

DOI: 10.13210/j.cnki.jhmu.20260116.001

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/46.1089.R.20260116.1300.002>

大脑学习训练法对 Lenke 1 型青少年特发性脊柱侧凸的临床效果评估

林俊龙¹, 李国军¹, 顾运涛², 文王强¹, 陈焕雄²✉

(1. 海南医科大学第一附属医院脊柱外科, 海南海口 570102; 2. 海南医科大学第二附属医院脊柱外科, 海南海口 570311)

[摘要] **目的:** 探讨大脑学习训练法(Brain Learning Training Method, BLTM)在 Lenke 1 型青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)非手术治疗中的应用, 评估 BLTM 对 AIS 患者脊柱结构、体态美学与生活质量的综合干预效果。 **方法:** 前瞻性纳入 2025 年 2~8 月接受 BLTM 干预的 50 例 Lenke 1 型 AIS 患者, 训练内容包括脊柱延伸控制、呼吸模式重建与多通道感知反馈, 通过对比 BLTM 干预前及末次随访的 AIS 患者的脊柱影像学参数、体态美学指标及生活质量评分, 综合评价干预效果。 **结果:** BLTM 干预后, AIS 患者主胸弯 Cobb 角由 $29.14^{\circ} \pm 9.28^{\circ}$ 减小至 $22.69^{\circ} \pm 9.23^{\circ}$ ($P < 0.01$), 腰椎前凸角(LL)由 $45.60^{\circ} \pm 8.60^{\circ}$ 减小至 $39.33^{\circ} \pm 8.16^{\circ}$ ($P < 0.01$)。骨盆入射角-腰椎前凸角(PI-LL)由 $0.58^{\circ} \pm 9.31^{\circ}$ 增加至 $7.62^{\circ} \pm 6.04^{\circ}$ ($P < 0.01$), 矢状面垂直轴距离(SVA)由 (0.15 ± 2.97) cm 增加至 (3.11 ± 2.76) cm ($P < 0.01$)。体态美学方面, 躯干旋转角(ATR)由 $5.45^{\circ} \pm 3.15^{\circ}$ 降至 $2.88^{\circ} \pm 2.41^{\circ}$ ($P < 0.01$), 肩面积指数 2(SAI2)中位数由 98.62% 降至 92.54% ($P = 0.049$)。生活质量评估显示, VAS 疼痛评分由 (2.90 ± 2.07) 分降至 (1.49 ± 1.15) 分 ($P < 0.01$), SRS-22 量表总分均值由 (3.74 ± 0.47) 分升高至 (3.97 ± 0.39) 分 ($P < 0.01$)。 **结论:** BLTM 训练在短期内改善了 AIS 患者的冠状畸形和躯干旋转, 并在体态认知、自我形象及心理状态方面带来积极变化, 但训练过程中矢状面平衡出现前移趋势, 肩面积指标百分比比较前降低, 提示外观形态与视觉对称的恢复进程并不完全一致。该方法在 AIS 非手术治疗中具有应用价值, 但其多维度的综合效应需在临床决策中予以充分考虑。

[关键词] 青少年特发性脊柱侧凸; 大脑学习训练法; 非手术干预; 神经调控; 姿势控制训练
[中图分类号] R682.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-5953(2026)06-0439-08

Clinical evaluation of the Brain Learning Training Method for Lenke type 1 adolescent idiopathic scoliosis

LIN Junlong¹, LI Guojun¹, GU Yuntao², WEN Wangqiang¹, CHEN Huanxiong²✉

(1. Department of Spine Surgery, the First Affiliated Hospital of Hainan Medical University, Haikou 570102, China; 2. Department of Spine Surgery, the Second Affiliated Hospital of Hainan Medical University, Haikou 570311, China)

[Foundation Project]: This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (81902270, 82160435); 2025 Hainan Provincial Health Science and Technology Joint Project (WSJK2025MS158, WSJK2025QN123)

[Author]: LIN Junlong, E-mail: 2938119059@qq.com.

[Correspondence to]: CHEN Huanxiong, Associate Chief Physician, Ph.D., E-mail: chenhuanxiong86@163.com.

Received: 2025-12-11

Revised: 2026-01-25

JHMU, 2026;32(6):439-446

View from specialist: It is creative, and of certain scientific and educational value.

[Abstract] Objective: To investigate the application of Brain Learning Training Method (BLTM) in the non-surgical treatment of Lenke type 1 adolescent idiopathic scoliosis (AIS), and to evaluate the comprehensive effects of BLTM on spinal structure, posture aesthetics, and quality of life in patients with AIS. **Methods:** A prospective study enrolled 50 patients with Lenke type 1 AIS who underwent BLTM intervention from February to August 2025. The training content included spine extension control, respiratory pattern reconstruction, and multi-channel sensory feedback. By comparing the spinal imaging parameters, posture aesthetic indicators, and quality of life scores of AIS patients before and at the last follow-up, the intervention effect was compre-

[基金项目] 国家自然科学基金(81902270,82160435);2025年海南省卫生科技健康联合项目(WSJK2025MS158,WSJK2025QN123)

[作者简介] 林俊龙, E-mail: 2938119059@qq.com.

[通讯作者] 陈焕雄, 副主任医师, 博士, E-mail: chenhuanxiong86@163.com.

[收稿日期] 2025-12-11

[修回日期] 2026-01-25

网络出版时间: 2026-01-16 14:17:53

hensively evaluated. **Results:** After BLTM intervention, the Cobb angle of the main thoracic curve decreased from $29.14^\circ \pm 9.28^\circ$ to $22.69^\circ \pm 9.23^\circ$ ($P < 0.01$), and the lumbar lordosis angle (LL) decreased from $45.60^\circ \pm 8.60^\circ$ to $39.33^\circ \pm 8.16^\circ$ ($P < 0.01$). The pelvic incidence-lumbar lordosis (PI-LL) increased from $0.58^\circ \pm 9.31^\circ$ to $7.62^\circ \pm 6.04^\circ$ ($P < 0.01$), and the sagittal vertical axis (SVA) increased from (0.15 ± 2.97) cm to (3.11 ± 2.76) cm ($P < 0.01$). In terms of body aesthetics, trunk rotation angle (ATR) decreased from $5.45^\circ \pm 3.15^\circ$ to $2.88^\circ \pm 2.41^\circ$ ($P < 0.01$), and median shoulder area index 2 (SAI2) decreased from 98.62% to 92.54% ($P = 0.049$). Quality of life assessment showed that the VAS pain score decreased from 2.90 ± 2.07 to 1.49 ± 1.15 ($P < 0.01$), and the total score of SRS-22 increased from 3.74 ± 0.47 to 3.97 ± 0.39 ($P < 0.01$). **Conclusion:** BLTM training can improve coronal deformity and trunk rotation in AIS patients in the short term, and enhance body perception, self-image, and psychological well-being. However, sagittal balance showed a trend of forward movement and decreased shoulder area index percentage during the training, suggesting that the recovery of external morphology and visual symmetry may not occur synchronously. This method has application value in the non-surgical management of AIS, but its multidimensional comprehensive effects should be carefully considered in clinical decision-making.

[Key words] Adolescent idiopathic scoliosis; Brain Learning Training Method; Non-surgical intervention; Neuromodulation; Postural control training

青少年特发性脊柱侧凸 (adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 是青少年时期最为常见的脊柱畸形之一, 全球患病率约为 3.1%^[1], 而中国青少年儿童 AIS 的患病率为 1.2%, 不同年龄、性别与地理区域存在差异, 且在女性中更为常见^[2]。若未能及时干预, AIS 患者可逐渐出现躯干畸形、心肺功能受限及心理健康问题, 严重者会影响生活质量^[3]。轻中度 AIS 患者主要非手术治疗方式为支具治疗和特异性运动训练。支具治疗是迄今被证实能够改变 AIS 自然进展最主要的非手术方法之一, 但其临床应用受限于患者依从性差、外形不美观与心理社会压力大等多方面的负面影响^[4]。康复运动如 Schroth 方法在改善 AIS 患者体态对称性和生活质量方面显示潜力, 但不同研究的结果不一致^[5]。

此外, 传统康复多聚焦于患者的肌肉强化和三维脊柱调整, 而对中枢神经感觉-运动整合的重塑关注度不足。近年来, 国内外研究发现 AIS 患者在姿势控制过程中存在中枢神经皮层活动异常, 其提示 AIS 病理机制可能与神经可塑性和感觉-运动整合障碍密切相关^[6,7]。基于此, 本研究首次将“大脑学习训练法”(Brain Learning Training Method, BLTM) 应用于 AIS 患者的临床实践治疗。通过脊柱延伸控制、呼吸模式重建与多通道感知反馈训练, 诱导神经可塑, 促进姿势控制与运动输出的重组。本研究旨在通过系统评估 BLTM 对 Lenke 1 型 AIS 患者影像学参数、体态美学及健康相关生活质量 (HRQOL) 的干预效果, 为 AIS 患者保守治疗提供新的康复路径及循证依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究前瞻性纳入 2025 年 2~8 月于海南医科

大学第一附属医院及海南医科大学第二附属医院接受 BLTM 干预的 50 例 Lenke 1 型 AIS 患者, 其中男性 15 例 (30.0%)、女性 35 例 (70.0%), 年龄 12~18 岁, 平均 (14.68 ± 2.45) 岁, 平均身高 (159.57 ± 5.48) cm, 平均体重 (42.14 ± 9.04) kg。主胸弯 Cobb 角范围 $12.2^\circ \sim 44.6^\circ$, 平均 $29.14^\circ \pm 9.28^\circ$ 。Risser 征分布: 0~I 级 3 例 (6.0%)、II 级 7 例 (14.0%)、 \geq III 级 40 例 (80.0%)。

本研究遵循《赫尔辛基宣言》制定的医学伦理原则, 经海南医科大学第一附属医院医学伦理委员会批准 (2024-KYL-263)。所有患者及其监护人充分知情并签署书面同意书。

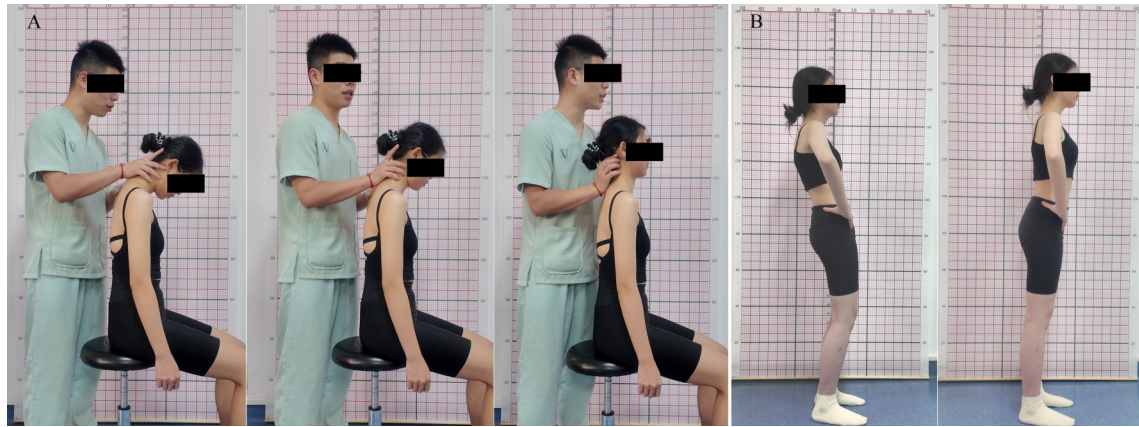
1.2 纳入与排除标准

纳入标准: (1) 符合 Lenke 1 型 AIS 的诊断标准, Cobb 角 $10^\circ \sim 45^\circ$; (2) 年龄 12~18 岁; (3) 完成 21 d 连续训练并完整随访 3 个月。

排除标准: (1) 合并神经肌肉病、结缔组织或合并继发性脊柱畸形; (2) 曾行脊柱相关手术; (3) 合并严重心肺功能障碍或其他不能耐受训练的全身疾病; (4) 合并严重精神心理障碍或依从性差, 无法完成训练及评估者。

1.3 干预方法

所有患者接受 BLTM 干预, 由持证康复治疗师团队全程指导 (指导并辅助动作学习, 同时练习巩固时及时纠错), 连续 21 d, 每日累计训练约 6 h (上下午各 3 h, 中间间隔 2 h)。训练以脊柱逐级延伸为核心, 结合“卸力”原则和呼吸模式修正, 旨在通过脊柱-骨盆-胸廓的协调控制, 建立稳定的姿势控制模式, 减少代偿用力, 促进正确运动模式的形成: 典型训练动作步骤及具体内容见图 1。



A: 颈椎延伸: 颈椎一节一节轮流伸展, 将第一节颈椎逐渐延展到第七; B: 全脊柱延伸训练: 站立位全脊柱屈曲至站立位全脊柱延伸, 反复循环训练

图1 AIS患者BLTM过程中训练示意图

Fig 1 Illustrates the training protocol for AIS patients during BLTM

1.4 疗效评估

1.4.1 影像学参数评估 影像学参数从电子数据库中获得的脊柱全长正侧位X线片中获得, 由2名脊柱外科医生使用图像存档和通信系统, 独立测量参数, 并记录平均值; 使用Cobb角评价脊柱侧凸进展。影像学参数: (1) 全脊柱参数: 冠状垂直轴(CVA)和矢状垂直轴(SVA); (2) 冠状面参数: 第一锁骨角(Cla-A)、顶锥偏距(AVT)、骨盆倾斜度(PObl)、双股骨长间距(FRHL)、Risser征; (3) 矢状面参数: 上胸椎后凸角(UTK)、胸椎后凸角(TK)、胸腰椎后凸角(TLK)、腰椎前凸角(LL)、骶骨倾斜度(SS)、骨盆入射角(PI)、骨盆倾斜度(PT)、骨盆入射角-腰椎前凸角(PT-LL)

1.4.2 躯干畸形临床美学外观指标评估 采用前弯试验(Adam's forward bend test)测量躯干旋转角(angle of trunk rotation, ATR); 同时获取患者标准全身照, 利用AutoCAD软件分析临床美学指标(图2): (1) 双肩高度差(SHo): 为过较高腋窝顶点的水平线与上臂的交点, 左边为P点, 右边为Q点。后正中与该线相交于O点, 三等分OP、OQ的垂线与肩相交于A、B(左边), A1、B1(右边), A和A1、B和B1的高度差分别为内肩高度差(Shi)、SHo; (2) 肩面积指数1(SAI1): 该面积由M、I(M线为连结肩颈交界点的连线, I是较高腋窝顶点的水平线)两条线包绕而成, 经过颈部中点的垂线将该区域分为a1和a2两个区域, a1/a2定义为SAI1; (3) 肩面积指数2(SAI2): 该面积由M、I(M线为连结肩颈部两交点的连线, I线为较低肩和上臂最低交界

点的水平线)两直线包绕而成, 经过颈部中点的垂线将该区域分为b1和b2两个区域, b1/b2定义为SAI2; (4) 肩角(α_1): 为水平线与通过两侧肩和上臂交点连线的夹角; (5) 腋角(α_2): 为水平线与连接两腋窝顶点直线的夹角; (6) 颈椎前凸角(CLA): 第一颈椎和第七颈椎连线及垂直线的夹角; (7) 骨盆前倾角((PATA) 髌前上棘(ASIS)与髌后上棘(PSIS)连线与水平线的夹角。

1.4.3 HRQOL评估 采用SRS-22患者问卷评估HRQOL, 该量表涵盖5个维度: 身体功能、疼痛状况、心理健康、自我形象及治疗满意度。结果以各维度的平均分形式呈现, 并记录了背部疼痛的视觉模拟评分(VAS)。数据提取个人填写的纸质问卷。

1.5 统计学处理

所有数据采用SPSS 27.0软件进行统计分析。连续型变量首先进行Shapiro-Wilk正态性检验。符合正态分布的数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 干预前后比较采用配对样本t检验; 不符合正态分布的数据[M(IQR)]表示, 干预前后比较采用秩和检验。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 影像学参数的变化

本研究干预后3个月末次随访较干预前, 患者主胸弯Cobb角由 $29.14^\circ \pm 9.28^\circ$ 降至 $22.69^\circ \pm 9.23^\circ$ ($P < 0.01$), 见表1。

此外, 冠状面反映双肩平衡的Cla-A由 $-0.49^\circ \pm 1.95^\circ$ 变为 $0.30^\circ \pm 1.32^\circ$, 角度绝对值较前降低, 提示肩关节平衡有所改善, 差异具有统计学意义

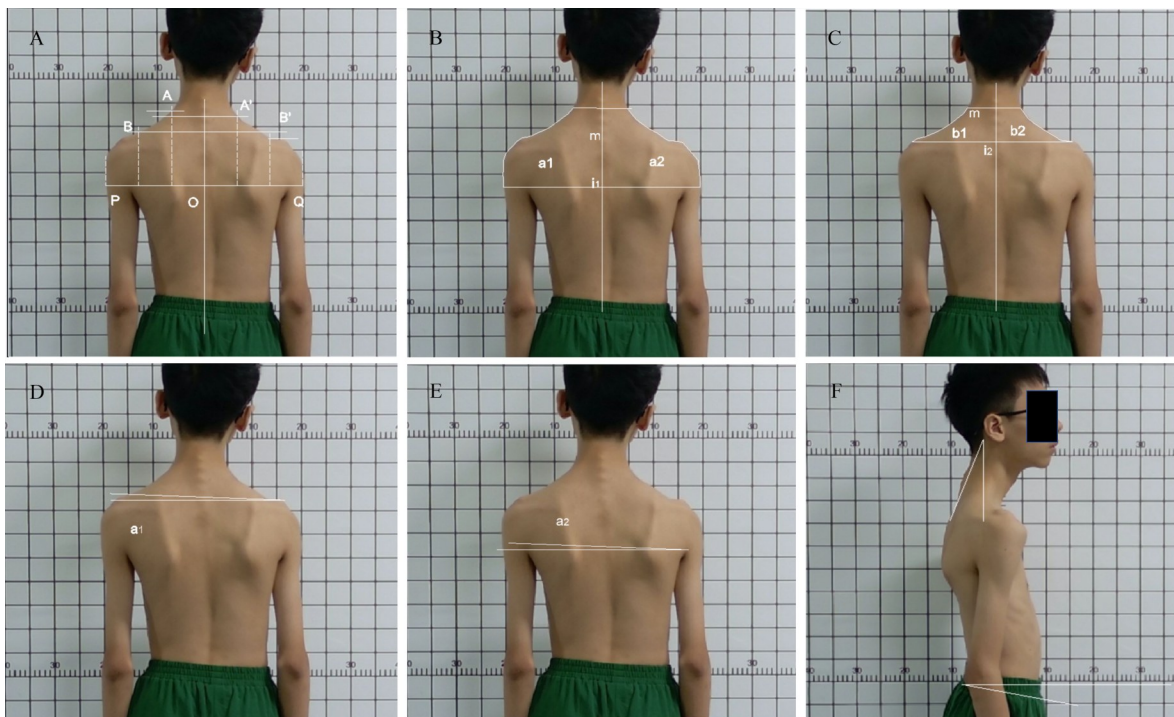


图2 临床外观评价指标示意图
A: 双肩高度差(SHo)示意图: 展示内、外侧肩高差的测量参考位置; B: 肩面积指数 1(SAI1)示意图: 展示由肩颈线与较高腋窝水平线围成区域的面积比例; C: 肩面积指数 2(SAI2)示意图: 展示由肩颈线与肩-臂最低水平线围成区域的面积比例; D: 肩角(α_1)示意图: 展示双侧肩-臂交点连线与水平线形成的夹角; E: 腋角(α_2)示意图: 展示双侧腋窝顶点连线与水平线形成的夹角; F: 颈椎前凸角(CLA)与骨盆前倾角(PATA)示意图: 展示相应角度的测量线与基准线位置

图2 临床外观评价指标示意图
Fig 2 Schematic diagram of clinical appearance evaluation indices

表1 AIS患者干预前与末次随访Cobb角矫正情况
($^{\circ}$, $n=50$, $\bar{x} \pm s$)

Tab 1 Cobb angle correction before and after intervention in AIS patients ($^{\circ}$, $n=50$, $\bar{x} \pm s$)

项目	干预前	末次随访	t	P
主胸弯 Cobb角	29.14 \pm 9.28	22.69 \pm 9.23	13.04	<0.01

($P<0.01$); 躯干整体在冠状面的平衡位置, 如CVA、AVT等参数及PObl、FRHL, 干预前后差异无统计学意义($P>0.05$), 见表2。

在矢状面, 干预引发的复杂的序列重组。脊柱胸腰段后凸得到调整, UTK与TLK分别由 9.05°

($IQR: 5.80^{\circ} \sim 15.18^{\circ}$)、 7.05° ($IQR: 3.33^{\circ} \sim 11.48^{\circ}$)降至 6.55° ($IQR: 4.30^{\circ} \sim 8.40^{\circ}$)、 4.85° ($IQR: 1.40^{\circ} \sim 7.15^{\circ}$), 与此同时, LL亦由 $45.67^{\circ} \pm 8.95^{\circ}$ 降低至 $39.25^{\circ} \pm 8.41^{\circ}$, 差异具有统计学意义($P<0.01$)。这一系列脊柱形态的改变, 伴随了骨盆代偿性后倾的迹象, 即PT由 $12.80^{\circ} \pm 9.05^{\circ}$ 增加至 $15.00^{\circ} \pm 7.11^{\circ}$ ($P=0.01$)。最终, 这些变化的综合效应体现为矢状面整体平衡的前移, 矢状面垂直轴距离由 (0.15 ± 2.97) cm增加至 (3.11 ± 2.76) cm($P<0.01$)。并且PI-LL失匹配度由 $0.58^{\circ} \pm 9.31^{\circ}$ 增加至 $7.62^{\circ} \pm 6.04^{\circ}$, 差异具有统计学意义($P<0.01$), 见表3。

表2 AIS患者干预前与末次随访冠状面参数的比较 ($n=50$)

Tab 2 Comparison of coronal parameters before and after intervention in AIS patients ($n=50$)

项目	干预前	末次随访	t/Z	P
AVT (cm, $\bar{x} \pm s$)	1.89 \pm 1.02	1.82 \pm 0.97	0.87	0.39
CVA [cm, $M(IQR)$]	-1.16 (-1.82~ -0.30)	-0.80 (-1.80~ -0.30)	188.00	0.34
Cla-A ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	-0.49 \pm 1.95	0.30 \pm 1.32	2.37	<0.01
PObl [$^{\circ}$, $M(IQR)$]	-1.10 (-2.20~ -1.30)	-0.80 (-1.68~ -1.48)	-41.00	0.81
FRHL [cm, $M(IQR)$]	-0.14 (-0.32~ -0.20)	-0.06 (-0.21~ -0.12)	-271.00	0.14

表 3 AIS 患者干预前与末次随访矢状面参数的比较 ($n=50$)Tab 3 Comparison of sagittal parameters before and after intervention in AIS patients ($n=50$)

项目	干预前	末次随访	t/Z	P
UTK [$^{\circ}$, $M(IQR)$]	9.05 (5.80~15.18)	6.55 (4.30~8.40)	-736.00	<0.01
TK ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	17.70 \pm 8.12	16.25 \pm 6.23	1.46	0.15
TLK [$^{\circ}$, $M(IQR)$]	7.05 (3.33~11.48)	4.85 (1.40~7.15)	-598.00	<0.01
LL ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	45.67 \pm 8.95	39.25 \pm 8.41	5.86	<0.01
SVA (cm, $\bar{x} \pm s$)	0.15 \pm 2.97	3.11 \pm 2.76	7.00	<0.01
PT ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	12.80 \pm 9.05	15.00 \pm 7.11	2.67	0.01
SS ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	33.69 \pm 7.38	32.40 \pm 7.51	1.67	0.10
PI [$^{\circ}$, $M(IQR)$]	46.60 (40.93~54.40)	47.85 (40.80~53.30)	238.00	0.21
PI-LL ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	0.58 \pm 9.31	7.62 \pm 6.04	4.49	<0.01

2.2 躯干畸形临床美学外观指标的变化

统计分析结果显示,干预措施对 AIS 患者的躯干美学参数产生了多方面影响见表 4。ATR 由 $5.45^{\circ} \pm 3.15^{\circ}$ 降至 $2.88^{\circ} \pm 2.41^{\circ}$, 差异具有统计学意义 ($P < 0.01$), 提示旋转程度整体降低。在肩部对称性方面, 多项指标的数值减少, 表现为整体不对称程度减轻。内侧双肩高度差绝对值 ($|Shi|$) 的中位数由 0.41 cm ($IQR: 0.25 \sim 0.67$ cm) 下降至 0.20 cm ($IQR: 0.10 \sim 0.34$ cm), 外侧高度差绝对值 ($|SHo|$) 由 0.62 cm ($IQR: 0.39 \sim 0.82$ cm) 下降至 0.34 cm ($IQR: 0.18 \sim 0.51$ cm); 肩角绝对值 ($|\alpha 1|$) 由 2.00° ($IQR: 1.60^{\circ} \sim 2.40^{\circ}$) 减至 1.45° ($IQR: 1.10^{\circ} \sim 1.70^{\circ}$),

腋窝角绝对值 ($|\alpha 2|$) 由 $3.12^{\circ} \pm 1.34^{\circ}$ 减至 $2.49^{\circ} \pm 1.20^{\circ}$, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。

进一步分析发现, 带方向性的原始肩高差 (Shi、SHo) 不具有统计学意义 ($P > 0.05$), 提示干预主要作用于偏差幅度减小。SAI2 由 98.62% ($IQR: 91.76\% \sim 105.79\%$) 降低至 92.54% ($IQR: 81.74\% \sim 102.48\%$) ($P = 0.049$), 提示形态变化与面积对称性调整并非完全同步。在矢状面上, CLA 由 $18.66^{\circ} \pm 5.17^{\circ}$ 降至 $15.03^{\circ} \pm 3.97^{\circ}$, PATA 由 $11.80^{\circ} \pm 3.50^{\circ}$ 降至 $8.85^{\circ} \pm 2.35^{\circ}$ ($P < 0.01$), 提示干预促使颈-骨盆矢状面向平衡方向调整。

表 4 AIS 患者干预前与干预后末次随访的躯干畸形临床美学外观指标变化 ($n=50$)Tab 4 Comparison of changes in trunk aesthetic appearance indices before and after intervention ($n=50$)

项目	干预前	干预后	t/Z	P
ATR ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	5.45 \pm 3.15	2.88 \pm 2.41	6.5	<0.01
Shi (cm, $\bar{x} \pm s$)	0.17 \pm 0.62	0.06 \pm 0.37	1.73	0.09
$ Shi $ [cm, $M(IQR)$]	0.41 (0.25~0.67)	0.20 (0.10~0.34)	-963.00	<0.01
SHo (cm, $\bar{x} \pm s$)	-0.09 \pm 0.73	-0.21 \pm 0.49	-1.24	0.22
$ SHo $ [cm, $M(IQR)$]	0.62 (0.39~0.82)	0.34 (0.18~0.51)	-687.00	<0.01
SAI1 (% , $\bar{x} \pm s$)	98.23 \pm 6.56	97.17 \pm 6.40	1.29	0.20
SAI2 [% , $M(IQR)$]	98.62 (91.76~105.79)	92.54 (81.74~102.48)	-360.00	0.05
$\alpha 1$ [$^{\circ}$, $M(IQR)$]	-0.85 (-2.2~2.00)	-1.40 (-1.80~-0.80)	-424.00	0.04
$ \alpha 1 $ [$^{\circ}$, $M(IQR)$]	2.00 (1.60~2.40)	1.45 (1.10~1.70)	-1110.00	<0.01
$\alpha 2$ [$^{\circ}$, $M(IQR)$]	-2.95 (-3.80~-1.80)	-2.35 (-3.10~-1.60)	-446.00	0.03
$ \alpha 2 $ ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	3.12 \pm 1.34	2.49 \pm 1.20	3.96	<0.01
CLA ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	18.66 \pm 5.17	15.03 \pm 3.97	6.35	<0.01
PATA ($^{\circ}$, $\bar{x} \pm s$)	11.80 \pm 3.50	8.85 \pm 2.35	6.00	<0.01

2.3 HRQOL 改善的变化

BLTM 干预后, SRS-22 各维度变化显示: 功能评分由 3.80 分 ($IQR: 3.60 \sim 4.20$) 提升至 4.20 分

($IQR: 3.60 \sim 4.40$) ($P = 0.03$); 自我形象评分从 (3.11 \pm 0.52) 分提升至 (3.45 \pm 0.45) 分; 心理健康评分由 3.50 分 ($IQR: 3.20 \sim 4.20$) 改善至 4.00 分 ($IQR:$

3.60~4.60), 总分从(3.74±0.47)分提升至(3.97±0.39)分($P<0.01$)。治疗满意度评分为(4.43±0.50)分。在疼痛评估方面, VAS背痛评分干预后

由(2.90±2.07)分降至(1.49±1.15)分($P<0.01$), 见表5。这表明了干预后AIS患者的HRQOL得到改善, 改善具有统计学意义($P<0.05$)。

表5 AIS患者干预前与干预后末次随访HRQOL的比较($n=50$, 分)

Tab 5 Comparison of HRQOL before and after intervention in AIS patients ($n=50$, score)

项目	干预前	末次随访	t/Z	P
VAS ($\bar{x} \pm s$)	2.90±2.07	1.49±1.15	3.11	<0.01
疼痛 [M(IQR)]	4.40 (4.20~4.80)	4.60 (4.20~5.00)	388.00	0.05
功能 [M(IQR)]	3.80 (3.60~4.20)	4.20 (3.60~4.40)	321.00	0.03
自我形象 ($\bar{x} \pm s$)	3.11±0.52	3.45±0.45	3.44	<0.01
心理健康 [M(IQR)]	3.50 (3.20~4.20)	4.00 (3.60~4.60)	497.00	<0.01
总分 ($\bar{x} \pm s$)	3.74±0.47	3.97±0.39	4.39	<0.01
满意度 ($\bar{x} \pm s$)	-	4.43±0.50	-	-

2.4 病例展示

本研究随机选取1例脊柱侧弯病例, 通过影像学资料展示干预效果。

病例: 14岁女性患者, Risser征Ⅲ型, 主胸弯(MT)Cobb角 32.1° 经过系统BLTM干预, 3个月末末次随访(MT)Cobb角降至 24.8° , Cobb角改善率为22.7%, 见图3。

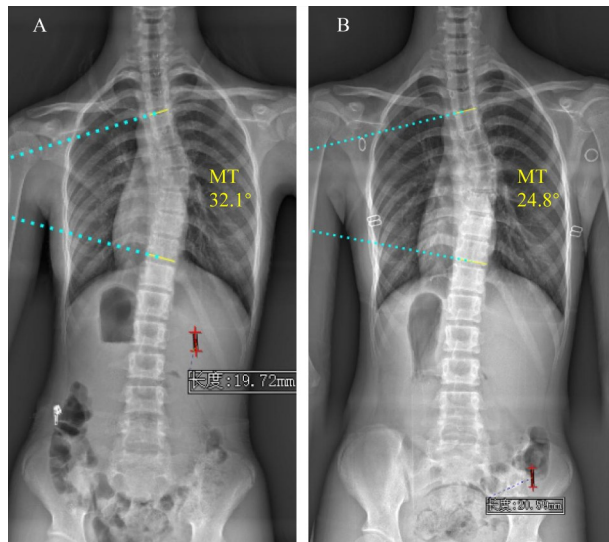


图3 AIS患者干预前后影像学对比图
A: 干预前影像学图: 主胸弯Cobb角为 32.1° ; B: 末次随访影像学图: 主胸弯Cobb角降至 24.8° , 矫正率为22.7%

图3 AIS患者干预前后影像学对比图

Fig 3 Radiographic comparison before and after intervention in AIS patients

3 讨论

本研究结果显示, BLTM干预后, Lenke 1型AIS患者在结构、体态及心理层面出现多维度改变。主胸弯Cobb角由 $29.14^\circ \pm 9.28^\circ$ 降至 $22.69^\circ \pm 9.23^\circ$, 平均矫正率为22.1%, LL与TLK下降, 提示脊柱弯

状与矢状序列趋于协调与平衡。外观指标中, 躯干旋转角平均下降约47.2%, 双肩高度差及骨盆前倾角较前降低, 整体姿态更为平衡。SRS-22量表中各评分上升, VAS评分下降。部分影像学参数如SVA、PI-LL匹配度轻度上升, 提示脊柱在重建过程中存在动态代偿。SVA的增加虽然在生物力学上并非理想改变, 但在训练初期可能反映出一种短暂的神经适应过程, Lenke 1型AIS的主胸弯顶椎区结构复杂, 椎体旋转及胸椎后凸重建难度较大^[8,9], 可能导致姿势训练早期出现短暂的前移代偿。从神经调控角度看, BLTM通过强化感觉反馈与皮层-小脑-脊髓通路的整合, 诱导姿势控制网络的可塑性调整, 使机体在重新分配平衡策略时出现短期前移代偿。既往研究表明, 平衡训练可诱导皮层与脊髓通路的神经可塑性改变, 从而优化姿势控制策略^[10]。因此, 本研究中观察到的SVA前移可视为神经系统在“再学习姿势控制”过程中的动态代偿。总体来说, BLTM在短期内促进了结构与感知的双重调整, 但不同参数间改善程度并不完全一致。

AIS的发病机制涉及神经、肌肉及本体感觉的多因素相互作用, 且其三维畸形和椎弓根结构的复杂性增加了姿势控制和矫形干预的难度^[11]。既往研究表明, AIS患者在小脑与皮层存在功能连接减弱^[6], 并伴有大脑白质结构连接异常^[12], 提示中枢神经网络整合受损, 而主动姿势训练可引起皮层活动重构与感觉再权重^[13,14]。从神经整合角度看, 观察到的结构性调整一定程度上反映了中枢神经系统在姿势控制策略上的再学习。值得注意的是, PI-LL匹配度和SVA的轻度上升或反映出再学习过程中的暂时性前移代偿, 这一现象在特异性训练中亦被报道^[15], 提示该干预可能经历“动态适应期”, 仍然需要长期随访评估其稳定性。

与既往运动干预比较,本研究的改善模式呈现多层次协调特点。Schroth 等特异性训练被证实能够降低 Cobb 角与躯干旋转角^[16],但在矢状面控制与骨盆平衡上结果不一^[17,18]。本研究中发现,训练后 AIS 患者腰椎前凸角与胸腰曲度下降,骨盆后倾略有增加,提示脊柱序列的重新分布。结合小脑-皮层调控理论推测,BLTM 通过强化下肢与骨盆感知输入,促使中枢重新分配姿势负荷,从被动支撑向主动控制转变^[19,20]。此外,锁骨角由负值转为正值,角度绝对值的减低反映肩带平衡恢复,这种调整在传统训练中较为少见。

体态美学指标的变化呈多方面趋势。双肩高度差、肩角及腋角有减小,提示肩带不对称得到了一定程度的改善。既往针对 Lenke 1 型 AIS 的研究亦显示,患者肩部平衡恢复存在明显个体差异^[21],提示无论手术或非手术干预,肩带对称性改善可能滞后于脊柱序列重建。此外,SAI 的变化方向与角度指标并不完全一致,说明结构性调整与视觉对称性之间也并非完全同步。这可能与个体骨盆倾斜、躯干旋转恢复速率不同及肌肉张力重新分布有所关系,也提示仅凭二维静态图像不足以全面的反映外观变化,未来可考虑引入三维体表成像,以动态评估 AIS 患者的体态调整的时间序列特征。

生活质量方面改善较为明显,这一结果可能与干预周期时间较短及患者的原始功能评分较高有关,也提示 BLTM 在提高身体协调与感知层面效果较强。长期随访研究提示,未经治疗的 AIS 患者其生活质量会随着年纪增长而下降^[22],且 AIS 患者常伴随外观焦虑与社交回避^[23],传统的支具虽然可限制畸形发展,却易带来心理负担和依从性下降^[24]。BLTM 训练强调主动控制与感知反馈,使患者能直接体验到姿势变化过程,从而增强身体的掌控感。近期有证据表明,Schroth 训练等特异性运动与支具治疗相结合可以帮助 AIS 患者获得更好的长期生活质量^[25],这提示联合干预可能是未来的方向。本研究观察到的参数变化主要体现为短期适应性改变,其长期稳定性尚需进一步验证。后续将通过影像学评估及数字化姿势动态监测进行长期随访,以评估 BLTM 对脊柱平衡及神经重构的持久影响。总体而言,BLTM 不仅在形态上促进结构调整,更在神经层面促进姿势控制策略的再学习。

本研究对 BLTM 干预 Lenke 1 型 AIS 的效果进行了探讨,干预后患者在主胸弯 Cobb 角、肩部对称性及躯干美学方面呈现出改善的趋势,生活质量评分也有所提升。BLTM 作为一种基于神经可塑性

与感觉-运动整合理论的康复路径,在 AIS 的保守治疗中具备应用潜力。

作者贡献度说明:

林俊龙、李国军:研究设计、数据收集和整理及论文撰写;林俊龙、顾运涛、文王强:参与数据分析和结果解释;陈焕雄:研究指导、关键内容修订及最终稿审定。全体作者参与论文讨论,审阅并同意论文最终版本,对研究的真实性和完整性负责。

所有作者声明不存在利益冲突关系。

参考文献

- Li M, Nie Q, Liu J, et al. Prevalence of scoliosis in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis[J]. *Front Pediatr*, 2024, 12: 1399049.
- Xu S, Li K, Jin L, et al. Distribution of scoliosis in 2.22 million adolescents in mainland China: A population-wide analysis[J]. *J Glob Health*, 2024, 14: 04117.
- Lau KK, Law KP, Kwan K, et al. Timely revisit of proprioceptive deficits in adolescent idiopathic scoliosis: A systematic review and meta-analysis[J]. *Global Spine J*, 2022, 12(8): 1852-1861.
- Van Niekerk M, Richey AE, Vorhies J, et al. Effectiveness of psychosocial interventions for pediatric patients with scoliosis: A systematic review[J]. *World J Pediatr Surg*, 2023, 6(2): e000513.
- Ceballos-Laita L, Carrasco-Uribarren A, Cabanillas-Barrea S, et al. The effectiveness of Schroth method in Cobb angle, quality of life and trunk rotation angle in adolescent idiopathic scoliosis: A systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2023, 59(2): 228-236.
- Formaggio E, Bertuccelli M, Rubega M, et al. Brain oscillatory activity in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 17266.
- Boček V, Krbec M, Vaško P, et al. Alteration of cortical but not spinal inhibitory circuits in idiopathic scoliosis[J]. *J Spinal Cord Med*, 2020, 45(2): 186-193.
- 陈焕雄, 黄涛, 李国军, 等. 简易术中导航校准技术对 Lenke 1 型青少年特发性脊柱侧凸矫形术中置钉精度的影响[J]. *海南医学院学报*, 2020, 26(3): 182-188.
Chen HX, Huang T, Li GJ, et al. Accuracy of pedicle screw placement in Lenke 1 adolescent idiopathic scoliosis surgery using intraoperative navigation with a simple calibration technique [J]. *J Hainan Med Univ*, 2020, 26(3): 182-188.
- 陈焕雄, 何贤波, 李国军, 等. 术中导航漂移校准技术对 Lenke 1 型青少年特发性脊柱侧凸顶椎区置钉精度的影响[J]. *海南医学院学报*, 2023, 29(6): 444-451.
Chen HX, He XB, Li GJ, et al. Accuracy of screw

- placement in the apical region of Lenke 1 adolescent idiopathic scoliosis surgery using a calibration technique for the intraoperative navigation error[J]. *J Hainan Med Univ*, 2023, 29(6): 444-451.
- 10 Sun Y, Hurd CL, Barnes MM, et al. Neural plasticity in spinal and corticospinal pathways induced by balance training in neurologically intact adults: A systematic review[J]. *Front Hum Neurosci*, 2022, 16: 921490.
 - 11 杨雪健, 陈焕雄, 李国军, 等. 青少年特发性脊柱侧凸矫形术中置钉安全性的研究进展[J]. *海南医学院学报*, 2023, 29(11): 860-865, 871.
Yang XJ, Chen HX, Li GJ, et al. Research progress on the safety of nail placement in adolescent idiopathic scoliosis surgery [J]. *J Hainan Med Univ*, 2023, 29(11): 860-865, 871.
 - 12 Noriega-González D, Crespo J, Ardura F, et al. Cerebral white matter connectivity in adolescent idiopathic scoliosis: A diffusion MRI study[J]. *Children*, 2022, 9(7): 1023.
 - 13 Akçay B, İnanç G. The effect of Schroth Best Practice exercises and Cheneau brace treatment on perceptual and cognitive asymmetry in adolescent idiopathic scoliosis with thoracic major curve[J]. *Ir J Med Sci*, 2024, 193(3): 1479-1486.
 - 14 Nettekoven C, Draganova R, Steiner KM, et al. Motor training improves impaired cortico-cerebellar connectivity in cerebellar ataxia [J]. *J Neurosci*, 2025, 45(35): e1823242025.
 - 15 Gao A, Li JY, Shao R, et al. Schroth exercises improve health-related quality of life and radiographic parameters in adolescent idiopathic scoliosis patients [J]. *Chin Med J*, 2021, 134(21): 2589-2596.
 - 16 Abdel-Aziem A, Abdelraouf OR, Ghally SA, et al. A 10-week program of combined hippotherapy and Schroth's exercises improves balance and postural asymmetries in adolescent idiopathic scoliosis: A randomized controlled study[J]. *Children*, 2021, 9(1): 23.
 - 17 Kastrinis A, Koumantakis G, Tsekoura M, et al. The effect of Schroth method on postural control and balance in patients with adolescent idiopathic scoliosis: A literature review[J]. *Adv Exp Med Biol*, 2023, 1425: 469-476.
 - 18 Zhang Y, Chai T, Weng H, et al. Pelvic rotation correction combined with Schroth exercises for pelvic and spinal deformities in mild adolescent idiopathic scoliosis: A randomized controlled trial [J]. *PLoS One*, 2024, 19(7): e0307955.
 - 19 Kannan L, Bhatt T, Ajilore O. Cerebello-cortical functional connectivity may regulate reactive balance control in older adults with mild cognitive impairment[J]. *Front Neurol*, 2023, 14: 1041434.
 - 20 Wang D, Tsang R, Li Q, et al. Sensory integration dysfunction in adolescent idiopathic scoliosis: Insights from a clinical balance assessment using the m-CTSIB [J]. *J Clin Neurosci*, 2025, 136: 111267.
 - 21 何小元, 陈涛, 何贤波, 等. 影响重度Lenke 1型青少年特发性脊柱侧凸矫形术后患者肩部失衡的相关因素 [J]. *海南医学院学报*, 2024, 30(17): 1327-1334.
He XY, Chen T, He XB, et al. Related factors affecting shoulder imbalance in patients with severe Lenke type 1 adolescent idiopathic scoliosis after orthopedic surgery [J]. *J Hainan Med Univ*, 2024, 30(17): 1327-1334.
 - 22 Lau KK, Kwan K, Cheung JPY, et al. Incidence of back pain from initial presentation to 3 years of follow-up in subjects with untreated adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Spine Deform*, 2024, 12(2): 357-365.
 - 23 Mitsiaki I, Thirios A, Panagouli E, et al. Adolescent idiopathic scoliosis and mental health disorders: A narrative review of the literature[J]. *Children*, 2022, 9(5): 597.
 - 24 Haj Salah A, Arem S, Ben Fredj M, et al. Quality of life among adolescents with idiopathic scoliosis in Tunisia [J]. *Pan Afr Med J*, 2023, 45: 27.
 - 25 Chen J, Xu T, Zhou J, et al. The superiority of Schroth exercise combined brace treatment for mild to moderate adolescent idiopathic scoliosis: A systematic review and network meta-analysis [J]. *World Neurosurg*, 2024, 186: 184-196.

[本文编辑] 朱昊