

# 力学测量在评估颈痛及手法治疗领域的应用

王宽<sup>1</sup>, 邓真<sup>1</sup>, 王辉昊<sup>1</sup>, 牛文鑫<sup>2</sup>, 詹红生<sup>1</sup>

(1.上海中医药大学附属曙光医院石氏伤科医学中心 上海市中医药研究院骨伤科研究所,上海 201203; 2.同济大学医学院,上海 200092)

**【摘要】** 手法是治疗颈痛的有效方法之一,在短期缓解颈痛症状上有一定优势。近年来,运用不同类型的力学传感器及影像学设备配合计算机软件,研究人员发现了颈痛患者与正常人在颈椎活动方面的区别,分析了手法作用于颈椎的运动学、力量大小及相关结构应力应变等力学参数。对于这些生物力学问题的研究揭示了颈痛所导致的活动功能异常,反映了颈椎调整手法的安全性,并解释了患者颈椎的异常应力以及手法的调整作用。相对而言,这些研究与临床的结合度较低,而对组织内部应力应变的分析也较为有限,针对以上问题进行深入研究对认识颈痛、规范化手法治疗将有重要意义。

**【关键词】** 颈痛; 手法,骨科; 力学

**DOI:** 10.3969/j.issn.1003-0034.2016.07.019

**Application of mechanical measurement in assessment of neck pain and manual therapy** WANG Kuan, DENG Zhen, WANG Hui-hao, NIU Wen-xin, and ZHAN Hong-sheng\*. \*Shi's Center of Orthopaedics and Traumatology, Shuguang Hospital Affiliated to Shanghai University of TCM, Institute of Traumatology and Orthopaedics, Shanghai Academy of TCM, Shanghai 201203, China

**ABSTRACT** Manual therapy is one of the effective methods in treating neck pain. It has certain advantages in the short term to ease the symptoms of neck pain. In recent years, using different mechanical sensors and imaging equipment with computer software, the researchers found the difference of cervical activity between health adult and patients with neck pain. They also analyzed the kinematics, magnitude of force, stress and strain of the related structure and other mechanical parameters during cervical manipulation. These biomechanical researches revealed the functional anomaly caused by neck pain, reflect the safety of cervical manipulation, explain the abnormal stress of neck pain and the adjusting role of manipulation. Relatively speaking, these studies are too basic, and their analysis also are limited for the stress and strain about internal tissue. Study to aim directly at above problems will have important significance in understanding neck pain and standardizing manipulation therapy.

**KEYWORDS** Neck pain; Manipulation, orthopedic; Mechanics

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2016, 29(7):668-672 www.zggszz.com

颈痛是骨伤科常见症状,治疗颈痛的有效方法之一即是手法治疗<sup>[1]</sup>,主要指的是整脊学中所运用的高速低幅的调整手法(High-velocity low-amplitude manipulation, HVLA),相类似的还有我国的颈椎旋转扳法,前者有不同的调整技术,而后者有不同的手法流派,故各有不同的操作要点。通常患者处于坐位或仰卧位,施术者将手定位于作用节段,先使患者的颈椎旋转至亚生理极限位,然后突然小幅度发力,通

常以听到“咔哒”声响为调整成功的标志。手法对于颈痛的作用主要体现在短期疗效上<sup>[2]</sup>,通常以视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS),颈椎功能障碍指数(neck disability index, NDI)等颈痛及颈部功能方面的量表来评估。但是,颈痛患者与正常人颈椎活动的区别,不同的手法施加颈部的力的大小、方向和速度,以及手法造成结构及活动上的改变等都是典型的生物力学问题<sup>[3]</sup>。这些参数的力学测量对于理解正常人与颈痛患者颈椎的生物力学,手法的作用机制及疗效影响因素等方面有很大意义,故本文检索近几年文献,针对力学测量在评估颈痛及手法治疗领域方面的文献进行回顾及讨论。

## 1 颈椎的运动学评估

### 1.1 颈痛患者与健康人颈椎的运动学

**1.1.1 颈椎的整体运动学** 研究颈椎的整体运动学,即通过研究头颅相对于全局坐标或相对于某一

基金项目:“中医骨伤科学”国家重点学科(编号:100508);国家自然科学基金资助项目(编号:81473702,81503596);上海领军人才项目(编号:041);上海市科委项目(编号:14401970402,15401934100);上海高校“中医脊柱病损研究”创新团队建设项目(编号:2009-26)

Fund program: National Key Disciplines of Orthopedics and Traumatology of TCM (No.100508)

通讯作者:詹红生 E-mail:shgsyjs@139.com

Corresponding author: ZHAN Hong-sheng E-mail:shgsyjs@139.com

相对坐标(通常为某一胸椎)的运动来代表颈椎的活动情况,通过用固定于头颅或躯干某些骨性标志物的三维传感器实现。

Sarig 等<sup>[4]</sup>运用虚拟现实技术,给予受试者一些视觉上的交互式指令,使头部指向目标方向,发现头颅的运动速度在区别慢性颈痛患者和正常人方面有较高的敏感性和特异性,而运动恐惧与慢性颈痛患者的头颅运动关系密切<sup>[5]</sup>。Vikne 等<sup>[6]</sup>利用电磁动作捕捉系统比较了挥鞭伤导致的慢性颈痛患者与健康受试者在矢状面的前屈后伸过程中头部的运动,发现前者的移动速度和位移更小。同一团队令正常人以不同速度进行颈椎多个方向的活动,发现运动速度越快,幅度越小,平滑度越高<sup>[7]</sup>。Tsang 等<sup>[8]</sup>在健康受试者的枕骨及 T<sub>1</sub>、T<sub>6</sub>、T<sub>12</sub> 棘突上安置电磁三维传感器,并让其进行颈部活动,发现上胸段对于头颅的活动范围亦有一定的贡献,提示临床医师对于颈痛患者上胸段检查的重要性。

Yang 等<sup>[9]</sup>利用电磁三维传感器,使正常人和机械性颈部功能障碍患者进行颈椎的极限位环形运动,以 C<sub>7</sub> 棘突和胸骨上切迹连线中点及头顶作为参照点,获得了颈椎活动范围的圆锥形工作区间,通过特定公式计算颈椎工作区间的面积,发现了两组受试者间的差异。Ellingson 等<sup>[10]</sup>利用运动联动装置捕捉并计算了颈痛患者颈椎环形运动时各个时刻的瞬时螺旋轴,通过一定的阈值来判断出螺旋轴轨迹形成的“皱褶”,来代表颈椎的异常活动,发现患者治疗前后“皱褶”的数量差异有统计学意义。

颈痛会导致颈椎的运动产生变化,寻找客观指标来评估颈痛一直是该领域的研究热点之一,上述文献通过对颈椎运动学方面的探索,发现颈椎的运动速度和位移(二维平面内单方向运动)、环形活动范围和瞬时螺旋轴(三维空间的复合运动)在评估颈痛方面的价值,也发现了疼痛所造成的运动恐惧与颈椎活动的相关性,而上段胸椎对于头颅活动的影响亦不可忽略。从研究设备而言,虚拟现实技术相对简便,适合于大样本调查,而其他设备均以 C<sub>7</sub> 或 T<sub>1</sub> 作为参考点,排除了胸椎及躯干的影响,使得研究范围更有针对性。未来研究可以从颈椎整体运动学、肌肉电活动及病史相结合,进行综合评估,从而找到产生颈痛的及导致颈椎活动异常的原因。

**1.1.2 颈椎的节段间运动学** 影像学是记录颈椎几何形状、位置关系的客观方法之一。X 线可以记录二维影像信息,而 CT 则在三维内体现各个椎体节段间的详细信息。Salem 等<sup>[11]</sup>使健康人在中立位、极限旋转位做 CT 扫描,发现旋转至极限时,C<sub>5</sub> 以上椎体是伸展的、以下是屈曲的,这些耦合运动的数据为以

后研究提供了基线资料。Sugiura 等<sup>[12]</sup>比较了类风湿性关节炎累及颈椎的患者和普通颈椎病患者极限旋转位的颈椎 CT 图像,发现类风关患者寰枢关节的节段间旋转角度小于颈椎病患者,而在寰枢关节则相反,认为这种旋转角度的差异与 C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub> 小关节面的破坏程度有关。

双 C 形臂 X 线 CT 三维图像配准法<sup>[13-14]</sup>,先运用 CT 获取受试者的颈椎图像再进行三维重建,然后通过 2 个 C 形臂 X 线动态记录颈椎的运动并利用软件与 CT 三维重建进行图像校准,得到三维颈椎在空间中的运动图像,可以较精确的记录颈椎的运动学信息。Anderst 等<sup>[15]</sup>运用此技术,分析正常年轻人的颈椎运动轨迹,椎体间角度变化,以及椎体间的旋转轴轨迹,为以后研究患者提供了对照资料。他们还利用此技术获得了正常人颈椎在前屈和后伸过程中的动态图像,发现在前屈和后伸过程中,即使头颅在同一位置时,各个椎体的相对位置也会有所不同,提示可能由于颈椎前后肌肉发力不同,导致动态运动中椎体位置的差异,为建立肌肉模型提供了新的理念<sup>[16]</sup>。

相对于颈椎整体运动学,通过影像学及图像配准法可以更有针对性的分析颈椎节段间的运动学,而辐射是影响其适用性的因素之一。另一方面,上述文献多以招募的正常人为研究对象,进一步研究需要结合这些基线资料,对比颈痛患者颈椎的节段间运动学才能反映这些数据的临床意义。

## 1.2 调整手法作用于颈椎的运动学

Williams 等<sup>[17]</sup>利用安装在健康受试者头上的运动学传感器,分别测试了两种针对 C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub> 调整手法的运动学参数,不同的角速度和角位移提示两种手法潜在的生物力学效应。Dugailly 等<sup>[18]</sup>利用运动捕捉系统记录了健康受试者在坐位颈椎调整手法下头部相对于 T<sub>2</sub> 的运动轨迹,获得了颈椎-躯干的三维运动学信息,为进一步颈痛研究提供了基线资料。同一团队利用运动捕捉系统,在尸体的头颅以及颈椎打上钢钉并贴上标记点,记录仰卧位颈椎调整手法时上段颈椎的运动轨迹,揭示了在颈椎调整手法中有限的角位移<sup>[19-20]</sup>。Cattrysse 等<sup>[21]</sup>利用基于超声的运动捕捉系统,记录了尸体在仰卧位调整手法时环枢关节的相对运动,其在 3 个平面上的移动平均角度为 1°,最大没有超过 3.5°,均小于局部缓慢发力的颈椎松动术带来的移动,有限的角位移提示了调整手法的安全性。

Salem 等<sup>[22]</sup>对健康人进行了中立位颈椎 CT 扫描,以及调整手法发力前摆好体位的 CT 扫描,对比数据发现该调整手法发力前时刻颈椎的节段间活动

位置均小于生理活动极限。Branney 等<sup>[23]</sup>利用 X 线连续记录受试者在前屈和后伸时的图像,发现颈痛患者和正常人矢状面的椎间活动度差异无统计学意义,而手法可以增加受试者的椎间活动范围,但并没有发现该活动范围的变化与临床疗效的相关性。

耿楠<sup>[24]</sup>利用运动捕捉系统记录了颈椎定位旋转扳法的运动轨迹,发现施术者双足的发力时间比手上的瞬间扳动时间平均要快 0.080 8 s,解释了力“起于根,发于梢”的特点。运用类似的方法,王辉昊等<sup>[25]</sup>捕捉了坐位定位定向扳法的运动轨迹,发现施术者肘关节的离散度最为明显,相比肩关节和肘关节而言,膝关节和踝关节的三维活动度较小。

以上文献分别利用运动学传感器和影像学设备,分析了颈椎在手法作用下的运动学及施术者肢体的运动学,一定程度反映了手法对于颈椎的安全性,并归纳了手法的发力特点,提示了下肢关节的发力时间、动作对于坐位颈椎调整手法的重要性。

## 2 施术者发力大小和时间的关系

颈椎调整手法的力-时间曲线是施术者发力大小随时间变化形成的曲线,时间上分为 3 个期<sup>[26]</sup>:预加载相一对应于颈椎旋转至亚生理活动极限所施加的较柔和的预加载力阶段;发力相一对应于预加载相之后施术者突然发力至峰值力出现的阶段;消退相一对应于峰值力之后力不断减小的阶段。

研究同一临床医师的发力大小与不同受试者的关系有助于总结该手法的发力特点,有利于临床教学以及发力的安全性控制。马子龙<sup>[27]</sup>应用测力袖套测得了同一医师对于不同体重指数受试者颈椎旋提手法的力-时间曲线,发现施加于不同体重指数受试者的预加载力、峰值力均有统计学差异,且随体重指数的增加而增加。耿楠<sup>[24]</sup>考虑了颈长、颈围、体重、身高、坐高、体重指数,应用足底测力台记录了颈椎定位扳法时施术者足底的力-时间曲线,并用多元回归分析,发现足底峰值力与前述因素均无关系。以上两者均为临床上调整手法的规范化治疗提供了定量描述。

假手法指的是带给受试者仿佛接受真实手法的感受,实际上并没有发力的手法,在临床试验中作为对照组,用于排除手法的安慰剂效应。由于手法由医师的肢体和患者直接接触,假手法的量化以及与真实手法的区分度尤为重要。Vernon 等<sup>[28]</sup>测量了一种新的假颈椎手法和真实调整手法的发力大小以及手法治疗后患者对手法的辨认度,并得到了满意的结果。

尸体试验是颈椎调整手法研究的常用方法之一。通过尸体试验,可以进行有创测量,更直接的获取一些力学信息。Symons 等<sup>[29]</sup>设计试验,让两位医师分别在尸体、正常人、颈痛患者上施予仰卧位颈椎

调整手法,使用了柔性测力片测量了发力的大小-时间曲线,发现预加载力、峰值力以及发力相时间在正常人和颈痛患者间差异无统计学意义,而在尸体上施加的力大于前两者,且发力时间更短,推测可能与尸体的组织特性有关,提示我们在解读其他尸体试验时需要考虑与活体间的区别。

颈椎调整手法的规范化是临床医师在治疗及教学中的难点之一,上述文献从不同的医师、对象、目的等方面,对手法的力-时间关系进行了探索,而这些参数的差异对于疗效的影响有待进一步研究。

## 3 相关结构的受力分析

椎间盘是颈痛的可能痛源之一。孙树椿等<sup>[30]</sup>利用生物力学材料实验机对颈椎标本施加 100 N 压力模拟头颅重量,然后进行不同力量(150、200、300 N),不同状态(先牵引后旋转、先旋转后牵引、同时牵引旋转)的加载,并扳动 15°,同时测量髓核内压力。结果发现髓核内压力随着加载牵引力的增大而减小,先牵引后旋转并扳动组的髓核内压力明显高于其他两种状态,提示颈椎旋转调整手法中牵引力以及手法中各步骤的顺序对椎间盘的影响。Wu 等<sup>[31]</sup>利用测力台模拟颈椎标本在前屈、中立、后伸位调整手法中,配合不同旋转时间(定义为颈椎旋转额外 15°并恢复中立位的时间)并测量了此时的椎间盘内压,发现在后伸 20°配合转动时间 0.16 s 时椎间盘内压最低。

椎动脉由锁骨下动脉发出,穿上 6 位颈椎横突孔,手法作用于颈椎,必然会一定程度影响到椎动脉。Wuest 等<sup>[32]</sup>在椎动脉内分节段缝上超声感应器,通过感应器间距离的改变体现椎动脉的应变程度,获得了颈椎最大活动度以及施行调整手法时椎动脉节段间的应变情况。分析显示椎动脉的应变程度无法单靠颈椎的活动位置预测,提示软组织和颈椎的耦合运动可能起了重要作用。另外,手法所造成椎动脉的应变程度小于颈椎在生理活动范围内运动时的椎动脉应变,提示手法的安全性。其团队还研究了不同节段的调整手法作用于椎动脉以及颈内动脉造成的应变,并得到了相似的结论<sup>[33]</sup>。

中医学认为颈椎病的临床发病机制与颈椎“筋出槽”“骨错缝”有关,“筋出槽”“骨错缝”往往导致颈椎的异常应力。计算机有限元分析可以在虚拟模型上反复施加不同的载荷,同时可以直观反映各个部分的应变情况,是阐明颈椎调整手法作用机制的有效手段之一。张明才等<sup>[34]</sup>应用该方法对椎骨错缝节段(C<sub>4</sub>-C<sub>6</sub>)进行了三维有限元建模,发现错缝相邻节段的椎间盘和关节突关节的应力均发生改变,在软件中模拟临床手法调整 C<sub>5</sub>的“错缝椎骨”后,能有效

改善异常应力分布。王辉昊等<sup>[35]</sup>模拟 C<sub>2</sub> 齿状突周围韧带损伤引起的上颈段节段运动性失稳,建立了上颈段“筋出槽”“骨错缝”模型,并通过对血管壁与流体的流固耦合计算后发现双侧椎动脉内血流速-时间变化曲线波动频率高于正常模型,而且波动幅度加大。

异常的椎间盘、椎动脉是神经根型及椎动脉型颈椎病的致病原因,既需要保护也是治疗的靶点,上述文献从颈椎调整手法中各动作的顺序、体位对于椎间盘、椎动脉的影响方面,一定程度提示了手法的安全性。另外,有限元软件也部分验证了中医学对于颈椎病病机的相关假说,并从生物力学角度解释了中医调整手法的作用机制,而颈椎的异常应力与临床上颈痛患者疼痛、影像学改变的相关性,结合颈椎异常的活动功能,值得进一步研究。

#### 4 展望

通过大量的文献回顾,可以发现运动学测量能获得不同对象颈椎的运动轨迹,可以得到速度、加速度、角位移等信息,而力学传感器能精确描述不同治疗医师在使用不同调整手法、作用于不同对象及区域的力-时间曲线,也能获得感兴趣组织或部位的应变情况。不同的仪器各有不同的使用优势及限制,故根据目的合理搭配仪器使用,才可以获取想要的信息。

借助仪器,颈痛患者的一些运动学特点被量化,但仍然缺乏生物力学的解释;对于不同的施术者以及不同的对象配合不同的因素,颈椎旋转调整手法的力度、幅度,仍然有一定争议;部分基础研究虽然在一定程度上从生物力学方面描述并解释了调整手法的作用,但与临床的结合度较差。同时,与颈痛及治疗手法相关的大量问题都包含着生物力学因素,目前仍没有答案。相对来说,目前对不同手法的运动学研究较为深入,而对动力学研究略显不足,对组织内部应力应变的分析更是极为有限,且多集中于手法的安全性方面。因此在结合患者的症状、体征、影像学等临床问题的前提下,在组织层次深入的生物力学研究对认识颈痛、规范化手法治疗将有重要意义。

#### 参考文献

- [1] Gross A, Langevin P, Burnie SJ, et al. Manipulation and mobilisation for neck pain contrasted against an inactive control or another active treatment[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, 9: CD004249.
- [2] Vincent K, Maigne JY, Fischhoff C, et al. Systematic review of manual therapies for nonspecific neck pain[J]. *Joint Bone Spine*, 2013, 80(5): 508-515.
- [3] 邓真, 牛文鑫, 王辉昊, 等. 生物力学在中医骨伤手法治疗颈椎病中的应用[J]. *医用生物力学*, 2015, 30(6): 569-573. Deng Z, Niu WX, Wang HH, et al. Biomechanics applied in traditional Chinese traumatology manipulation for treating cervical spine diseases[J]. *Yi Yong Sheng Wu Li Xue*, 2015, 30(6): 569-573. Chinese.
- [4] Sarig Bahat H, Chen X, Reznik D, et al. Interactive cervical motion kinematics: sensitivity, specificity and clinically significant values for identifying kinematic impairments in patients with chronic neck pain[J]. *Man Ther*, 2015, 20(2): 295-302.
- [5] Sarig Bahat H, Weiss PL, Sprecher E, et al. Do neck kinematics correlate with pain intensity, neck disability or with fear of motion? [J]. *Man Ther*, 2014, 19(3): 252-258.
- [6] Vikne H, Bakke ES, Liestøl K, et al. Muscle activity and head kinematics in unconstrained movements in subjects with chronic neck pain; cervical motor dysfunction or low exertion motor output? [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2013, 14: 314.
- [7] Vikne H, Bakke ES, Liestøl K, et al. The smoothness of unconstrained head movements is velocity-dependent[J]. *Hum Mov Sci*, 2013, 32(4): 540-554.
- [8] Tsang SM, Szeto GP, Lee RY. Normal kinematics of the neck: the interplay between the cervical and thoracic spines[J]. *Man Ther*, 2013, 18(5): 431-437.
- [9] Yang CC, Su FC, Guo LY. A new concept for quantifying the complicated kinematics of the cervical spine and its application in evaluating the impairment of clients with mechanical neck disorders[J]. *Sensors (Basel)*, 2012, 12(12): 17463-17475.
- [10] Ellingson AM, Yelissetti V, Schulz CA, et al. Instantaneous helical axis methodology to identify aberrant neck motion[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2013, 28(7): 731-735.
- [11] Salem W, Lenders C, Mathieu J, et al. In vivo three-dimensional kinematics of the cervical spine during maximal axial rotation[J]. *Man Ther*, 2013, 18(4): 339-344.
- [12] Sugiura T, Nagamoto Y, Iwasaki M, et al. In vivo 3D kinematics of the upper cervical spine during head rotation in rheumatoid arthritis[J]. *J Neurosurg Spine*, 2014, 20(4): 404-410.
- [13] Lin CC, Lu TW, Wang TM, et al. In vivo three-dimensional intervertebral kinematics of the subaxial cervical spine during seated axial rotation and lateral bending via a fluoroscopy-to-CT registration approach[J]. *J Biomech*, 2014, 47(13): 3310-3317.
- [14] Lin CC, Lu TW, Wang TM, et al. Comparisons of surface vs. volumetric model-based registration methods using single-plane vs. biplane fluoroscopy in measuring spinal kinematics[J]. *Med Eng Phys*, 2014, 36(2): 267-274.
- [15] Anderst WJ, Donaldson WF, 3rd, Lee JY, et al. Three-dimensional intervertebral kinematics in the healthy young adult cervical spine during dynamic functional loading[J]. *J Biomech*, 2015, 48(7): 1286-1293.
- [16] Anderst WJ, Donaldson WF, Lee JY, et al. Cervical spine intervertebral kinematics with respect to the head are different during flexion and extension motions[J]. *J Biomech*, 2013, 46(8): 1471-1475.
- [17] Williams JM, Cuesta-Vargas AI. An investigation into the kinematics of 2 cervical manipulation techniques[J]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2013, 36(1): 20-26.
- [18] Dugailly PM, Sobczak S, Van Geyt B, et al. Head-trunk kinematics during high-velocity-low-amplitude manipulation of the cervical spine in asymptomatic subjects; helical axis computation and anatomic motion modeling[J]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2015,

- 38(6):416-424.
- [19] Dugaillly PM, Beyer B, Sobczak S, et al. Kinematics of the upper cervical spine during high velocity-low amplitude manipulation. Analysis of intra-and inter-operator reliability for pre-manipulation positioning and impulse displacements[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2014, 24(5): 621-627.
- [20] Dugaillly P M, Beyer B, Sobczak S, et al. Global and regional kinematics of the cervical spine during upper cervical spine manipulation; a reliability analysis of 3D motion data[J]. Man Ther, 2014, 19(5): 472-477.
- [21] Cattrysse E, Gianola S, Provyn S, et al. Intended and non-intended kinematic effects of atlanto-axial rotational high-velocity, low-amplitude techniques[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2015, 30(2): 149-152.
- [22] Salem W, Klein P. In vivo 3D kinematics of the cervical spine segments during pre-manipulative positioning at the C<sub>4</sub>/C<sub>5</sub> level[J]. Man Ther, 2013, 18(4): 321-326.
- [23] Branney J, Breen A C. Does inter-vertebral range of motion increase after spinal manipulation? A prospective cohort study[J]. Chiropr Man Therap, 2014, 22(1): 24.
- [24] 耿楠. 颈椎定位旋转扳法的操作特征及其动力学与运动学参数的分析[D]. 北京:北京中医药大学, 2014: 27-39.  
Geng N. The analysis of manipulative characteristics and kinematic parameters of the cervical rotary and local manipulation[D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2014: 27-39. Chinese.
- [25] 王辉昊, 张旻, 牛文鑫, 等. 三维运动捕捉技术在颈椎整复手法中肢体运动轨迹的在体研究[J]. 中国骨伤, 2015, 28(10): 940-944.  
Wang HH, Zhang M, Niu WX, et al. In vivo study on the body motion during the Shi's cervical reduction technique with 3D motion capture[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2015, 28(10): 940-944. Chinese with abstract in English.
- [26] Herzog W. The biomechanics of spinal manipulation[J]. J Bodyw Mov Ther, 2010, 14(3): 280-286.
- [27] 马子龙. 颈椎旋提手法在体运动生物力学的测量及数理仿真模型的建立[D]. 北京:中国中医科学院, 2013: 27-47.  
Ma ZL. The kinematical biomechanical measurement in vivo of rotation-traction manipulation and the building of its mathematics simulation model[D]. Beijing: China Academy of Chinese Medical Sciences, 2013: 27-47. Chinese.
- [28] Vernon HT, Triano JJ, Ross JK, et al. Validation of a novel sham cervical manipulation procedure[J]. Spine J, 2012, 12(11): 1021-1028.
- [29] Symons B, Wuest S, Leonard T, et al. Biomechanical characterization of cervical spinal manipulation in living subjects and cadavers[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2012, 22(5): 747-751.
- [30] 孙树椿, 张军, 王立恒, 等. 旋转手法对颈椎髓核内压力影响的实验研究[J]. 中国骨伤, 2010, 23(1): 34-38.  
Sun SC, Zhang J, Wang LH, et al. The influence of rotary manipulation on the internal pressure of cervical nucleus pulposus[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2010, 23(1): 34-38. Chinese with abstract in English.
- [31] Wu LP, Huang YQ, Zhou WH, et al. Influence of cervical spine position, turning time, and cervical segment on cadaver intradiscal pressure during cervical spinal manipulative therapy[J]. J Manipulative Physiol Ther, 2012, 35(6): 428-436.
- [32] Wuest S, Symons B, Leonard T, et al. Preliminary report: biomechanics of vertebral artery segments C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub> during cervical spinal manipulation[J]. J Manipulative Physiol Ther, 2010, 33(4): 273-278.
- [33] Herzog W, Leonard TR, Symons B, et al. Vertebral artery strains during high-speed, low amplitude cervical spinal manipulation[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2012, 22(5): 740-746.
- [34] 张明才, 吕思哲, 程英武, 等. 基于有限元模型研究椎骨错缝对颈椎病患者关节应力的影响[J]. 中国骨伤, 2011, 24(2): 128-131.  
Zhang MC, Lyu SZ, Cheng YW, et al. Study on the effect of vertebrae semi dislocation on the stress distribution in facet joint and intervertebral disc of patients with cervical syndrome based on the three dimensional finite element model[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2011, 24(2): 128-131. Chinese with abstract in English.
- [35] 王辉昊, 陈博, 詹红生, 等. 颈椎“筋出槽”“骨错缝”对椎动脉血流动力学作用的流固耦合分析[J]. 中华中医药杂志, 2014, 29(9): 2970-2974.  
Wang HH, Chen B, Zhan HS, et al. Study on the effect of cervical vertebra "Jin Chu Cao" "Gu Cuo Feng" on the haemodynamics of carotid artery with the analysis of coupling of fluid and solid[J]. Zhonghua Zhong Yi Yao Za Zhi, 2014, 29(9): 2970-2974. Chinese.

(收稿日期:2016-01-24 本文编辑:李宜)

·读者·作者·编者·

## 本刊关于通讯作者有关事宜的声明

本刊要求集体署名的文章必须明确通讯作者。凡文章内注明通讯作者的稿件,与该稿件相关的一切事宜均与通讯作者联系。如文内未注明通讯作者的文章,按国际惯例,有关稿件的一切事宜均与第一作者联系,特此声明!

《中国骨伤》杂志社