

颈椎矢状位端提手法对椎间盘及小关节影响的有限元分析

魏源标¹, 林展², 陈燕梅¹, 杨腾辉¹, 赵晓¹, 陈扬声¹, 周燕辉¹, 杨敏超¹, 黄飞麒¹<https://doi.org/10.12307/2024.006>

投稿日期: 2022-12-09

采用日期: 2023-02-10

修回日期: 2023-03-19

在线日期: 2023-04-08

中图分类号:

R459.9; R319; R274

文章编号:

2095-4344(2024)06-00827-06

文献标识码: A

文章快速阅读: 传统颈椎旋转复位手法与颈椎矢状位端提手法对颈椎的影响

建立 C₃₋₆ 三维有限元模型

在模型上分别模拟矢状位端提、旋转手法

观察 C₄₋₅ 节段两组椎间盘、关节囊应力、小关节位移及椎间孔面积的变化结论: 矢状位端提手法对 C₄₋₅ 小关节位移、椎间盘应力/形变程度、关节囊应力和椎间孔面积改变较小。

文题释义:

颈椎矢状位端提手法: 属于中医正骨整复类手法, 在向后拔伸颈椎的基础上, 于患者颈椎活动极限时施加一个瞬时且短促的拔伸力, 从而使颈椎得到复位的一种手法, 通过放松肌肉和纠正异常关节突关节来重建颈部肌肉骨骼平衡。

有限元分析: 通过泛函数变分和连续的体网格划分可对工程领域复杂的问题进行求解的一种数学计算方法, 可用于体外骨科生物力学方面的研究。

摘要

背景: 在颈椎病的致病因素中, 椎间盘突出、小关节错位和椎间孔狭窄是导致患者出现症状的重要因素, 而不适当的手法复位可能会加重颈椎间盘突出、椎间孔狭窄的可能性, 导致患者症状加重。

目的: 通过有限元分析比较传统颈椎旋转复位手法与颈椎矢状位端提手法对施术节段椎间盘、小关节和椎间孔面积的影响。

方法: 选取1名颈部正常男性志愿者的颈部CT资料, 将CT数据导入Mimics 17.0三维重建软件, 依次使用Geo-magic Studio 12.0、Solidworks 2017和Ansys Workbench 17.0软件构建椎间盘、关节软骨等C₃₋₆颈椎有限元模型; 固定C₆椎体下终板, 在上位椎体(C₃)的上表面施加均匀分布、垂直向下的50 N载荷, 比较实施传统颈椎旋转复位手法与颈椎矢状位端提手法和整复时, C₄₋₅节段椎间盘应力、形变大小及方向、关节囊应力、小关节位移及双侧椎间孔面积的变化。

结果与结论: ①实施旋转复位手法时, C₄₋₅椎间盘的最大范式等效应力为8.06 MPa、总形变为1.05 mm, 纤维环向左前外膨出; 实施矢状位端提手法时, C₄₋₅椎间盘的最大范式等效应力为2.60 MPa、总形变为0.90 mm, 纤维环向左后方膨出; 相比于旋转复位手法, 矢状位端提手法在施术时对椎间盘的压力较小(约为颈椎旋转手法的32.3%)、椎间盘形变程度也轻(约为旋转手法的85.7%); ②实施旋转复位手法时, 左侧和右侧关节囊韧带最大应力分别为0.37 MPa和1.69 MPa, 小关节的总体位移为2.21 mm, 右侧椎间孔面积减小约3.8%, 左侧椎间孔面积增大约0.9%; 实施矢状位端提手法时, 左侧和右侧关节囊韧带最大应力分别为0.27 MPa和1.70 MPa, 小关节的总体位移为1.63 mm, 右侧椎间孔面积增大约2.6%, 左侧椎间孔面积减小约0.9%; 与旋转复位手法相比, 矢状位端提手法对小关节的位移、关节囊应力和椎间孔面积改变较小, 操作时较为安全; ③结果提示, 与颈椎旋转复位手法相比, 矢状位端提手法对小关节位移、椎间盘应力/形变程度、关节囊应力和椎间孔面积的改变较小, 临床中在准确评估患者病情后应结合生物力学结果选择更为合适的手法。

关键词: 颈椎病; 颈椎矢状位端提法; 传统旋转复位手法; 三维有限元分析; 生物力学

Finite element analysis of effects of sagittal cervical manipulation on intervertebral disc and facet joints

Wei Yuanbiao¹, Lin Zhan², Chen Yanmei¹, Yang Tenghui¹, Zhao Xiao¹, Chen Yangsheng¹, Zhou Yanhui¹, Yang Minchao¹, Huang Feiqi¹¹Department of Bone-Setting, First Affiliated Hospital of Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510080, Guangdong Province, China; ²Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510405, Guangdong Province, China

Wei Yuanbiao, Master candidate, Department of Bone-Setting, First Affiliated Hospital of Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510080, Guangdong Province, China

Corresponding author: Huang Feiqi, Associate chief physician, Department of Bone-Setting, First Affiliated Hospital of Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510080, Guangdong Province, China

Abstract

BACKGROUND: Among the pathogenic factors of cervical spondylosis, herniation of the intervertebral disc, dislocation of the facet joint and the stenosis of the intervertebral foramen are important factors leading to symptoms in patients. Moreover, inappropriate manipulation may aggravate the possibility of cervical disc rupture, leading to exacerbation of symptoms in patients.

¹ 广东药科大学附属第一医院正骨科, 广东省广州市 510080; ² 广州中医药大学, 广东省广州市 510405

第一作者: 魏源标, 男, 1987年生, 广东省廉江市人, 汉族, 广州中医药大学在读硕士, 主要从事中医骨伤方向的研究。

通讯作者: 黄飞麒, 副主任中医师, 广东药科大学附属第一医院正骨科, 广东省广州市 510080

<https://orcid.org/0000-0002-8751-8886> (魏源标)

基金资助: 广东省高水平医院建设项目 (211010010732): A1-7-32 新型智能骨折复位床联合数字导航技术治疗陈旧性骨折不愈合的前瞻性、随机、多中心临床研究

引用本文: 魏源标, 林展, 陈燕梅, 杨腾辉, 赵晓, 陈扬声, 周燕辉, 杨敏超, 黄飞麒. 颈椎矢状位端提手法对椎间盘及小关节影响的有限元分析 [J]. 中国组织工程研究, 2024, 28(6):827-832.



OBJECTIVE: To compare the effect between sagittal cervical manipulation and traditional cervical rotation manipulation on the area of the intervertebral disc, facet joint and intervertebral foramen at the operative segment by the finite element analysis.

METHODS: The neck CT data of a male volunteer with a normal neck were selected and imported into Mimics 17.0 three-dimensional reconstruction software. Geo-magic Studio 12.0, Solidworks 2017 and Ansys Workbench 17.0 software were used for the construction of the finite element model of cervical vertebrae (C_{3-6}) including intervertebral disc and articular cartilage. The lower end plate of the C_5 vertebral body was fixed. A uniformly distributed vertical downward 50 N load was applied on the upper surface of the upper vertebral body (C_3). The stress, deformation and deformation direction of the C_{4-5} intervertebral disc, joint capsule stress, the displacement of facet joints and the area of bilateral intervertebral foramen were compared between sagittal cervical manipulation and traditional rotation reduction.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) When using the rotation technique, the maximum normal equivalent stress (von Mises stress) of the C_{4-5} disc was 8.06 MPa; the total deformation was 1.05 mm, and the fiber ring expanded to the left and outside. When using the sagittal tip lifting technique, the maximum normal equivalent stress (von Mises stress) of the C_{4-5} disc was 2.60 MPa; the total deformation was 0.90 mm, and the fiber ring expanded to the left and back. Compared with the rotation technique, the pressure of the cervical manipulation technique on the disc was less (about 32.3% of the rotation technique), and the deformation degree of the disc was also light (about 85.7% of the rotation technique). (2) When the rotation technique was used, the maximum stresses of the left and right articular capsule ligaments were 0.37 MPa and 1.69 MPa, respectively. The overall displacement of the facet joint was 2.21 mm. The area of the right intervertebral foramen decreased by about 3.8% and the area of the left intervertebral foramen increased by about 0.9%. When the sagittal end lifting manipulation was performed, the maximum stresses of the left and right articular capsule ligaments were 0.27 MPa and 1.70 MPa, respectively; the overall displacement of the facet joint was 1.63 mm; the area of the right intervertebral foramen increased by about 2.6%, and the area of the left intervertebral foramen decreased by about 0.9%. Compared with rotation manipulation, sagittal end lifting manipulation had fewer changes in the displacement of facet joint, joint capsule stress and intervertebral foramen area, so it was safer to operate. (3) In conclusion, compared with cervical rotation manipulation, sagittal end lifting manipulation has fewer changes in facet joint displacement, intervertebral disc stress/deformation degree, joint capsule stress, and foraminal area. In clinical practice, more appropriate manipulation should be selected based on biomechanical results after an accurate assessment of patients' conditions.

Key words: cervical spondylopathy; sagittal cervical manipulation; traditional rotation reduction; three-dimensional finite element analysis; biomechanics

Funding: High-Level Hospital Construction of Guangdong Province, No. 211010010732

How to cite this article: WEI YB, LIN Z, CHEN YM, YANG TH, ZHAO X, CHEN YS, ZHOU YH, YANG MC, HUANG FQ. Finite element analysis of effects of sagittal cervical manipulation on intervertebral disc and facet joints. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2024;28(6):827-832.

0 引言 Introduction

颈椎病是一种由颈部组织结构的退变和慢性劳损,累及颈部肌肉、筋膜、骨关节和关节囊以及椎间盘,导致椎间盘本身退变及其他继发性改变,引起邻近神经、脊髓等组织出现慢性压迫的疾病^[1]。颈椎病的发病与应力负荷、椎间盘和小关节退变有关,在30岁以后,随着椎间盘蛋白多糖含量的下降和水分丢失,椎间盘的黏弹性逐渐下降,纤维环承受压力增加,导致椎间盘高度下降和髓核突出^[2-5]。患者临床就诊主要症状包括颈部疼痛、神经根性疼痛或麻木、脊髓症状以及这些症状的组合^[6-8]。其中,力学因素是影响颈椎退行性病变发生的重要因素,改变相关异常的力学载荷能有效预防和缓解颈椎病的发生。尸体和动物标本的生物力学检测在颈腰痛疾病中使用广泛,是预测和解释颈椎病病因病理的重要手段,但是由于尸体标本获得困难、个体差异较大等原因,标本的生物力学检测存在明显的局限性^[9]。随着计算机技术发展和计算能力的提高,有限元分析法在骨科如脊柱外科等得到广泛应用^[10-11]。

作为人体脊柱的重要组成部分,颈椎具有复杂的解剖结构,有限元模型可建立包括脊椎、椎间盘和主要韧带的颈椎模型。利用有限元模型分析颈椎结构的生物力学机制,不仅有助于颈椎疾病的诊断、治疗和预防,还被越来越多的用于颈椎病、颈椎损伤、椎间融合内固定、椎间盘置换等复杂的力学分析研究中^[12-13]。此次研究通过三维有限元分析的方法,比较颈椎矢状位端提手法和颈椎定点旋转复位手法对椎间盘和小关节的影响,以期进一步阐明颈椎矢状位端提法治疗颈椎病的生物力学机制和安全性。

1 材料和方法 Materials and methods

1.1 设计 三维有限元分析实验。

1.2 时间及地点 实验于2021年10月在广东药科大学附属第一医院影像科完成。

1.3 材料

1.3.1 影像资料 选取1名年轻男性志愿者扫描颈部CT资料,年龄28岁,身高172 cm,体质量68 kg,该志愿者既往无颈部疾病史,排除颈部先天发育异常、颈部肿瘤等疾病。志愿者对实验知情同意,并签署实验知情同意书。研究已通过广东药科大学伦理委员会批准,批准号:医伦审[2022]第(27)号。依据广东药科大学附属第一医院影像科提供的颈部64层螺旋CT扫描数据(Brilliance 64, Philips Electronics, Netherlands),扫描参数:250 mAs, 120 kV,层厚为0.625 mm,扫描范围:颅骨底部至 T_1 层面,将扫描数据拷贝于硬盘中,用于下一步的数据提取重建。

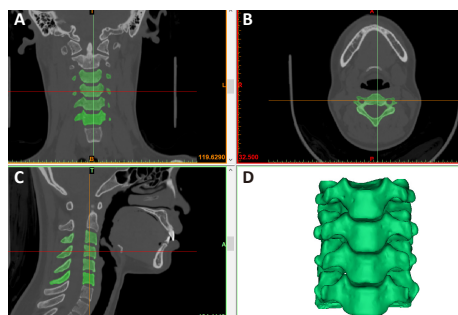
1.3.2 实验设备 英特尔 i7 桌面级处理器,计算机运行内存为64 G,所用存储空间为568 G 极速固态硬盘+1 TB 机械硬盘,操作系统为正版 Windows 10 家庭版。Mimics 17.0 三维重建软件(Materialise 公司,鲁汶,比利时),主要用于从CT数据中,根据组织灰度值的不同,提取出颈椎椎体的模型,并进行初步光滑。Geo-magic Studio 12.0 逆向工程处理软件(3D Systems Corporation, 南加利福尼亚州,美国),将 Mimics 构建的模型进行进一步的打磨光滑,并将多边形模型转化为生成封闭的曲面模型。Solidworks 2017 CAD 软件(Solidworks Corporation, 马萨诸塞州,美国)通过分割组合等命令,构建椎间盘、关节软骨等软组织。Ansys Workbench 17.0 有限元分析软件(Ansys, Ltd., 佳依斯堡,宾夕法尼亚州,美国)用于网格的划分、韧带的添加和模型的测试分析。

1.4 方法

1.4.1 颈椎 C_{3-6} 三维有限元模型的建立

CT 数据读取: 将连续扫描的薄层颈椎 CT 图像导入 Mimics 软件中,定义数据的上端、下端、左侧、右侧、前方、后方等方位形象。通过 Thresholding 工具,根据各组织 CT 灰度值的差异,调整灰度值的大小,初步筛选出颈椎椎体。此时模型较为粗糙,各关节突和椎间盘区域可能存在连接,

导致模型中各椎体相连,无法进行下一步的分析。需要使用蒙版编辑功能,将椎体连接处逐层仔细分离,擦除多余的软组织,并对骨质缺损区域进行填充。在横断面、矢状面、冠状面均确认上下椎间无相连区域后,再次分离出单独的颈椎椎体。依照上述操作,依次分离出C₃、C₄、C₅、C₆等椎体。再次观察椎体各个部分有无明显失真处,若椎体外形较为完整,可通过Smoothing操作对模型进行初步的光滑,填补椎体表面的孔洞和凸起,将模型导出成二进制STL格式的文件,在Geo-magic Studio 12.0软件对模型进行进一步的优化(图1)。



图注: A为颈椎冠状面; B为颈椎横断面; C为颈椎矢状面; D为颈椎体三维模型示意图

图1 | Mimics软件重建颈椎三维模型

Figure 1 | Three-dimensional model of cervical spine reconstructed by Mimics software

三维模型的优化与曲面模型的构建:将上述STL格式的文件导入Geo-magic Studio 12.0软件中,先对模型重新划分网格(网格大小由软件默认识别),以确保下一步模型光滑时保持模型的外观不严重变形。通过“去除特征”功能,对模型各部位进行仔细打磨光滑,去除异常的尖锐和凸起变形之处,此步骤需仔细认真,以尽量保持模型外形真实为前提。确认模型无明显的凸起和尖锐处后,可使用“光滑”功能,对模型进行整体的光滑处理。最后使用网格医生,对模型中的非流形边、自相交、高度折射边、钉状物等进行识别清楚,确保后续分析不出错误。然后使用精确曲面模块功能,先沿椎体的突出的轮廓,手工画出模型的轮廓线,对变形、角度较小和相交的轮廓线进行优化调整,以便生成规则的曲面片,有利于后续韧带的添加;构建并修理封闭的三角形曲面片,构造格栅,对曲面片进行拟合曲面,将曲面模型导出为STEP格式的数据文件存储使用(图2)。在皮质骨模型的基础上,松质骨模型由皮质骨模型向内整体偏移0.4 mm生成。

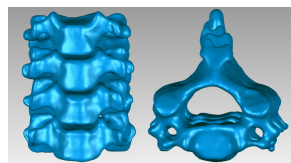


图2 | 三维模型的优化与曲面模型的构建

Figure 2 | Optimization of three-dimensional model and construction of surface model

椎间盘等软组织的构建:将Geo-magic软件光滑优化后的几何模型导入Solidworks 2017 CAD软件中,导入后软件会对三维模型自动进行曲面诊断和特征识别,发现模型曲面片存在问题,可选择自动修复功能,对存在问题的曲面片进行

修复。首先进行椎间盘和软骨终板的构建,将下位椎体独立显示,生成平行于屏幕的平面,在平面上画出椎间盘的形状,利用草图拉伸功能,构建出实体,利用上下椎体平面生成的曲面片,对椎间盘实体进行切割,以适配椎体。而后通过曲面等距功能,切割出厚度约为0.4 mm的软骨终板。再次利用草图和面积测量功能,画出形状合适,大小约占椎间盘面积43%的髓核,此时,纤维环、髓核、软骨终板的构建即完成。最后在上下关节突之间,利用关节突的天然空隙,画出关节软骨。将完整的颈椎模型另存为X-T格式的文件,用于Ansys软件的装配分析(图3)。

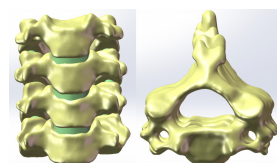


图3 | 添加椎间盘与关节软骨等软组织的完整颈椎模型

Figure 3 | Complete cervical spine model with soft tissues such as disc and articular cartilage added

网格划分、韧带添加与载荷定义:将X-T格式的体网格模型导入Ansys Workbench 17.0有限元分析软件中。首先参考既往文献的研究^[14-16],在Engineering Data中设置模型各部分的材料属性,包括颈椎皮质骨、颈椎松质骨、关节软骨、软骨终板、纤维环和髓核等四面体实体单元,材料设置为线性、弹性。颈部各韧带的模拟使用弹簧单元(为只承受拉力不受压力的桁架单元),各部分材料属性及不同韧带的参数设置见表1。除关节突关节的接触设置为摩擦外(摩擦系数0.1),椎体其余各部分均为绑定模式^[17]。随后进行网格划分,所以实体的网格类型均为四面体网格,为了提高计算精度并适当控制计算时间,关节软骨的网格大小设置为0.5 mm,其他部分的网格大小(皮质骨、松质骨、软骨终板、纤维环和髓核)设置为2.0 mm^[17](图4)。最后,设置模型的边界和载荷条件:Fixed support设置为C₅椎体下终板固定,在上位椎体(C₃)的上表面施加均匀分布、垂直向下的50 N面载荷模拟头部重力^[18]。

表1 | 模型中各部分材料属性及不同韧带的参数设置

Table 1 | Material properties of each part of the model and parameter settings of different ligaments

结构名称	弹性模量 (MPa)	泊松比	横截面积 (mm ²)	刚度 (N/m)
皮质骨	12 000	0.3		
松质骨	100	0.3		
关节软骨	10.4	0.4		
终板	1 000	0.3		
纤维环	2.6	0.4		
髓核	1.0	0.49		
前纵韧带	10	0.3	12	16
后纵韧带	10	0.3	45	25.4
黄韧带	1.5	0.3	5	25
棘间韧带	1.5	0.3	13	7.74
关节囊韧带	10	0.3	14	33.6

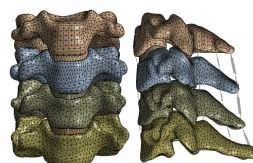


图4 | 添加韧带、网格划分后的有限元三维颈椎模型

Figure 4 | Finite element three-dimensional cervical spine model with ligaments and meshing

1.4.2 颈椎 C₃₋₆ 三维有限元模型的验证及载荷条件 C₅ 椎体下终板固定，在上位椎体 (C₃) 的上表面施加均匀分布、垂直向下的 50 N 载荷模拟头部重力。手法准备体位和载荷加载设置为：① C₃₋₆ 有限元模型绕 X 轴旋转 5° 模拟手法治疗前的前屈体位；② C₃₋₆ 有限元模型绕 Y 轴旋转 5° 模拟手法治疗前的左侧弯；③ C₃₋₆ 有限元模型绕 Z 轴旋转 5° 模拟手法治疗前的右旋；④ 在 0.5 s 内，200 N·mm 的瞬时力右旋或左后方端提，模拟旋转和端提手法。具体方法参见图 5。

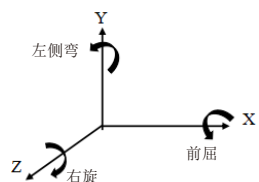
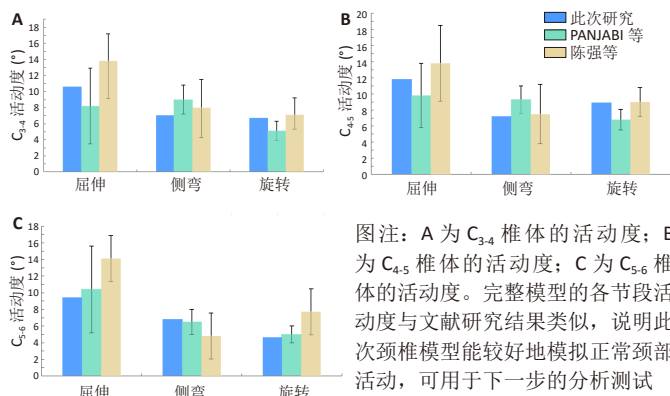


图 5 | 颈椎 C₃₋₆ 三维有限元模型边界条件
Figure 5 | Boundary conditions of C₃₋₆ three-dimensional finite element model of the cervical spine

1.5 主要观察指标 使用颈椎矢状位端提手法和旋转复位手法时，C₄₋₅ 椎体的椎间盘应力大小、形变大小及形变方向、小关节位移大小、双侧椎间孔面积的变化。

2 结果 Results

2.1 椎体 C₃₋₆ 正常三维有限元模型的验证 在模型上位椎体的上终板表面施加 50 N 垂直向下的载荷模拟头部重力，再施加 1.8 N·m 的力矩作用下模拟颈部的前屈、后伸、左右侧弯和左右旋转等活动。结果显示，此次研究中 C₃₋₆ 各节段在屈伸旋转等方向上的活动与 PANJABI 等^[19-20]报道的类似 (图 6)。说明完整颈椎模型能较好地模拟颈部的生理活动，可进行下一步的手法测试与应力分析。



图注：A 为 C₃₋₄ 椎体的活动度；B 为 C₄₋₅ 椎体的活动度；C 为 C₅₋₆ 椎体的活动度。完整模型的各节段活动度与文献研究结果类似，说明此次颈椎模型能较好地模拟正常颈部活动，可用于下一步的分析测试

图 6 | 椎体 C₃₋₆ 正常三维有限元模型的验证
Figure 6 | Verification of the normal three-dimensional finite element model of the C₃₋₆

2.2 两种手法对椎间盘应力与形变的影响 实施旋转复位手法时，C₄₋₅ 椎间盘的最大范式等效应力为 8.06 MPa，总形变为 1.05 mm，纤维环向左前外膨出；实施矢状位端提手法时，C₄₋₅ 椎间盘的最大范式等效应力为 2.60 MPa，总形变为 0.90 mm，纤维环向左后方膨出 (图 7)。相比于旋转复位手法，矢状位端提手法在施术时对椎间盘的压力较小 (约为旋转复位手法的 32.3%)、椎间盘形变程度也轻 (约为旋转复位手法的 85.7%)，说明矢状位端提手法施术时对椎间盘的干扰较少，

相对较为安全。但是需要注意的是，由于矢状位端提手法用力方向的缘故，纤维环会向后变形膨出，对于已经存在颈椎间盘突出患者，应注意施术力度的大小，以免加重纤维环破裂和髓核突出，造成患者症状加重。

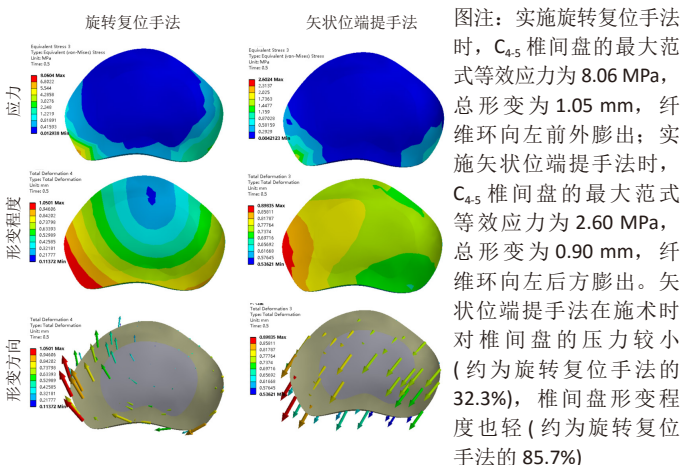


图 7 | 颈椎旋转复位手法与矢状位端提手法对椎间盘应力和形变的影响
Figure 7 | Effects of cervical rotation manipulation and sagittal end lifting manipulation on intervertebral disc stress and deformation

2.3 两种手法对关节囊应力的影响 实施旋转复位手法时，左侧关节囊韧带的最大应力 0.37 MPa，右侧关节囊韧带的最大应力 1.69 MPa；实施矢状位端提手法时，左侧关节囊韧带的最大应力 0.27 MPa，右侧关节囊韧带的最大应力 1.70 MPa (图 8)。两种手法在右旋时对右侧关节囊应力的影响类似，但矢状位端提手法对左侧关节囊的应力较小，约为旋转复位手法的 75%。总的来说，在相同载荷下，矢状位端提手法对关节囊的干扰较小。

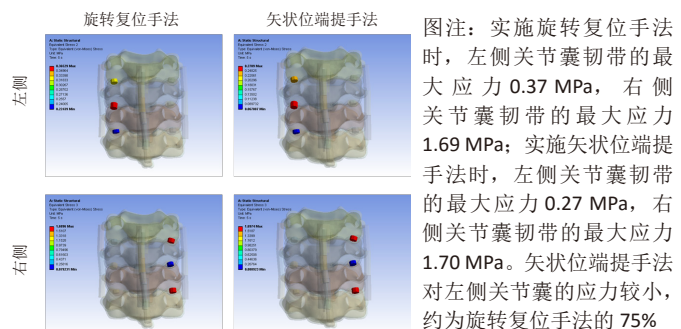
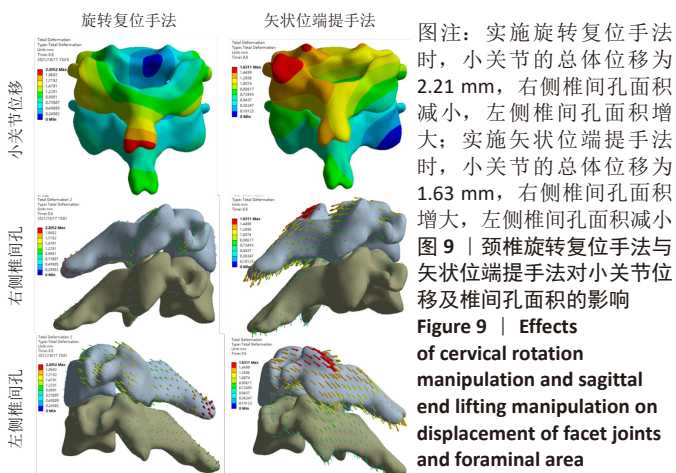


图 8 | 颈椎旋转复位手法与矢状位端提手法对关节囊应力的影响
Figure 8 | Effects of cervical rotation manipulation and sagittal end lifting manipulation on joint capsule stress

2.4 两种手法对小关节位移及椎间孔面积的改变 实施矢状位旋转手法时，小关节的总体位移为 2.21 mm，右侧椎间孔面积减小，由整复前的 38.36 mm² 变为整复后的 36.90 mm²，左侧椎间孔面积增大，由整复前的 41.20 mm² 变为整复后的 41.57 mm²；实施矢状位端提手法时，小关节的总体位移为 1.63 mm，右侧椎间孔面积增大，由整复前的 38.36 mm² 变为整复后的 39.36 mm²，左侧椎间孔面积减小，由整复前的 41.20 mm² 变为整复后的 40.81 mm² (图 9，表 2)。与旋转复位手法相比，矢状位端提手法对小关节的位移改变较小，操作时较为安全。另外，在同一体位下整复时 (颈部

前屈、左侧弯、下颌右旋位), 两种手法对双侧椎间孔面积的改变相反, 这可以为伴有不同部位椎间孔狭窄患者在实施手法整复时提供一定的参考。



图注: 实施旋转复位手法时, 小关节的总体位移为 2.21 mm, 右侧椎间孔面积减小, 左侧椎间孔面积增大; 实施矢状位端提手法时, 小关节的总体位移为 1.63 mm, 右侧椎间孔面积增大, 左侧椎间孔面积减小

Figure 9 | Effects of cervical rotation manipulation and sagittal end lifting manipulation on displacement of facet joints and foraminal area

表 2 | 两种手法对椎间盘、关节囊应力、小关节位移及椎间孔面积的影响
Table 2 | Effects of cervical rotation manipulation and sagittal end lifting manipulation on intervertebral disc, joint capsule stress, facet joint displacement and foraminal area

项目	矢状位端提手法 (左后方)	旋转复位手法 (右旋)	
C ₄₋₅ 椎间盘	最大范式等效应力 (MPa)	2.6	8.06
	总形变 (mm)	0.9	1.05
	纤维环膨出方向	左后方	左前外
关节囊应力 (MPa)	左侧	0.27	0.37
	右侧	1.7	1.69
小关节位移 (mm)	1.63	2.21	
椎间孔面积 (mm ²)	左侧	41.20 → 40.81	41.20 → 41.57
	右侧	38.36 → 39.36	38.36 → 36.90

总的来说, 与旋转复位手法相比, 矢状位端提手法对小关节位移、椎间盘应力/形变程度改变较小, 因此, 施术时结合患者病情与手法生物力学改变选择更为安全的手法。

3 讨论 Discussion

颈椎病的临床治疗主要分为手术和非手术疗法, 非手术疗法包括药物、物理治疗和手法等方法^[21]。颈部矢状位端提手法属于中医正骨整复类手法, 在向后拔伸颈椎的基础上, 于患者颈椎活动极限时施加一个瞬时且短促的拔伸力, 从而使颈椎得到复位的一种手法, 通过放松肌肉和纠正异常关节突关节来重建颈部肌肉骨骼平衡, 这种手法是一个复合过程包括屈伸、侧屈和旋转^[22-23]。颈椎旋转复位手法多用于神经根型颈椎病的治疗, 在坐/卧位的情况下牵引或拔伸向患者侧屈并向健侧旋转^[24]。不同体位会对旋转时颈椎间盘位移和内在应力产生影响, 目前较为推荐的是中立位和前屈位^[16], 其理论基础多源于《医宗金鉴·正骨心法要旨》: “机触于外, 巧生于内, 手随心转, 法从手出”, 并产生了正骨八法, 即摸、按、端、提、推、拿、按、摩^[25-26]。旋转和端提类手法可以微调小关节直接的相对关系, 改变神经根与致压物的相对位置, 降低髓核内的压力, 有助于减轻小关节错位及神经压迫的症状^[27-28]。椎间盘具有一定的黏弹性, 矢状位端提法可通过瞬时的定点力, 使头部向后运动,

并使颈椎前凸角增加, 增加施术部位椎间盘的椎间高度, 使椎间盘内处于放松状态, 盘内负压明显下降, 促进突出髓核的回纳^[29]。椎间高度的增加还使韧带绷紧, 更易促使突出物回纳, 从而解除压迫消除疼痛, 同时纠正小关节的错缝和肌肉的力线。施术前的局部按摩和穴位点压有助于改善颈部肌肉筋膜的缺血状态, 放松局部肌肉, 从而对颈椎肌肉、韧带、关节、椎间盘起到一个整体微调的作用。

对于分析模型的建立, 文献中报道的方法较多, 但一般以通过 CT 直接提取骨骼数据最为常用。此次研究根据目前较常用的有限元建模与分析软件, 建立了仿真程度较高、外形逼真的颈椎三维模型, 重建了椎体骨皮质、松质骨、椎间盘、软骨终板等解剖结构, 并通过弹簧单元较好地模拟了前纵韧带、后纵韧带、黄韧带、棘突间韧带等软组织的功能。通过模型的有效性验证, 观察到此次研究模型各个节段活动度在前屈-后伸、侧屈和旋转上与既往研究的报道类似, 说明此次颈椎模型能够较好地模拟颈部的解剖结构, 可准确反映颈椎在不同载荷条件下纤维环、椎间盘、小关节的受力情况。

颈椎手法可通过改善小关节的错位关系、神经根与致压物的相对位置关系, 改善局部的异常力学、组织粘连, 减轻神经根压迫, 进而改善颈椎病患者症状^[30]。多项临床研究指出, 端提手法治疗颈椎病具有明显的临床疗效, 且无明显不良事件发生^[23, 31-33]。在引发颈椎病的致病因素中, 椎间盘突出、小关节错位和椎间孔的狭窄是导致患者出现症状的重要因素, 而 C₄₋₆ 颈椎节段在颈椎生理曲度下承受较大的前屈扭矩, 是颈椎病最容易发生退变的节段^[34]。因此, 此次研究建立 C₃₋₆ 颈椎模型进行有限元分析, 可更完整概括颈椎节段的生物力学改变, 并选定 C₄₋₅ 为目标节段, 对其椎间盘、小关节和椎间孔的改变等指标进行分析^[35]。此外, 不适当的手法可能会加重颈椎间盘破裂, 导致患者症状加重, 而目前对于传统颈椎旋转复位手法与矢状位端提手法尚缺乏相关研究, 此次研究通过有限元分析的方法, 比较两种手法对施术节段椎间盘、小关节和椎间孔大小的影响。

椎间盘是承当脊柱解剖学功能重要的结构, 椎间盘内部髓核具有承受载荷、缓冲应力的作用, 纤维环可维持椎间盘的高度, 防止髓核压迫变形严重。应力分析结果显示, 相比于旋转复位手法, 矢状位端提手法在施术时对椎间盘干扰较少, 椎间盘的压力和形变程度分别减少 67.7% 和 14.3%, 提示矢状位端提手法在施术时相对较为安全。矢状位端提手法对椎间盘的干扰较少可能与施力的方向有关, 旋转复位手法对椎间盘的剪切应力较大, 故而会增加对椎间盘的压力和变形。但是, 由于矢状位端提手法会向后挤压髓核, 有加重髓核突出的风险, 因此, 施术时也应该控制力度大小, 对于已经存在椎间盘突出出的患者, 应避免过大角度的端提, 以预防并发症的发生。

在小关节位移上, 选择手法对小关节的影响也较大, 在同等施力大小时, 旋转复位手法的小关节位移增大了 35.6%, 说明在进行颈椎手法整复时, 旋转复位手法所需的施术力度较小, 但相对风险也更大。在椎间孔大小的改变上, 在相同的整复体

位和施术方向时,两种手法的椎间孔大小变化却相反。实施旋转复位手法时,小关节的总体位移为2.21 mm,右侧椎间孔面积减小,左侧椎间孔面积增大;实施矢状位端提手法时,右侧椎间孔面积增大,左侧椎间孔面积减小,这提示对于不同的椎间孔狭窄,可以采用不同的整复手法。对于已经存在椎间孔狭窄的患者,应通过影像学等资料评估哪侧椎间孔出现了狭窄,然后根据手法生物力学表现采用更为适宜的手法。

使用颈椎旋转复位手法时,要注意旋转的方向与患者的体位。一项对运用旋转复位手法对颈椎间盘位移和椎间孔容积的研究指出,旋转侧的椎间盘后部会向后位移,导致椎间孔容积变小,旋转对侧椎间盘后部向前位移,引起椎间孔容积变大,这与此次研究中旋转复位手法的研究结果一致^[15]。提示使用旋转复位手法治疗神经根型颈椎病,应向健侧旋转,而在体位选择时要结合患者病情的实际情况,选择前屈位或者中立位。对于颈部端提手法的生物力学研究较少,有研究表明,端提手法时颈椎被提伸,且在屈伸、侧屈和旋转方位均产生角度^[23],此次研究初步探讨了矢状位端提手法对小关节位移、椎间盘应力/形变程度、关节囊应力和椎间孔面积的影响,并与旋转复位手法进行比较,以便在临床中结合患者病情,并根据生物力学参数,选择合适的施术手法。

综上所述,与颈椎旋转复位手法相比,矢状位端提手法对小关节位移、椎间盘应力/形变程度、关节囊应力和椎间孔面积改变较小,在结合患者病情与手法生物力学改变的情况下,施术时可能相对较为安全,此次研究进一步阐述了矢状位端提手法的生物力学和治疗机制。此外,研究也存在一些不足之处:比如治疗前未对矢状位端提手法的操作角度、力度进行测量,只参考了既往文献的报道;仅对矢状位端提手法(左后方)与旋转复位手法(右旋)的生物力学方面进行初步研究,而左右旋转、左后方与右后方端提的比较未有研究;研究没有模拟颈椎间盘突出压迫神经的状态,无法分析手法治疗时突出物与神经根的关系是否存在改变;最后,此次研究结论还需在临床研究中进一步证实与实践应用。在未来的研究中,随着技术和研究手段的进步,能够通过三维动作捕捉系统或更先进的影像设备,在人体上对矢状位端提手法治疗神经根型颈椎病的机制提供更高水平的证据。

作者贡献: 研究设计者为第一作者和通讯作者,全体作者参与实验,第一作者成文,通讯作者审核。

利益冲突: 文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让: 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范: 该研究遵守国际医学期刊编辑委员会《学术研究实验与报告和医学期刊编辑与发表的推荐规范》。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发表宗旨。

4 参考文献 References

[1] ABOLA MV, KNAPIK DM, HAMPARSUMIAN AA, et al. Relationship Between Foraminal Area and Degenerative Changes in the Lower Cervical Spine with Implications for C5 Nerve Root Palsy. *Orthopedics*. 2018;41(4):e506-e510.

[2] YILMAZ M, YUCESOY K, ERBAYRAKTAR RS, et al. Anterior hybrid construction of multilevel cervical disc disease and spondylolytic spinal stenosis: surgical results and factors affecting adjacent segment problems. *J Orthop Surg Res*. 2021;16(1):298.

[3] KEIDAN L, BARASH A, LENZNER Z, et al. Sexual dimorphism of the posterior cervical spine muscle attachments. *J Anat*. 2021;239(3):589-601.

[4] ARTEMIADIS A, LIAMPAS A, HADJIIOGEOU L, et al. Myelopathy associated with SARS-COV-2 infection: A systematic review. *Neurol Res*. 2021;43(8):633-641.

[5] KAMAKURA D, FUKUTAKE K, NAKAMURA K, et al. Acromegaly presenting with myelopathy due to ossification of posterior longitudinal ligament: a case report. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):353.

[6] THEODORE N. Degenerative cervical spondylosis. *N Engl J Med*. 2020;383(2):159-168.

[7] BINDER AI. Cervical spondylosis and neck pain. *BMJ*. 2007;334(7592):527-531.

[8] 程波, 潘国良, 董晓薇, 等. 刺血疗法治疗神经根型颈椎病的临床文献研究[J]. *陕西中医药大学学报*, 2017,40(4):140-144.

[9] ELMASRY SS, ASFOUR SS, TRAVASCIO F. Finite Element Study to Evaluate the Biomechanical Performance of the Spine After Augmenting Percutaneous Pedicle Screw Fixation With Kyphoplasty in the Treatment of Burst Fractures. *J Biomech Eng*. 2018;140(6).doi: 10.1115/1.4039174.

[10] 蔡凯文, 蒋国强, 卢斌, 等. 椎间隙骨水泥渗漏的不同分型对邻椎相邻终板应力分布的影响: 三维有限元研究[J]. *中华骨科杂志*, 2019,39(6):364-373.

[11] GUAN W, SUN Y, QI X, et al. Spinal biomechanics modeling and finite element analysis of surgical instrument interaction. *Comput Assist Surg (Abingdon)*. 2019; 24(sup 1): 151-159.

[12] MANICKAM PS, ROY S. The biomechanical study of cervical spine: A Finite Element Analysis. *Int J Artif Organs*. 2022;45(1):89-95.

[13] GANDHI AA, GROSLAND NM, KALLEMEYN NA, et al. Biomechanical Analysis of the Cervical Spine Following Disc Degeneration, Disc Fusion, and Disc Replacement: A Finite Element Study. *Int J Spine Surg*. 2019;13(6):6066.

[14] YOGANANDAN N, KUMARESAN S, PINTAR FA. Geometric and mechanical properties of human cervical spine ligaments. *J Biomech Eng*. 2000;122(6):623-629.

[15] 黄学成, 叶林强, 梁德, 等. 三维有限元模型分析旋转手法中旋转方向对颈椎间盘位移和椎间孔面积的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2018,22(3):404-408.

[16] 黄学成, 叶林强, 江晓兵, 等. 不同体位下颈椎旋转手法对颈椎间盘位移和内在应力的影响[J]. *中国康复理论与实践*, 2017,23(12):1470-1475.

[17] WU JC, HUANG WC, TSAI HW, et al. Pedicle screw loosening in dynamic stabilization: incidence, risk, and outcome in 126 patients. *Neurosurg Focus*. 2011;31(4):E9.

[18] 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.

[19] PANJABI MM, NIBU K, CHOLEWICKI J. Whiplash injuries and the potential for mechanical instability. *Eur Spine J*. 1998;7(6):484-492.

[20] 陈强, 侯铁胜, 杨国标, 等. 全颈椎三维有限元模型的建立[J]. *第二军医大学学报*, 2006,27(5):554-555.

[21] CHILDRESS MA, BECKER BA. Nonoperative management of cervical radiculopathy. *Am Fam Physician*. 2016;93(9):746-754.

[22] 张党升, 薛卫国. 颈椎端提法治疗神经根型颈椎病的临床研究[J]. *按摩与导引*, 2005,21(6):5-6.

[23] 耿楠, 刘迪, 刘卉, 等. 颈部端提手法对颈型颈椎病患者颈椎长度及角度影响的运动学参数分析[J]. *上海中医药杂志*, 2017,51(3):18-20+40.

[24] CYNTHIA KP, CHRISTIAN WAP, JÜRIG H, et al. Symptomatic, Magnetic Resonance Imaging-Confirmed Cervical Disk Herniation Patients: A Comparative-Effectiveness Prospective Observational Study of 2 Age- and Sex-Matched Cohorts Treated With Either Imaging-Guided Indirect Cervical Nerve Root Injections or Spinal Manipulative Therapy. *J Manipulative Physiol Ther*. 2016;9(3):210-217.

[25] 于栋, 张军清, 王正骨流派源流考[J]. *中医正骨*, 2016,28(2):73-75.

[26] 王尚全, 孙树椿, 陈明, 等. 清宫正骨流派学术思想初探[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2017,25(9):68-70.

[27] MASARACCHIO M, KIRKER K, STATES R, et al. Thoracic spine manipulation for the management of mechanical neck pain: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2019;14(2):e0211877.

[28] MALONE Q, PASSMORE S, MAIERS M. Comparing Two Moderate-to-Vigorous Physical Activity Accelerometer Cut Points in Older Adults With Neck and Back Disabilities Undergoing Exercise and Spinal Manipulation Interventions. *J Aging Phys Act*. 2020;28(2):255-261.

[29] 龙军. 推拿结合颈椎端提法联合半夏白术天麻汤加减治疗椎动脉型颈椎病38例临床观察[J]. *风湿病与关节炎*, 2020,9(4):24-26+44.

[30] 刘建军, 董万涛, 宋敏, 等. 坐位端提旋扳手法联合盐酸氟桂利嗪胶囊口服治疗椎动脉型颈椎病55例临床观察[J]. *甘肃中医药大学学报*, 2016,33(3):77-81.

[31] 陈芳龙. 推拿端提手法治疗椎动脉型颈椎病疗效观察[J]. *浙江中医杂志*, 2009, 44(5):362-363.

[32] 郑勇, 刘培俊, 周勇. 端提法推拿治疗颈椎间盘突出症148例[J]. *中国临床医生*, 2005,33(2):45-46.

[33] 朱俊琛, 苏国宏, 孙奎, 等. 颈椎端提法治疗神经根型颈椎病62例[J]. *安徽中医学报*, 2007,26(3):6-7.

[34] 邓真, 王玉鹏, 赵璐璐, 等. 颈椎病患者项韧带钙化与颈椎曲度的相关性分析[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2023,31(1):19-24.

[35] 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):5-8.

(责任编辑: GW, ZN, QY, ZLJ)