

# 头颈复位试验评估颈部位置觉的信度与效度研究

古再丽努尔·亚森<sup>1,2</sup> 夏楠<sup>1</sup> 汤智伟<sup>1</sup> 张通明<sup>1</sup> 黄晓琳<sup>1</sup>

<sup>1</sup>华中科技大学同济医学院附属同济医院康复医学科,武汉 430030; <sup>2</sup>新疆维吾尔医学专科学校,和田 848000

通信作者:黄晓琳,Email:xiaolinh2006@tjh.tjmu.edu.cn

**【摘要】** **目的** 探讨头颈复位试验(HRT)评估颈痛及健康受试者颈部位置觉的信度与效度。**方法** 招募符合条件的受试者 62 例,其中颈痛患者 32 例,健康受试者 30 例。首次评估时,受试者分别参与了 2 位评估者独立进行的 HRT,并于 24 h 后参与其中 1 位固定评估者进行的 HRT。分别对 3 次试验中受试者的颈椎前屈、后伸、左旋和右旋四个方向的关节位置误差(JPE)进行测量并纳入统计分析。采用组内相关系数(ICC)计算其评估者内/间信度。对 2 组受试者的 JPE 进行组间对比,对差异有统计学意义的指标进行效度分析。**结果** HRT 评估颈椎前屈、后伸、左旋和右旋位置觉的评估者内/间 ICC 分别分布于 0.603~0.830 和 0.597~0.837,对应的测量误差(SEM)范围分别为 1.516~2.154 cm 和 1.691~2.089 cm,最小可检测变化(MDC)分别为 4.203~5.972 cm 和 4.687~5.789 cm。颈痛患者颈椎后伸 JPE 及右旋 JPE 与健康受试者比较,差异有统计学意义(JPE<sub>后伸</sub>  $P < 0.01$ ; JPE<sub>右旋</sub>  $P < 0.05$ );颈椎后伸 JPE 受试者工作曲线(ROC)下面积(AUC)为 0.755 ( $P < 0.05$ )。**结论** HRT 评估颈部位置觉具有较好的评估者内及评估者间信度;试验中,颈椎后伸 JPE 能在一定的程度上帮助区分慢性颈痛及健康人群。

**【关键词】** 颈痛;本体感觉;关节位置觉;信度;效度

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.10.003

## The reliability and validity of using a head-neck relocation test to assess cervical position sense

Guzailinuer Yasen<sup>1,2</sup>, Xia Nan<sup>1</sup>, Tang Zhiwei<sup>1</sup>, Zhang Tongming<sup>1</sup>, Huang Xiaolin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China; <sup>2</sup>Xinjiang Collge of Uyghur Medicine, Hetian 848000, China

Corresponding author: Huang Xiaolin, Email: xiaolinh2006@tjh.tjmu.edu.cn

**【Abstract】** **Objective** To observe the reliability and validity of using a head-neck relocation test (HRT) in assessing cervical position sense. **Methods** A total of 62 subjects were recruited, including 32 with neck pain and 30 healthy subjects. All received two HRTs conducted by two independent assessors at a first session, and then they received another HRT 24 hours later administered by one of them. The joint position error (JPE) was measured in the four directions of cervical motion: flexion, extension, levorotation and dextrorotation. The intra- and inter-rater reliability was quantified in terms of intra-class correlation coefficients (ICCs) and the difference in JPE between the two groups was also determined for validity. **Results** The intra- and inter-rater reliability for the HRT in the four directions had ICC values of 0.603–0.830 and 0.597–0.837 respectively. The corresponding standard error of measurement (SEM) values were 1.52–2.15cm and 1.69–2.09cm, while the minimal detectable change (MDC) values were 4.20–5.97cm and 4.69–5.79cm, respectively. The patients with neck pain had significantly larger JPE in cervical extension and right rotation compared to healthy individuals, on average. And their JPE for cervical extension had an area under the curve (AUC) of the receiver's operating curve of 0.755. **Conclusions** The HRT showed good intra- and inter-rater reliability in assessing cervical joint position sense. The JPE for cervical extension can be used to discriminate those with neck pain from healthy subjects.

**【Key words】** Neck pain; Proprioception; Joint position sense; Reliability; Validity

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.10.003

颈痛是常见的肌肉骨骼疾病,在全球致残原因中占居第 4 位,年患病率超过 30%,而且复发率高,严重影响人类身体和社会心理健康<sup>[1-3]</sup>。随着现代生活工作方式

的改变,颈痛的发病呈逐年增长趋势且越来越年轻化。研究表明,慢性颈痛患者除疼痛及关节活动受限外,往往还存在颈部本体感觉功能下降<sup>[4]</sup>、姿势晃动<sup>[5]</sup>等感觉

运动功能的减退。而颈部本体感觉输入与视觉、前庭系统存在紧密的协同效应,且颈部肌肉的前馈激活是保证视觉和前庭系统稳定的必要机制<sup>[6]</sup>,颈部本体感觉受损或缺失会直接或间接影响视觉和前庭觉的正常输入,从而扰乱人体正常姿势控制<sup>[7]</sup>。因此,对颈部本体感觉的评估成为临床上日益关注的问题。

运动觉和位置觉相关试验是评估颈部本体感觉的常用方法<sup>[8]</sup>。颈椎运动觉评估一般需要受试者平稳、准确地完成模式化运动,其在多数研究中被称为“Fly”<sup>[9-10]</sup>,通常需要运动传感器、专用运动追踪软件等。而位置觉是指个体感知并再现关节先前预设位置或关节活动范围的能力,再现关节先前预设位置时出现的偏差被定义为关节位置误差(joint position error, JPE)<sup>[8]</sup>。头颈复位试验(head-neck relocation test, HRT)<sup>[7]</sup>通过测量颈椎初始位置和再现该位置时的偏差来评估颈椎 JPE,而国内关于颈部本体感觉的研究甚少,因此本研究将使用激光追踪器为辅助,研究 HRT 在颈痛和健康人群中评估者的内信度、间信度及效度,旨在探讨颈部本体感觉试验在颈痛患者康复中的应用价值。

## 资料与方法

### 一、研究对象及分组

颈痛患者入选标准:①年龄 18~55 岁;②颈椎及其相邻部位反复出现疼痛,且病程超过 3 个月;③首诊颈部数字疼痛评分<sup>[11]</sup>(numerical rating scale, NRS)≥3 分;④颈椎功能障碍指数<sup>[12]</sup>(neck disability index, NDI)>5 分;⑤经影像学证实及临床医生鉴别诊断为慢性颈痛;⑥签署知情同意书。本研究获华中科技大学附属同济医院伦理委员会审核批准(批文号 TJ-IRB20210336)。

颈痛患者排除标准:①头颈部外伤史、手术史和潜在严重病理性改变;②颈椎关节不稳、骨折、脊髓压迫、肿瘤、全身系统性疾病;③非颈源性眩晕;④正在接受针对颈痛的治疗,或在过去 6 个月中接受过此类治疗的患者。

选取 2019 年 9 月至 2020 年 11 月本院就诊且符合上述标准的颈痛患者设为颈痛组(32 例),患者的平均 NRS 评分为(4.56±1.19)分,平均 NDI 为(9.72±3.51)分;另选取基本人口学特征与颈痛组相当且近半年内没有

出现明显颈痛的健康受试者设为健康组(30 例)。2 组受试的性别、平均年龄、平均身高、平均体重及平均身体质量指数(body mass index, BMI)等一般临床资料经统计学分析比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ ),具有可比性,详见表 1。

### 二、研究方法与测量

基本信息采集完成后,由评估者 A 独立进行 HRT(A1)完成对受试者的首次评估;短暂休息 15 min 后,评估者 B 重复上述试验完成第 2 次评估(B1)。所采集数据用于分析评估者间信度。在采集完成 24 h 后,由评估者 A 进行第 3 次 HRT(A2),数据用于分析评估者内部信度。

HRT 检测:受试者用头部复位到的自然中立位的方法进行 HRT 检测<sup>[13]</sup>。受试者面对测试墙面坐在距其 90 cm 的靠椅上,屈髋屈膝 90°端坐,双脚与肩同宽,全脚掌着地,双手放在膝上,保持全身放松。头部配戴激光追踪器并戴好眼罩,激光指示灯居中安置于眉心水平并打开开关。首先,要求受试者自行确定其头部自然中立位,即面向正前方时的头部位置,持续 2~3 s 让受试者记住该位置。其后评估者调整墙面测试图形以保证激光点起点位于圆心。然后嘱受试者随机分别完成颈椎的前屈、后伸、左旋、右旋运动,要求匀速缓慢进行,尽量保证躯干不参与上述活动。当运动到达颈椎最大活动范围后尽可能准确地返回到最初记住的头部自然中立位。当受试者确认已返回最初位置后,评估者用标记贴标记此时的激光点位置,并测量其偏离中心的距离,即 JPE。同一个活动方向的 JPE 重复测量 6 次,不同方向之间休息 30 s,1 次 HRT 检测大约需 15 min 完成。3 次试验结束后,向受试者提供有关试验结果的反馈。

### 三、统计学方法

数据录入并核对无误后,输入 SPSS 22.0 版统计软件进行数据统计学分析处理,首先行正态性检验,计量资料用( $\bar{x}\pm s$ )表示;然后采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评价评估者内信度或评估者间信度<sup>[14]</sup>;采用 Bland-Altman 一致性分析评价测量结果间的一致性<sup>[15]</sup>。并按公式(1)和公式(2)分别计算测量标准误(standard error of measurement, SEM)和最小可检测变化(minimal detectable change, MDC)<sup>[16]</sup>:

$$SEM = SD \times \sqrt{1-ICC}, \quad (1)$$

$$MDC = SEM \times 1.96 \times \sqrt{2} \quad (2)$$

表 1 2 组受试者的一般临床资料

组别	例数	性别(例)		平均年龄(岁, $\bar{x}\pm s$ )	平均身高(cm, $\bar{x}\pm s$ )	平均体重(kg, $\bar{x}\pm s$ )	平均 BMI(kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x}\pm s$ )
		男	女				
健康组	30	16	14	24.40±5.64	167.30±8.66	59.90±9.42	21.31±2.21
颈痛组	32	17	15	27.78±6.05	168.06±10.00	62.48±14.81	21.89±3.53

其中 SD 为标准差(standard deviation, SD)。独立样本 *t* 检验用来进行组间比较,对差异具有统计学意义的变量利用受试者工作曲线(receiver operating curve, ROC)进行诊断效能分析。 $P < 0.05$  认为差异有统计学意义。

### 结 果

所有受试均完成评估者 A 进行的 2 次 HRT 检测,其中 47 例受试者(颈痛组 27 例、健康组 20 例)还完成了评估者 B 进行的 HRT 检测。

#### 一、信度分析

评估者内信度分析:通过 HRT 评估颈部位置觉的评估者内 ICC 为 0.603~0.830,评估者内部信度为好~优,其中颈椎屈曲 JPE 信度最高[ICC = 0.830, 95% 置信区间(confidence interval, CI)为 0.733~0.894]。Bland-Altman 一致性分析显示 91% 以上的例数均在 95% 一致性界限(limits of agreement, LOA)内,其中屈曲及右旋 JPE 达 95% 以上;MDC 范围为 4.203~5.972 cm,其中屈曲最小、右旋最大;SEM 范围为 1.516~2.154 cm,其中屈曲最小、右旋最大。具体数据详见表 2。

评估者间信度分析:通过 HRT 评估颈部位置觉的评估者间 ICC 为 0.597~0.837,评估者间信度为中等~优,其中颈椎右旋 JPE 信度最高(ICC = 0.837, 95% CI 为 0.726~0.906)。Bland-Altman 一致性分析显示,93% 以上的例数均在 95% LOA 内,其中左旋及右旋 JPE 达 95% 以上;MDC 范围为 4.687~5.789 cm,其中左旋最小、后伸最大;SEM 范围为 1.691~2.089 cm,其中左旋最小、后伸最大。具体数据详见表 2。

#### 二、效度分析

由评估者 A 测量的 2 次结果中随机抽取其中 1 次并汇总,用来进行组间比较,结果显示,颈痛患者颈椎后伸 JPE( $P < 0.01$ )及右旋 JPE( $P < 0.05$ )大于健康受试者(图 1)。

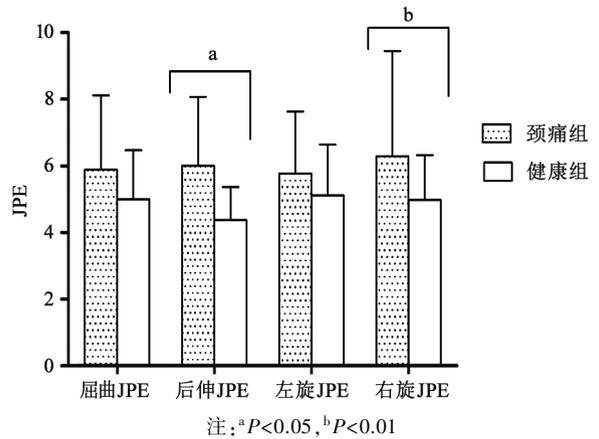


图 1 颈痛患者及健康受试者颈椎 JPE 组间比较

颈椎后伸及右旋 JPE 的 ROC 绘制如图 2 所示,其中只有颈椎后伸 JPE 曲线下面积(area under curve, AUC)与 0.50 相比,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),而颈椎右旋 JPE 曲线下面积(AUC)与 0.50 相比,差异没有统计学意义( $P > 0.05$ )。因此,在区分健康人群和慢性颈痛患者时,颈椎后伸 JPE 可能会有一定的临床意义,即最佳临界值为 5.50 cm,其对应的敏感度、特异度以及约登指数分别为 0.563、0.867 和 0.429,具体数据详见表 3。

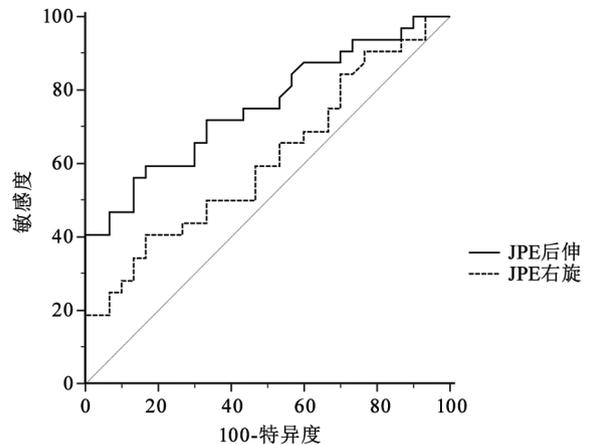


图 2 颈椎后伸及右旋 JPE 的 ROC 分析图

表 2 HRT 评估者内信度及间信度分析

信度分析	ICC	95% CI	平均差(SD)	SEM	LOA	MDC
评估者内信度(A1A2)						
JPE <sub>屈曲</sub>	0.830	0.733~0.894	-0.190(1.110)	1.516	-1.995~2.375	4.203
JPE <sub>后伸</sub>	0.619	0.440~0.751	0.270(1.630)	2.082	-3.467~2.919	5.771
JPE <sub>左旋</sub>	0.603	0.417~0.741	-0.010(1.380)	1.735	-2.687~2.712	4.808
JPE <sub>右旋</sub>	0.740	0.603~0.835	-0.150(1.640)	2.154	-3.058~3.363	5.972
评估者间信度(A1B1)						
JPE <sub>屈曲</sub>	0.770	0.623~0.865	-0.130(1.500)	1.985	-2.809~3.069	5.503
JPE <sub>后伸</sub>	0.597	0.375~0.754	0.110(1.660)	2.089	-3.371~3.149	5.789
JPE <sub>左旋</sub>	0.712	0.537~0.829	-0.100(1.300)	1.691	-2.442~2.651	4.687
JPE <sub>右旋</sub>	0.837	0.726~0.906	-0.320(1.470)	2.014	-2.560~3.196	5.582

表 3 颈椎后伸及右旋 JPE 的诊断价值

测量指标	ROC 分析		界值			
	AUC	P	最佳临界值	敏感度	特异度	约登指数
JPE <sub>后伸</sub>	0.755 (0.636~0.875)	0.001	5.500	0.563	0.867	0.429
JPE <sub>右旋</sub>	0.609 (0.468~0.749)	0.141	6.100	0.406	0.833	0.240

## 讨 论

本研究利用测量辅助用具激光追踪器完成 HRT 检测,以评估颈痛及健康人群的颈部位置觉,结果提示该评估方法具有良好的评估者内及评估者间的可靠性。Bland-Altman 一致性分析散点图没有显示任何系统性偏倚( $P>0.05$ )。Juul 等<sup>[17]</sup>使用激光指示器作为辅助,在颈痛和健康人群中进行 HRT 信度研究发现,其评估者内及评估者间 ICC 分别为 0.48~0.82 和 0.51~0.75,与本研究所使用的方法及结果非常类似。此外, Lee 等<sup>[18]</sup>使用基于超声的运动分析系统进行的类似研究也提示结果一致。

本研究发现,颈痛患者颈椎后伸和颈椎右旋 JPE 明显大于健康受试者,提示颈痛患者颈部位置觉发生明显减退<sup>[13,19]</sup>;进一步效度分析发现,颈椎后伸 JPE 能帮助较好地区分颈痛及健康人群,可以作为一个辅助临床检查,提示颈痛患者可能存在较为明显的矢状面运动定位问题。分析颈椎后伸 JPE 出现如此差异的可能原因:从结构层面而言,颈椎周围肌肉分布着高密度机械感受器,尤其是上颈段深部的枕后及脊旁屈肌群分布着丰富的肌梭<sup>[20]</sup>,深部肌肉在脊柱的运动激活和维持稳定方面起着决定性作用;然而,长期的固定姿势和慢性疼痛会对颈部的本体感觉和运动输入造成明显的影响。慢性颈痛患者往往表现出明显的颈部肌力减弱<sup>[21]</sup>,耐力下降甚至肌肉容量减少<sup>[22]</sup>,且肌肉更容易疲劳等,都可能会影响颈部位置觉的准确性。

颈部的主动屈曲维持除需要前后侧屈伸肌群的协同收缩外,还需要双侧胸锁乳突肌等的有效协同,对肌肉的运动控制要求更高。颈痛患者从颈椎充分伸展位返回至颈部自然中立位的过程中,伸肌群的有效离心收缩和屈肌群的协同收缩能力的下降会明显影响颈椎矢状面运动的稳定性,往往表现为运动速度过快、稳定性下降等<sup>[23]</sup>。本研究所获颈椎后伸 JPE 对应 ROC 的 AUC 为 0.755,与 Elsig 等<sup>[24]</sup>根据颈椎屈伸和旋转 JPE 换算出的整体 JPE 对应 ROC 的 AUC 0.69 非常接近,提示颈椎后伸 JPE 指标具有一定的诊断效能和临床诊断评估应用价值。

本研究并未发现颈椎前屈和左旋 JPE 的明显组间差异,可能是因为研究所招募的慢性颈痛受试人群以年轻大学生为主,其对应的颈椎功能障碍指数评分

提示多数为轻度障碍。此外,颈部本体感觉评估还会受到样本量、受试者依从性、评估方案中的颈椎运动速度、运动方向<sup>[25]</sup>等因素的影响。本研究所纳入的样本量相对较少,且局限于年轻的慢性颈痛人群,可能与不同年龄群体和不同运动任务下的测量结果存在一定差异。

综上所述,HRT 评估颈痛患者及健康人群颈部位置觉有较好的评估者内信度及评估者间信度,具有较好的可靠性。颈椎后伸 JPE 能在一定的程度上帮助区分慢性颈痛和健康人群,后续使用 HRT 进行评估时应考虑其可能存在的测量误差。此外,本研究所招募的受试者均为年轻人且样本量较少,评估过程中并没有通过专用仪器对受试者的颈椎活动速度进行实时精确监控;测量 JPE 时,仅考虑了整体误差等,这些均有待于在后续研究中继续完善。建议未来更多的大样本随机对照研究,探索颈部本体感觉试验的最佳研究方案,探索其在颈部本体感觉功能变化的评估以及康复介入后疗效判断等方面的应用价值。

## 参 考 文 献

- [1] Hoy D, March L, Woolf A, et al. The global burden of neck pain: estimates from the global burden of disease 2010 study[J]. *Ann Rheum Dis*, 2014, 73 (7): 1309-1315. DOI: 10.1136/annrheumdis-2013-204431.
- [2] Cohen SP, Hooten WM. Advances in the diagnosis and management of neck pain[J]. *BMJ*, 2017, 358: j3221. DOI: 10.1136/bmj.j3221.
- [3] Vos T, Allen C, Arora M, et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 310 diseases and injuries, 1990 - 2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015 [J]. *Lancet*, 2016, 388 (10053): 1545-1602. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31678-6.
- [4] Stanton TR, Leake HB, Chalmers KJ, et al. Evidence of impaired proprioception in chronic, idiopathic neck pain: systematic review and meta-analysis[J]. *Phys Ther*, 2016, 96 (6): 876-887. DOI: 10.2522/ptj.20150241.
- [5] Silva AG, Cruz AL. Standing balance in patients with whiplash-associated neck pain and idiopathic neck pain when compared with asymptomatic participants: a systematic review[J]. *Physiother Theory Pract*, 2013, 29 (1): 1-18. DOI: 10.3109/09593985.2012.677111.
- [6] Falla D, Rainoldi A, Merletti R, et al. Spatio-temporal evaluation of neck muscle activation during postural perturbations in healthy subjects[J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2004, 14 (4): 463-474. DOI: 10.1016/j.jelekin.2004.03.003.
- [7] Kristjansson E, Treleaven J. Sensorimotor function and dizziness in

- neck pain: implications for assessment and management[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2009, 39 ( 5 ) : 364-377. DOI: 10.2519/jospt.2009.2834.
- [ 8 ] De Vries J, Ischebeck BK, Voogt LP, et al. Joint position sense error in people with neck pain: a systematic review[J]. *Man Ther*, 2015, 20 ( 6 ) : 736-744. DOI: 10.1016/j.math.2015.04.015.
- [ 9 ] Michiels S, de Hertogh W, Truijen S, et al. The assessment of cervical sensory motor control: a systematic review focusing on measuring methods and their clinimetric characteristics[J]. *Gait Posture*, 2013, 38 ( 1 ) : 1-7. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2012.10.007.
- [ 10 ] Kristjansson E, Oddsdottir GL. "The Fly": a new clinical assessment and treatment method for deficits of movement control in the cervical spine: reliability and validity [ J ]. *Spine*, 2010, 35 ( 23 ) : E1298-E1305. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181e7fc0a.
- [ 11 ] Jensen MP, Karply P, Braver S. The measurement of clinical pain intensity: a comparison of six methods [ J ]. *Pain*, 1986, 27 ( 1 ) : 117-126. DOI: 10.1016/0304-3959(86)90228-9.
- [ 12 ] 伍少玲, 马超, 伍时玲, 等. 颈椎功能障碍指数量表的效度与信度研究 [ J ]. *中国康复医学杂志*, 2008, 30 ( 7 ) : 625-628. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2008.07.017.
- [ 13 ] Revel M, Andre-Deshays C, Minguet M. Cervicocephalic kinesthetic sensibility in patients with cervical pain [ J ]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1991, 72 ( 5 ) : 288-291.
- [ 14 ] Ruivo RM, Pezarat-Correia P, Carita AI. Intrarater and interrater reliability of photographic measurement of upper-body standing posture of adolescents [ J ]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2015, 38 ( 1 ) : 74-80. DOI: 10.1016/j.jmpt.2014.10.009.
- [ 15 ] Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement [ J ]. *Lancet*, 1986, 1 ( 8476 ) : 307-310.
- [ 16 ] Saner RJ, Washabaugh EP, Krishnan C. Reliable sagittal plane kinematic gait assessments are feasible using low-cost webcam technology [ J ]. *Gait Posture*, 2017, 56 : 19-23. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.04.030.
- [ 17 ] Juul T, Langberg H, Enoch F, et al. The intra- and inter-rater reliability of five clinical muscle performance tests in patients with and without neck pain [ J ]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2013, 14 ( 1 ) : 339. DOI: 10.1186/1471-2474-14-339.
- [ 18 ] Lee HY, Teng CC, Chai HM, et al. Test-retest reliability of cervicocephalic kinesthetic sensibility in three cardinal planes [ J ]. *Man Ther*, 2006, 11 ( 1 ) : 61-68. DOI: 10.1016/j.math.2005.03.008.
- [ 19 ] Reddy RS, Tedla JS, Dixit S, et al. Cervical proprioception and its relationship with neck pain intensity in subjects with cervical spondylosis [ J ]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20 ( 1 ) : 447. DOI: 10.1186/s12891-019-2846-z.
- [ 20 ] Boyd-Clark LC, Briggs CA, Galea MP. Muscle spindle distribution, morphology, and density in longus colli and multifidus muscles of the cervical spine [ J ]. *Spine*, 2002, 27 ( 7 ) : 694-701. DOI: 10.1097/00007632-200204010-00005.
- [ 21 ] Ylinen J, Salo P, Nykänen M, et al. Decreased isometric neck strength in women with chronic neck pain and the repeatability of neck strength measurements [ J ]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2004, 85 ( 8 ) : 1303-1308. DOI: 10.1016/j.apmr.2003.09.018.
- [ 22 ] Ghamkhar L, Arimi SA, Kahlaee AH. Interactive association between mechanical and sensorimotor aspects of cervical extensor muscles; implications for chronic neck pain [ J ]. *J Appl Biomech*, 2020, 36 ( 4 ) : 190-197. DOI: 10.1123/jab.2019-0395.
- [ 23 ] Swait G, Rushton AB, Miall RC, et al. Evaluation of cervical proprioceptive function: optimizing protocols and comparison between tests in normal subjects [ J ]. *Spine*, 2007, 32 ( 24 ) : E692-E701. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31815a5a1b.
- [ 24 ] Elsig S, Luomajoki H, Sattelmayer M, et al. Sensorimotor tests, such as movement control and laterality judgment accuracy, in persons with recurrent neck pain and controls: a case-control study [ J ]. *Man Ther*, 2014, 19 ( 6 ) : 555-561. DOI: 10.1016/j.math.2014.05.014.
- [ 25 ] Dugailly PM, de Santis R, Tits M, et al. Head repositioning accuracy in patients with neck pain and asymptomatic subjects; concurrent validity, influence of motion speed, motion direction and target distance [ J ]. *Eur Spine J*, 2015, 24 ( 12 ) : 2885-2891. DOI: 10.1007/s00586-015-4263-9.

(修回日期:2022-07-27)

(本文编辑:汪玲)