

三维平衡正脊手法治疗神经根型颈椎病的有限元分析

曹盛楠¹, 王丹丹¹, 王从安², 师彬¹, 孙国栋^{2,3}

(1. 山东第一医科大学附属颈肩腰腿痛医院, 山东省医药生物技术研究中心, 山东第一医科大学, 山东省医学科学院, 山东 济南 250014; 2. 山东省医学科学院附属医院, 山东 济南 250031; 3. 天津大学医学工程与转化医学研究院, 天津 300072)

【摘要】 目的: 探讨“三维平衡正脊”手法治疗神经根型颈椎病(cervical spondylotic radiculopathy, CSR)的生物力学特点。**方法:** 将 1 例 CSR 患者行“三维平衡正脊”手法治疗, 并在治疗过程中运用力学检测系统监测手法过程中的力学变化。利用螺旋 CT 对患者颈部进行断层扫描获取 DICOM 数据, 依次运用 Mimics 软件、Geomagic Studio 软件、ANSYS Workbench 软件建立神经根型颈椎病三维有限元模型; 模拟加载“三维平衡正脊”手法, 将各部分力学参数代入有限元模型, 运用 ANSYS 软件进行有限元分析, 研究“三维平衡正脊”作用下患者的椎体、椎间盘的内部应力变化及位移变形情况。**结果:** 建立的 CSR 患者 C₃-C₇ 有限元模型包括 5 节椎体、4 节椎间盘、3 种韧带, 涉及 153 471 个节点、64 978 个单元。手法完全加载后, C₃-C₇ 椎体应力部位主要在 C₅ 棘突前部及根部、椎弓及二者联合处, 最大应力达到 17.781 MPa; 变形部位主要集中在 C₃ 椎体关节突、横突前部, 以及 C₄ 椎体上关节突、横突, C₅ 椎体关节突。C₃-C₇ 椎间盘应力主要分布于 C_{3,4} 椎间盘前部及 C_{4,5}、C_{5,6} 髓核部; 位移情况扩展到 C_{3,4} 髓核中后部, C_{4,5}、C_{5,6} 髓核周围及颈间盘前部。**结论:** C₃-C₇ 神经根型颈椎病患者三维有限元模型的建立较能真实地模拟颈椎几何形态及材料属性, 亦较准确地反映颈椎的生物力学特性, 验证“三维平衡正脊”手法对 CSR 的内在作用机制, 证明治疗的安全性及成效性, 指导更规范的手法操作, 避免医疗事故的发生。

【关键词】 三维平衡正脊; 神经根型颈椎病; 有限元分析; 生物力学

中图分类号: R681.5

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2020.09.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Finite element analysis of the treatment of cervical spondylotic radiculopathy with three dimensional balanced manipulation CAO Sheng-nan, WANG Dan-dan, WANG Cong-an, SHI Bin, and SUN Guo-dong*. *The Affiliated Hospital of Shandong Academy of Medical Sciences, Jinan 250031, Shandong, China

ABSTRACT Objective: To explore the biomechanical characteristics of “three-dimensional balanced manipulation” for the treatment of cervical spondylotic radiculopathy (CSR). **Methods:** A CSR patient was treated with “three-dimensional balanced manipulation”, and the mechanical changes during the manipulation were monitored by mechanical testing system. Using spiral CT to scan the neck of the patient to obtain DICOM data. The three-dimensional finite element model of cervical spondylotic radiculopathy was established by using Mimics software, Geographic Studio software. The “three-dimensional balance manipulation” was simulated and loaded, and the mechanical parameters of each part were replaced into the finite element model, and the finite element analysis was carried out by using ANSYS software to study the internal stress changes and displacement deformation of vertebral body and intervertebral disc under the action of “three-dimensional balance manipulation”. **Results:** The established C₃-C₇ finite element model of the CSR patient consisted of 5 vertebrae, 4 intervertebral discs and 3 ligaments, involving 153 471 nodes and 64 978 units. The stress of C₃-C₇ vertebral body was mainly located in anterior and root of C₅ spinous processes, arch, vertebral arch and the combination of the two after full loading of manipulation, and the maximum stress was 17.781 MPa. The deformation sites were mainly concentrated in articular processes and anterior transverse processes of C₃, superior articular processes and transverse processes of C₄, articular processes of C₅. The stress of C₃-C₇ intervertebral disc mainly distributed in the anterior part of C_{3,4} intervertebral disc and the nucleus pulposus of C_{4,5} and C_{5,6}. The displace

基金项目: 泰山学者特聘专家计划(编号: ts201511074); 山东省自然科学基金面上项目(编号: ZR2019MH134, ZR2018LH019); 山东省重点研发计划项目(编号: 2016GSF202042); 山东省医学科学院科技计划面上项目(编号: 2018-23)

Fund program: The Distinguished Experts of Taishan Scholar Project (No. ts201511074)

通讯作者: 孙国栋 E-mail: 317060920@qq.com

Corresponding author: SUN Guo-dong E-mail: 317060920@qq.com

ment extended to the middle and posterior part of $C_{3,4}$ nucleus pulposus, around the nucleus of $C_{4,5}$ and $C_{5,6}$ and anterior part of cervical intervertebral disc. **Conclusion:** The establishment of three-dimensional finite element model of C_3-C_7 cervical spondylotic radiculopathy can simulate the geometry and material properties of cervical spine, and also accurately reflects the biomechanical characteristics of cervical spine, verifies the internal mechanism of "three-dimensional balanced manipulation" on CSR, proves the safety and effectiveness of treatment, guides more standardized manipulation, and avoids medical accidents.

KEYWORDS Three-dimensional balanced manipulation; Cervical spondylotic radiculopathy; Finite element analysis; Biomechanics

神经根型颈椎病(cervical spondylotic radiculopathy, CSR)是以颈肩部的麻木、疼痛、感觉障碍和反射改变为主要表现的一类疾病。目前,作为重要疗法之一的正脊手法在临床中已取得显著疗效^[1]。课题组结合传统旋转、斜扳、推压手法,通过牵引拔伸、按压梳理、旋转复位作用于脊柱各关节,创立了“三维平衡正脊”手法,在临床中也取得了显著的疗效^[2]。但因手法实施各有差距,仅凭施术者个人临床经验操作,在治疗过程中容易因用力过大或方向不当造成医源性损伤,或因手法力度不到位无法起到临床治疗效果^[3]。因此,加强正脊手法的生物力学研究,提供有力的科学依据,对 CSR 的治疗具有重要意义。早期建成的首个颈椎的三维有限元模型,由于缺乏关节突等部分解剖结构,导致最终结果的局限性^[4]。目前,部分研究者在改善模型不足的基础上,开始对椎体加载推拿、牵引等方式进行有限元分析,但仍未有学者对神经根型颈椎病患者正脊手法进行三维有限元分析研究。因此,本课题组在构建 CSR 三维有限元模型的基础上,采用有限元分析法研究“三维平衡正脊”手法的应用机制,以期为正脊手法对神经根型颈椎病患者的安全使用提供科学依据,扩展临床应用范围。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取符合诊断标准^[5]的 60 例神经根型颈椎病患者,年龄为 25~60 岁,身高 164~179 cm,体重 54~78 kg,无明确手法禁忌证。排除颈椎畸形、椎体破坏、占位等病变,定位诊断受损神经的患者。告知患者研究要求及内容,签署知情同意后书后进行样本采集。并对其中 1 例病变部位为 $C_{4,5}$ 左侧病变, C_5 棘突相对向左侧移位神经根型颈椎病患者(年龄 34 岁,体重 71 kg)进行数据采集,建立有限元模型。

1.2 研究步骤

1.2.1 CT 检查 采用 64 位螺旋 CT(SOMATOM Sensation 64)扫描患者颈部,排除其他病变。扫描方案设定为:120 kV, 280 mA,螺旋层厚 0.25 mm,层距 0.1 mm,像素矩阵密度 512×512 像素。得到扫描断层图像 492 张,以 DICOM(digital imaging and communications in medicine)格式 CT 图像刻录光盘储存。

1.2.2 手法操作 患者采用 CT 检查排除其他病变后,采用“三维平衡正脊”治疗。治疗前以按揉、揉、拿等柔和手法松缓颈部及背部软组织 10 min 左右。患者取坐位,一名助理医师固定病员双下肢,施术者以左手拇指顶住 C_5 棘突右侧,其余 4 指抵于枕部,令患者低头放松,颈部屈曲 $10^\circ\sim 20^\circ$,将下颌置于医者右肘部,医者以中指、环指、小指协同固定 C_5 棘突。叮嘱患者放轻松,用轻力度缓慢牵引颈部 1~2 min,然后缓缓地向右旋转头颈部到有一定阻碍时,在此状态下右肘手用力向右侧扳动头颈部,同时左手拇指将 C_5 棘突推向左侧,这时可听到弹响声和(或)有复位感。询问患者有无不适感觉,如没有再用相同手法以反向调整 C_4 棘突。手法完毕后,颈项部垫软枕仰卧,以轻手法牵引并按揉放松颈部约 1 min,而后仰卧观察 20 min。

1.2.3 力学信息采集 在正脊手法治疗过程中,同时采用压力检测系统(大洋传感系统工程有限公司,显示控制仪 DY220-K1T2,压力传感器 DYHW-116)采集手法过程中的力学信息,并将采集到的数据通过三维力学分析软件进行分析,提取其有效信息,综合分析正脊的各项力学参数后加载到神经根型颈椎病三维有限元模型。

1.2.4 C_3-C_7 三维有限元模型建立 将 DICOM 格式的 CT 轴位断层图像通过 Mimics 20.0(Materialise, Inc., Leuven, Belgium)软件命令导入进行处理;在分割模块提取中,图像提取对应骨骼部分的灰度值,增强 CT 图像并调整各自结构 CT 断层图的阈值进行分割提取三维重建。调整阈值中的灰度值范围,利用阈值选取分离出骨性结构,建立颈椎的 Mask 层,分割保留 C_3-C_7 节段,调整软组织的阈值范围,建立椎间盘的 Mask 层;运用“计算 3D 模型”工具对图片进行 3D 计算建模,再对表面进行去三角等光滑处理,细化网格优化结构,在 3-Matic 窗口,利用设计工具对椎间盘进行处理,分离出髓核,获得各段颈椎骨面网格模型;以此自上而下创建包括 C_3-C_7 椎体的三维几何模型,并检验骨性结构之间是否存在粘连,确证其相互独立性;最后把 Mimics 软件产生的.stl 文件输出保存。

在 Geomagic Studio 2015 (Raindrop Geomagic,

Inc., Morrisville, NC) 软件中导入 Mimics 输出的模型, 去掉与模型无关的冗余点及噪声点, 得到优化后的点云模式, 将优化后的点云封装包裹, 形成最简单的多边形(三变形); 约束椎骨表面与椎间盘相贴合的局部, 采用“搭桥”方式来创建椎间盘; 再对模型表面剩余棱角进行打磨、光滑; 多边形阶段完成后, 运用“精确曲面”命令构建曲面片, 利用“构造栅格”命令构建网格, 最后利用“拟合曲面”工具进行曲面拟合; 保存最后生成的 nurbs 曲面光滑实体模型。利用有限元网格制作软件 ANSYS Meshing, 采用四面体网格进行网格划分。

1.2.5 有限元分析及模型约束与加载 将以上保存的椎骨、椎间盘等实体模型导入 ANSYS Workbench 18.1 (ANSYS, Inc. Pennsylvania, America) 软件建模, 通过 Geometry 概念建模功能创建韧带, 韧带起止点及横截面积根据文献[6-7]判定, 并利用建模模块将椎骨中的皮质骨与松质骨、椎间盘的纤维环及髓核部分独立出来; 使用“Element Type”选择适合的单元类型进行设置; 设置各骨组织材料, 在“Engineering Date”中定义材料属性, 包括“EX”弹性模量 (E/MPa) 及“PRXY”泊松比 (μ) 等, 详见表 1。再通过 Static Structural 模块中对赋值后的模型设定边界条件, 进行计算分析处理, 最终输出。

表 1 有限元模型材料赋值

Tab.1 Finite element model material assignment

区域和材料	弹性模量(MPa)	泊松比(μ)	横截面积(mm ²)
皮质骨	10 000	0.3	
松质骨	129	0.2	
纤维环基质	2.5	0.40	
髓核	1.5	0.49	
前纵韧带	30	0.3	6.1
后纵韧带	20	0.3	5.0
棘间韧带	8	0.3	12.9

按照手法操作过程, 手法治疗准备阶段患者颈椎处于中立位状态, 使 C₇ 椎体底部及下关节突关节面进行 Fixed Support 约束固定, 而后手法轻度提拉, 予以 C₃ 椎体顶端 4.2 kg 垂直向上的牵引力; 给予 C₅ 棘突缓慢旋转前屈至 20°, 达到旋转角度后, 给予 1 N·m 的扭力。

1.3 观察项目与方法

观察手法操作过程中预加载力、扳动力、最大作用力的力度大小及左右侧手法的操作差异, 通过力学监测系统测量, 对指标数据分析; 观察建立的 C₃-C₇ 三维有限元模型各椎体结构以及各结构空间

位置关系; 通过 ANSYS 软件模拟手法加载于模型, 分析模型在扭矩加载和约束固定下的应力及位移形变。

1.4 统计学处理

运用 SPSS 22.0 统计软件实行数据处理及分析, 针对左右侧手法操作的力学参数比较分析, 采用独立样本 *t* 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 力学参数对比

通过力学传感器进行测量, 比较同一操作者分别对 60 例患者施用左右侧正脊手法的力学参数。由统计学分析, 预加载力、扳动力、最大作用力差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 可以认为对同一操作者而言, 左右两侧进行三维正脊手法操作无明显差异。60 例患者左右侧手法操作的力学参数见表 2。

表 2 神经根型颈椎病 60 例患者左右侧手法操作力学参数比较 ($\bar{x} \pm s$, kg)

Tab.2 Comparison of manipulation mechanics of two-handed manipulation in 60 patients with cervical spondylolytic radiculopathy ($\bar{x} \pm s$, kg)

力学参数	左侧手法	右侧手法	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
预加载力	3.979±0.141	4.020±0.158	-1.016	0.280
扳动力	8.050±0.294	7.934±0.253	0.325	0.724
最大作用力	12.024±0.425	12.317±0.227	-1.074	0.326

2.2 CSR 三维有限元模型建立

将 DICOM 格式的 CT 图像导入处理, 得到颈椎和椎间盘图像, 通过 Geomagic 生成的颈椎 NURBS 曲面光滑实体模型, 利用 ANSYS Meshing 进行网格划分, 最终所建神经根型颈椎病 C₃-C₇ 三维有限元模型, 模拟了 5 个椎体, 4 个椎间盘, 3 种韧带, 网格划分节点数为 153 471 个, 单元数为 64 978 个。见图 1。

2.3 “三维平衡正脊”手法作用下 C₃-C₇ 段椎体及椎间盘的应力分析

随着三维平衡正脊手法实行模拟分析, 椎体单元受到的应力发生变化。当给予 1 N·m 向左偏前方 20° 的旋转力矩时, C₅ 棘突应力集中范围除棘突前部外, 逐渐扩展到棘突后部及椎弓, 所行合力达到最大时, C₃-C₇ 椎体应力大小达到最大值 17.781 MPa, C₅ 棘突前部、棘突根部、椎弓及二者结合处, C₆-C₇ 关节突等部位均出现应力集中现象。随着手法的模拟, 椎间盘的应力也发生变化, C_{3,4}、C_{4,5}、C_{5,6}、C_{6,7} 4 个椎间盘的应力集中变化主要在 C_{4,5} 髓核部, 应力值达到 30.429 MPa, 以及 C_{3,4} 的椎间盘前部及 C_{5,6} 髓核, C_{6,7} 椎间盘后部。见图 2。

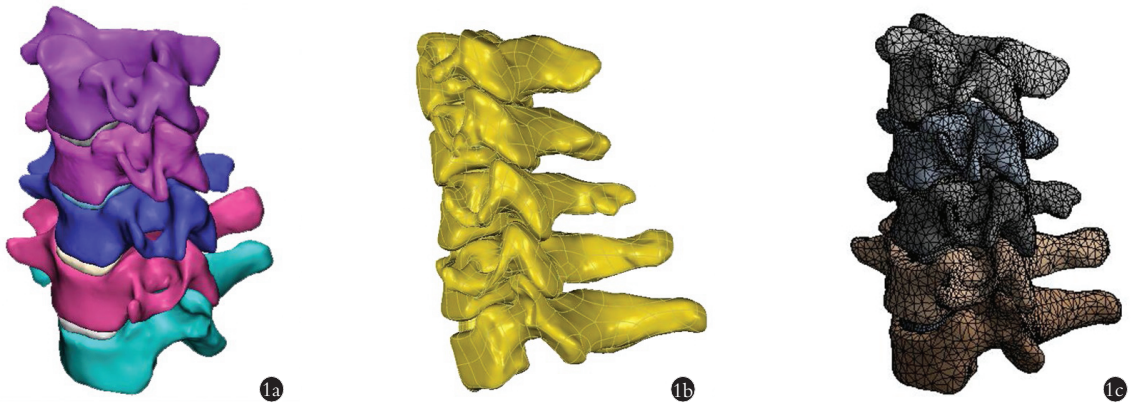


图 1 神经根型颈椎病 C₃-C₇ 段颈椎有限元模型的建立 1a. 通过 Mimics 软件平滑处理后 CSR 模型的侧视图, 包括已建立的颈部椎体及椎间盘 1b. 经 Geomagic 处理生成的 nurbs 曲面光滑实体模型侧视图 1c. 由 ANSYS Meshing 软件网格划分的 CSR 模型侧视图

Fig.1 Establishment of a finite element model of cervical vertebrae in the C₃-C₇ segment of cervical spondylotic radiculopathy 1a. Side view of the CSR model after smoothing by Mimics software, including the established cervical vertebral body and intervertebral disc 1b. Side view of the smoothed solid model of the nurbs surface generated by Geomagic processing 1c. Side view of CSR model meshed by ANSYS Meshing software

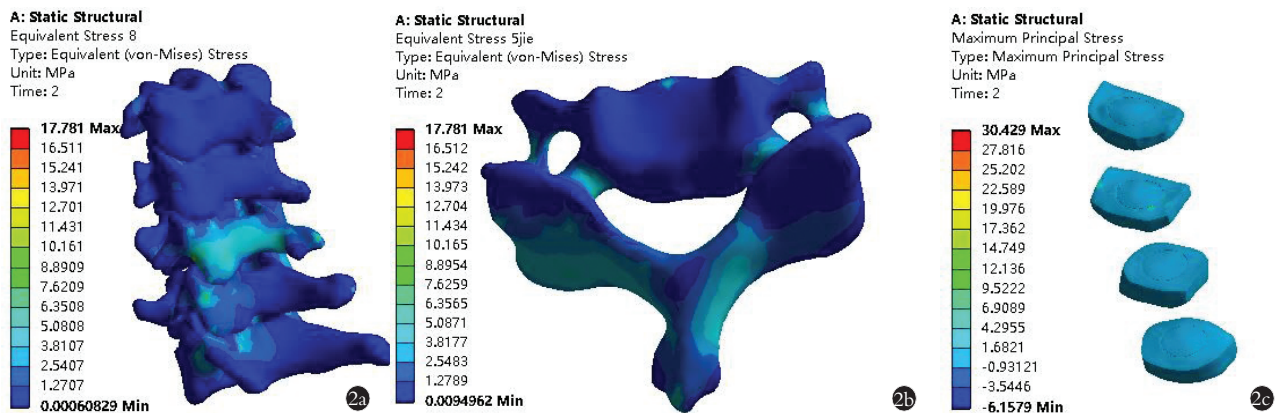


图 2 “三维平衡正脊”手法作用下 C₃-C₇ 段椎体及椎间盘的应力分析 2a. 加载完整“三维平衡正脊”手法时 C₃-C₇ 段椎体应力分布的侧视图, 应力主要集中在 C₃ 棘突前部、棘突根部、椎弓及二者结合处, C₆-C₇ 关节突等部位 2b. 加载完整“三维平衡正脊”手法时 C₅ 椎体应力分布俯视图, 应力大小达到最大值 17.781 MPa 2c. 加载完整“三维平衡正脊”手法作用下椎间盘应力分布图, 应力集中变化主要在 C_{4,5} 髓核部, C_{3,4} 的椎间盘前部及 C_{5,6} 髓核, C_{6,7} 椎间盘后部。

Fig.2 Stress analysis of vertebral bodies and intervertebral discs in the C₃-C₇ segment under the act of “three-dimensional balanced manipulation” 2a. Side view of the stress distribution of the vertebral body in the C₃-C₇ when full loading of “three-dimensional balanced manipulation”. The stress of C₃-C₇ vertebral body was mainly located in the anterior part of C₃ spinous process, the root of spinous process, the vertebral arch and combination of the two, and the articular process of C₆-C₇ 2b. The top view of the stress distribution of the C₅ vertebral body with full loading of “three-dimensional balanced manipulation”. The stress reached the maximum value of 17.781 MPa 2c. The stress distribution map of the intervertebral disc under the action of full loading of “three-dimensional balanced manipulation”. The main changes were in the nucleus of the C_{4,5}, the anterior part of the C_{3,4} disc and the nucleus of the C_{5,6}, and the posterior part of the C_{6,7} disc

2.4 “三维平衡正脊”手法作用下 C₃-C₇ 段椎体及椎间盘的位移变形分析

根据手法模拟分析, 在向左扭转过程中, C₃ 到 C₇ 运动节段也随之扭转, 界限从 C₃ 到 C₇ 循序递减, 扭转时模型的位移主要集聚于 C₃-C₄ 运动节段, 其中最大位移出现在 C₃ 椎体关节突及横突前端, 此外 C₄ 椎体上关节突、横突及 C₅ 椎体上关节突亦出现轻度位移。对于椎间盘而言, 当予以棘突 1 N·m 的旋转力矩时, 4 个椎间盘的位移轻度增加, C_{3,4} 椎间盘变形最大, 髓核的位移部位扩及中后部, C_{4,5}、C_{5,6} 髓核

周边及椎间盘前部位移逐渐扩增, 其位移数值也逐渐增大。见图 3。

3 讨论

3.1 “三维平衡正脊”手法的治疗特点

颈椎病是颈部最常见的一种疾病, 在中医中属于“项强”“痹症”等领域, 早于《黄帝内经》中均有论述。目前, 其治疗手段基本分为保守及手术疗法。其中手术治疗仍存在风险性高、并发症多、创伤性大、后期恢复较慢等缺点, 因此, 95% 以上仍采取保守治疗中的非手术疗法^[8]。早在《仙授理伤续断秘方》中

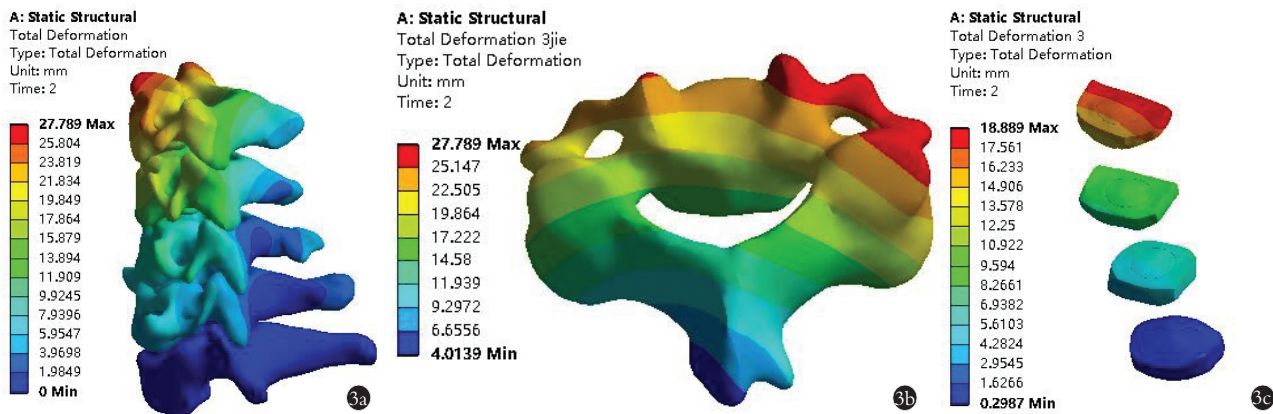


图 3 “三维平衡正脊”手法作用下 C₃-C₇ 段椎体及椎间盘的位移变形分析 3a. 加载完整“三维平衡正脊”手法时 C₃-C₇ 椎体位移变形侧视图, 位移主要集中于 C₃-C₄ 3b. 加载完整“三维平衡正脊”手法时 C₃ 椎体变形俯视图, 最大位移出现在 C₃ 椎体关节突及横突前端 3c. 加载完整“三维平衡正脊”手法时椎间盘变形分布图, C_{4,5}、C_{5,6} 髓核周边及椎间盘前部位移逐渐扩增

Fig.3 Displacement deformation analysis of vertebral bodies and intervertebral discs in the C₃-C₇ segment under the action of “three-dimensional balanced manipulation” 3a. The side view of the displacement of the vertebral body in the C₃-C₇ with full loading of the “three-dimensional balanced manipulation”, the displacement was mainly concentrated in the C₃-C₄ 3b. The top view of the C₃ vertebral deformation with full loading of the “three-dimensional balanced manipulation”, the maximal displacement appeared in the front end of the articular process and the transverse process of C₃ 3c. The distribution map of the intervertebral disc deformation with full loading of the “three-dimensional balanced manipulation”, and the displacement of the nucleus and the anterior part of the C_{4,5}, C_{5,6} disc gradually expanded

对颈椎病的手法治疗就有记载,如“拔伸,且要相度左右骨如何出,有正拔伸者,有斜拔伸者……。”中医正脊手法以中医整体观念等传统思想理论为基础,渗透解剖学及生物力学等现代医学,逐步形成一种行之有效的外治法,具备实用简便、收效迅速、无毒副作用等特点,对于某些疾病具有手到即效的治疗效果,作为临床治疗 CSR 的常用手段^[9]。然而目前,有关颈椎病的正脊手法种类繁多且有部分手法力度、角度、方向等没有经过衡量,在临床中常因手法力度、角度、方向操作不当造成医源性损伤或无法起到治疗效果。本课题组所创“三维平衡正脊”手法是在传统正脊手法基础上,将斜扳、旋转、拔伸融为一体,针对不同病变部位、年龄、病情,在定点、定向、定位、力度上严格要求,规范治疗的位置、方向、作用力大小、治疗次数、治疗间隔时间等。“三维平衡正脊”手法以脊柱解剖学及生物力学三维空间原理相结合,既注重脊柱疾病与相关疾病治疗上的平衡,又强调了骨病与软组织病的平衡,调整异常脊柱骨间的关系,使椎间隙及后纵韧带张力增宽,利于髓核回纳,从而纠正脊椎错位,松解突出物与周围组织的粘连,缓解消除疼痛,恢复脊柱生物力学平衡,在临床应用中增强了传统手法复位的治疗效果^[10]。

3.2 有限元生物力学分析正脊手法治疗的重要性

虽然正脊手法临床疗效显著,但正脊手法流派众多,操作各异,治疗机制缺乏令人信服的依据,正脊认证标准界限模糊,使手法医学的安全性及科学性仍受到质疑。随着计算机技术及软件的迅速发展,

生物力学在脊柱疾病的发病机制中起到重要影响,其中有限元分析法采用力学模型对极其复杂的物体材料、结构及载荷情况进行应力及应变分析,是当前应用较为普及的一种数学计算方法^[11]。它以化整为零,集零为整的基本思想,将研究个体离散化,分割成有限个单位,针对每小单元进行力学分析,再整合成所要研究的个体,最终得出内部应力及形变情况^[12];并且具有费时短、效率高、成本低、可重复利用多次实验等特点,是实验生物力学中具有价值的补充,因此,本课题组采用生物力学的研究方法直观地分析正脊手法作用时颈椎的局部及整体的应力变化。

3.3 C₃-C₇ 段神经根型颈椎病患者三维有限元模型建立的可行性

2005 年,Zhang 等^[13]建立了结构较为完整、赋值全面的颈椎有限元模型,为后续颈椎生物力学方面的研究奠定了基础;但当前仍未报道创建神经根型颈椎病患者三维有限元模型。本课题组所做模型相较于其他颈椎有限元模型的最大创新点在于,以神经根型颈椎病患者做模型样本,在基于神经根型颈椎病患者颈椎 CT 扫描数据的基础上,利用 Mimics 及 Geomagic Studio 建模软件构建神经根型颈椎病患者颈椎椎骨及椎间盘实体模型,并导入 ANSYS Workbench 有限元软件中对椎骨及椎间盘进行更细致的创建,建立了纤维环及髓核、皮质骨与松质骨、韧带等组织的 C₃-C₇ 段 CSR 三维有限元模型,该模型与 CT 三维重建医学生物模型有极高的相似性,且可任意旋转,并在三维空间里从任意角度进行观察。

3.4 “三维平衡正脊”手法治疗神经根型颈椎病的有限元分析

三维有限元分析法通过对外部受力情况的测定,观察模型加载各种参数变化,模拟各种损伤或治疗方法,提供内部及局部的反应机制,实现对模型内部应力变化的定量分析,弥补离体实验的缺点与不足^[14]。因而本课题组运用“三维平衡正脊”手法针对性的治疗 CSR 患者,并运用力学传感器采集手法操作过程中的力学数据,加载于建立的有限元模型,分析 CSR 患者在“三维平衡正脊”手法作用下的各内部应力变化及位移改变情况,同时,通过对已建模型进行网格划分及材料赋值,不仅可直观地看到颈椎内部应力及位移的分布情况,还可单独对颈椎内部某一部分进行生动的力学分析,使应力分布及形变分布的运算更加准确。本试验发现“三维平衡正脊”手法的应力效应主要分布在下部颈椎的后部结构,应力最大可达 17.781 MPa,远远小于椎体骨折开始最大应力^[15],从而验证“三维平衡正脊”手法对 CSR 的内在作用机制,证明治疗的安全性及成效性,指导更规范的手法操作。

综上所述,C₃-C₇段神经根型颈椎病患者的三维有限元模型较能真实地模拟颈椎几何形态及材料属性,亦较准确地反映颈椎的生物力学特性;同时初步验证“三维平衡正脊”手法对 CSR 的内在作用机制,证明治疗的安全性及成效性,指导更规范的手法操作,避免医疗事故的发生。此外,本试验虽然在一定误差范围内可以得到合理的定性分析,但为使力学仿真更加准确,对人体组织的材料结构仍需进一步深入研究。

参考文献

- [1] Yang F, Li WX, Liu Z, et al. Balance chiropractic therapy for cervical spondylotic radiculopathy: study protocol for a randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2016, 17(1):513.
- [2] 司淑媛,王平,师彬. 颈痛舒贴剂配合三维平衡正脊手法治疗神经根型颈椎病临床观察[J]. *内蒙古中医药*, 2013, 32(14):44-45.
SI SY, WANG P, SHI B. Clinical observation on treatment of cervical spondylotic radiculopathy with neck pain relief and three-dimensional balanced ridge technique[J]. *Nei Meng Gu Zhong Yi Yao*, 2013, 32(14):44-45. Chinese.
- [3] 付江涛,陈莉莉,李华东. 临床常用推拿手法的安全性研究[J]. *按摩与康复医学*, 2016, 7(20):31-33. Chinese.
FU JT, CHEN LL, LI HD. Study on the safety of clinical common massage techniques[J]. *An Mo Yu Kang Fu Yi Xue*, 2016, 7(20):31-33. Chinese.
- [4] Yoganandan N, Kumaresan SC, Voo L, et al. Finite element modeling of the C₄-C₆ cervical spine unit[J]. *Med Eng Phy*, 1996, 18(7):569-574.
- [5] 国家中医药管理局. 中医病症诊断疗效标准[M]. 南京:南京大
- [6] 学出版社, 1994.
State Administration of Traditional Chinese Medicine. Diagnostic and Efficacy Standards for TCM Diseases[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1994. Chinese.
- [6] Qi Y, Lewis G. Influence of assigned material combination in a simulated total cervical disc replacement design on kinematics of a model of the full cervical spine: A finite element analysis study[J]. *Biomed Mater Eng*, 2016, 27(6):633-646.
- [7] 曹盛楠,师彬,孙国栋. 神经根型颈椎病 C₃-C₇ 三维有限元模型的建立与意义[J]. *山东医药*, 2018, 58(32):10-13.
CAO SN, SHI B, SUN GD. Establishment and significance of three-dimensional finite element model of C₃-C₇ for cervical spondylotic radiculopathy[J]. *Shan Dong Yi Yao*, 2018, 58(32):10-13. Chinese.
- [8] 刁永帅,柳源,冯奇,等. 中医整脊法治疗神经根型颈椎病的研究进展[J]. *中国中医急症*, 2018, 27(9):1667-1669, 1677.
DIAO YS, LIU Y, FENG Q, et al. Research progress on traditional Chinese medicine chiropractic therapy for cervical spondylotic radiculopathy[J]. *Zhongguo Zhong Yi Ji Zheng*, 2018, 27(9):1667-1669, 1677. Chinese.
- [9] 种书涛. 正脊疗法治疗神经根型颈椎病的疗效观察[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2006, 14(4):35-37.
ZHONG ST. Therapeutic effect of positive spine therapy on cervical spondylotic radiculopathy[J]. *Zhongguo Zhong Yi Gu Shang Ke Za Zhi*, 2006, 14(4):35-37. Chinese.
- [10] 张波,孙国栋,王军涛,等. 三维平衡正脊手法配合针灸治疗腰椎间盘突出症临床研究[J]. *山东中医杂志*, 2018, 37(2):129-131.
ZHANG B, SUN GD, WANG JT, et al. Clinical study of three-dimensional balanced manipulation combined with acupuncture on lumbar disc herniation[J]. *Shan Dong Zhong Yi Za Zhi*, 2018, 37(2):129-131. Chinese.
- [11] 何剑颖,董谢平. 脊柱生物力学的有限元法研究进展[J]. *中国组织工程研究*, 2011, 15(26):4936-4940.
HE JY, DONG XP. Advance of finite element methods in spinal biomechanical research[J]. *Zhongguo Zu Zhi Gong Cheng Yan Ji*, 2011, 15(26):4936-4940. Chinese.
- [12] Wang K, Wang H, Deng Z, et al. Cervical traction therapy with and without neck support: A finite element analysis[J]. *Musculoskeletal Science and Practice*, 2017, 28:1-9.
- [13] Zhang QH, Teo EC, Ng HW. Development and validation of a CO-C7 FE complex for biomechanical study[J]. *J Biomech Eng*, 2005, 127(5):729-735.
- [14] 马迅,郭建鹏,梁凯恒,等. 脊柱颈胸结合部(C₆-T₁)三维有限元模型的建立及有限元分析[J]. *中国骨伤*, 2010, 23(1):5-8.
MA X, GUO JP, LIANG KH, et al. Establishment and finite element analysis of three-dimensional finite element model of spinal cervical-thoracic joint(C₆-T₁)[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2010, 23(1):5-8. Chinese with abstract in English.
- [15] Zhao WT, Qin DP, Zhang XG, et al. Biomechanical effects of different vertebral heights after augmentation of osteoporotic vertebral compression fracture: a three-dimensional finite element analysis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2018, 13(1):32.

(收稿日期:2019-09-19 本文编辑:王宏)