

文章编号:1004-7220(2023)01-0001-03

· 评 述 ·

脊柱生物力学专栏论著评述

赵 杰

(上海交通大学医学院附属第九人民医院 骨科, 上海 200011)

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.01.001

脊柱功能单位(functional spinal unit, FSU)是基本脊柱生物力学单位,包括相邻的两节椎体及其间的椎间盘、关节突关节、韧带肌肉等非单一性组成结构,共同发挥着支撑传递生物力学载荷、维持机体活动稳定及保护脊髓神经安全等重要作用^[1]。脊柱不仅是运动指挥单元,还是功能执行单元,对维持人体生物力学稳定的重要性毋庸置疑。开展脊柱生物力学研究有助于对脊柱相关疾病发生机制的深入了解,更重要的是指导临床医生制定最佳的疾病治疗方案。《医用生物力学》本期脊柱生物力学专栏共发表8篇脊柱生物力学相关论著研究,涉及传统与皮质骨轨迹椎弓根螺钉内固定术的生物力学对比、枕颈畸形后路内固定性能比较、多节段颈椎退变疾病手术设计、斜外侧椎间融合技术联合不同内固定方式影响、腰椎手法整复效果研究、颈椎整骨技术模拟分析、水平负向加速度下不同靠背角对飞行员假人模型颈部损伤的作用以及过载下飞行员峡部裂腰椎应力分析及损伤预测。这些研究深入探讨了脊柱相关疾病的发病机制、预防策略及治疗手段,方法囊括有限元技术、在体研究以及假人离体模型,反映了国内脊柱生物力学研究的最新进展。

1 评述

在腰椎退变疾病的外科治疗中,选择具有最佳生物力学性能的椎弓根螺钉置钉轨迹对于改善患者症状、减少术后并发症非常重要。赵宏涛等^[2]建

立正常骨质和骨质疏松腰椎L3~S1有限元模型,比较椎弓根螺钉分别采用皮质骨轨迹(cortical bone trajectory, CBT)和传统Weinstein轨迹(traditional trajectory, TT)固定L4~5节段后的脊柱活动度(range of motion, ROM)和钉棒应力分布特征。结果显示, CBT和TT技术皆显著降低脊柱ROM,而CBT相较于TT对腰椎侧屈和扭转动作的ROM影响较大。CBT对骨质疏松模型具有较高的螺钉应力,同时减轻正常骨质模型的应力遮挡效应,有利于保留腰椎术后一定程度的运动功能。该研究关注了腰椎固定手术后的即刻稳定性,认为对于骨质疏松患者, CBT技术可提供较好的椎弓根钉把持力,同时减少断弓断棒的风险。对于腰椎术后康复的患者,应减少轴向扭转和左右侧屈动作,以最大程度减轻不良的生物力学载荷,维持手术效果。

宋梅等^[3]建立颅底凹陷寰枢椎脱位的有限元枕颈畸形模型,比较两种后路内固定手术方式的生物力学性能。结果发现,寰枢椎间融合器+后路枕骨板+C2椎弓根螺钉(cage+C2PS+OP)相较融合器+C1侧块螺钉+C2椎弓根螺钉(cage+C1LMS+C2PS)可减轻钉棒系统应力,且其C2终板最大von Mises应力远低于颈椎终板的屈服强度,不会对内固定器械造成破坏,具有较好的生物力学安全性。该研究为枕颈畸形后路内固定手术方案提供了有益参考,考虑到颅底凹陷寰枢椎脱位患者解剖变异大,应首先考虑患者实际病变特点,制定个性化治疗方案。

收稿日期:2022-12-20; 修回日期:2023-01-10

通信作者:赵杰,教授,博士生导师, E-mail: prof.zhao@133sh.com

周维等^[4]利用有限元分析比较人工颈椎间盘置换(cervical disc arthroplasty, CDA)联合颈椎间盘切除减压融合内固定术(anterior cervical discectomy and fusion, ACDF)的三节段 Hybrid 手术与单纯三节段 ACDF 手术对临椎生物力学的影响。结果表明, AFA 方式(C34 CDA+C45 ACDF+C56 CDA)对全颈椎 ROM 影响较小。且随着融合节段的增多, 临椎 ROM、椎间盘内压(intradiscal pressure, IDP)和关节突接触力(facet contact force, FCF)增加, 提示二节段和三节段的颈前路融合显著增加相邻节段椎间盘和小关节突应力, 而 AFA 的 Hybrid 手术方式对临椎具有保护作用。尽管该研究未考虑肌肉及韧带组织对颈椎生物力学稳定性的影响, 但所获颈椎融合或置换术后临椎应力的分析结果可为临床手术策略制定提供一定的参考。

腰椎退变性侧弯(degenerative lumbar scoliosis, DLS)是常见的腰椎退行性疾病, 其治疗采用斜外侧椎间融合(oblique lateral interbody fusion, OLIF)技术可获得满意的临床效果。然而, 目前对 DLS 行内固定治疗的生物力学研究鲜有报道。杨树龙等^[5]运用三维有限元分析探讨 OLIF 分别联合椎体钉、单边椎弓根螺钉和双边椎弓根螺钉的生物力学稳定性差异。结果表明, OLIF 联合双边椎弓根螺钉固定的融合节段 ROM、内固定应力峰值均较小, 生物力学稳定性最好。而单边椎弓根螺钉固定和椎体钉棒技术分别在屈伸及侧屈运动姿态下可提供与双边椎弓根螺钉相近的力学稳定, 且减少手术创伤, 缩短手术时间, 具有较好的临床推广潜能。需说明的是, DLS 疾病具有很强的个性化特点, 轻微脊柱侧弯角度或旋转程度差异可能会带来较大的有限元分析结果差异; 且肌肉质量和骨密度对腰椎内固定稳定性的影响, 也应在临床诊疗中给予充分考虑。

中医推拿治疗在早期腰椎退变疾病的保守治疗中应用广泛。对中医推拿技术进行系统性的生物力学研究, 有助于定量规范地提高其临床疗效, 同时保障治疗安全性。王多多等^[6]建立质量-弹簧-阻尼系统腰椎生物力学模型, 比较脉冲激励腰椎推拿手法(传统斜板法)与振荡激励腰椎推拿手法(改良传统斜板法)对不同退变程度的腰椎位移及加速度影响。该研究提出, 未退变腰椎选择脉冲激励腰

椎推拿手法可有效增加腰椎位移, 改善腰椎僵硬程度; 但振荡激励腰椎推拿手法可减少腰椎位移加速度, 保障手法治疗的安全性。随着腰椎退变程度加重, 振荡激励腰椎推拿手法的有效性减小, 治疗效果减弱, 可选择传统手法推拿治疗。但该研究建立的生物力学模型不能反映力学不稳定的腰椎退变疾病, 故不同手法治疗的研究结果会有显著差异, 还需进一步实验考察。童美萍等^[7]则关注手法治疗的施术者本身, 利用压力触感手套和电信号采集器分析施术者进行颈椎定位定向扳法和颈椎侧屈法时的生物力学参数。结果发现, 肱二头肌在两种颈椎整骨手法发力中皆占据重要作用, 且定位定向扳法的作用力及加速度大于侧屈法, 提示其在调整小关节位置异常或肌肉强直痉挛中疗效更为彻底。但该研究对象是健康受试者, 对颈椎退变患者的治疗方式研究仍需进一步关注。

脊柱生物力学研究在国防科技领域受到重视。选择符合军机飞行员的最佳航空生物力学环境, 可减少长期反复高载荷动力环境造成的神经损伤风险, 预防脊柱积累性慢性损伤或急性创伤。张珺等^[8]利用假人模型, 研究水平负向加速度下不同靠背角与颈部损伤指数(neck injury criteria, NIC)的关系, 发现靠背角度的变化与颈部损伤之间非简单的线性关系。在前后向及垂直向上, 22°靠背角 NIC_{max} 与 17°和 30°靠背角的 NIC_{max} 相比较小, 提示在飞机减速运动时飞行员所受颈部应力最小, 改善颈部疼痛等不适。靳萌萌等^[9]借助计算机辅助工程技术建立腰椎三维有限元模型, 探讨持续性过载条件下正常腰椎及峡部裂腰椎的生物力学特征, 并结合动态响应指数(dynamic response index, DRI)预测脊柱损伤情况。结果证实, 双侧峡部裂腰椎模型的 L4 右侧峡部与单侧峡部裂模型的 L4、L5 右侧峡部较正常结构腰椎承受更大过载剪切应力, 导致早期滑脱退变的发生。同时, 仿真计算提示峡部裂腰椎具有较高的脊柱损伤概率, 但在无腰椎滑脱、神经受压等高危因素时, 对飞行安全影响不大。该研究并未关注椎旁肌肉对过载条件下峡部裂生物力学影响, 而关于这方面的生物力学研究也鲜有报道。因此, 飞行员在起飞过载或降落时负向加速度下的颈腰椎影响, 仍需更全面的生物力学考量。

2 结语

自20世纪80年代开始,就有研究关注脊柱生物力学特性与疾病病理现象之间的关系。从最初基于尸体标本的生物力学研究,到后期在体、离体及有限元等不同复杂程度的三维计算机工程技术,脊柱生物力学研究促进了临床治疗手段的丰富与突破,加深了临床医生对于脊柱疾病发生发展转归的理解。近年来,随着人工智能、机械学习等技术的进步,生物力学研究者可愈发真实地将骨骼、软骨、韧带、肌肉乃至神经进行智能精准模拟,为脊柱相关疾病的预防预测、早期筛查及内外科治疗康复策略提供有力支持。本期脊柱生物力学专栏发表了国内学者在外科手术方案、保守治疗策略及国防科技领域的脊柱生物力学相关研究,方法囊括有限元技术、在体研究及假人离体模型,反映了国内脊柱生物力学研究的最新进展。未来还应搭建更完整的脊柱髋膝力线整体生物力学模型,构建脊柱生物力学样本库,开展真实无创动态实时的研究技术手段,从而促进脊柱生物力学研究水平的提高,提升脊柱相关疾病的防治体系效能。

参考文献:

- [1] 乔涵, 赵杰. 从生物力学角度看腰椎手术发展[J]. 医用生物力学, 2022, 37(1): 4-17.
QIAO H, ZHAO J. Development of lumbar surgery from biomechanical perspectives [J]. J Med Biomech, 2022, 37(1): 4-17.
- [2] 赵宏涛, 杨海胜. 传统与皮质骨轨迹椎弓根螺钉内固定术的生物力学对比[J]. 医用生物力学, 2023, 38(1): 30-36.
ZHAO HT, YANG HS. Biomechanical comparison of internal fixation by traditional and cortical bone trajectory pedicle screw [J]. J Med Biomech, 2023, 38(1): 30-36.
- [3] 宋梅, 赵改平, 段婉茹, 等. 不同后路内固定治疗颅底凹陷寰枢椎脱位的生物力学研究[J]. 医用生物力学, 2023, 38(1): 37-44.
SONG M, ZHAO GP, DUAN WR, et al. Biomechanical study on atlantoaxial dislocation combined with basilar

invagination by different posterior internal fixation methods [J]. J Med Biomech, 2023, 38(1): 37-44.

- [4] 周维, 张亚丽, 戎鑫, 等. 颈椎连续三节段 Hybrid 手术与融合术的生物力学研究[J]. 医用生物力学, 2023, 38(1): 45-51.
ZHOU W, ZHANG YL, RONG X, et al. Biomechanical study on contiguous three-level cervical hybrid surgery and anterior cervical discectomy and fusion [J]. J Med Biomech, 2023, 38(1): 45-51.
- [5] 杨树龙, 马荣, 王志强, 等. 斜外侧椎间融合结合不同内固定方式治疗退变性腰椎侧凸的有限元分析[J]. 医用生物力学, 2023, 38(1): 52-58.
YANG SL, MA R, WANG ZQ, et al. Biomechanical evaluation of oblique lateral interbody fusion combined with different internal fixation methods for treating degenerative lumbar scoliosis: A finite element analysis [J]. J Med Biomech, 2023, 38(1): 52-58.
- [6] 王多多, 张延海, 郭潘婧, 等. 不同腰椎退变程度下两种腰椎推拿斜扳法作用效果的比较研究[J]. 医用生物力学, 2023, 38(1): 59-64.
WANG DD, ZHANG YH, GUO PJ, et al. The action effect of two kinds of lumbar massage obliquity manipulation with different lumbar degeneration degrees: A comparative study [J]. J Med Biomech, 2023, 38(1): 59-64.
- [7] 童美萍, 詹红生, 潘富伟, 等. 颈椎整骨手法的运动学与动力学研究[J]. 医用生物力学, 2023, 38(1): 65-70.
TONG MP, ZHAN HS, PAN FW, et al. Kinematic and dynamic study on traditional chinese cervical manipulation [J]. J Med Biomech, 2023, 38(1): 65-70.
- [8] 张珺, 李鸣皋. 水平负向加速度对不同座椅靠背角假人模型颈部损伤的差异[J]. 医用生物力学, 2023, 38(1): 71-76.
ZHANG J, LI MG. Differences in neck injuries of dummy models at different backrest angles under horizontal negative acceleration [J]. J Med Biomech, 2023, 38(1): 71-76.
- [9] 靳萌萌, 王家涛, 郭攀, 等. 持续性过载条件下飞行员峡部裂腰椎的动力学响应及损伤预测[J]. 医用生物力学, 2023, 38(1): 77-83.
JING MM, WANG JT, GUO P, et al. Dynamic response and injury prediction for lumbar vertebrae of pilots with spondylolysis under persistent overload [J]. J Med Biomech, 2023, 38(1): 77-83.