

## · 基础研究 ·

## 颈椎旋提手法教学机器人的稳定性研究

冯敏山, 朱立国, 王尚全, 于杰, 陈明, 李玲慧, 魏戌

(中国中医科学院望京医院 中医正骨技术北京市重点实验室, 北京 100102)

**【摘要】** 目的: 评价颈椎旋提手法教学机器人实际应用中的稳定性。方法: 应用颈椎旋提手法教学机器人对 10 位临床应用旋提手法至少 5 年且熟练掌握手法操作要领的医师进行操作考核, 对考核过程中的 6 项核心指标 (预牵引力、提扳力、最大作用力、提扳时间、旋转幅度和俯仰幅度) 进行数据采集, 比较 10 位医师 5 次操作 (G1、G2、G3、G4、G5) 中各项指标的合格率差异, 并对每位医师 5 次操作各项指标的合格情况进行分析, 以评价该机器人的稳定性。结果: 10 位医师在 G1、G2 操作中存在不合格指标, 以提扳力、最大作用力、旋转幅度为著, 经  $\chi^2$  检验,  $P$  值分别为 0.074、0.264、0.531, 差异无统计学意义; G3 次操作开始未再出现不合格指标。对 10 位操作者的 5 次操作数据进行单因素方差分析比较, 提扳力方面, G4、G5 与 G1 相比较, 差异有统计学意义 ( $P=0.015$ ,  $P=0.006$ ); 最大作用力方面, G4、G5 与 G1 相比较, 差异有统计学意义 ( $P=0.021$ ,  $P=0.012$ ); 其余各项指标两两比较,  $P$  值均  $>0.05$ , 差异无统计学意义。结论: 颈椎旋提手法教学机器人作为考核工具能稳定有效地评价术者施行旋提手法操作的优劣, 可以将旋提手法的核心指标进行客观量化, 有望建立新的手法教学和考核模式。

**【关键词】** 颈椎病; 手法, 骨科; 机器人; 计算机辅助教学

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2017.03.011

**Research on the stability of teaching robots of rotation-traction manipulation** FENG Min-shan, ZHU Li-guo, WANG Shang-quan, YU Jie, CHEN Ming, LI Ling-hui, and WEI Xu. Beijing Key Laboratory of Traditional Chinese Orthopedics and Traumatology, Wangjing Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China

**ABSTRACT** **Objective:** To evaluate the stability of teaching robot of rotation-traction manipulation. **Methods:** Operators were required to get the hang of rotation-traction manipulation and had clinical experience for over 5 years. The examination and data processing of the ten operators in our research were collected by the teaching robot of rotation-traction manipulation. Traction, pulling force, maximum force, pulling time, rotational amplitude and pitch range were recorded and compared for five times (G1, G2, G3, G4 and G5). The qualification rates were analyzed to evaluate the stability of teaching robot of rotation-traction manipulation. **Results:** Nonconforming items were found in G1 and G2, for instance, pulling force ( $P=0.074$ ), maximum force ( $P=0.264$ ) and rotational amplitude ( $P=0.531$ ). There was no statistically difference. None nonconforming item was found in G3, G4 and G5. All data were processed by SPSS and One-way ANOVA was used to analysis. Pulling force was found statistically different in G1, compared with G4 and G5 ( $P=0.015$ ,  $P=0.006$ ). Maximum force was found statistically different in G1, compared with G4 and G5 ( $P=0.021$ ,  $P=0.012$ ). None differences were found in other comparisons ( $P>0.05$ ). **Conclusion:** The teaching robot of rotation-traction manipulation used in our research could provide objective and quantitative indices and was considered to be an effective tool of assessing the rotation-traction manipulation.

**KEYWORDS** Cervical spondylosis; Manipulation, orthopedic; Robotics; Computer-assisted instruction

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2017, 30(3):241-246 www.zggszz.com

颈椎病是一种常见病和多发病, 是指颈椎椎间盘退行性改变及其继发病理改变累及其周围组织结

构(神经根、脊髓、椎动脉、交感神经等), 出现相应的临床表现<sup>[1]</sup>。各类颈椎病中以神经根型颈椎病的发病率最高, 可达 60%~70%<sup>[2]</sup>。伴随着社会发展和科技进步, 长期伏案工作成为目前人们主要工作方式, 颈部肌肉长期处于疲劳状态, 致使该病的发病率更趋向年轻化。目前, 针对神经根型颈椎病主要以非手术疗法为主, 其中旋转手法作为中医治疗该疾病的重要手段之一, 具有疗程短、见效快的操作特点<sup>[3]</sup>。因旋转手法操作技巧性强、风险性高, 朱立国等<sup>[3]</sup>和王乾等<sup>[4]</sup>对多年临床经验进行总结后, 提出旋提手

基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 81302992, 81072825); “十二五” 国家科技支撑计划—中医骨伤的规范手法传承模式及推广应用研究 (编号: 2014BAI08B06); 中国中医科学院流派传承专项 (编号: ZZ0808018)

Fund program: National Natural Science Foundation of China (No. 81072825)

通讯作者: 陈明 E-mail: cm8924@163.com

Corresponding author: CHEN Ming E-mail: cm8924@163.com

法,使手法操作安全性得到提高,并验证了旋提手法的临床疗效。介于目前医疗环境,初学者操作机会少,严重限制了手法的传承,致使学习效率明显低下。近年来,国内外学者从物理学及运动学角度分析手法操作过程,以从中获得手法操作的力学轨迹及力学参数,力学指标得到量化后,可以将手法操作过程中的难点进行数学模型重建,从中得到力学曲线,进而对曲线进行数学分析,能够得出手法操作成功的要素<sup>[5-11]</sup>。本研究前期对旋提手法进行了相关因素、生物力学及运动轨迹研究,得出旋提手法操作过程中的重要力学指标及影响手法操作的相关因素<sup>[12-14]</sup>。随后,本团队研发了颈椎旋提手法教学机器人,欲改善手法的教学及考核现状。

### 1 资料与方法

#### 1.1 一般资料

运用旋颈椎提手法教学机器人,对 10 位临床应用旋提手法至少 5 年且熟练掌握手法操作要领的医师进行操作考核,对操作过程中预牵引力、提扳力、最大作用力、提扳时间、旋转幅度和俯仰幅度进行记录,比较分析每位医师 5 次操作(G1、G2、G3、G4、G5)中各项指标的差异。

#### 1.2 观察项目与方法

**1.2.1 观察指标** 每次考核过程中预牵引力、提扳力、最大作用力、提扳时间、旋转幅度和俯仰幅度的

测量值。

**1.2.2 考核方法** 由颈椎旋提手法教学机器人对 10 位医师手法操作进行数据采集,每名医师在正常体重指数模拟状态下进行 5 次旋提手法操作,分别记录为 G1、G2、G3、G4、G5,由该教学机器人对 5 次操作过程中的 6 项核心指标进行记录(预牵引力、提扳力、最大作用力、提扳时间、旋转幅度和俯仰幅度),见图 1-6。



图 1 基本信息录入

Fig.1 Basic information input

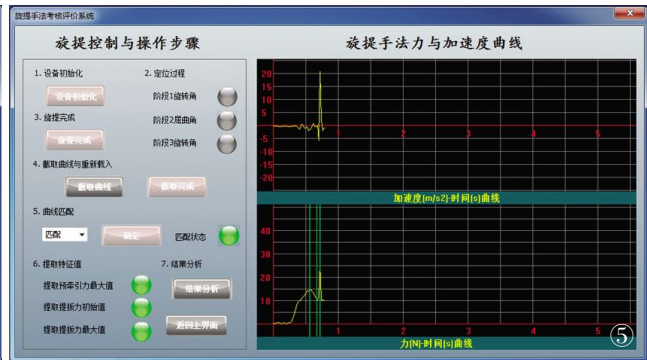
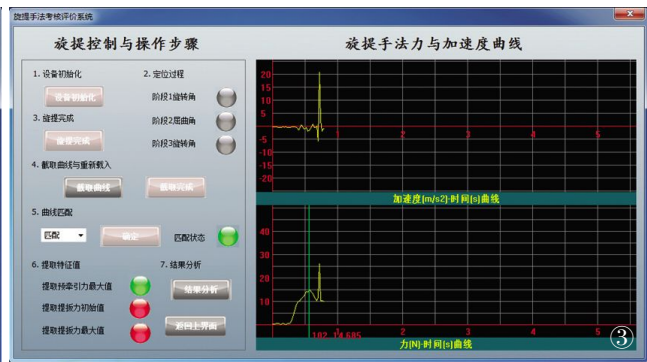
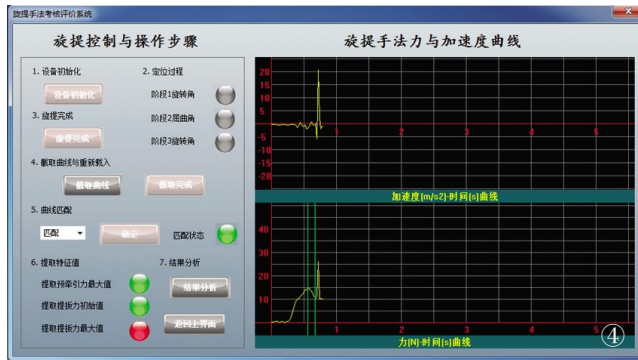
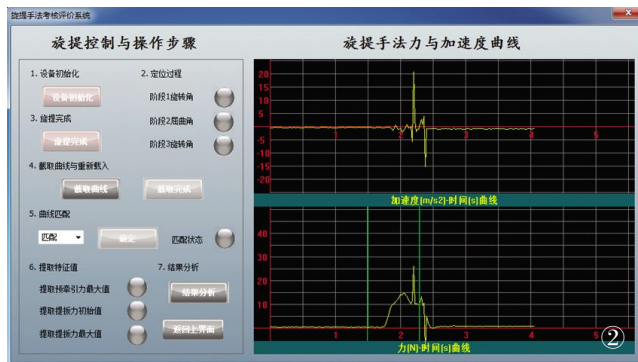


图 2 操作曲线 图 3 预牵引力数值测量 图 4 提扳力数值测量 图 5 最大作用数值测量

Fig.2 Operation curve Fig.3 Data measurement of traction Fig.4 Data measurement of pulling force Fig.5 Data measurement of maximum force



图6 数据输出  
Fig.6 Data output

1.3 统计学处理

采用 SPSS 18.0 统计软件对 10 位医师在 5 次操作下各项指标的合格率进行统计比较,通过  $\chi^2$  检验,对比各项指标合格率。对 5 次旋提手法操作测试结果中的提扳力、最大作用力、旋转幅度进行单因素方差分析。

2 结果

2.1 各次操作中各项指标合格率比较

G2 操作过程中,提扳力、最大作用力和旋转幅度这 3 项力学指标合格率与 G1 操作过程中的合格率比较,差异均无统计学意义(表 1)。5 次操作过程中提扳力、最大作用力和旋转幅度见表 2。

表 1 G1 与 G2 操作过程中正常体重指数下提扳力、最大作用力和旋转幅度的合格率比较

Tab.1 Qualification rates of pulling force, maximum force and rotational amplitude in G1 and G2

项目	G1(例)		G2(例)		$\chi^2$ 值	P 值
	合格	不合格	合格	不合格		
提扳力	3	7	7	3	3.040	0.081
最大作用力	7	3	9	1	1.118	0.276
旋转幅度	8	2	9	1	0.373	0.542

2.2 各次操作过程中的稳定性比较

采用单因素方差分析的检验方法,比较 10 位操作者 5 次旋提手法的力学参数。经统计学分析,G4、G5 与 G1 相比较,提扳力的 P 值分别为 0.015 和 0.006,差异有统计学意义(表 3);G4、G5 与 G1 相比较,最大作用力的 P 值分别为 0.021 和 0.012,差异有统计学意义(表 4);5 次操作之间旋转幅度相比较,P 值均 > 0.05,差异无统计学意义(表 5)。由此可

表 2 各次操作时提扳力、最大作用力和旋转幅度结果

Tab.2 Distribution of pulling force, maximum force and rotational amplitude in each operation

项目	例数	提扳力 ( $\bar{x} \pm s$ , kg)	最大作用力 ( $\bar{x} \pm s$ , kg)	旋转幅度 ( $\bar{x} \pm s$ , °)
G1	10	8.64±2.79	21.32±3.12	2.03±2.54
G2	10	9.90±3.21	22.28±2.99	1.71±1.31
G3	10	10.21±1.62	23.12±1.65	0.89±1.06
G4	10	11.25±2.15	23.93±2.08	1.29±0.81
G5	10	11.63±1.00	24.17±2.00	1.27±0.87

得出,熟练掌握旋提手法的操作者在初次操作时,会因为对该颈椎旋提手法教学机器人不熟悉而出现操作误差,但经过 3 次操作后,基本熟悉该系统的操作方式。在第 4 次操作以后,即可避免因对系统生疏而产生的操作误差,从而达到稳定的状态。

表 3 各次操作提扳力比较的 P 值

Tab.3 Comparison of pulling force in the five operations

操作次数	G1	G2	G3	G4	G5
G1	-	0.226	0.133	0.015	0.006
G2	0.226	-	0.764	0.197	0.098
G3	0.133	0.764	-	0.319	0.172
G4	0.015	0.197	0.319	-	0.707
G5	0.006	0.098	0.172	0.707	-

表 4 各次操作最大作用力比较的 P 值

Tab.4 P value comparison of of maximum force in the five operations

操作次数	G1	G2	G3	G4	G5
G1	-	0.382	0.105	0.021	0.012
G2	0.382	-	0.444	0.137	0.090
G3	0.105	0.444	-	0.463	0.342
G4	0.021	0.137	0.463	-	0.827
G5	0.012	0.090	0.342	0.827	-

表 5 各次操作旋转幅度比较

Tab.5 Comparison of rotational amplitude in the five operations

操作次数	G1	G2	G3	G4	G5
G1	-	0.627	0.088	0.264	0.251
G2	0.627	-	0.216	0.524	0.504
G3	0.088	0.216	-	0.544	0.564
G4	0.264	0.524	0.544	-	0.976
G5	0.251	0.504	0.564	0.976	-

### 3 讨论

#### 3.1 教学模拟器研究现状

由于学生在临床学习过程中, 实践操作的机会较少, 故很多一线临床教学工作者将思维延伸到临床教学模拟器方面的研究。欲研制出可供学生进行多次可重复的临床操作模拟器, 一方面将主观的书本知识进行客观的转化, 另一方面给予学生一个可以进行临床实践的操作平台。

为了扩大医疗急救覆盖范围提高医护人员急救技能, 殷苏民等<sup>[15]</sup>研发出一套心肺复苏模拟人的控制系统, 该系统采用光电传感器检测方法检测心肺复苏人工呼吸过程中吹气质量是否合格, 在操作过程中通过传感器将学生操作过程中的各项关键指标传入计算机, 通过计算机内置软件对指标进行分析整合, 将学生的操作过程转变为可视曲线, 进一步将数据与区间数值进行比对, 得出操作结果, 提供具有针对性的教学计划。施楚君等<sup>[16]</sup>应用 SimMan 综合模拟人和心肺复苏模拟人, 对在读的 166 名 7 年制临床医学专业学生进行了培训及考核, 并在培训前后对 166 名学生进行问卷调查, 调查结果显示大多数学生认为临床模拟器介入教学后, 能够有效提高学生的学习兴趣及主动性, 并且在模拟器上进行实际操作后, 对重要知识点的掌握更加深刻, 尤其在除颤技能培训后, 90% 以上的学生能够基本掌握。

国外学者<sup>[17-20]</sup>将 VR 内镜模拟器应用于临床教学及考核后发现, 医师在经过 VR 内镜模拟器培训后, 在操作内镜技术方面有较明显的提高, 且不同的培训方法在培训效果方面有较明显的差异。Mi 等<sup>[21]</sup>应用三围虚拟现实模拟器生成逼真的三围血管模型、跳动的心脏等人体器官, 供给临床医生进行心脏的微创手术。吴航等<sup>[22]</sup>为提高青年医师眼科白内障手术操作技能, 应用眼内显微手术模拟器(EYESI 由德国生产)对青年医师进行培训, 经过长期的临床应用后发现, 该手术模拟器能够为临床医生及学生提供安全无风险的临床可重复操作平台; 内置系统可对操作过程进行数据记录比对, 指出错误所在, 使后期教学更具有针对性; 可减少学习时间, 降低教学费用; 然而, 模拟器同时也存在费用昂贵、系统尚未完善、无法真正模拟现实手术环境等缺陷。并指出, 在今后的医疗教学中, 高端医学模拟技术应得到大力的推广及应用, 并且医疗模拟器具有潜在、远大的发展前景。近年来, VR 技术迅速崛起, 因其可以模拟临床常见病例, 记录操作过程中的三围运动、力学数据等优势而在临床得到广泛应用。科研方面, 可通过该技术建立虚拟人体模型, 通过其它配套设备辅助, 能够更加容易的理解人体内部的器官构造。这无疑成

为了现代医学临床教学及科研的好帮手。较多国外医学院校已将该技术引入临床教学, 并成立了相关临床技能中心, 对学生及专业人员进行相关培训, 大幅度缩短了临床医师的学习曲线, 与此同时, 经过培训后的临床医师对操作技能及疾病有了更加直观的认识<sup>[23-25]</sup>。

#### 2.2 手法教学模拟器研究现状

Jim 等<sup>[26]</sup>应用 4 台频率为 120 Hz 的摄像头捕捉了 3 位治疗师在对 8 位志愿者实行颈椎扳转手法时的力学参数, 包括平均加速度、最大加速度与持续时间等指标。结果分析得出, 没有任何 2 位治疗师在操作过程中的力学指标是完全一致的, 但是操作过程中志愿者头部的定位是基本一致的。即在实行颈椎扳转手法时, 每位操作者的基本动作是大致一致的, 但操作过程中的力学参数几乎不一致。这意味着, 操作手法的相关力学参数应该有一个区间, 只要操作者实行手法过程中, 力学指标落在该区间便可认为操作是合格的。若该实验达到一定数量样本量, 有可能得出该力学区间。有学者<sup>[27-28]</sup>应用反动力模型大致计算出, 旋转手法操作过程中相关作用力的力学参数, 其得出的试验结论为后续关于在体、离体相关力学指标研究提供了坚实的科研基础。

Descarreux 等<sup>[29]</sup>等在研究中指出, 在人体模型中加入机械装置, 以模拟人体解剖构造。同时加入光电学原件, 记录脊柱手法操作过程中接触部位的位置变化, 通过传感器传入计算机, 经分析后得出脊柱手法操作合格与否, 对初学者学习脊柱手法有很大帮助。Cuesta-Vargas 等<sup>[30]</sup>设计了一项关于颈椎手法培训的研究, 将手法培训分为 3 组。所有初学者在同学之间相互进行操作, 直至已经掌握了手法操作要领位置。第 1 组学生培训过程中, 接受讲师的解释和示范, 进一步学习; 第 2 组学生培训过程中, 讲师会运用机械传感装置对操作过程中的核心步骤进行讲解及演示, 以突出核心指标的重要性; 第 3 组学生培训过程中, 接受实时惯性传感器培训, 实时监测手法的操作过程。经考核发现, 第 3 组学生进行颈部手法操作过程中推力的大小、位移和角速度等力学指标合格率均较另外两组高。Schmid<sup>[31]</sup>指出, 学习颈部脊柱手法过程中, 因为危险性较大, 操作机会非常有限, 所以, 在操作过程中能够找出自己操作的错误是至关重要的。Flynn 等<sup>[32]</sup>和 Petty 等<sup>[33]</sup>指出, 学生目前学习脊柱手法大多是通过教师演示, 同学之间相互操作等模式进行学习, 但这样的学习方法, 在力量、速度、时间和加速度等核心指标方面是无法客观实现的, 以至于在操作过程中学生及教师很难真实体会到核心力学指标是否合格。所以, 一个新的、合理

的可以解决以上问题的培训方式是很必要的。且国外学者通过调查发现<sup>[34-38]</sup>,大多数学生希望在学习脊柱手法过程中,能够有较多的临床操作机会,与教师演示相比,学生更倾向于动手实践,通过适时反馈机制,将操作过程中的力学指标即刻输出,对于手法的学习有很大帮助。

总之,模拟器在临床上的应用为临床教学及科研等方面提供了坚实的技术保障,为学生及低年资医师提供了很好的实践平台,有效避免了原有教学模式下因医患关系紧张、医学伦理学限制而造成实践机会少的弊端,给予临床医务工作者更多实操机会,训练同时进行考核,使学习具有针对性,在手法教学传承方面有望另辟蹊径。因此,稳定性较高的可重复操作平台是旋提手法传承及考核必不可少教学仪器。

#### 参考文献

- 中国康复医学会. 颈椎病诊治与康复指南[M]. 北京:中国康复医学会,2010:1-13.  
Chinese Association of Rehabilitation Medicine. Diagnosis and Treatment of Cervical Spondylosis and Rehabilitation Guide[M]. Beijing: Chinese Association of Rehabilitation Medicine, 2010: 1-13. Chinese.
- 王冰,段义萍,张友常,等. 颈椎病患病特征的流行病学研究[J]. 中南大学学报:医学版,2004,29(4):472-474.  
WANG B, DUAN YP, ZHANG YC, et al. Epidemiologic research on the clinical features of patients with cervical spondylosis[J]. Zhong Nan Da Xue Xue Bao: Yi Xue Ban, 2004, 29(4): 472-474. Chinese.
- 朱立国,张清,高景华,等. 旋转手法治疗神经根型颈椎病的临床观察[J]. 中国骨伤,2005,18(8):489-490.  
ZHU LG, ZHANG Q, GAO JH, et al. Clinical observation on rotation-traction manipulation for treatment of the cervical spondylotic of the neuro-radicular type[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2005, 18(8): 489-490. Chinese with abstract in English.
- 王乾,朱立国,高景华,等. 旋提手法治疗神经根型颈椎病的疗效观察[J]. 中医正骨,2009,21(6):9-11.  
WANG Q, ZHU LG, GAO JH, et al. Clinical observation on rotation traction manipulation for treatment of the cervical spondylotic of the neuro-radicular type[J]. Zhong Yi Zheng Gu, 2009, 21(6): 9-11. Chinese.
- Gross AR, Hoving JL, Haines TA, et al. A Cochrane review of manipulation and mobilization for mechanical neck disorders[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2004, 29(14): 1541-1548.
- Niemisto L, Rissanen P, Sama S, et al. Cost-effectiveness of combined manipulation, stabilizing exercises, and Physician consultation compared to alone for chronic low back pain: a prospective randomized trial with 2-year follow-up[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2005, 30(10): 1109-1115.
- Maigne JY, Chatellier G, Faou ML, et al. The treatment of chronic coccydynia with intrarectal manipulation: a randomized controlled study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2006, 31(18): 621-627.
- Karels CH, Polling W, Bierma-Zeinstra SM, et al. Treatment of arm, neck, and/or shoulder complaints in physical therapy practice[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2006, 31(17): 584-589.
- Vernon H, Humphreys K, Hagino C. Chronic mechanical neck pain in adults treated by manual therapy: a systematic review of change scores in randomized clinical trials[J]. J Manipulative Physiol Ther, 2007, 30(3): 215-227.
- Johnston BC, da Costa BR, Devereaux PJ, et al. The use of expertise-based randomized controlled trials to assess spinal manipulation and acupuncture for low back pain: a systematic review[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2008, 33(8): 914-918.
- Schneider M, Vernon H, Ko G, et al. Chiropractic management of fibromyalgia syndrome: a systematic review of the literature[J]. J Manipulative Physiol Ther, 2009, 32(1): 25-40.
- 朱立国,冯敏山,魏戎,等. 个体因素对颈椎旋提手法操作影响的在体力学研究[J]. 中国中医骨伤科,2011,19(9):14-17.  
ZHU LG, FENG MS, WEI X, et al. The research for individual factors on cervical rotation-traction manipulation[J]. Zhongguo Zhong Yi Gu Shang Ke, 2011, 19(9): 14-17. Chinese.
- 朱立国,冯敏山,毕方杉,等. 颈椎旋(转)提手法的在体力学测量[J]. 中国康复医学杂志,2007,22(8):673-676.  
ZHU LG, FENG MS, BI FS, et al. Mechanical measurement of cervical rotation-traction manipulation[J]. Zhongguo Kang Fu Yi Xue Za Zhi, 2007, 22(8): 673-676. Chinese.
- 冯敏山,朱立国,魏戎,等. 颈椎旋提手法操作轨迹的动态捕捉研究[J]. 中国康复医学杂志,2011,26(2):176-177.  
FENG MS, ZHU LG, WEI X, et al. Dynamic capture of cervical rotation-traction manipulation[J]. Zhongguo Kang Fu Yi Xue Za Zhi, 2011, 26(2): 176-177. Chinese.
- 殷苏民,陆焱焱,谭海波,等. 心肺复苏模拟人控制系统的设计[J]. 传感器与微系统,2010,29(5):109-115.  
YIN SM, LU YY, TAN HP, et al. The design of cardiopulmonary resuscitation simulation manikin control system[J]. Chuan Gan Qi Yu Wei Xi Tong, 2010, 29(5): 109-115. Chinese.
- 施楚君,陈葵,许杰州,等. 医学模拟技术在临床急救技能教学中的应用探索[J]. 中国高等医学教育,2008,8:101-103.  
SHI CJ, CHEN K, XU JZ, et al. The application of medical simulation technology in the teaching of clinical first-aid skills[J]. Zhongguo Gao Deng Yi Xue Jiao Yu, 2008, 8: 101-103. Chinese.
- Snyder CW, Vandromme MJ, Tyra SL, et al. Effects of virtual reality simulator training method and observational learning on surgical performance[J]. World J Surg, 2011, 35(2): 245-252.
- Kruglikova I, Grantcharov TP, Drewes AM, et al. The impact of constructive feedback on training in gastrointestinal endoscopy using high-fidelity Virtual-Reality simulation: a randomized controlled trial[J]. Gut, 2010, 59(2): 181-185.
- Luursema JM, Buzink SN, Verwey WB, et al. Visuo-spatial ability in colonoscopy simulator training[J]. Adv Health Sci Educ Theory Pract, 2010, 15: 685-694.
- Fayez R, Feldman LS, Kaneva P, et al. Testing the construct validity of the Symbionix GI Mentor II virtual reality colonoscopy simulator metrics: module matters[J]. Surg Endosc, 2010, 24(5): 1060-1065.
- Mi SH, Hou ZG, Yang F, et al. A 3D virtual reality simulator for training of minimally invasive surgery[J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2014, 2014: 349-352.
- 吴航,戴惟葭,刘大川,等. 利用手术模拟器提高眼科青年医师白内障手术技能在临床教学中的应用[J]. 国际眼科杂志,

- 2009, 9(11): 2158-2159.
- WU H, DAI WJ, LIU DC, et al. Clinical application of surgical simulator to improve the cataract surgical skills of junior ophthalmologists[J]. *Guo Ji Yan Ke Za Zhi*, 2009, 9(11): 2158-2159. Chinese.
- [23] 罗伟, 李珊珊, 田夫, 等. 虚拟现实技术在医疗中的应用[J]. *中华医院管理杂志*, 2005, 12(6): 33-35.
- LUO W, LI SS, TIAN F, et al. The application of virtual reality technology in medical science[J]. *Zhonghua Yi Yuan Guan Li Za Zhi*, 2005, 12(6): 33-35. Chinese.
- [24] 石巧, 侯建霞. 虚拟现实技术在口腔诊疗操作培训中的应用[J]. *国际口腔医学杂志*, 2015, 42(1): 69-74.
- SHI Q, HOU JX. Application of virtual reality technology in oral operation training[J]. *Guo Ji Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*, 2015, 42(1): 69-74. Chinese.
- [25] 王丹, 罗良平. 虚拟现实技术在临床教学中的应用[J]. *医疗卫生装备*, 2012, 33(7): 126-127.
- WANG D, LUO LP. Application of virtual reality technology in clinical teaching[J]. *Yi Liao Wei Sheng Zhuang Bei*, 2012, 33(7): 126-127. Chinese.
- [26] Jim MW, Daniel Chow, Andrew D. The kinematics and intra-and inter-therapist consistencies of lower cervical rotational manipulation[J]. *Med Eng Phys*, 2005, 27(5): 395-401.
- [27] Triano Schultz. Cervical spine manipulation; applied loads, motions and myoelectric responses[C]. *Proceedings of the 14th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics*, Miami, Florida, 1990, 14: 187-188.
- [28] John JT. Biomechanical analysis of motions and loads during spinal manipulation[C]. *Ann Arbor, University of Michigan*, 1998.
- [29] Descarreaux M, Dugas C, Raymond J, et al. Kinetic analysis of expertise in spinal manipulative therapy using an instrumented manikin[J]. *J Chiropr Med*, 2005, 4(2): 53-60.
- [30] Cuesta-Vargas AL, Williams J. Inertial sensor real-time feedback enhances the learning of cervical spine manipulation; a prospective study[J]. *BMC Med Educ*, 2014, 14: 120.
- [31] Schmid RA. The schema as a solution to some persistent problems in motor learning theory. In *Motor Control: Issues and Trends*[M]. Edited by Stelmach G. New York (NY): Academic, 1976: 41-65.
- [32] Flynn TW, Wainner RS, Fritz JM. Spinal manipulation in physical therapist professional degree education; a model for teaching and integration into clinical practice[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2006, 36(8): 577-587.
- [33] Petty NJ, Bach TM, Cheek L. Accuracy of feedback during training of passive accessory intervertebral movements[J]. *J Man Manip Ther*, 2001, 9: 99-108.
- [34] Crosbie J, Gass E, Jull G, et al. Sustainable undergraduate education and professional competency[J]. *Aust J Physiother*, 2002, 48(1): 5-7.
- [35] Snodgrass SJ, Rivett DA, Robertson VJ, et al. A comparison of cervical spine mobilization forces applied by experienced and novice physiotherapists[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2010, 40(7): 392-401.
- [36] Snodgrass SJ, Rivett DA, Robertson VJ, et al. Cervical spine mobilisation forces applied by physiotherapy students[J]. *Physiotherapy*, 2010, 96(2): 120-129.
- [37] Snodgrass SJ, Rivett DA, Robertson VJ, et al. Real-time feedback improves accuracy of manually applied forces during cervical spine mobilisation[J]. *Man Ther*, 2010, 15(1): 19-25.
- [38] Snodgrass SJ, Odelli RA. Objective concurrent feedback on force parameters improves performance of lumbar mobilisation, but skill retention declines rapidly[J]. *Physiotherapy*, 2012, 98(1): 47-56.

(收稿日期: 2016-07-24 本文编辑: 连智华)