scoliosis patients with curve between 40° and 45°: effectiveness and related factors[J]. *World Neurosurg*, 2019, 126: e901-e906.
- [6] Angelo GA, Guzzanti V, Falciglia F, et al. Brace treatment of idiopathic scoliosis is effective for a curve over 40 degrees, but is the evaluation of Cobb angle the only parameter for the indication of treatment?[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2019, 55(2): 231-240.
- [7] Cheung JPY, Cheung PWH, Yeng WC, et al. Does curve regression occur during underarm bracing in patients with adolescent idiopathic scoliosis?[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2020, 478(2): 334-345.
- [8] Cheung JPY, Chong CHW, Cheung PWH. Underarm bracing for adolescent idiopathic scoliosis leads to flatback deformity: the role of sagittal spinopelvic parameters[J]. *Bone Joint J*, 2019, 101B(11): 1370-1378.
- [9] Zimon M, Matusik E, Kapustka B, et al. Conservative management strategies and stress level in children and adolescents with idiopathic scoliosis[J]. *Psychiatr Pol*, 2018, 52(2): 355-369.
- [10] Fayssoux RS, Cho RH, Herman MJ, et al. A history of bracing for idiopathic scoliosis in North America[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2010, 468(3): 654-664.
- [11] Weniger CD, Fujak A, Hofner B, et al. Long-term results of conservative therapy of adolescent idiopathic scoliosis using the cheneau brace[J]. *Klin Padiatr*, 2019, 231(5): 248-254.
- [12] Gutman G, Benoit M, Joncas J, et al. The effectiveness of the SpineCor brace for the conservative treatment of adolescent idiopathic scoliosis. Comparison with the Boston brace[J]. *Spine J*, 2016, 16(5): 626-631.
- [13] Simony A, Beuschau I, Quisth L, et al. Providence nighttime bracing is effective in treatment for adolescent idiopathic scoliosis even in curves larger than 35°[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(9): 2020-2024.
- [14] Ohrt-Nissen S, Lastikka M, Andersen TB, et al. Conservative treatment of main thoracic adolescent idiopathic scoliosis: full-time or nighttime bracing?[J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2019, 27(2): 2309499019860017.
- [15] Karavidas N. Bracing in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: evidence to date[J]. *Adolesc Health Med Ther*, 2019, 10: 153-172.
- [16] Cobetto N, Aubin CE, Parent S, et al. Effectiveness of braces designed using computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM) and finite element simulation compared to CAD/CAM only for the conservative treatment of adolescent idiopathic scoliosis: a prospective randomized controlled trial[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(10): 3056-3064.
- [17] 张玉芳, 关天民, 郭侨阁, 等. 基于 3D 打印技术的个性化脊柱侧弯矫形支具数字化设计[J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(36): 5824-5829.
- [18] Xu L, Qin X, Qiu Y, et al. Initial correction rate can be predictive of the outcome of brace treatment in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Clin Spine Surg*, 2017, 30(4): E475-E479.
- [19] van den Bogaart M, van Royen BJ, Haanstra TM, et al. Predictive factors for brace treatment outcome in adolescent idiopathic scoliosis: a best-evidence synthesis[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(3): 511-525.
- [20] Hawary RE, Zaaroor-Regev D, Floman Y, et al. Brace treatment in adolescent idiopathic scoliosis: risk factors for failure-a literature review[J]. *Spine J*, 2019, 19(12): 1917-1925.
- [21] Sanders JO, Newton PO, Browne RH, et al. Bracing for idiopathic scoliosis: how many patients require treatment to prevent one surgery?[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2014, 96(8): 649-653.
- [22] Lou EH, Hill DL, Raso JV, et al. How quantity and quality of brace wear affect the brace treatment outcomes for AIS[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(2): 495-499.
- [23] Thompson RM, Hubbard EW, Jo CH, et al. Brace success is related to curve type in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2017, 99(11): 923-928.
- [24] Sun W, Zhou J, Sun M, et al. Low body mass index can be predictive of bracing failure in patients with adolescent idiopathic scoliosis: a retrospective study[J]. *Eur Spine J*, 2017, 26(6): 1665-1669.
- [25] Karol LA, Virostek D, Felton K, et al. The effect of the risser stage on bracing outcome in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2016, 98(15): 1253-1259.

strategy for red blood-cell transfusion in hip fracture patients; a systematic review and meta-analysis [J]. *Medicine* (Baltimore), 2019, 98(32): e16795.

[39] VanTienderen RJ, Fernandez I, Reich MS, et al. Walking greater than 5 feet after hip fracture surgery is associated with fewer complications, including death[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2020, [Epub ahead of print].

[40] Sing CW, Wong AY, Kiel DP, et al. Association of alendronate and risk of cardiovascular events in patients with hip fracture[J]. *J Bone Miner Res*, 2018, 33(8): 1422-1434.

[41] Sprini D, Rini GB, Di Stefano L, et al. Correlation between osteoporosis and cardiovascular disease[J]. *Clin Cases Miner Bone Metab*, 2014, 11(2): 117-119.

[42] Sharma A, Chatterjee S, Arbab-Zadeh A, et al. Risk of serious atrial fibrillation and stroke with use of bisphosphonates: evidence from a meta-analysis[J]. *Chest*, 2013, 144(4): 1311-1322.

[43] Ekeloef S, Homilius M, Stilling M, et al. The effect of remote ischaemic preconditioning on myocardial injury in emergency hip fracture surgery (PIXIE trial): phase II randomised clinical trial[J]. *BMJ*, 2019, 367: 16395.

(收稿日期:2020-09-29)
(本文编辑:杨晓娟)

(上接第 48 页)

[26] 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.

[27] Karol LA, Wingfield JJ, Virostek D, et al. The influence of body habitus on documented brace wear and progression in adolescents with idiopathic scoliosis[J]. *J Pediatr Orthop*, 2020, 40(3): e171-e175.

[28] Zhuang Q, Ye B, Hui S, et al. Long noncoding RNA lncAIS downregulation in mesenchymal stem cells is implicated in the pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Cell Death Differ*, 2019, 26(9): 1700-1715.

[29] Beauséjour M, Vaillancourt F, Akoume MY, et al. Patient outcomes in idiopathic scoliosis are associated with biological endophenotypes: 2020 SOSORT award winner[J]. *Eur Spine J*, 2020. Epub ahead of print.

[30] Burger M, Coetzee W, du Plessis LZ, et al. The effectiveness of Schroth exercises in adolescents with idiopathic scoliosis: a systematic review and meta-analysis [J]. *S Afr J Physiother*, 2019, 75(1): 904.

(收稿日期:2020-10-19)
(本文编辑:杨晓娟)