

引用:彭丽媛,高靖,龚思浩,花迎雪,李红,彭红艳,蔡娟,沈卫东.从生物力学角度分析八段锦前四式防治神经根型颈椎病[J].中医导报,2025,31(12):163-167,173.

# 从生物力学角度分析八段锦前四式防治神经根型颈椎病\*

彭丽媛<sup>1</sup>,高靖<sup>1</sup>,龚思浩<sup>1</sup>,花迎雪<sup>1</sup>,李红<sup>1</sup>,彭红艳<sup>1</sup>,蔡娟<sup>2</sup>,沈卫东<sup>2</sup>

(1.上海市浦东新区新场社区卫生服务中心,上海 201314;

2.上海中医药大学附属曙光医院,上海 201203)

[摘要] 目的:从有限元角度模拟神经根型颈椎病(CSR)患者在做八段锦前四式时颈椎的生物力学改变,为临床指导八段锦防治神经根型颈椎病提供理论依据。方法:收集1例CSR患者的颈椎CT数据,运用软件构建C<sub>1</sub>~C<sub>7</sub>颈椎椎体、椎间盘的有限元模型,模拟患者做八段锦前四式时,身体中正位,颈部后伸60°、旋转45°,观察颈椎各个椎体和椎间盘的应力、变形的生物力学变化。结果:椎体最大应力均在与椎间盘接触处,且各节椎体在旋转45°时的应力均比后伸60°时大。后伸时椎间盘最大应力在其前侧,旋转时椎间盘最大应力在其左右侧。各椎间盘在旋转45°时的应力明显比后伸60°时的大,固定C<sub>7</sub>椎体,各椎体、椎间盘形变从上到下逐渐减小,且椎体形变大于椎间盘。结论:八段锦前四式中的颈部后伸、旋转能通过调整椎体、椎间盘的应力分布,减轻对颈神经根的压迫。椎体、椎间盘的形变可以调整颈椎椎体之间的位置关系,纠正可能存在的微小错位,减少椎间盘对神经根的刺激,减轻神经根受压引起的一系列症状。

[关键词] 神经根型颈椎病;八段锦;生物力学;有限元

[中图分类号] R274.33 [文献标识码] A [文章编号] 1672-951X(2025)12-0163-05

DOI: 10.13862/j.cn43-1446/r.2025.12.026

## A Biomechanical Analysis of the First Four Movements of Baduanjin (八段锦) in Preventing and Treating Cervical Spondylotic Radiculopathy

PENG Liyuan<sup>1</sup>, GAO Jing<sup>1</sup>, GONG Sihao<sup>1</sup>, HUA Yingxue<sup>1</sup>, LI Hong<sup>1</sup>, PENG Hongyan<sup>1</sup>,  
CAI Wa<sup>2</sup>, SHEN Weidong<sup>2</sup>

(1.Xinchang Community Health Service Center, Pudong New Area, Shanghai 201314, China; 2.Shuguang Hospital Affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China)

[Abstract] Objective: To simulate biomechanical changes in the cervical spine of patients with cervical spondylotic radiculopathy (CSR) performing the first four movements of Baduanjin from a finite element perspective, providing a theoretical basis for clinical guidance. Methods: Cervical CT data from one CSR patient were used to construct finite element models of C<sub>1</sub>~C<sub>7</sub> vertebrae and intervertebral discs. Simulations were performed with the body upright, neck extended 60°, and rotated 45°. Stress and deformation of vertebrae and discs were observed. Results: Maximum vertebral stress occurred at disc contact points, with greater stress at 45° rotation than at 60° extension. Maximum disc stress during extension was anterior; during rotation, it was lateral. Disc stress was significantly greater during rotation. With C<sub>7</sub> fixed, deformation decreased from superior to inferior, and vertebral deformation exceeded disc deformation. Conclusion: Neck extension and rotation in the first four movements of Baduanjin can adjust stress distribution in vertebrae and discs, relieving nerve root compression. Deformation adjusts vertebral positional relationships, corrects minor misalignments, reduces disc

\*基金项目:上海浦东新区科技发展基金事业单位民生科研专项医疗卫生项目(PKJ2024-Y103);上海浦东新区国家中医药发展综合改革试验区“建设项目”(PDZY-2023-0805)

通信作者:彭红艳,女,主管医师,研究方向为慢性病防控、流行病与卫生统计

irritation to nerve roots, and alleviates associated symptoms, providing a theoretical basis for using Baduanjin in CSR prevention and treatment.

[Keywords] cervical spondylotic radiculopathy; Baduanjin; biomechanics; finite element

神经根型颈椎病 (cervical spondylotic radiculopathy, CSR)是因颈椎间盘、椎间关节等结构病理性改变压迫或刺激到颈神经根而引起的以上肢和(或)颈肩部麻木、放射痛为主要特征的疾病<sup>[1]</sup>。其属于颈椎病(cervical spondylopathy, CS)常见类型之一。CS作为全球第二大顽疾,已仅次于心脑血管疾病。据流行病学调查:全球患有CS人数已高达6亿之多,中国人约占1/3以上,且发展有逐渐年轻化趋势<sup>[2-4]</sup>。中医学将其归为“痹证”“骨痹”等范畴。“筋出槽”和“骨错缝”是颈椎病发生的关键病理机制<sup>[5-7]</sup>。中医学的针刺、推拿、导引等方法已越来越多地运用于CSR的防治过程<sup>[8]</sup>。《素问·生气通天论篇》<sup>[9]</sup>曰:“是故谨和五味,骨正筋柔,气血以流,腠理以密,如是则骨气以精。”故纠正“筋出槽,骨错缝”,是防治CSR的关键。八段锦是一种可追溯至古代的养生导引功法。其八组动作配合呼吸,简单易学,不受年龄、性别限制。前四式通过对颈部的拉伸、旋转等,具有改善颈椎活动度、气血运行、舒筋通络的作用<sup>[10-12]</sup>,对颈椎有很好的治疗效果<sup>[13-14]</sup>。具体前四式动作过程中,椎体、椎间盘如何变化,目前未见相关文献报道。本研究拟通过软件构建1例CSR患者的C<sub>1</sub>~C<sub>7</sub>颈椎模型,模拟在做八段锦前四式时,颈椎椎体、椎间盘等构件位置变化。分别观察在颈椎后伸60°、旋转45°时,颈椎各个功能单元的应力、变形的生物力学变化,为临床指导CSR患者导引防治神经根型颈椎病提供理论依据。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象** 1例CSR男性患者,年龄45岁,身高175 cm,体重74 kg,符合神经根型颈椎病诊断标准<sup>[15]</sup>。主诉:颈及右肩胛内侧疼痛2个月余,渐晨起右拇指、食指麻木1周。查体:颈部活动基本正常,C<sub>3</sub>~C<sub>7</sub>棘突两侧压痛弱(+),无明显放射痛,右肩胛内侧压痛明显,局部肌肉紧张,右颈神经牵拉试验(+).患者自愿并签署知情同意书。

**1.2 硬件设备** 计算机名称DESKTOP-G3M8Loo, 机带RAM为8 GB,所用存储空间为WD Elements便携存储1 TB,操作系统为Windows 10专业版(上海市浦东新区新场社区卫生服务中心影像科提供);40排螺旋CT(上海联影医疗科技股份有限公司)。

**1.3 软件设备** 医学影像处理软件uExceed(上海联影医疗科技股份有限公司);交互式医学影像控制软件Mimics Research 21.0;扫描数据处理软件Geomagic Wrap 2017(美国3D Systems公司);三维CAD软件Solidworks 2022(法国Dassault Systemes公司);CAE建模及分析软件HyperWorks 2022(美国Altair公司)。

**1.4 模拟八段锦前四式颈部动作** 此次研究八段锦前四式颈部动作参照2003年国家体育总局创编。第一式双手托天理三焦,颈部后伸60°回正(后伸角度临床测量考虑胸腰椎伸张

位)。第二式左右开弓似射雕,颈部左右旋转45°<sup>[16]</sup>。第三式调理脾胃须单举,通过双手的上下对拉,造成颈部侧屈。第四式五劳七伤往后瞧,颈部左右旋转至极限45°,停顿,转正。

**1.5 骨性结构的构建** 将CT扫描数据(dcm格式)导入Mimics Research 21.0中,CT图像的矢状面、C<sub>5</sub>~C<sub>6</sub>颈椎的横断面如图1所示。

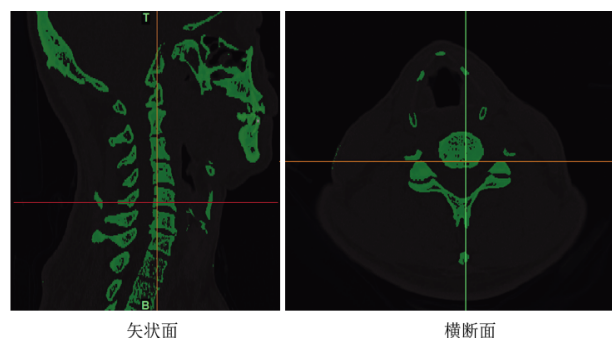


图1 颈椎CT数据在Mimics 21.0中显示

根据组织间CT影像灰度值的不同,设定阈值范围226~3 923 Hu,提取骨质结构。利用命令Edit Mask将头颅、牙齿、锁骨、胸椎等骨骼去除,只保留颈椎骨骼。采用Split Mask依次对颈椎进行分割处理,分别存储为蒙板(Mask),并通过命令Calculate part,得到C<sub>1</sub>~C<sub>7</sub>椎体,保存为stl格式(三角形网格文件)。在Geomagic Wrap 2017中打开。通过网格修复(修复网格中的缺陷,如尖顶、孔洞、重叠面等,以提高模型质量)、网格简化(根据需要对网格进行简化,减少模型的面片数量,以提高效率)、精确曲面、构造格栅、曲面拟合等,得到C<sub>1</sub>~C<sub>7</sub>椎体的3D模型,结果保存为step格式。(见图2)

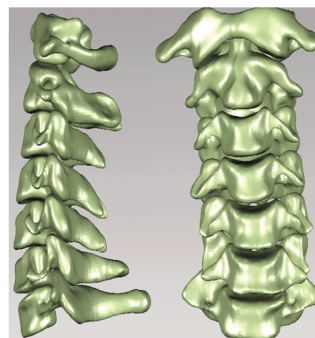


图2 C<sub>1</sub>~C<sub>7</sub>椎体3D示意图

**1.6 椎间盘与关节软骨的构建** 将C<sub>1</sub>~C<sub>7</sub>椎体step格式的3D模型导入Solidworks 2022中进行组装。在椎体接触面上分别创建草图,两椎体草图之间用3D草图功能生成引导线,通过放样命令生成实体,将该实体的端面偏移,使其与相邻椎体重叠,然后将相邻椎体作为工具,利用布尔减运算去除重叠部分,得到椎间盘结构,最后通过面分割功能将椎间盘分割为纤维环(60%)和髓核(40%)两部分<sup>[17-18]</sup>。(见图3)

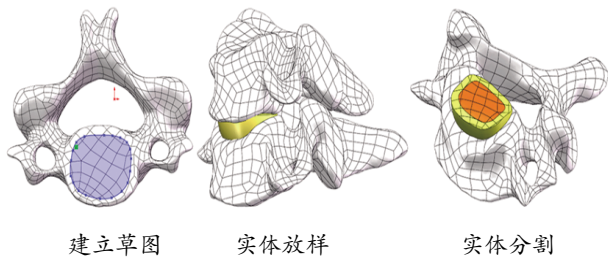


图3 椎间盘建立过程示意图

2 结 果

2.1 有限元模型建立 将C<sub>1</sub>~C<sub>7</sub>椎体及椎间盘3D模型导入HyperWorks 2022中进行网格划分,椎体及椎间盘均采用10节点四面体实体单元,颈椎以上部分质量简化为在头颅质心位置的质量单元,质量为6 kg,该单元与C<sub>1</sub>椎体顶面通过刚性单元连接。网格模型图如图4所示,本模型的单元总数为393 222个,节点总数为609 342个,其中椎体单元数为368 921个,椎间盘单元数为24 300个。

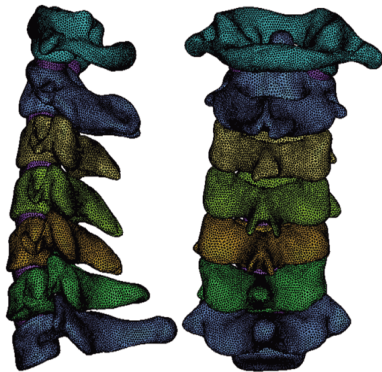


图4 C<sub>1</sub>~C<sub>7</sub>椎体网格模型图

按表1进行材料属性定义<sup>[19]</sup>,并匹配到模型中对应结构,同时约束C<sub>7</sub>底部端面的位移自由度,并施加垂直向下的重力加速度,从而完成有限元模型的建立。

表1 材料属性表

序号	材料	弹性模量/MPa	泊松比
1	椎体皮质骨	11 520	0.20
2	椎体松质骨	126	0.30
3	后部结构	3 230	0.25
4	椎间盘纤维环	450	0.45
5	椎间盘髓核	1	0.49

2.2 模型验证 有限元模型完成后,需要对模型进行有效性验证。目前模型验证的主要方法是依据已有的权威文献数据,这些数据可靠性高,通过比较颈椎有限元模型各节段的前屈、后伸、侧屈及旋转角度,如果数据匹配性较好,差异不大,证明本模型仿真度较好<sup>[20-22]</sup>。

基于文献[23],在本模型C<sub>5</sub>椎体各方向上施加1.0 N·m的扭矩,并对各椎体在各方向上的活动度进行了分析(见图5)。由图5可以看出,本模型的颈椎节段活动度与权威研究的模型差异不明显,因此该模型仿真度较好。

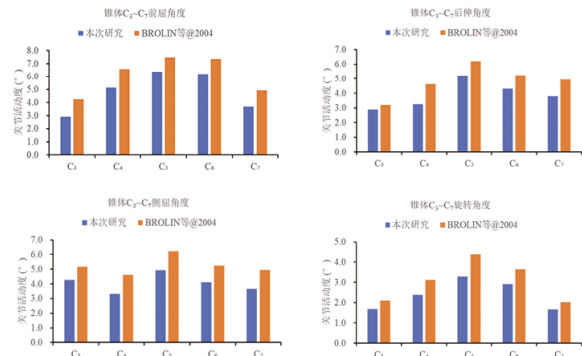


图5 模型验证数据对比图

2.3 应力分析 根据八段锦动作特点,分别计算颈椎后伸60°和旋转45°两种情况时的椎体和椎间盘的应力。

2.3.1 椎体 通过椎体应力云图可以看出,椎体最大应力均在与椎间盘接触处(见图6~7),且各节椎体在旋转45°时的应力均比后伸60°时的大。(见表2)

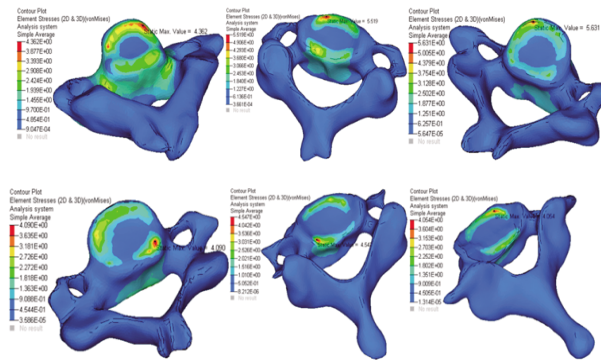


图6 后伸60°时C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体应力云图

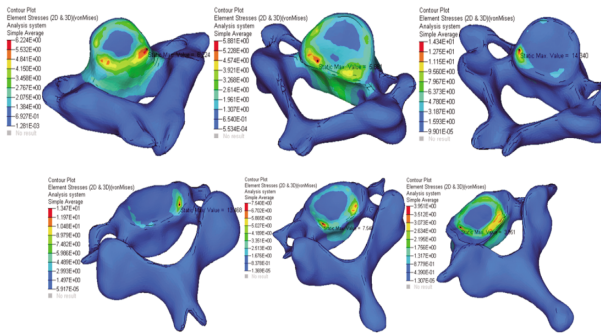


图7 旋转45°时C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>椎体应力云图

表2 椎体应力和形变

椎体	后伸60°		旋转45°	
	应力/MPa	形变/mm	应力/MPa	形变/mm
C <sub>2</sub> ~C <sub>3</sub>	4.362	0.685	6.224	1.039
C <sub>3</sub> ~C <sub>4</sub>	5.519	0.346	5.881	0.617
C <sub>4</sub> ~C <sub>5</sub>	5.631	0.211	14.34	0.487
C <sub>5</sub> ~C <sub>6</sub>	4.090	0.105	13.47	0.289
C <sub>6</sub> ~C <sub>7</sub>	4.547	0.059	7.540	0.173

2.3.2 椎间盘 通过椎间盘应力云图可以看出,后伸时椎间盘最大应力在其前侧(见图8),旋转时椎间盘最大应力在其左右侧(见图9)。各椎间盘在旋转45°时的应力明显比后伸60°时的大。(见表3)



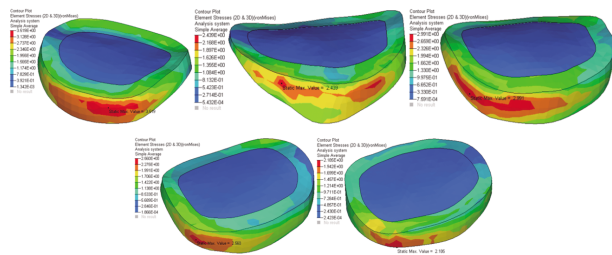


图8 后伸60°椎间盘应力云图

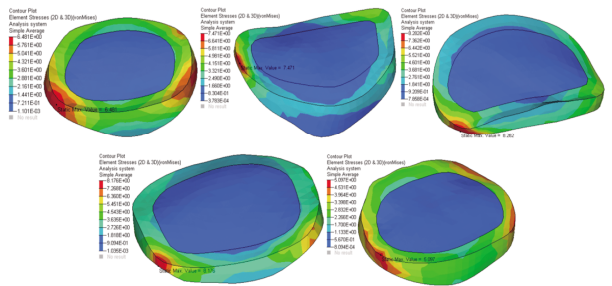


图9 旋转45°时椎间盘应力云图

表3 椎间盘应力和形变

椎间盘	后伸60°		旋转45°	
	应力/MPa	形变/mm	应力/MPa	形变/mm
C <sub>2</sub> ~C <sub>3</sub>	3.519	0.359	6.481	0.355
C <sub>3</sub> ~C <sub>4</sub>	2.439	0.217	7.471	0.273
C <sub>4</sub> ~C <sub>5</sub>	2.991	0.109	8.282	0.163
C <sub>5</sub> ~C <sub>6</sub>	2.560	0.048	8.176	0.084
C <sub>6</sub> ~C <sub>7</sub>	2.185	0.016	5.097	0.038

### 3 讨论

3.1 有限元分析技术在CSR防治中的应用 有限元分析技术是一种计算机模拟技术,有限元分析就是将宏观结构“网格化”为一定数量的单元,根据研究需要设置工况条件模拟实际环境,计算得到各单元的应力、位移变化等数据。三维有限元分析技术可以很好地对颈椎的各部分结构进行形态和力学性能的模拟<sup>[24]</sup>。

通过有限元分析技术,可依据CT、MRI等医学影像数据,精确构建包含C<sub>1</sub>~C<sub>7</sub>颈椎及其周围组织如椎间盘、韧带、肌肉等的三维有限元模型。这种模型能细致模拟颈椎的复杂解剖结构和力学特性,为后续研究提供可靠基础。龙云山等<sup>[25]</sup>将1名24岁健康男性志愿者的CT数据,使用Mimics 21.0软件、Geomagic Wrap 2017、Solidworks 2017软件等成功构建了正常C<sub>2</sub>~C<sub>7</sub>颈椎模型,最后在ANSYS Workbench 17.0软件中赋予材料属性并验证有效性。

借助有限元模型,能模拟颈椎在各种日常活动姿势如前屈、后伸、侧屈、旋转等状态下的应力分布和形变情况。研究发现,长期低头等不良姿势会使颈椎间盘压力显著增加,易导致椎间盘退变,进而压迫神经根,引发CSR。如王晓暄等<sup>[26]</sup>招募1位健康青少年志愿者为建模对象,利用64排螺旋CT进行颈椎连续性断层扫描,通过有限元技术构建了全颈椎和T<sub>1</sub>~T<sub>3</sub>的胸椎模型,探究颈椎前屈姿态下颈椎的生物力学现象。研究发现不良的颈部姿态会导致椎体出现更明显的应力集中现象,增大椎体的峰值压力,并同时增强了对椎间盘的压迫,

导致颈部疼痛风险及颈部发育不良的风险加大。

在CSR病情发展过程中,有限元分析可动态观察颈椎结构的力学参数变化,如随着椎间盘退变程度加重,椎体间的稳定性下降,周围韧带所受应力改变,进一步影响颈椎的生物力学平衡,促使病情恶化。如梁龙等<sup>[27]</sup>使用CT扫描1名男性健康志愿者的颈椎,应用多个分析软件构建包括椎体、椎间盘、韧带、关节软骨甚至肌肉等结构的正常颈椎模型。通过加载不同工况,测量椎间隙高度、椎间孔横纵径大小及变化幅度来模拟CSR的发生、发展。

对于CSR的各种治疗方法,如牵引、推拿、佩戴颈托等,有限元分析能够模拟这些治疗手段对颈椎力学环境的影响,为优化治疗方案提供依据。如张新酪等<sup>[28]</sup>采用1名30岁健康无颈椎病史的成年志愿者的颈椎CT数据,通过Mimics21.0、3-matic软件、Abaqus 2016有限元分析软件等生成颈椎模型并模拟人坐位时牵引力及角度发生变化的牵引,结果成功建立C<sub>1</sub>~C<sub>7</sub>颈椎模型并对牵引力和牵引角度进行了有限元分析。姜雪佳等<sup>[29]</sup>选取1名CSR男性患者,应用有限元技术构建C<sub>3</sub>~C<sub>7</sub>颈椎模型,模拟斜扳手法操作时力学信息的加载,证实颈椎斜扳手法可增加椎管有效横截面积,扩大神经根的解剖位置,减轻患者临床症状。

综上所述,有限元分析技术为CSR的防治提供了有力的技术支持,有助于深入了解疾病的发病机制,优化治疗方法和康复训练方案,提高CSR的防治水平,为患者提供更精准、有效的医疗服务。

3.2 八段锦防治CSR的生物力学机制及应用 本研究模拟患者在做双手托天理三焦时颈部后伸60°,结果显示颈部后伸时各椎间盘的应力重新分布,前侧大于后侧,减轻了对神经根的直接压迫。模拟患者在做左右开弓似射雕、五劳七伤往后瞧时颈部左右旋转45°,颈部应力分布于左右两侧,且大于后伸60°时。形变结果显示颈椎的后伸、旋转还可以调整颈椎椎体之间的位置关系,纠正可能存在的微小错位,减少对神经根的刺激。

屠金康等<sup>[13]</sup>选取复旦大学附属中山医院康复中心就诊的72例CSR患者,在常规康复组治疗基础上锻炼改良八段锦4、8、12周后,CSR患者颈椎症状、体征、生活质量指数有持续改善作用,八段锦可作为一种康复治疗方法让患者在家继续练习。乔元座等<sup>[30]</sup>以140例CSR患者为研究对象,实验组在对照组(痛点针刀闭合松解)基础上联合热敏灸辅助八段锦治疗神经根型颈椎病,结果患者通过针刀消除颈椎病灶部位粘连、痉挛问题,结合热敏灸缓解周围水肿<sup>[31]</sup>,辅助锻炼八段锦恢复颈椎活动能力,舒筋活血,患者远期效果和预后得到保障。

目前相关文献报道多集中在八段锦防治CSR的疗效观察上,本研究填补了八段锦防治CSR在生物力学研究方面的不足,补充了其理论体系,为深入探究八段锦防治CSR提供了新思路。对临床工作者来说,本研究结果为他们指导临床导引及康复锻炼提供了科学依据,进一步提高患者依从性,达到治疗效果。

3.3 有限元分析在颈椎病模型建模中的不足之处 人体颈椎结构复杂,为了便于分析,往往对颈椎椎体、椎间盘、韧带

等组织进行简化和假设。颈椎整个动力系统都需要肌肉的参与,肌肉的力学性质及肌纤维的走行复杂,导致目前仍无可参考的有限元参数,无法模拟颈部运动时肌肉的主动收缩,所以本研究未构建肌肉模块,这会导致模型与实际情况存在一定偏差。八段锦第三式调理脾胃须单举,通过两上肢上下拉动颈部肌肉而形成力的改变,第五式摇头摆尾去心火,颈部肌肉牵拉起主要作用,后三式颈部持中立位,无力学改变,故本研究未模拟。

本次试验对象只有1例,因有限元建模及精确的分析需要大量的计算和时间,随着模型复杂程度的增加,计算量也成倍增长。对与大规模的参数研究及不同治疗方案的对比分析,需要反复多次的计算,进一步增加了计算成本和时间成本,不利于临床医师及时获取分析结果并调整治疗方案,故目前多见单样本模型数据。

针对上述不足,今后本团队将继续结合先进的测量技术,关注构建肌肉、韧带、神经等模块的有限元模型研究,进一步试验,以获取颈部组织在不同状态下的力学参数,从而构建更接近实际的肌肉、神经有限元模型。随着人工智能、大数据的飞速发展,人体有限元模型的完善,以及精确的分析将得到进一步完善,未来人工智能可能会自动根据临床需求生成最优的有限元模型,并快速给出分析结果和治疗建议。

## 参考文献

- [1] HIRAI S, KATO S, NAKAJIMA K, et al. Anatomical study of cervical intervertebral foramen in patients with cervical spondylotic radiculopathy[J]. J Orthop Sci, 2021, 26(1):86-91.
- [2] 殷岳杉,阮安民,徐凡平,等.针刺颈三针为主治疗神经根型颈椎病的Meta分析[J].颈腰痛杂志, 2020, 41(5):604-608.
- [3] MANSFIELD M, SMITH T, SPAHR N, et al. Cervical spine radiculopathy epidemiology: A systematic review[J]. Musculoskeletal Care, 2020, 18(4):555-567.
- [4] YANG J, HUANG H F, SHI J S, et al. Qihuang needle therapy in senile cervical spondylotic radiculopathy [J]. Front Aging Neurosci, 2023, 15:1140531.
- [5] 李林,王宇旭,邓真,等.詹红生基于“治未病”理论防治颈椎病经验[J].中医文献杂志, 2023, 41(1):69-71.
- [6] 杜国庆,沈知彼,李正言,等.脊柱筋出槽、骨错缝疾病临床评估中触诊的价值和操作方法[J].中医正骨, 2024, 36(2):55-59.
- [7] 华海洋,郭光昕,陈大宽,等.基于石氏伤科筋骨理论探讨慢性筋骨病损的辨治思路[J].中医正骨, 2024, 36(2):65-67.
- [8] 黄沂.中医外治法治疗神经根型颈椎病研究进展[J].广西中医药大学学报, 2018, 21(3):62-64.
- [9] 刘光明,孙波,杨佳裕,等.“筋出槽,骨错缝”的内涵[J].中医正骨, 2024, 36(4):72-73, 76.
- [10] 路华杰.八段锦配合针刺治疗慢性疲劳综合征的临床研究[J].广州中医药大学学报, 2019, 36(9):1390-1393.
- [11] FANG J Q, ZHANG L Y, WU F Z, et al. The safety of Baduanjin exercise: A systematic review[J]. Evid Based Complementary Altern Med, 2021, 2021:8867098.
- [12] 李芬.穴位中药贴敷联合八段锦在颈椎病患者中的应用效果及对自我管理水平的影响[J].云南中医学院学报, 2022, 45(2):48-50.
- [13] 屠金康,李方方,付腾飞,等.改良八段锦“前三式”对神经根型颈椎病患者疗效探究[J].中国全科医学, 2022, 25(30):3783-3788.
- [14] 刘艳芳,陈敏,祝君.雷火灸联合八段锦功法治疗神经根型颈椎病的疗效观察[J].颈腰痛杂志, 2022, 43(3):418-420.
- [15] 中华外科杂志编辑部.颈椎病的分型、诊断及非手术治疗专家共识(2018)[J].中华外科杂志, 2018, 56(6):401-402.
- [16] 高鹏,肖京,张宇帆,等.针对慢性非特异性腰痛优化八段锦第二式“左右开弓似射雕”的动作分析[J].世界中西医结合杂志, 2025, 20(3):557-562.
- [17] SUN X Y, SUN S Y, ZHANG T T, et al. Biomechanical comparison of noncontiguous cervical disc arthroplasty and noncontiguous cervical discectomy and fusion in the treatment of noncontinuous cervical degenerative disc disease: A finite element analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2020, 15(1):36.
- [18] YOGANANDAN N, KNOWLES S A, MAIMAN D J, et al. Anatomic study of the morphology of human cervical facet joint[J]. Spine, 2003, 28(20):2317-2323.
- [19] JAUMARD N V, BAUMAN J A, WEISSHAAR C L, et al. Contact pressure in the facet joint during sagittal bending of the cadaveric cervical spine[J]. J Biomech Eng, 2011, 133(7):071004.
- [20] YOGANANDAN N, KUMARESAN S, PINTAR F A. Geometric and mechanical properties of human cervical spine ligaments[J]. J Biomech Eng, 2000, 122(6):623-629.
- [21] YOGANANDAN N, KUMARESAN S, PINTAR F A. Biomechanics of the cervical spine Part 2. Cervical spine soft tissue responses and biomechanical modeling[J]. Clin Biomech, 2001, 16(1):1-27.
- [22] 柳超,王前,张杰峰,等.不同内固定手术方式治疗寰枢椎复合骨折稳定性的有限元分析[J].中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(10):904-911.
- [23] BROLIN K, HALLDIN P. Development of a finite element model of the upper cervical spine and a parameter study of ligament characteristics[J]. Spine, 2004, 29(4):376-385.
- [24] 赵宇昕,亮亮,金凤,等.青少年颈椎间盘突出症有限元模型建立及应力分析[J].中国组织工程研究, 2025, 29(3):448-454.

(下转第173页)

- [36] TAN G S, CHEUNG N, SIM R, et al. Diabetic macular oedema[J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2017, 5(2): 143-155.
- [37] 马素红, 储俐, 左玉霞. 自拟化痰明目汤联合针刺治疗糖尿病性黄斑水肿的临床观察[J]. 中国中医急症, 2019, 28(8): 1471-1474.
- [38] 王久玉, 倪青, 庞晴. 糖尿病视网膜病变中西医结合防治指南[J]. 中华全科医学, 2025, 23(4): 543-550.
- [39] 徐敏, 张群群. 简析当前中成药说明书存在的问题[J]. 中国医药指南, 2022, 20(14): 101-103, 107.
- [40] 曹文杰, 王巍力, 杨一玖, 等. 新时代背景下我国中成药产业的发展与挑战[J]. 中成药, 2025, 47(2): 704-708.
- [41] 朱丹. 针刺联合和血明目片治疗糖尿病视网膜病变的临床观察[J]. 湖北中医药大学学报, 2018, 20(4): 87-89.
- [42] 刘云飞. 近眼三针联合止血祛瘀明目片治疗非增殖性糖尿病视网膜病变的临床疗效观察[D]. 兰州: 甘肃中医药大学, 2024.
- [43] 陈方. 芪明颗粒联合羟苯磺酸钙治疗非增殖期糖尿病视网膜病变的效果与机制分析[J]. 实用中西医结合临床, 2023, 23(19): 18-21.
- [44] 余洋, 黄仲义. 羟苯磺酸钙治疗糖尿病微血管并发症的机制及临床获益[J]. 中国新药与临床杂志, 2021, 40(12): 811-815.
- [45] 刘鹏. 羟苯磺酸钙联合头针治疗对糖尿病伴视网膜病变患者临床疗效观察[J]. 实用中医内科杂志, 2019, 33(9): 63-64.
- [46] 孟成, 孟应. 针药并用治疗非增生性糖尿病视网膜病变的临床研究[J]. 上海针灸杂志, 2021, 40(2): 142-146.
- [47] 赵云, 张珍丽, 吕娜. 通阳开窍法针刺对非增生性糖尿病视网膜病变患者 VEGF、sICAM-1、TNF- $\alpha$  因子的影响[J]. 国医论坛, 2022, 37(6): 21-23.
- [48] 张文怡, 姚静, 王建国, 等. 全视网膜激光光凝术后患者视觉的相关生活质量[J]. 分子影像学杂志, 2022, 45(1): 49-54.
- [49] 吴静, 范松涛. 激光治疗糖尿病视网膜病变的研究进展[J]. 大连医科大学学报, 2022, 44(6): 556-560.
- [50] 张婷. 全视网膜激光光凝治疗糖尿病视网膜病变的视野改变[D]. 长春: 吉林大学, 2024.
- [51] 张婷, 张小猛. 全视网膜光凝治疗糖尿病视网膜病变对视野影响的研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2024, 24(7): 1093-1097.
- [52] 张沫, 何沛原. 老年糖尿病视网膜病变患者激光治疗后黄斑水肿发生及其影响因素[J]. 中国老年学杂志, 2022, 42(1): 90-93.
- [53] 庄家圆, 罗向霞, 洪卓民, 等. 激光光凝联合疗法治疗糖尿病视网膜病变的优势和展望[J]. 中国中医眼科杂志, 2024, 34(7): 680-683, 700.
- [54] 王巧玲. 针刺配合激光治疗糖尿病视网膜病变疗效观察[J]. 山西中医, 2015, 31(4): 27-28.
- [55] 何艺博, 吴开明, 常健菲, 等. 浮针配合再灌注运动对全视网膜激光光凝术后恢复及并发症的影响[J]. 中国中医急症, 2022, 31(1): 31-34.
- [56] 井慧侠, 樊飞, 宋虎杰. 基于数据挖掘探讨针灸治疗非增殖期糖尿病视网膜病变的选穴规律[J]. 临床医学研究与实践, 2022, 7(36): 9-13.
- [57] 韩其琛, 孙忠人, 尹洪娜, 等. 基于数据挖掘分析针灸治疗糖尿病视网膜病变的选穴规律[J]. 针灸临床杂志, 2022, 38(12): 48-52.
- [58] 段俊国, 罗向霞, 许国旺, 等. DR病情进展与阳虚病机关系的研究[J]. 西部中医药, 2013, 26(8): 1-4.
- [59] 王振华, 罗燕, 董玉, 等. 罗燕基于“扶阳学说”防治糖尿病视网膜病变思路及经验[J]. 中国中医眼科杂志, 2022, 32(8): 627-629.
- [60] 何凯婷, 张秦宏, 岳金换, 等. 针刺治疗糖尿病的分子生物学机制研究进展[J/OL]. 中国针灸, 2024: 1-8. (2024-09-10). <https://link.cnki.net/doi/10.13703/j.0255-2930.20240604-0003>.

(收稿日期: 2025-04-15 编辑: 时格格)

(上接第167页)

- [25] 龙云山, 李星, 韦亚军, 等. C2-C7颈椎有限元模型的构建及生物力学分析[J]. 医药前沿, 2024, 14(4): 18-21, 26.
- [26] 王晓暄, 张峭霖, 裴琴儿, 等. 基于有限元方法分析青少年颈前屈的生物力学特征[J]. 中国高校优秀科技期刊, 2024, 2(37): 114-120.
- [27] 梁龙, 尹逊路, 冯敏山, 等. 神经根型颈椎病三维有限建模的方法及验证[J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(11): 1-6.
- [28] 张新酩, 刘治华, 张新民, 等. 全颈椎模型建立及不同牵引方位下的牵引力与牵引角度特征[J]. 中国组织工程研究, 2021, 30(25): 4805-4811.
- [29] 姜雪佳, 赵虹飞, 张文霞, 等. 基于三有限元技术解析颈椎斜扳手法作用机制[J]. 山东中医杂志, 2024, 43(11): 1249-1254.
- [30] 乔元座, 孙彤, 卢玉梅, 等. 痛点针刀闭合松解联合热敏灸辅助八段锦对神经根型颈椎病的临床研究[J]. 内蒙古中医药, 2024, 43(10): 85-86.
- [31] 赵辰. 针灸联合子午流注穴位按摩对神经根型颈椎病患者疼痛及功能康复的影响[J]. 江西医药, 2023, 58(6): 732-734.

(收稿日期: 2025-03-13 编辑: 刘国华)