doi:10.11659/jjssx.07E021159

·综 述·

有限元法生物力学分析在青少年特发性脊柱侧凸治疗及病因研究中的应用

吴浩然,李 博,陈绍丰,李 明 (上海长海医院脊柱外科,上海 200433)

[摘 要] 青少年特发性脊柱侧凸发病率较高且病情复杂,对青少年身心健康可造成显著影响,但其因病因不明,临床尚未形成治疗共识。近年来基于患者医学影像进行仿真建模的有限元法生物力学分析在青少年特发性脊柱侧凸治疗及其病因研究中已经有了一系列的应用。本文即从非手术治疗、手术治疗、病因研究、现有局限等角度对有限元法生物力学分析在青少年特发性脊柱侧凸中的应用进行综述,以期为临床实践及相关研究提供参考。

[关键词] 青少年特发性脊柱侧凸;有限元法;生物力学;治疗;病因

[中图分类号] R682.3 [文献标识码] A [收稿日期] 2021-07-30

Application of biomechanical analysis with finite element method in the treatment and etiological research of adolescent idiopathic scoliosis

WU Hao-ran, LI Bo, CHEN Shao-feng, LI Ming (Department of Spine Surgery, Shanghai Changhai Hospital, Shanghai 200433, China)

Abstract: Adolescent idiopathic scoliosis has a high incidence and complex pathogenetic condition, which may have a significant impact on the physical and mental health of adolescents. However, due to the unknown etiology, clinical consensus has not yet been formed. In recent years, biomechanical analysis with finite element method based on patients' medical images for simulation modeling has been applied in the treatment and etiological research of adolescent idiopathic scoliosis. This article reviews the application of biomechanical analysis with finite element method in adolescent idiopathic scoliosis from the perspectives of non-surgical treatment, surgical treatment, etiological research, and existing limitations, in order to provide references for clinical practice and related research.

Keywords: adolescent idiopathic scoliosis; finite element method; biomechanics; treatment; etiology

青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis,AIS)是一种在我国发病率较高的脊柱疾病,患者发病年龄多为10~16岁,除可造成各种脊柱三维畸形外,还可伴随腰背痛、心肺功能下降等多种症状[1]。由于AIS病程漫长且显著影响患者生活质量,对患者及其家属、社会均会造成严重负担。AIS病因尚不明确,既往研究支持遗传学说、椎外调控学说、环境学说及联合致病学说等多种可能机制,但尚未形成共识[2]。AIS治疗也较复杂,手术治疗及以支具为代表的非手术治疗效果仍存在争议[3]。针对上述情况,有限元法生物力学分析在近年来被较多地应用于AIS治疗及其病因研究中。有限元法生物力学分析可基于患者术前医学影像资料,建立与体内对应结构在疾病进展或治疗过程中生物力学反应类似的仿真模型,以寻找病因并优化治疗策略。本文即对这一方法在AIS领域的应用进行综述,以期为临床实践及进一步研究提供相关参考。

1 有限元法生物力学分析在AIS非手术治疗中的应用

临床实践中,因手术治疗指征存在争议、手术操作创伤大、麻醉风险高,应首先评估支具佩戴、理疗、体疗等非手术治疗方法对于AIS患者的可行性[4-5]。其中,支具佩戴疗法的疗效已获得一定临床认可。如Weinstein等[6]基于242例AIS患者进行的支具治疗试验报道,支具治疗组中75%的患者在骨骼成熟时未达手术干预指征(阈值为Cobb角大于50°),未进行治疗的观察组中仅42%的患者未达手术干预指征,2组比较差异有统计学意义,提示支具治疗是控制AIS病情进展的有效方法。临床使用的AIS矫正支具类型较多,包括经典的Milwaukee支具、Boston支具等刚性支具和Spinecor等柔性支具[7]。此外,还可基于计算机辅助设计/制造(computer-aided design/computer-aided manufacturing,CAD/CAM)技术进行个体化非公模支具的定制生产。但由于AIS支具矫正为长期、动态的过程,CAD/CAM静态设计在实体生物力学反馈及佩戴舒适度方面仍有改进空间。对此,有限元法可进行补充。如Cobetto等[8]基于有限元法进行支具佩戴效果仿真,根据力学反馈模型调整支具接触表面积、压力垫厚度及位置、剪裁线、释放空间、支具开口等设计,结果发现定制支具时使用有限元法在Cobb角矫正反馈、支具重量及接触表面积方面较单纯使用CAD/CAM技术效果更好。但需要注意的是,使用有限元法进行支

[基金项目] 国家自然科学基金(81972035)

[通信作者] 李 明,E-mail:limingch@21cn.com

具设计同样需要操作人员根据仿真结果进行手动调整,因此矫正效果受到操作人员设计水平的影响。尽管 Clin 等[9]也曾报道过使用正交实验设计对 15 种支具设计关键因素组合(共 12 288 种)进行有限元法评估的案例,但这一研究中考察的各因素仍是根据既往临床经验选定的二分类变量(如束带张力仅考虑 20 N 和 60 N 两种情况),结果具有一定的主观性。Weiss 等[10]的研究提示,联合 CAD/CAM 技术及有限元法设计的支具较传统的根据分型手工设计的支具并无显著优势。此外,使用有限元法经聚乙烯塑料热塑或 3D 打印技术制造的矫形支具往往过于贴身,处于身体发育期的患者无法长程使用[11]。因此,虽然有限元法作为辅助支具设计的评估方法已体现出一定优势,但标准设计方式及长程佩戴设计方案仍有待进一步研究。

2 有限元法生物力学分析在 AIS 手术治疗中的应用

对于 Cobb 角较大或支具治疗无效的 AIS 患者,目前手术仍是控制侧凸程度、避免病情进展的最有效方法[12]。其中,椎弓根螺钉内固定矫形术(pedicle screw fixation,PSF)因较传统钩棒系统具有更好的矫形效果及更低的再次手术率,目前应用较多[13-15]。但 PSF 操作复杂,置钉手法、置钉密度、置棒顺序、融合范围选择等要素均可显著影响手术效果。有限元法生物力学分析因基于患者实际医学影像资料建模仿真,可对上述操作要素具体策略的选择给出指导。如张宏其等[16]报道,在对 Lenke 6 型 AIS 患者进行 PSF 时,有限元法模拟显示全节段置钉较关键锥置钉具有更好的矫形效果;郭超峰等[17]报道,在对 Lenke 1BN 型 AIS 患者进行 PSF 时,有限元法模拟显示以中立椎、稳定椎或稳定椎下一锥体作为下固定椎的手术策略进行矫形,疗效均无统计学差异。卢昌怀等[18]报道,在对 Lenke 1AN型 AIS 患者进行 PSF 时,有限元法模拟显示以顶椎起始再依次向上、向下置棒较其他两种以中立椎起始的置棒技术具有更稳定的等效应力变化,可有效降低钉棒断裂风险。但此类研究主要采用单一患者的术前影像进行有限元法建模,同时 PSF 钉棒操作均为软件模拟,仅考察了手术时的应力及压力变化,尚缺乏远期随访数据,可能与实际情况存在一定偏差。因此,也有部分研究主张使用有限元法进行逐例的手术策略制订,而不进行亚型或更广人群的策略总结。如 Agarwal 等[19]报道了基于有限元法仿真技术,通过逐例建模和规范流程选定适当的矫形棒类型及撑开间隔,以维持矫形棒安全系数、减少矫形棒断裂,结果显示 255 MPa 为生长棒范式等效应力最大安全截断值。Henao 等[20]报道了基于有限元法仿真技术对单一 AIS 患者使用 3 种矫形技术(哈灵顿牵拉、节段偏移、节段旋转)时脊髓及神经可承受的压力及应力模拟,结果显示哈灵顿牵拉法造成的胸腰段应力及应变最高,应谨慎使用。综上,当前有限元法用于 AIS 手术治疗前对操作策略进行评估时,部分中心的案例报道结果显示预后良好,而基于更大队列的普适性技术仍有待进一步发展。

3 有限元法生物力学分析在 AIS 病因研究中的应用

正确理解 AIS 在生物力学角度的病因,是进行合理支具设计及有效手术规划的基础,但截至目前尚无相关共识。这一情况主要是由于 AIS 在三维方向均可发生畸形,且病程较长、临床特征繁杂[1]。AIS 在临床上存在 Suk 分型、King 分型、Lenke 分型以及 PUMC(协和)分型等系统描述的多种表现[21-24],影像学研究中则可观察到与健康对照者相比,AIS 患者具有椎间盘及椎体形变、骨密度改变等多种特征[25-26]。对于多因素病因分析,上述各种表现及特征可直接导致较高的研究复杂度。因此在早期阶段,AIS 病因研究者为控制研究难度往往只考察单因素病因。如 Deane 等[27]、Somerville[28]、White[29]支持的 Hueter-Volkmann 生长发育假说,主要考察骨性因素。尽管其符合 AIS 发生于骨骼快速生长的青春期这一生理背景,但在临床实践中可发现部分患者对支具治疗始终无疗效反应,提示单纯骨性矫正可能无法完全控制 AIS 病程[6-7]。因此,有研究者基于既往临床研究提示的 AIS 患者存在椎旁肌肉异常发育,主张肌肉因素是决定 AIS 是否进展的核心因素,这一假说主要由 20 世纪的部分研究支持[30-31]。近期 Modi 等[32]的研究基于回顾性队列研究发现,侧凸类型与 AIS 预后无显著相关性,且年龄较小的患者侧凸模式可经常变化,肌肉调控可能在 AIS 发病过程中的不同阶段分别以保护性或致病性因素存在,但这一研究并未给出直接证据。由于至今未能产生理想的 AIS 动物模型,上述假说均较难进行直接的因果重现研究。总之,以往的 AIS 病因研究常为单因素研究,混杂因素多,因果关系不明,且前瞻性研究较少,存在一定局限。

近年来,AIS 病因研究逐渐由单一因素转向多因素致病假说[33]。而有限元法生物力学分析由于可直接基于具体病例进行仿真,充分考虑脊柱及相关软组织各受力面的压力及应力分布,且可直接进行支具及手术治疗等操作的效果模拟以验证病因假说,现已被较广泛地运用于 AIS 病因研究。事实上,有限元法生物力学分析在脊柱外科研究中的应用起步很早。Viviani等[34]于 1986 年报道了使用该方法进行脊柱侧

凸建模。但受计算机性能、建模可用影像及理论认识等的限制,早期的有限元研究模型往往较为简化,大多仅考虑即时力学机制,而未考察 AIS 患者漫长病程中存在的生长调控等慢性作用。针对这一问题,Villemure等[35]于2002 年基于 Stokes 等[36]的脊柱发育有限元模型,建立了两种受力方向不同的骺板生长调控模型,展示了 AIS 病程中可能存在的自我维持作用。Villemure 等[37]还于 2004 年对既往研究总结的 5 种 AIS 可能发病机制(包括冠状面线性移位、矢状面线性移位、横截面旋转移位及两种组合移位学说)进行了有限元模型验证,发现冠状面线性移位是较符合临床实际表现的发病假说。Pasha[38]于 2019 年基于126 例 AIS 患者及 3 例同年龄组健康对照者的队列研究建立了弹性杆有限元模型,发现矢状面脊柱曲线变化也符合临床实际表现,但该研究设计模型较为简化。除上述单纯骨性模型外,Schlager 等[39]还报道了考虑胸膜腔内压的 AIS 有限元模型,Kamal 等[40]报道了考虑骨骼肌与 AIS 骨性畸形间交互作用的有限元模型,显著完善了 AIS 有限元模型的仿真性。值得注意的是,有限元生物力学分析在 AIS 中不仅可以进行直接建模,也可作为力学特性测量方法。如 Cheuk 等[41]报道 AIS 患者腰椎体积骨密度与基于高分辨率外周定量 X 射线断层摄影影像进行有限元建模测得的桡骨远端刚度值具有显著相关性,即可通过这一方法使用较易获得的桡骨远端检查数据反映脊椎骨质情况,为 AIS 脊椎建模力学特性参考值的获取提供了新方法。

4 局限与不足

一般认为有限元法的应用中存在四大经典误差,即理想化误差、离散化误差、数值化误差及认知误差[42]。其中离散化误差及数值化误差来源于有限元方法和计算系统,一般认为较难完全去除且相对固定。在 AIS 生物力学分析相关应用中,理想化误差即建模时过度简化了人体实际存在结构或相互作用(如体腔压力、韧带、小关节等),使建模仿真与真实情况存在偏差;认知误差即对报告进行主观分析时作出了不当评判,这是目前相关研究面临的主要挑战。对于理想化误差,尽管目前已有部分研究致力于完善 AIS 有限元模型,但目前主流研究考虑的建模要素主要基于 CT 影像,仍相对单一。对于认知误差,有限元法辅助的支具设计仍需要具有相当临床经验的专科医生进行经验性解读,缺乏相对固定的解读模式。最后,既往研究多基于患者单次影像学资料进行建模,尚未见参考患者病程发展中多次影像学资料进行纵向分析的案例,存在一定的数据流失。

5 总结与展望

综上所述,有限元法生物力学分析由于具有实体仿真、结果可视且建模便于互动试验的特点,现已在 AIS 的治疗及病因分析中得到广泛应用。部分经有限元法生物力学分析建立的仿真模型,验证并显著加深了临床医生对该病的理解及认识。在未来应用中,通过提高建模仿真度、扩大研究队列、规范解读方法并与临床随访结果交叉验证,有限元法生物力学分析有望揭示 AIS 的核心致病因素,并最终指导制订最佳临床治疗策略。

[参考文献]

[1] Weinstein SL, Dolan LA, Cheng JC, et al. Adolescent idiopathic scoliosis [J]. Lancet, 2008, 371(9623): 1527 – 1537. doi: 10.1016/s0140 – 6736(08)60658 – 3.

[2] Peng Y, Wang SR, Qiu GX, et al. Research progress on the etiology and pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis[J]. Chin Med J (Engl), 2020, 133(4): 483. doi: 10.1097/cm9.0000000000000652.

[3] Altaf F, Gibson A, Dannawi Z, et al. Adolescent idiopathic scoliosis[J]. BMJ, 2013, 346: f2508. doi: 10.1136/bmj.f2508.

[4] 刘 巍,陈庆贺. 青少年特发性脊柱侧凸的手术治疗[J]. 中国矫形外科杂志,2010,18(5):405 – 408.

[5] 买 硕,曾 岩,袁 磊,等. 青少年特发性脊柱侧凸支具治疗效果影响因素的研究现状[J]. 中国矫形外科杂志,2020,28(11): 942 – 945. doi:10.3977/j.issn.1005 – 8478.2020.11.16.

[6] 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. doi: 10.1056/NEJMoa1307337.

[7] 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. doi: 10.1007/s00586 – 015 – 4233 – 2.

[8] Cobetto N, Aubin C, 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. doi: 10.1007/s00586 – 016 – 4434 – 3.

[9] Clin J, Aubin CE, Parent S, et al. Comparison of the biomechanical 3D efficiency of different brace designs for the treatment of scoliosis using a finite element model[J]. Eur Spine J, 2010, 19(7): 1169 – 1178. doi: 10.1007/s00586 – 009 – 1268 – 2.

[10] Weiss HR, Kleban A. Development of CAD/CAM based brace models for the treatment of patients with scoliosis-classification based approach versus finite element modelling[J]. Asian Spine J, 2015, 9(5): 661. doi: 10.4184/asj.2015.9.5.661.

[11] 鲁德志,王彩萍,刘子凡,等. 特发性脊柱侧弯矫形器的研究进展[J]. 中国矫形外科杂志,2020,28(13): 1215 – 1219. doi: 10.3977/j.issn.1005 – 8478.2020.13.15.

[12] Haher TR, Gorup JM, Shin TM, et al. Results of the Scoliosis Research Society instrument for evaluation of surgical outcome in adolescent idiopathic scoliosis. A multicenter study of 244 patients[J]. Spine, 1999, 24(14): 1435 – 1440. doi: 10.1097/00007632 – 199907150 – 00008.

[13] Ledonio CGT, Polly Jr DW, Vitale MG, et al. Pediatric pedicle screws: comparative effectiveness and safety: a systematic literature review from the Scoliosis Research Society and the Pediatric Orthopaedic Society of North America task force[J]. J Bone Joint Surg Am, 2011, 93(13): 1227 - 1234. doi: 10.2106/JBJS.J.00678.

[14] Lenke LG, Kuklo TR, Ondra S, et al. Rationale behind the current state-of-the-art treatment of scoliosis (in the pedicle screw era)[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2008, 33(10): 1051 - 1054. doi: 10.1097/BRS.0b013e31816f2865.

[15] Crawford AH, Lykissas MG, Gao X, et al. All-pedicle screw versus hybrid instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis surgery: a comparative radiographical study with a minimum 2-year follow-up[J]. Spine, 2013, 38(14): 1199 - 1208. doi: 10.1097/BRS.0b013e31828ce597.

[16] 张宏其,陈凌强,郭超峰,等. 采用关键椎置钉及选择性融合治疗Lenke6型AIS可行性的有限元分析[J]. 中国矫形外科杂志, 2012, 20(6): 541 - 544. doi: 10.3977/j.issn.1005 - 8478.2012.06.18.

[17] 郭超峰,张宏其,王昱翔,等. Lenke1BN型青少年特发性脊柱侧凸后路三维矫形有限元模拟研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2011, 19(3): 216 - 219. doi: 10.3977/j.issn.1005 - 8478.2011.03.12.

[18] 卢昌怀,刘志军,晏峻峰,等. Lenke1AN型青少年特发性脊柱侧凸不同置棒顺序矫形的有限元分析[J]. 中国矫形外科杂志, 2019, 27(19): 1780 - 1784. doi: 10.3977/j.issn.1005 - 8478.2019.19.12.

[19] Agarwal A, Jayaswal A, Goel VK, et al. Patient-specific distraction regimen to avoid growth-rod failure[J]. Spine, 2018, 43(4): E221 - E226. doi: 10.1097/BRS.0000000000002286.

[20] Henao J, Labelle H, Arnoux PJ, et al. Biomechanical simulation of stresses and strains exerted on the spinal cord and nerves during scoliosis correction maneuvers[J]. Spine Deform, 2018, 6(1): 12 - 19. doi: 10.1016/j.jspd.2017.04.008.

[21] King HA, Moe JH, Bradford DS, et al. The selection of fusion levels in thoracic idiopathic scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 1983, 65(9): 1302 - 1313. doi: 10.2106/00004623 - 198365090 - 00012.

[22] Lenke LG, Betz RR, Harms J, et al. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2001, 83(8): 1169 - 1181. doi: 10.2106/00004623 - 200108000 - 00006.

[23] 朱 锋,邱 勇,朱泽章,等. 特发性脊柱侧凸PUMC分型的可重复性及可信度研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2008, 18(12): 915 - 919. doi: 10.3969/j.issn.1004 - 406X.2008.12.011.

[24] Suk SI, Lee SM, Chung ER, et al. Determination of distal fusion level with segmental pedicle screw fixation in single thoracic idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2003, 28(5): 484 - 491. doi: 10.1097/01.BRS.0000048653.75549.40.

[25] Chen H, Schlösser TP, Brink RC, et al. The height-width-depth ratios of the intervertebral discs and vertebral bodies in adolescent idiopathic scoliosis *vs.* controls in a Chinese population[J]. Sci Rep, 2017, 7(1): 1 - 7. doi: 10.1038/srep46448.

[26] Tahvildari BP, Erfani MA, Nouraei H, et al. Evaluation of bone mineral status in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Clin Orthop Surg, 2014, 6(2): 180 - 184. doi: 10.4055/cios.2014.6.2.180.

[27] Deane G, Duthie RB. A new projectional look at articulated scoliotic spines[J]. Acta Orthop Scand, 1973, 44(4 - 5): 351 - 365. doi: 10.3109/17453677308989071.

[28] Somerville E. Rotational lordosis: the development of the single curve[J]. J Bone Joint Surg Br, 1952, 34(3): 421 - 427. doi: 10.1302/0301 - 620X.34B3.421.

[29] White AA 3rd. Kinematics of the normal spine as related to scoliosis[J]. J Biomech, 1971, 4(5): 405 - 411. doi: 10.1016/0021 - 9290(71)90060 - 1.

[30] Ford D, Bagnall K, Mcfadden K, et al. Paraspinal muscle imbalance in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine, 1984, 9(4): 373 - 376. doi: 10.1097/00007632 - 198405000 - 00008.

[31] Fidler M, Jowett R. Muscle imbalance in the aetiology of scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Br, 1976, 58(2): 200 - 201. doi: 10.1302/0301 - 620X.58B2.932082.

[32] Modi HN, Suh SW, Yang JH, et al. Spontaneous regression of curve in immature idiopathic scoliosis-does spinal column play a role to balance? An observation with literature review[J]. J Orthop Surg Res, 2010, 5(1): 1 - 8. doi: 10.1186/1749 - 799X - 5 - 80.

[33] Sarwark JF, Castelein RM, Maqsood A, et al. The biomechanics of induction in adolescent idiopathic scoliosis: theoretical factors[J]. J Bone Joint Surg Am, 2019, 101(6): e22. doi: 10.2106/jbjs.18.00846.

[34] Viviani GR, Ghista DN, Lozada PJ, et al. Biomechanical analysis and simulation of scoliosis surgical correction[J]. Clin Orthop Relat Res, 1986, 208: 40 - 47.

[35] Villemure I, Aubina CE, Dansereau J, et al. Simulation of progressive deformities in adolescent idiopathic scoliosis using a biomechanical model integrating vertebral growth modulation[J]. J Biomech Eng, 2002, 124(6): 784 - 790. doi: 10.1115/1.1516198.

[36] Stokes IA, Laible JP. Three-dimensional osseo-ligamentous model of the thorax representing initiation of scoliosis by asymmetric growth[J]. J Biomech, 1990, 23(6): 589 - 595. doi: 10.1016/0021 - 9290(90)90051 - 4.

[37] Villemure I, Aubin CE, Dansereau J, et al. Biomechanical simulations of the spine deformation process in adolescent idiopathic scoliosis from different pathogenesis hypotheses[J]. Eur Spine J, 2004, 13(1): 83 - 90. doi: 10.1007/s00586 - 003 - 0565 - 4.

[38] Pasha S. 3D deformation patterns of S shaped elastic rods as a pathogenesis model for spinal deformity in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 1 - 10. doi: 10.1038/s41598 - 019 - 53068 - 7.

[39] Schlager B, Niemeyer F, Galbusera F, et al. Asymmetrical intrapleural pressure distribution: a cause for scoliosis? A computational analysis[J]. Eur J Appl Physiol, 2018, 118(7): 1315 - 1329. doi: 10.1007/s00421 - 018 - 3864 - 5.

[40] Kamal Z, Rouhi G, Arjmand N, et al. A stability-based model of a growing spine with adolescent idiopathic scoliosis: a combination of musculoskeletal and finite element approaches[J]. Med Eng Phys, 2019, 64: 46 - 55. doi: 10.1016/j.medengphy.2018.12.015.

[41] Cheuk KY, Hu Y, Tam EM, et al. Bone measurements at multiple skeletal sites in adolescent idiopathic scoliosis: an in vivo correlation study using DXA, HR-pQCT and QCT[J]. Arch Osteoporos, 2019, 14(1): 1 - 10. doi: 10.1007/s11657 - 019 - 0621 - 2.

[42] Ladeveze P, Leguillon D. Error estimate procedure in the finite element method and applications[J]. SIAM J Numer Anal, 1983, 20(3): 485 - 509. doi: 10.1137/0720033.

(编辑:魏 源)