

## · 基础研究 ·

# 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

王辉昊<sup>1</sup>, 张旻<sup>1</sup>, 牛文鑫<sup>2</sup>, 沈旭哲<sup>1</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】** 目的: 通过三维运动捕捉与分析系统, 采集与分析手法运动数据, 归纳肩、肘、膝和踝关节运动特点。方法: 由 1 位施术者在头部、躯干、左右肩峰、肘关节内外侧、腕关节内外侧、前臂外侧、上臂外侧、髂前上棘、髂后上棘、股骨大转子、胫骨结节、内外侧膝、腓骨小头、内外侧踝、足跟、双侧大腿、小腿胫骨外侧以及第 1、2、5 跖骨头、粘贴光标, 对 1 位受试者完成 1 次颈椎“骨错缝、筋出槽”治疗的右手手法操作周期, 重复 5 次, 对施术者右侧肩、肘、膝和踝关节运动轨迹进行捕捉、记录、计算和分析。结果: 手法操作过程中 4 个关节运动轨迹的趋势一致, 其中肘关节的离散度最为明显。肩关节和肘关节的三维活动度明显, 而膝关节和踝关节相对较小, 然而膝关节的屈伸活动明显大于旋转和侧弯活动。结论: 石氏伤科颈椎整复手法的上肢关节灵活性较高, 而下肢关节的稳定性是重要保证, 其中同侧膝关节通过屈伸活动来辅助上肢发力; 红外线三维运动捕捉与分析系统建立的手法模型可以为教学和基础研究提供新的研究思路。

**【关键词】** 手法, 骨科; 颈椎; 计算机, 模拟; 关节

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2015.10.014

**In vivo study on the body motion during the Shi's cervical reduction technique with 3D motion capture** WANG Hui-hao, ZHANG Min, NIU Wen-xin, SHEN Xu-zhe, and ZHAN Hong-sheng\*. \*Shi's Center of Orthopaedics and Traumatology, Shuguang Hospital Affiliated to Shanghai University of TCM, Institute of Traumatology & Orthopaedics, Shanghai Academy of TCM, Shanghai 201203, China

**ABSTRACT Objective:** The clinical effect of the Shi's cervical reduction technique for cervical spondylosis and related disorders has confirmed, however, there were few studies on the body motion during manipulation in vivo study. This study is to summary the law of motion and the motion characteristics of the right operation shoulder, elbow, knee and ankle joints by data acquisition and analysis with the 3D motion capture system. **Methods:** The markers were pasted on the head, trunk, left and right acromion, elbow joint, wrist joint inner side and the outer side of the inner and the outer side and the lateral upper arm, forearm lateral, anterior superior iliac spine, posterior superior iliac spine, trochanter, femoral and tibial tubercle, inner and outer side of knee, ankle, fibular head, medial and lateral in first, 2, 5 metatarsal head, heel and dual lateral thigh the calf, lateral tibia of one manipulation practioner, and the subject accepted a complete cycle of cervical "Jin Chu Cao and Gu Cuo Feng" manipulation which was repeated five times. The movement trajectory of the practioner's four markers of operation joints were captured, recorded, calculated and analyzed. **Results:** The movement trajectories of four joints were consistent, while the elbow joint had the biggest discrete degree. The 3D activities of the shoulder and elbow were more obvious than other two joints, but the degree of flexion and extension in the knee was significantly greater than the rotation and lateral bending. **Conclusion:** The flexibility of upper limb joint and stability of lower limb joint are the important guarantees for the Shi's cervical reduction technique, and the right knee facilitated the exerting force of upper limb by the flexion and extension activities. The 3D model built by the motion capture system would provide a new idea for manipulation teaching and further basic biomechanical research.

**KEYWORDS** Manipulation, orthopedic; Cervical vertebrae; Computers, analog; Joints

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2015, 28(10): 940-944 www.zggszz.com

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 81473702, 81001528); “中医骨伤科学”国家重点学科(编号: 100508); 上海领军人才项目(编号: 041); 上海市科委重点项目(编号: 14401970402, 09dZ1973800); 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: Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 81473702, 81001528)

通讯作者: 詹红生 E-mail: shgsyjs@139.com

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

整复颈椎“筋出槽、骨错缝”是基于中医学对颈椎病的关键发病病机的认识,即针对颈椎“骨错缝、筋出槽”为靶点的治疗技术。前期围绕该病机,从理论到应用、从临床评估到手法治疗技术、从临床有效性和安全性评价到较大范围的应用推广,开展了比较系统而全面的研究,获得学术界的一定认可<sup>[1-3]</sup>。然而,在基础研究方面,该手法的关键技术规范 and 生物力学机制尚未理清,迫切需要系统开展高水平、深层次、跨学科的研究,使中医理论假说、实验证据和临床应用结合更加紧密<sup>[4]</sup>。

运动捕捉又称为动作捕捉,是指通过在时域上追踪某些关键标记点的运动来记录 1 个生物的运动轨迹,然后将其转换成可以用数学方式表达并合成的 1 个独立 3D 运动的过程<sup>[5]</sup>。该技术最早在 20 世纪 70 年代后期由心理学家 Sturman 提出<sup>[6]</sup>。随着机器视觉、虚拟现实等技术的发展,精确捕捉人体动作且进行重现,国内外的手法研究者也在不断尝试该技术的应用,获取更理想的手法运动学参数<sup>[7-8]</sup>。

本文运用三维运动捕捉及分析系统,采集“石氏伤科手法诊治颈椎病优化技术方案”中整复颈椎“筋出槽、骨错缝”手法技术,即捕捉石氏伤科颈椎整复手法运动的自由度信息和运动参数,数字化手法运动轨迹,观察手法的运动规律,旨在为中医手法教学和关键技术训练的规范提供指导,也有助于为进一步提高手法的安全性、有效性提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

选取 1 位熟练操作石氏伤科颈椎整复手法的临床医生及 1 位自愿参与本项目研究且无颈椎手法禁忌证的受试者。试验前口头及书面告知受试者试验过程及相关风险,签署知情同意书。受试者为男性,年龄 24 岁,身高 174 cm,体重 72 kg。本试验通过上海中医药大学附属曙光医院伦理委员会伦理审查。

### 1.2 研究设备和方法

试验采用 Vicon (612, Oxford UK) 三维步态分析捕捉系统,10 台数字动作捕捉镜头,最高频率 100 Hz。试验过程中,静态模型所用 5 mm 荧光标志球(Marker),置于施术者的头部、躯干、左右肩峰、肘关节内外侧、腕关节内外侧以及前臂外侧、上臂外侧的光标,旨在捕捉和记录上肢运动轨迹;置于髌前上棘、髌后上棘、股骨大转子、胫骨结节、内外侧膝、腓骨小头、内外侧踝、足跟、双侧大腿、小腿胫骨外侧以及第 1、2、5 跖骨头的光标,旨在捕捉和记录上肢运动轨迹。共计 10 组组合光标。

采用石氏伤科颈椎整复手法治疗技术,以颈椎中段椎体右侧旋转移位矫正为例,采用坐位定位定

向扳法。具体操作步骤如下:(1)受试者取坐位,施术者站在其右侧后方,以按法、拨法、揉法、推法、一指禅推法、■法等,在斜方肌、胸锁乳突肌覆盖部位操作,以松解软组织为目的,时间 5 min(该步骤不计入动态捕捉数据采集)。(2)嘱受试者低头 10°左右,主动向右旋转至极限位。(3)施术者右前臂托住患者下颈左侧,左手用拇指指腹按住患者颈椎棘突偏歪侧的后外侧缘。(4)施术者嘱受试者放松,确定受试者颈椎旋转至“扳机点”位后锁定。(5)施术者借腰部发力,肘部顺势再做 1 个小幅度的旋提动作。上述步骤结束后,帮助受试者颈肩部肌肉做对抗练习,提高肌群稳定性(该步骤不计入动态捕捉数据采集)。

### 1.3 研究过程

试验开始前,完成场地校准、Marker 点固定和施术者的系统标定<sup>[9]</sup>。活动方向参考 x、y、z 全局坐标(x-y 平面为水平面、x-z 平面为冠状面、y-z 平面为矢状面),屈伸方向与冠状面平行,旋转方向垂直于水平面,侧弯时垂直于冠状面并与矢状面平行。

试验数据正式采集前,施术者对受试者进行多次对侧模拟练习(按颈椎中段椎体左侧旋转移位的手法操作);试验过程中,施术者对受试者在相同体位下进行手法操作,采集全部数据;试验结束后,受试者无不适症状。

观察指标:完成 1 次颈椎“骨错缝、筋出槽”治疗右手手法操作周期,重复操作 5 次,对手法运动轨迹的捕捉、记录,并计算和分析其平均值和标准差,最终建立三维骨骼运动模型。操作过程详见图 1。

### 1.4 数据处理

试验数据经由 Vicon 三维步态分析系统以及 Kilster 测力台采集后输出至 Visual 3D (C.motion, INC) 三维步态分析软件进行处理,识别并捕捉施术者各 Marker 点在手法操作过程中的空间位置变化,计算分析获得其运动轨迹。

## 2 结果

### 2.1 手法操作模型

经红外线红外线三维运动捕捉系统分别完成 Marker 点系统标定和石氏伤科颈椎整复手法操作模型的建立(图 2)。

### 2.2 关节运动轨迹

施术者以颈椎中段椎体右侧旋转移位调整为例,采用坐位定位定向整复手法,相同体位与条件设定,重复操作 5 次,获取施术者右侧肩、肘、膝和踝关节的三维运动轨迹。本次采集的数据显示,手法操作过程中 4 个关节运动轨迹的趋势一致,但存在一定的离散度,尤其是肘关节最为明显。从整体活动度看,肩关节和肘关节的三维活动度明显,而膝关节和

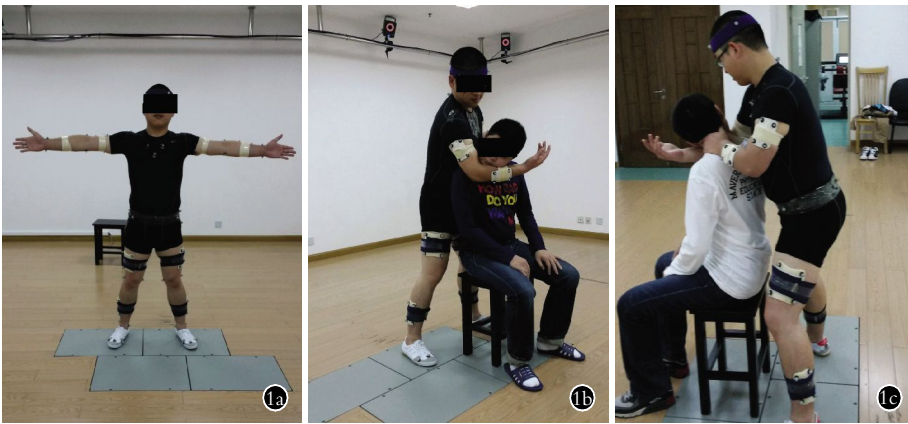


图 1 石氏伤科颈椎整复手法操作  
 1a. 施术者场地校准 1b. 手法操作右前侧 1c. 手法操作左后侧  
 Fig.1 The Shi's cervical reduction technique for cervical spondylosis  
 1a. Field calibration 1b. Manipulation of front right 1c. Manipulation of left rear

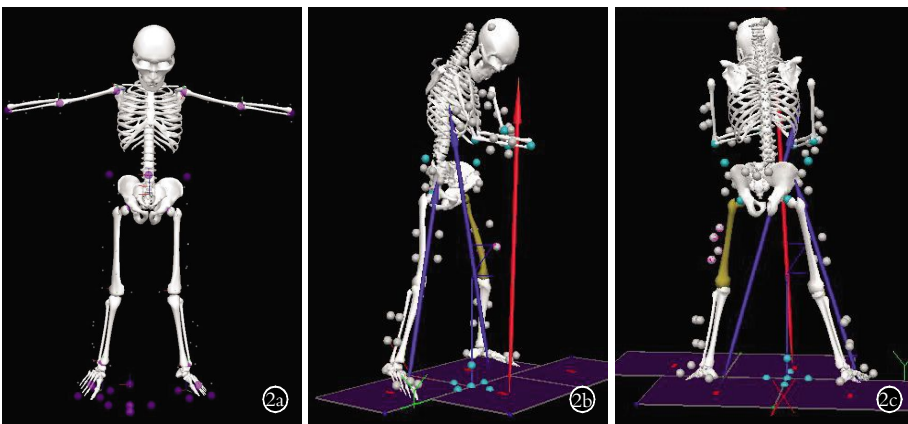


图 2 手法操作的捕捉与建模  
 2a. 施术者 Marker 点系统标定  
 2b. 施术者模型右前侧  
 2c. 施术者模型后侧  
 Fig.2 Capturing and modeling the technique  
 2a. Calibration of Marker point system on the manipulator  
 2b. Model of the right front side  
 2c. Model of the posterior

踝关节相对较小；然而膝关节的三维活动中屈伸活动明显大于旋转和侧弯活动(图 3)。

3 讨论

本试验采用红外线三维运动捕捉与分析系统，精确捕捉石氏伤科颈椎整复手法操作过程中人体右侧肩、肘、膝和踝关节的瞬间运动，实现运动轨迹的实时记录分析，完成三维骨骼模型的创建。同时，通过重复测量手法的操作，观察每次手法操作的运动曲线波动。

3.1 运动生物力学原理和三维运动捕捉技术对手法规范化的积极意义

运动生物力学就是研究与人体机械运动规律有关的力学问题<sup>[10]</sup>。随着中医手法的运动生物力学研究的深入，研究者们逐渐认识到手法难以用标准化物理参数衡量<sup>[11]</sup>。不同医师间和同一医师不同状态实施的手法取得的疗效作用和同一手法技术操作的规范性均可能取得突破。

红外线三维运动捕捉技术作为一项多学科交叉渗透性的科学技术，能够测量、跟踪和记录物体在三维空间中的运动轨迹，为运动生物力学的发展提供了更加广阔的研究空间。人体运动建模与仿真方法不仅有助于对骨-关节-骨骼肌相关疾病发生机制和

预防方法的基础研究和临床常规诊断治疗应用研究的开展，而且能深入探索人体运动的生理力学规律和进一步改进人体动作设计研究。简而言之，就是一方面归纳正常人运动规律，另一方面针对运动疾病患者异常运动特征进行分析<sup>[12]</sup>。

本研究的意义在于，基于三维骨骼模型和数据曲线分析，临床医师可以直观详细地学习高年资医师关键技术动作，有效地加快和加强手法操作的规范化训练。同时，手法学习者根据自身模型可以有针对性地调整手法动作习惯。在基础研究方面，手法安全性一直是临床医师不可回避的问题，数字化仿真模型可能作为深入研究手法生物力学作用机制和安全性的突破点<sup>[13]</sup>。

3.2 颈椎扳法上肢关节的灵活性较高而下肢关节的稳定性是重要保证

本研究结果显示，手法操作过程中，4 个关节运动轨迹的趋势一致，但是手法的重复性和可靠性可能并不惟一，尤其以肩部屈伸活动和肘关节三维活动角度的离散度最明显，这说明手法操作过程中，一方面可能肩部屈伸和肘部各向活动受到的影响因素较多(如施术者疲劳、习惯以及受试者体位和实际颈曲情况等)；另一方面，上肢关节活动可能在手法操

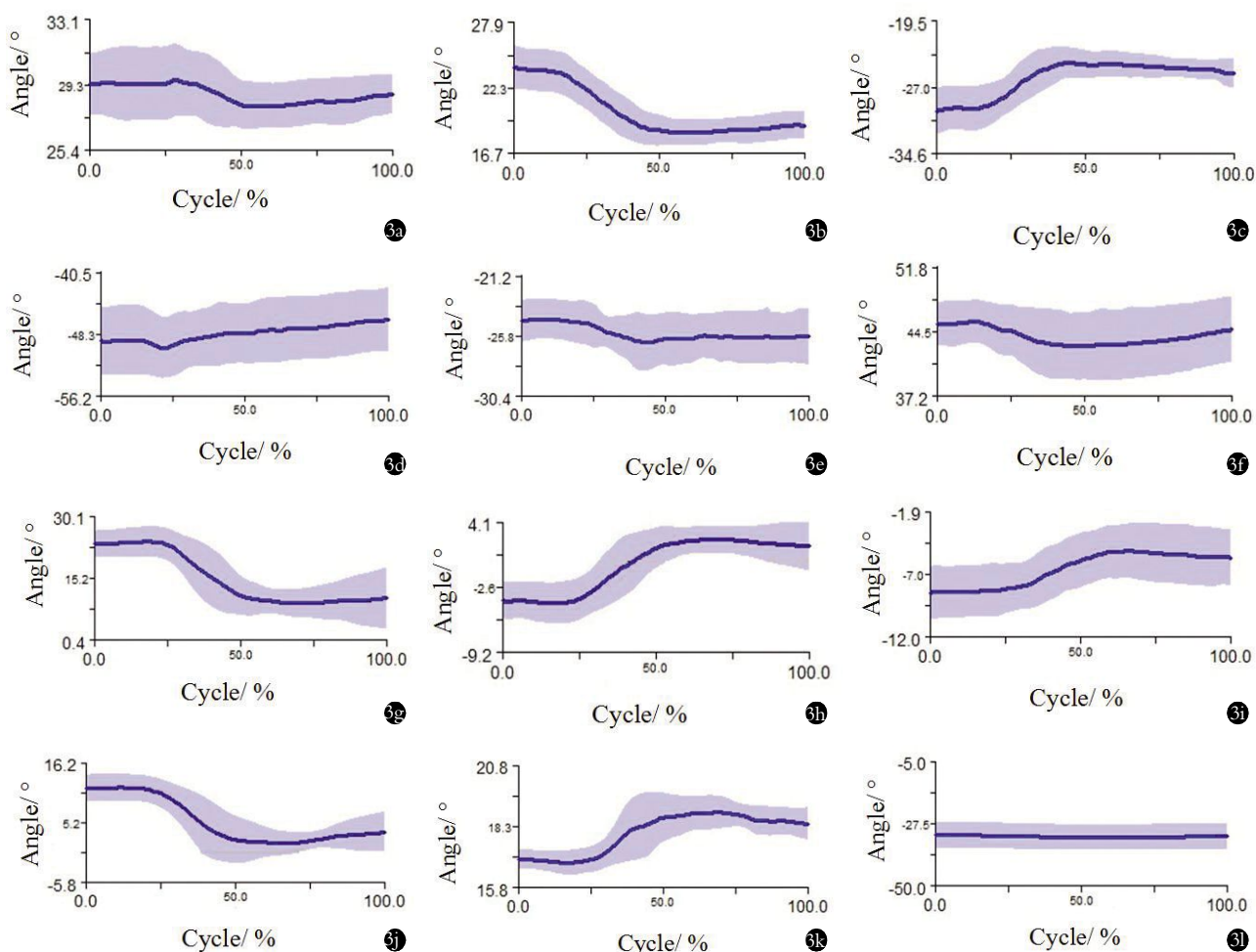


图3 手法操作过程中肩、肘、膝、踝关节的三维运动轨迹(实线为重复5次测量结果的平均值,阴影为重复测量结果的标准差) 3a. 右侧肩关节在X平面 3b. 右侧肩关节在Y平面 3c. 右侧肩关节在Z平面 3d. 右侧肘关节在X平面 3e. 右侧肘关节在Y平面 3f. 右侧肘关节在X平面 3g. 右侧膝关节在X平面 3h. 右侧膝关节在Y平面 3i. 右侧膝关节在Z平面 3j. 右侧踝关节在X平面 3k. 右侧踝关节在Y平面 3l. 右侧踝关节在Z平面

Fig.3 The 3D trajectory of shoulder, elbow, knee and ankle joints during the cervical wrenching technic (The solid line represents the average value of repeated 5 measurement results and the shadows for repeated standard deviation) 3a,3b,3c. The 3D trajectory of right shoulder joint on X plane, Y plane and Z plane 3d,3e,3f. The 3D trajectory of right elbow joint on X plane, Y plane and Z plane 3g,3h,3i. The 3D trajectory of right knee joint on X plane, Y plane and Z plane 3j,3k,3l. The 3D trajectory of right ankle joint on X plane, Y plane and Z plane

作时具备较大的自我调整空间。在膝关节和踝关节方面,三维活动角度的离散度相对较小,说明这2个关节的稳定性对手法的顺利操作有重要影响。值得注意的是,膝关节的三维活动中屈伸活动明显大于旋转和侧弯活动,即使没有力学检测,也可以推测右膝屈伸过程中肌群收缩而产生力和加速度增加,即中医“寸劲”发力。综上所述,石氏伤科颈椎整复手法操作过程中,上肢关节的灵活性较高,而下肢关节的稳定性是重要保证,其中同侧膝关节通过屈伸活动来辅助上肢发力。

### 3.3 本研究的不足与局限

目前,手部动作及功能虚拟仿真具备了较大的进展,基本能够实现预期的效果,但仍有一些问题需

要解决:(1) 由于 Motion Capture 运动捕捉及分析系统采集的数据量非常庞大,仍然需要在测量、建模、仿真和运动分析等方面进一步完善,如最大程度减小诸如视角较大、距离较远、皮肤标记移动误差等因素所影响。(2)准确无创地检测在体运动过程中肌肉骨骼载荷的动态变化,准确测量计算人体惯性参量,建立肌肉-骨骼和关节解剖模型,使测量载荷与建模仿真结果能够互相印证、互相补充。(3)改进人体运动生物力学模型及其算法,探索基于刚体力学的模型与基于有限元的模型的融合等<sup>[14-15]</sup>。

手法本身而言,无论何种手法在具体操作过程中,由于患者个人情况和疾病程度的不同,其关节应力状态变化也不尽相同,所以即使同一位医师使用



同一种手法,仍可能出现不同的运动轨迹、加速度、施力载荷及关节运动幅度等等,因此,完全强求一致的运动轨迹并不符合中医学因人而异和辨证施治的个性化原则。本研究采用标准化的模型和理想化的研究方法旨在从大关节的运动轨迹角度,观察其主要的运动趋势,初步归纳其基本原理。由于本模型旨在建立石氏伤科颈椎整复手法运动轨迹肌肉-骨骼模型,尚未涉及与受力点的应力分析相结合,尚难以量化手法的力学模拟。

### 3.4 未来研究展望

“筋出槽、骨错缝”理论是指导手法诊治相关疾病的核心思想和思想源头,骨伤手法的传承与创新应基于明确的临床疗效,不断巩固和加强中医学根本内涵。未来研究中,课题组将致力于提高采集数据的精度和采集技术方法,在获取准确可靠的手功能运动的信息后,结合力学传感技术,分析应力与运动轨迹的对应关系;同时,增加不同患者间、不同治疗师间以及不同病程阶段的测试,进一步完善理论模型和实现关键技术的规范化,加强理论学说与临床操作的结合,以及完善中医骨伤手法的教学培养模式。

#### 参考文献

- [1] 詹红生,牛守国,吴健康,等. 仰卧位拔伸整复手法治疗神经根型颈椎病的随机、对照、多中心临床研究[J]. 中国骨伤, 2006, 19(5):257-260.  
Zhan HS, Niu SG, Wu JK, et al. Pulling-manipulation in dorsal position for the treatment of cervical spondylotic radiculopathy: A randomized, multi-center controlled trial[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2006, 19(5):257-260. Chinese with abstract in English.
- [2] 张明才,石印玉,黄仕荣,等. “骨错缝筋出槽”与颈椎病发病关系的临床研究[J]. 中国骨伤, 2013, 26(7):557-560.  
Zhang MC, Shi YY, Huang SR, et al. Study on the correlation between “Gucuo Feng and Jinchucao” and cervical spondylosis[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2013, 26(7):557-560. Chinese with abstract in English.
- [3] 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, 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, 9:2970-2974. Chinese.
- [4] 元唯安,张明才,詹红生. 对“骨错缝、筋出槽”的认识及临床诊断[J]. 中国骨伤, 2013, 26(7):502-504.  
Yuan WA, Zhang MC, Zhan HS. Understanding of “Gucuo Feng and Jinchucao” and its clinical diagnosis[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2013, 26(7):502-504. Chinese with abstract in English.
- [5] 王辉昊,张明才,詹红生. 由脊骨神经医学发展模式引发的思考[J]. 中国骨伤, 2011, 24(8):662-666.  
Wang HH, Zhang MC, Zhan HS. Enlightens by Chiropractic’s developing mode[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2011, 24(8):662-666. Chinese with abstract in English.
- [6] 向泽锐,支锦亦,徐伯初,等. 运动捕捉技术及其应用研究综述[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(8):2241-2245.  
Xiang ZR, Zhi JY, Xu BC, et al. Survey on motion capture technique and its applications[J]. Ji Suan Ji Ying Yong Yan Jiu, 2013, 30(8):2241-2245. Chinese.
- [7] 徐红旗,史冀鹏,倪维广,等. 手工提放重物操作技术优化的生物力学研究[J]. 北京体育大学学报, 2013, 36(11):75-80.  
Xu HQ, Shi JP, Ni WG, et al. Biomechanical analysis on optimization of manual handling technique in manual lifting and lowering tasks[J]. Bei Jing Ti Yu Da Xue Xue Bao, 2013, 36(11):75-80. Chinese.
- [8] Ngan JM, Chow DH, Holmes AD. The kinematics and intra- and inter-therapist consistencies of lower cervical rotational manipulation[J]. Med Eng Phys, 2005, 27(5):395-401.
- [9] 刘江,曾辽原. 利用混合动作捕捉方法辅助排球运动技术标准化的研究[J]. 北京体育大学学报, 2014, 37(5):133-138.  
Liu J, Zeng LY. Study on utilization of hybrid motion capture method aided volleyball technology standardization[J]. Bei Jing Ti Yu Da Xue Xue Bao, 2014, 37(5):133-138. Chinese.
- [10] 胡耿丹,王乐军,牛文鑫. 运动生物力学[M]. 上海:同济大学出版社, 2013.  
Hu GD, Wang LJ, Niu WX. Sports Biomechanics[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2013. Chinese.
- [11] Herzog W. The biomechanics of spinal manipulation[J]. J Body Mov Ther, 2010, 14(3):280-286.
- [12] 郝卫亚. 人体运动的生物力学建模与计算机仿真进展[J]. 医用生物力学, 2011, 26(2):97-104.  
Hao WY. Advances in biomechanical modeling and computer simulation of human movement[J]. Yi Yong Sheng Wu Li Xue, 2011, 26(2):97-104. Chinese.
- [13] 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.  
Wang HH, Zhan HS, Zhang MC, et al. Retrospective analysis and prevention strategies for accidents associated with cervical manipulation in China[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2012, 25(9):730-736. Chinese with abstract in English.
- [14] 韦酋亨,赵卫东,谢扬,等. 拇指对掌运动 6 个自由度的采集与分析[J]. 中国临床解剖学杂志, 2012, 30(2):229-232.  
Wei QH, Zhao WD, Xie Y, et al. Acquisition and analysis of six degree of freedom of thumb apposition[J]. Zhongguo Lin Chuang Jie Pou Xue Za Zhi, 2012, 30(2):229-232. Chinese.
- [15] 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.  
Wang HH, Chen B, Zhan HS. Application of finite element analysis in Chinese cervical manipulation biomechanics[J]. Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi, 2013, 30(5):1123-1126. Chinese.

(收稿日期:2015-01-15 本文编辑:连智华)