

· 基础研究 ·

颈椎定位旋转扳法对不同曲度颈椎内部结构应力的影响

沈知彼, 王辉昊, 王宽, 邓真, 陈威烨, 詹红生

(上海中医药大学附属曙光医院, 上海市中医药研究院骨伤科研究所, 上海 201203)

摘要 目的: 观察颈椎定位旋转扳法对不同曲度颈椎内部结构应力的影响。方法: 基于可靠的正常颈椎有限元模型(正常模型), 结合 1 例颈椎曲度变直患者和 1 例颈椎反弓患者的颈椎 CT 图像, 建立曲度变直颈椎有限元模型(变直模型)和反弓颈椎有限元模型(反弓模型)。模拟右侧颈椎定位旋转扳法, 分别加载于正常模型、变直模型和反弓模型, 观察 3 种模型椎间盘、韧带、关节软骨和终板的应力特征。结果: ①颈椎椎间盘应力分布。正常模型椎间盘应力主要集中于 $C_6\sim C_7$ 和 C_7/T_1 椎间盘右侧纤维环, 变直模型椎间盘应力主要集中于 $C_2\sim C_3$ 椎间盘左侧纤维环, 反弓模型椎间盘应力主要集中于 $C_2\sim C_3$ 、 $C_3\sim C_4$ 、 $C_4\sim C_5$ 椎间盘右侧纤维环; 3 种模型椎间盘最高应力均集中于下段颈椎椎间盘纤维环, 其中正常模型最高应力集中于 $C_6\sim C_7$ 右侧钩椎关节处, 变直模型和反弓模型最高应力集中区域分别为 $C_7\sim T_1$ 左侧钩椎关节处和 $C_5\sim C_6$ 左侧钩椎关节处; 反弓模型椎间盘最高应力值最大, 变直模型次之, 正常模型最小。②颈椎主要韧带应力分布。正常模型韧带应力主要集中于 $C_2\sim C_3$ 、 $C_3\sim C_4$ 、 $C_4\sim C_5$ 双侧关节囊韧带及横韧带, 最高应力集中于 $C_3\sim C_4$ 右侧关节囊韧带; 变直模型韧带应力主要集中于寰枕后韧带、前纵韧带(寰枕节段)、横韧带, 最高应力集中于齿突尖韧带; 反弓模型韧带应力主要集中于下颈段右侧关节囊韧带、上颈段左侧关节囊韧带、横韧带, 最高应力集中于寰枕后韧带。③颈椎关节软骨应力分布。3 种模型关节软骨应力均主要集中于寰枕关节两侧, 最高应力均集中于寰枢关节软骨, 正常模型和反弓模型应力主要集中区域、最高应力集中区域位于右侧, 变直模型应力主要集中区域、最高应力集中区域位于左侧; 反弓模型关节软骨最高应力值最大, 变直模型次之, 正常模型最小。④颈椎终板应力分布。正常模型、变直模型、反弓模型终板应力主要集中部位分别为 C_2 下终板、 C_3 下终板和 C_4 上终板; 正常模型终板最高应力集中于 C_3 上终板左前部, 变直模型和反弓模型终板最高应力均集中于 C_3 上终板后部。结论: 在颈椎定位旋转扳法作用下, 不同曲度颈椎内部结构应力集中部位及大小均不同。

关键词 颈椎; 手法; 整骨; 扳法; 应力; 物理; 有限元分析

Effect of cervical fixed-position rotary pulling manipulation on internal structure stresses of cervical vertebrae with different curvature

SHEN Zhibi, WANG Huihao, WANG Kuan, DENG Zhen, CHEN Weiye, ZHAN Hongsheng

Shuguang Hospital Affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, The Institute of Traumatology and Orthopedics Affiliated to Shanghai Academy of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China

ABSTRACT **Objective:** To observe the effect of cervical fixed-position rotary pulling manipulation on internal structure stresses of cervical vertebrae with different curvature. **Methods:** A finite element model of cervical vertebrae with straightened physiological - curvature (straightened model) and a finite element model of cervical vertebrae with reversed physiological - curvature (reversed model) were created by using a reliable finite element model of normal cervical vertebrae (normal model) and the CT images of cervical vertebrae with straightened physiological - curvature and reversed physiological - curvature respectively. The loads, which simulated the cervical fixed-position rotary pulling manipulation on the right side, were exerted on normal model, straightened model and reversed model. The stress characteristics of intervertebral disc, ligament, articular cartilage and endplate of the 3 kinds of models were observed. **Results:** The intervertebral disc stresses of normal model, straightened model and reversed model concentrated mainly on the right fibrous rings of C_6/C_7 and C_7/T_1 intervertebral discs, the left fibrous ring of C_2/C_3 intervertebral disc and the right fibrous rings of C_2/C_3 , C_3/C_4 and C_4/C_5 intervertebral discs respectively. The highest stress of intervertebral discs of the 3 kinds of models concentrated on fibrous rings of intervertebral discs of lower

基金项目: 国家自然科学基金项目(81473702, 81503596, 81202707, 81001528); 上海市科学技术委员会科研计划项目(14401970402, 16401970102, 15401934100); 上海市卫生和计划生育委员会项目(2017ZZ02024, 20170242, ZXYXZ201703, ZYKC201602006, ZY3-LCPT-2-1005); 上海市市级医院新兴前沿技术联合攻关项目(SHDC12014121); 詹红生上海市名老中医学术经验研究工作室建设项目(SHGZS-2017025, SZYMZYGS4013)

通讯作者: 王辉昊 E-mail: huihaowang@126.com

cervical vertebrae. The highest stress of intervertebral discs of normal model, straightened model and reversed model concentrated on right C_6/C_7 uncovertebral joint, left C_7/T_1 uncovertebral joint and left C_5/C_6 uncovertebral joint respectively. The intervertebral disc had high-to-low highest stress value in reversed model, straightened model and normal model in turn. The ligament stresses of normal model concentrated mainly on bilateral articular capsule ligaments and transverse ligaments at C_2/C_3 , C_3/C_4 and C_4/C_5 segments, and the highest stress concentrated on right articular capsule ligament at C_3/C_4 segment. The ligament stresses of straightened model concentrated mainly on posterior occipitoatlantal ligament, occipitoatlantal anterior longitudinal ligament and transverse ligament, and the highest stress concentrated on apical dental ligament. The ligament stresses of reversed model concentrated mainly on right articular capsule ligament of lower cervical vertebrae, left articular capsule ligament of upper cervical vertebrae and transverse ligament, and the highest stress concentrated on posterior occipitoatlantal ligament. The articular cartilage stresses of the 3 kinds of models concentrated mainly on both sides of atlanto-occipital joint, and the highest stress concentrated on atlantoaxial articular cartilage. The stress concentration area and the highest stress concentration area of articular cartilage of normal model and reversed model were on the right, and those of straightened model were on the left. The articular cartilages had high-to-low highest stress value in reversed model, straightened model and normal model in turn. The endplate stresses of normal model, straightened model and reversed model concentrated mainly on lower endplates of C_2 and C_3 and upper endplate of C_4 respectively. The highest stress of endplate of normal model concentrated on the left front of upper endplate of C_3 , and those of straightened model and reversed model concentrated on the back of upper endplate of C_3 . **Conclusion:** Both stress concentration position and stress concentration value are different in internal structure of cervical vertebrae with different curvature under the action of cervical fixed-position rotary pulling manipulation.

Keywords cervical vertebrae; manipulation, osteopathic; pulling manipulation; stress, mechanical; finite element analysis

颈椎曲度的变化与颈椎相关疾病的发病密切相关^[1-3]。同一手法作用于不同曲度的颈椎,实际的作用靶点可能存在差异,并且可能因此发生意外。手法作为治疗颈椎相关疾病的常用方法之一^[4-5],虽然总体上疗效及安全性较好,但部分患者的疗效并不稳定,而且一旦发生意外,后果非常严重^[6-7]。目前有关手法对于颈椎不同曲度生物力学作用的研究鲜有报道。

颈椎定位旋转扳法是目前临床广泛应用的手法,其效果已被临床证实^[8-10],但相关的基础研究多是基于标本、体外实验及理论推导^[11-13],还没有获得手法治疗中人体颈椎内部结构变化的直接证据。有限元技术引入骨科领域后,为骨科生物力学的研究开辟了新的途径。有限元技术是研究手法治疗中作用靶点、人体颈椎内部结构变化的理想平台^[14]。为此,本研究利用有限元分析技术探讨了颈椎定位旋转扳法对不同曲度颈椎内部结构应力的影响,现总结报告如下。

1 材料与设备

1.1 数据来源 正常曲度颈椎有限元模型(正常模型)来源于课题组前期建立并已验证的模型^[15-16]。数据采集自 1 位女性健康志愿者(年龄 46 岁,身高 165 cm,体质量 63 kg)。模型(图 1)包括颅底至 T_1 椎体,包含椎间盘、韧带、软骨等附属结构,关节突关

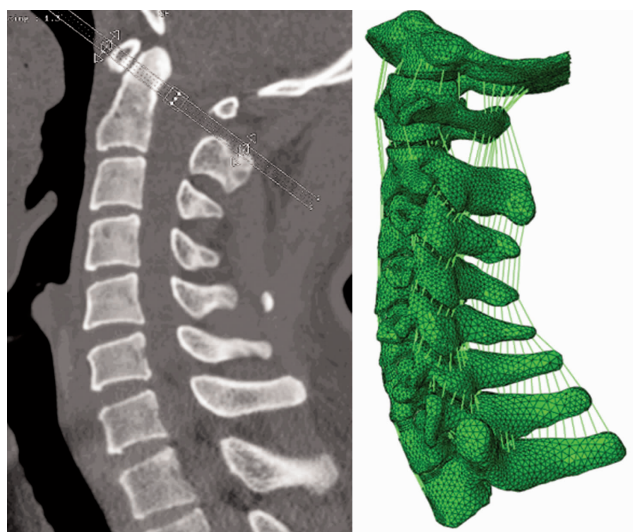
节接触设置为无摩擦面接触,软骨终板与上下椎体使用绑定设置,椎间盘包括纤维环、髓核,纤维环包括基质及 5 层互成角度的纤维部分,髓核初始内压设为 0 MPa;颈椎曲度弧弦距为 15 mm,采用 Borden 法^[17]测定。另外选取 2 例颈型颈椎病患者,获取颈部 CT 图像用于建立曲度变直颈椎有限元模型(变直模型)和反弓颈椎有限元模型(反弓模型)。1 例颈椎曲度变直(女性,年龄 43 岁,身高 160 cm,体质量 58 kg)、1 例颈椎反弓(女性,年龄 48 岁,身高 162 cm,体质量 60 kg),2 例患者均不合并其他颈椎相关病变。实验方案经过医院医学伦理委员会审查批准。

1.2 实验设备 GE Light Speed VCT 64 层螺旋 CT (GE 公司);MIMICS13.1 交互式医学影像控制软件(Materialise 公司);Geomagic8.0 逆向工程软件(Geomagic 公司);Abaqus 6.13 有限元分析软件(Abaqus 公司)。

2 方法

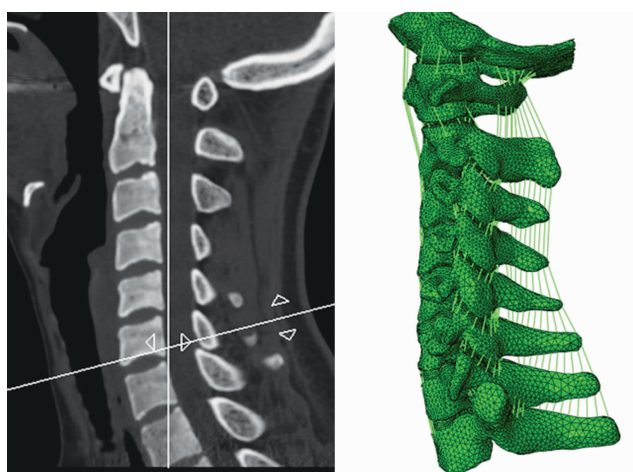
2.1 曲度变直和反弓颈椎有限元模型建立 使用 GE Light Speed VCT 64 层螺旋 CT 分别对 2 例颈型颈椎病患者枕骨底上 2 mm 至 T_1 下 2 mm 进行扫描。受试者仰卧,颈肩背部自然放松,扫描断面与身体垂直。扫描参数:140 kV,200 mA,层厚 0.625 mm,分辨率 512×512 。为保证 3 个模型间的同质性,以已有正常模型为基础,参照颈椎曲度变直和颈椎反弓患者的

矢状位 CT 图像,调整颈椎椎体在矢状面上的前后距离,分别建立变直模型和反弓模型(图 2、图 3),颈椎曲度弧弦距分别为 3 mm、-5 mm。



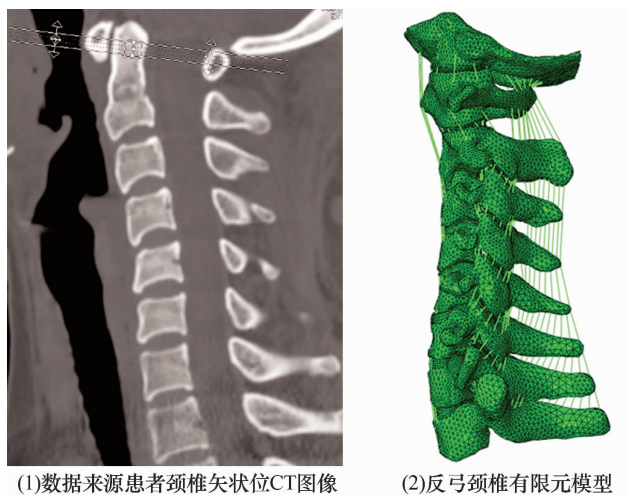
(1)数据来源志愿者颈椎矢状位CT图像 (2)正常曲度颈椎有限元模型

图 1 正常曲度颈椎有限元模型建立



(1)数据来源患者颈椎矢状位CT图像 (2)曲度变直颈椎有限元模型

图 2 曲度变直颈椎有限元模型建立



(1)数据来源患者颈椎矢状位CT图像 (2)反弓颈椎有限元模型

图 3 反弓颈椎有限元模型建立

2.2 颈椎定位旋转扳法模拟加载 3 种模型边界条件设置一致, T_1 椎体下表面被固定。理想状态下正常颈椎双侧对称,同时考虑到绝大部分治疗者为右利手,因此本研究仅模拟右侧手法操作。课题组前期已完成整骨手法参数在体测量、采集和提取^[18],本研究选择其中部分参数,并适当调整。分颈椎初始位、颈椎向上牵引、下颌右旋、颈椎右转至极限位、寸劲扳动共 5 个阶段进行颈椎定位旋转扳法模拟加载,每个阶段加载该期末 3 个平面的角位移。具体步骤:预先加载头颅重量 100 N,向上牵引 200 N 并维持,右旋下颌 25°,逐渐过度至 75°(正常颈椎生理活动极限),最后再增加 5°模拟扳法。见图 4。

3 结果

3.1 颈椎椎间盘应力分布 正常模型椎间盘应力主要集中于 $C_6\sim_7$ 和 $C_7\sim T_1$ 椎间盘右侧纤维环,变直模型椎间盘应力主要集中于 $C_2\sim_3$ 椎间盘左侧纤维环,反弓模型椎间盘应力主要集中于 $C_2\sim_3$ 、 $C_3\sim_4$ 、 $C_4\sim_5$ 椎间盘

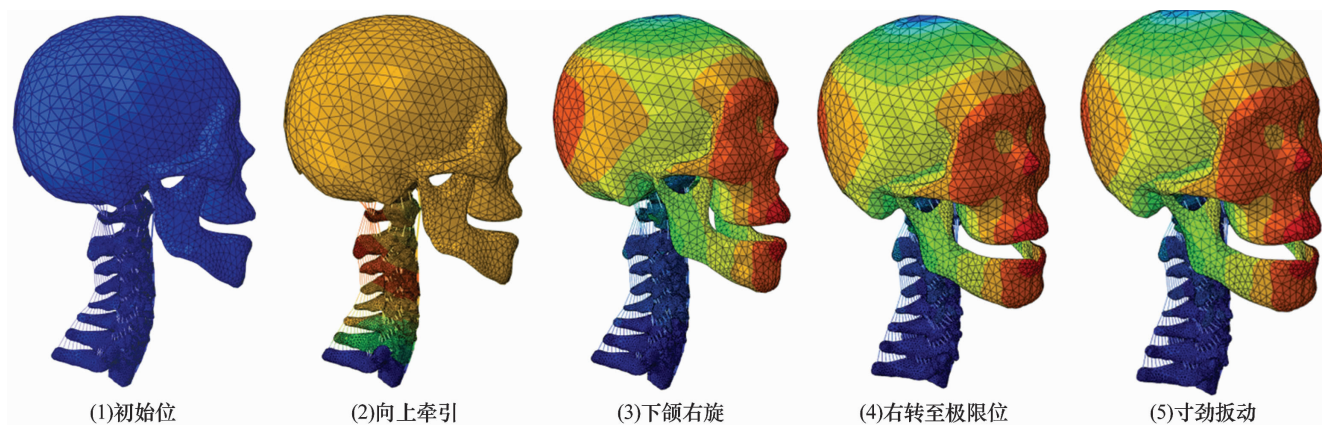


图 4 颈椎定位旋转扳法模拟加载正常曲度颈椎有限元模型

头颅网格仅为显示体

右侧纤维环;3 种模型椎间盘最高应力均集中于下段颈椎椎间盘纤维环,其中正常模型最高应力集中于 $C_6 \sim C_7$ 右侧钩椎关节处,变直模型和反弓模型最高应力集中区域分别为 $C_7 \sim T_1$ 左侧钩椎关节处和 $C_5 \sim C_6$ 左侧钩椎关节处;反弓模型椎间盘最高应力值最大,变直模型次之,正常模型最小。

3.2 颈椎主要韧带应力分布 正常模型韧带应力主要集中于 $C_2 \sim C_3$ 、 $C_3 \sim C_4$ 、 $C_4 \sim C_5$ 双侧关节囊韧带及横韧带,最高应力集中于 $C_3 \sim C_4$ 右侧关节囊韧带;变直模型韧带应力主要集中于寰枕后韧带、前纵韧带(寰枕节段)、横韧带,最高应力集中于齿突尖韧带;反弓模型韧带应力主要集中于下颈段右侧关节囊韧带、上颈段左侧关节囊韧带、横韧带,最高应力集中于寰枕后韧带。

3.3 颈椎关节软骨应力分布 3 种模型关节软骨应力均主要集中于寰枕关节两侧,最高应力均集中于寰枢关节软骨,正常模型和反弓模型应力主要集中区域、最高应力集中区域位于右侧,变直模型应力主要集中区域、最高应力集中区域位于左侧;反弓模型关节软骨最高应力值最大,变直模型次之,正常模型最小。

3.4 颈椎终板应力分布 正常模型、变直模型、反弓模型终板应力主要集中部位分别为 C_2 下终板、 C_3 下终板和 C_4 上终板;正常模型终板最高应力集中于 C_3 上终板左前部,变直模型和反弓模型终板最高应力均集中于 C_3 上终板后部。

4 讨 论

有限元分析法是一种在工程学中广泛应用的数学物理方法,自引入骨科领域后,为骨科生物力学的研究开辟了新的途径。脊椎几何形状复杂、组织材料属性不一致、加载负荷和边界条件变化较大,这些特点使有限元分析法成为分析其生物力学特征的理想工具^[19]。

Dean 等^[20-21]的研究发现,在正常生理状态下,颈椎屈伸和旋转运动过程中最大应力主要位于 $C_5 \sim C_6$ 节段。魏威等^[22]的研究发现,颈椎曲度变直后,椎体和关节突关节上的应力均增加。从本研究结果来看,在右侧旋转扳法作用下,3 种模型的椎间盘、韧带、关节软骨及终板的应力主要集中部位、最高应力集中部位及最高应力值均不同。这说明右侧旋转扳法作用于不同曲度颈椎后,作用的靶点、作用力大小

均有差异。如果治疗过程中手法实施不当,就可能出现预设靶点未达到治疗所需作用力而影响治疗效果,或非预设靶点受到过大的作用力而发生韧带撕裂、软骨损害、关节突关节脱位或椎间盘突出。因此,在施行扳法前需要完善影像学检查,准确评估、明确诊断、合理操作,以避免医源性损伤。

本研究的结果提示,在颈椎定位旋转扳法作用下,不同曲度颈椎内部结构应力集中部位及大小均不同。恢复颈椎的生理曲度对维持颈椎的远期稳定及恢复颈椎本身的生物力学环境有重要意义^[23-24]。颈椎生理曲度异常的类型复杂多样,本研究仅对颈椎曲度正常、颈椎曲度变直及颈椎反弓 3 种类型的颈椎曲度变化进行了分析,今后需要开展更复杂的建模和计算才能获得更完善的结论。同时,手法干预过程中颈椎内部组织结构除应力变化外,功能活动和神经通道容积等也会产生变化。此外,今后的研究中还应考虑到颈椎结构的个体化差异。

5 参考文献

- [1] 何剑波,苏国义,林定坤. 未成年人颈痛与颈椎曲度相关性的回顾分析[J]. 中华中医药杂志, 2017, 32(8): 3812 - 3815.
- [2] 张玉婷,王翔,詹红生. 颈椎曲度的测量方法及其临床意义[J]. 中国骨伤, 2014, 27(12): 1062 - 1064.
- [3] 陈忻,朱立国,于杰,等. 中医综合疗法对神经根型颈椎病颈椎曲度变化的影响[J]. 北京中医药, 2014, 33(4): 280 - 282.
- [4] VARATHARAJAN S, FERGUSON B, CHROBAK K, et al. Are non - invasive interventions effective for the management of headaches associated with neck pain? An update of the Bone and Joint Decade Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders by the Ontario Protocol for Traffic Injury Management (OPTIMA) Collaboration[J]. Eur Spine J, 2016, 25(7): 1971 - 1999.
- [5] CASSIDY JD, BRONFORT G, HARTVIGSEN J. Should we abandon cervical spine manipulation for mechanical neck pain? No[J]. BMJ, 2012, 344: 3680.
- [6] KAWCHUK GN, JHANGRI GS, HURWITZ EL, et al. The relation between the spatial distribution of vertebral artery compromise and exposure to cervical manipulation[J]. J Neurol, 2008, 255(3): 371 - 377.
- [7] 王辉昊,詹红生,张明才,等. 手法治疗颈椎病意外事件分析与预防策略思考[J]. 中国骨伤, 2012, 25(9): 730 - 736.

- [8] 詹红生, 石印玉, 张明才, 等. 基于“骨错缝、筋出槽”病机认识的椎间盘病症诊治新观点[J]. 上海中医药杂志, 2007, 41(9): 4-6.
- [9] 魏戌, 朱立国, 高景华, 等. 旋提手法对椎动脉型颈椎病患者经颅多普勒相关指标的影响[J]. 中医杂志, 2017, 58(18): 1573-1576.
- [10] 王立童, 詹红生. 以“骨错缝、筋出槽”理论探讨颈椎病的手法治疗[J]. 中国运动医学杂志, 2009, 28(6): 703-705.
- [11] 李义凯, 李军朋. 与颈部手法治疗相关的解剖学研究[J]. 中国临床康复, 2004, 8(17): 3348-3350.
- [12] 姜宏, 施杞. 颈椎手法的生物力学研究与探索[J]. 中国中医骨伤科杂志, 1999, 7(2): 52.
- [13] 纪双泉, 麦丽玲, 陈建平, 等. 整脊手法结合神经松动术治疗神经根型颈椎病疗效观察[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(5): 582-584.
- [14] 王辉昊, 陈博, 詹红生. 有限元分析技术在颈椎推拿手法生物力学研究中的应用[J]. 生物医学工程学杂志, 2013, 30(5): 1123-1126.
- [15] 王辉昊, 沈知彼, 邓真, 等. 人体全颈椎及椎动脉流固耦合模型的构建[J]. 浙江大学学报(医学版), 2015, 44(2): 131-137.
- [16] WANG K, WANG H, DENG Z, et al. Cervical traction therapy with and without neck support: A finite element analysis[J]. Musculoskelet Sci Pract, 2017, 28: 1-9.
- [17] KRISTJANSSON E, JONSSON H. Is the sagittal configuration of the cervical spine changed in women with chronic whiplash syndrome? A comparative computer-assisted radiographic assessment[J]. J Manipulative Physiol Ther, 2002, 25(9): 550-555.
- [18] DENG Z, WANG K, WANG H, et al. A finite element study of traditional Chinese cervical manipulation[J]. Eur Spine J, 2017, 26(7): 1-10.
- [19] YOGANANDAN N, KUMARESAN S, VOO L, et al. Finite element applications in human cervical spine modeling[J]. Spine(Phila Pa 1976), 1996, 21(15): 1824-1834.
- [20] DEAN CL, GABRIEL JP, CASSINELLI EH, et al. Degenerative spondylolisthesis of the cervical spine: analysis of 58 patients treated with anterior cervical decompression and fusion[J]. Spine J, 2009, 9(6): 439-446.
- [21] TEN HAVE HA, EULDERINK F. Degenerative changes in the cervical spine and their relationship to its mobility[J]. J Pathol, 1980, 132(2): 133-159.
- [22] 魏威, 叶杨, 王以进. 颈椎生理曲度变直的生物力学研究及临床意义[J]. 浙江中西医结合杂志, 2011, 21(9): 610-613.
- [23] 曾岩, 党耕町, 马庆军. 颈椎前路术后融合节段曲度变化与轴性症状和神经功能的相关性研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2004, 14(9): 520-523.
- [24] 贾连顺, 李家顺. 颈椎外科手术学[M]. 上海: 上海远东出版社, 2001: 139-141.

(收稿日期: 2017-11-20 本文编辑: 李晓乐)

· 简 讯 ·

《中医正骨》广告业务范围

■ 医疗、科研、教学单位及药械生产营销企业介绍

■ 用于骨伤科医疗、科研、教学的器械设备介绍

■ 用于骨伤科医疗、科研、教学的中西药物及中间体介绍

■ 各种形式的骨伤科讯息, 如书刊征订、招生启事、会议通知等

《中医正骨》2018 年度广告收费标准

刊登位置	印刷规格	版面	每期收费标准(元)	半年收费标准(元)	全年收费标准(元)
封二	大 16 开彩色铜版纸印刷	全版	9 000	54 000	75 600
封三	大 16 开彩色铜版纸印刷	全版	8 000	48 000	67 200
封底	大 16 开彩色铜版纸印刷	全版	10 000	60 000	84 000
前插页	大 16 开彩色铜版纸印刷	全版	7 000	42 000	58 800
后插页	大 16 开彩色铜版纸印刷	全版	6 000	36 000	50 400
内文图文	大 16 开黑白铜版纸印刷	全版	3 000	18 000	25 200
	大 16 开黑白铜版纸印刷	1/2 版	1 800	10 800	15 120
内文文字	大 16 开黑白铜版纸印刷	全版	3 000	18 000	25 200
	大 16 开黑白铜版纸印刷	1/2 版	1 800	10 800	15 120