

文章编号: 1004-7220(2024)02-0299-06

# 易筋经特定动作“卧虎式”治疗非特异性腰背痛的结构方程建模及相关分析

李翔<sup>1</sup>, 李超<sup>2</sup>, 汤炳煌<sup>2</sup>, 张少伟<sup>2</sup>, 李天骄<sup>2</sup>

(1. 福建中医药大学 康复医学院, 福州 350122; 2. 厦门弘爱康复医院, 福建 厦门 361000)

**摘要:**目的 从身体、行为、心理三方面进行多学科整体干预, 阐释非特异性腰背痛 (non-specific low back pain, NSLBP) 的内在机制。方法 收集易筋经特定动作“卧虎式”治疗 NSLBP 的相关表面肌电 (surface electromyography, sEMG) 信号、三维步态分析系统信号、心理量表结论等, 将收集数据通过结构方程方法分析、建模, 形成“多裂肌-运动功能-生活质量”特征模型, 以期阐述易筋经“卧虎式”训练治疗 NSLBP 的作用机制。结果 NSLBP 患者腰部 L5~S1 多裂肌 sEMG 信号与治疗前相比显著增加 ( $P < 0.05$ )。患者治疗后步幅、步频、步速、髋屈曲最大角度、膝屈曲最大角度均显著增加 ( $P < 0.05$ ); 支撑相、摆动相、踝跖屈最大角度均显著降低 ( $P < 0.05$ )。“卧虎式”训练前后患者 SF-36 评分生理、心理、精神、情感差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 结构方程模型 (structural equation model, SEM) 表明平均肌电 (average electromyography, AEMG)、步长对于 Roland-Morris 评分、SF-36 评分均产生 0.001 水平的显著影响; AEMG、步长对于 Roland-Morris 评分、SF-36 评分产生正向的影响关系; 标准化载荷系数均大于 0.6, 模型拟合效果良好。结论 SEM 模型拟合效果良好, 模型结果可靠, 能够多层面有效阐述易筋经特定动作“卧虎式”治疗 NSLBP 的作用原理。

**关键词:** 易筋经; 非特异性腰背痛; 结构方程模型; 步态分析; 表面肌电

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2024.02.016

## Structural Equation Modeling and Correlation Analysis of Yijinjing Specific Action ‘Crouching Tiger’ for Treating Non-Specific Low Back Pain

LI Xiang<sup>1</sup>, LI Chao<sup>2</sup>, TANG Binghuang<sup>2</sup>, ZHANG Shaowei<sup>2</sup>, LI Tianjiao<sup>2</sup>

(1. Rehabilitation Medicine College, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, China; 2. Xiamen Humanity Rehabilitation Hospital, Xiamen 361000, Fujian, China)

**Abstract: Objective** To conduct a multidisciplinary holistic intervention considering physical, behavioral, and psychological aspects to explain the internal mechanism of non-specific low back pain (NSLBP). **Methods** Surface electromyography (sEMG) signals, three-dimensional (3D) gait analysis system signals, and psychological scale conclusion related to the ‘crouching tiger’ treatment of NSLBP by Yijinjing were collected. The collected data were analyzed and modeled using the structural equation method. A multifidus muscle-motor function-quality of life (QOL) model was developed to elucidate the mechanism of action of NSLBP treatment using Yijinjing ‘crouching tiger’ training. **Results** The sEMG signals from the L5-S1 multifidus muscles of

收稿日期: 2023-05-05; 修回日期: 2023-06-08

基金项目: 福建省自然科学基金项目 (2016J01378), 国家自然科学基金项目 (81102627), 福建省科技厅社会引导性项目 (2016Y0050), 中国出土医学文献与文物中心项目 (2020C05)

通信作者: 李天骄, 副主任医师, 副教授, E-mail: dr.tina@aliyun.com

patients with NSLBP were significantly increased after treatment ( $P < 0.05$ ). After treatment, the patients' step length, step frequency, step speed, maximum hip flexion angle, and maximum knee flexion angle significantly increased ( $P < 0.05$ ). The support, swing, and maximum ankle dorsiflexion angles significantly decreased ( $P < 0.05$ ). The SF-36 physiological, psychological, spiritual, and emotional scores of the patients before and after the 'crouching tiger' training were statistically significant ( $P < 0.05$ ). Structural equation model (SEM) showed that average electromyography (AEMG) and step size significantly impacted the Roland Morris and SF-36 scores at a level of 0.001. AEMG and step size had a positive impact on Roland-Morris and SF-36 scores. The standardized load coefficients were greater than 0.6, and the model fit was good. **Conclusions** The SEM model has good fitting effects and reliable results and can effectively describe the mechanism of NSLBP treatment by Yijinjing 'crouching tiger' training at multiple levels.

**Key words:** Yijinjing; non-specific low back pain (NSLBP); structural equation model (SEM); gait analysis; surface electromyography (sEMG)

非特异性腰背痛 (non-specific low back pain, NSLBP) 是指病因不明、除脊柱特异性疾病及神经根性疼痛以外原因所引起的肋缘以下、臀横纹以上及两侧腋中线之间区域内的疼痛与不适, 持续至少 1 d 的疼痛, 单侧或双侧, 伴或不伴有大腿牵涉痛 (膝以上)<sup>[1]</sup>。流行病学研究表明, 有多达 2/3 的人一生中曾有过 NSLBP 症状; 在美国, 每年因 NSLBP 造成的经济损失超过 1 000 亿美元; 在中国, NSLBP 发病率为 11% ~ 15%<sup>[2]</sup>。研究发现, 中国传统功法的代表性运动——易筋经特定动作对 NSLBP 患者具有缓解疼痛、改善腰部活动范围、提升运动功能的效果<sup>[3-4]</sup>。本研究对 NSLBP 患者采用易筋经“卧虎式”动作进行训练, 采集腰背部区域表面肌电 (surface electromyography, sEMG) 信号、步态运动学数据、心理行为数据进行分析, 采用路径分析进行结构方程模型 (structural equation model, SEM) 建立与分析, 探讨易筋经特定动作对 NSLBP 患者功能作用的内在机制<sup>[5]</sup>。

## 1 研究方案和方法

### 1.1 受测试人员来源

2021年1月~2022年12月, 共计纳入受测试人员 72 例。期间由于各种不可抗拒的原因造成部分病人失访, 最终有 30 例受试对象完成测试并记录数据, 全部来自厦门弘爱医院 (含双向转诊的社区医院)。

### 1.2 诊断和纳入标准

参考《中国急/慢性非特异性腰背痛诊疗专家共识(2016)》<sup>[1]</sup>, 制定以下诊断标准和纳入标准。

诊断标准: ① 背部第 12 肋和臀下沟之间的持续性疼痛超过 3 个月, 可伴有股后外侧放射痛 (不超过膝关节); ② 主诉痛区和上方可有压痛和 (或) 肌痉挛; ③ X 线片除有腰椎椎体旋转, 小关节间隙狭窄、分离、不对称等征象外, 影像学检查无其他阳性发现。纳入标准: ① 符合上述诊断标准, 年龄 16 ~ 60 岁患者; ② 通过实验室、影像学检查或骨密度测量等排除骨关节系统可引起 NSLBP 的下列疾病: 感染、肿瘤、骨质疏松、骨折、风湿性关节炎、椎间盘突出、椎管狭窄等; ③ 通过实验室、影像学检查等排除其他系统可引起 NSLBP 的疾病; ④ 非严重内脏病发作期; ⑤ 施术局部无感染; ⑥ 受试者自愿并签署知情同意书。

### 1.3 实验设计

经上述条件筛选出符合条件的 30 名患者, 其中男 11 例, 女 19 例, 年龄 31 ~ 60 岁, 平均 42 岁; 病程 1 个月至 15 年不等, 平均 14 个月; 将患者根据入院顺序编号, 根据编号交替分别归为常规治疗组 (对照组)、常规治疗 + 易筋经训练组 (实验组), 每组 15 人, 两组患者性别、年龄、病程等比较均无统计学意义。所有人组受试人员在入组时进行基线测量, 完成 sEMG、三维动作、功能量表和心理量表的基本数据采集。在专业教练指导下学习健身气功易筋经“卧虎式”动作, 并在专业教练指导人员带领下学习和练习正确的动作姿势, 并进行相关测试。受试者在院外自行进行练习, 每天进行 10 min 动作训练, 共计 8 周。8 周结束时再次进行数据采集。全部数据经清洗后存入电脑, 通过 SPSS 25.0 统计软件分析, 定量资料以 (平均数 ± 标准差) 表示,

组间比较采用  $t$  检验,定性资料的组间比较采用  $\chi^2$  检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

#### 1.4 sEMG 信号采集

采用 Noraxon Myo System 1200 表面肌电图系统。设定两个通道分别记录肌电信号。参数设置为灵敏度  $1 \mu\text{V}$ ,通道采样频宽为  $10 \sim 500 \text{ Hz}$ 。所有电极均沿肌纤维走行放置。sEMG 电极按照如下位置粘贴:电极放置于双侧腰部竖脊肌纵轴 L5~S1 节段肌腹部位,电极间距  $2 \text{ cm}$ ,参照电极置于  $9 \text{ cm}$  以外的同侧背部(见图 1)。



图 1 表面肌电电极贴敷部位与易筋经“卧虎式”测试过程  
 Fig. 1 Surface electromyography electrode application site and Yijinjing ‘crouching tiger’ test process

表 1 “多裂肌-运动功能-生活质量”各变量相关系数矩阵

Tab. 1 ‘Multifidus-motor function-quality of life’ variable correlation coefficient matrix

变量	AEMG 平均值	步长	步频	支撑相比例	Roland-Morris 评分	SF-36 评分
AEMG 平均值	1.000	—	—	—	—	—
步长	0.782	1.000	—	—	—	—
步频	0.558	0.892	1.000	—	—	—
支撑相比例	0.802	0.889	0.815	1.000	—	—
Roland-Morris 评分	0.531	0.367	0.266	0.337	1.000	—
SF-36 评分	0.722	0.529	0.634	0.448	0.837	1.000

基于所收集的数据及初步分析,进行以下初始模型假设:① 平均肌电(average electromyography, AEMG)作用于步态参数、Roland-Morris 评分和 SF-36 评分;② 步态参数作用于 Roland-Morris 评分和 SF-36 评分;③ Roland-Morris 评分与 SF-36 评分存在相互作用。

经过初始模型的建立→模型的拟合优度检验→修正模型→再次拟合优度检验反复数次后,最终建立如图 2 所示的模型。

## 2 研究结果

### 2.1 训练前后腰部多裂肌 sEMG 信号比较

NSLBP 患者习练易筋经“卧虎式”动作后,临床症状有明显改善,腰部多裂肌 sEMG 的 AEMG 信号

### 1.5 功能及生活质量评定

由于量表测评存在较强的专业性和主观性,为保证每位受试者在接收的测评要求信息准确一致,项目组安排固定的心理学专业人员对受试者进行量表评估,其他人员不得参与,以最大程度保证量表信息完整准确。评估内容为:Roland-Morris 功能障碍量表、日常生活质量 SF-36 量表。为避免量表数据出现录入错误,量表全部为电子版本或移动终端版本,填写结束由受试者核对后打印为纸质版本并签字确认。

### 1.6 SEM 建立

根据实验设计和数据特点,采用路径分析进行 SEM 建立与分析。首先,需要先确定各研究变量之间的关系,通过相关系数确定关系强弱程度,为后续 SEM 建模和分析作参考。为此,本课题组前期采集如下数据:① NSLBP 患者多裂肌 sEMG 信号;② 基于三维动作捕捉的步态数据;③ 运动功能量表;④ 生活-心理质量量表。将各主要变量进行相关性分析后建立相关系数矩阵(见表 1)。

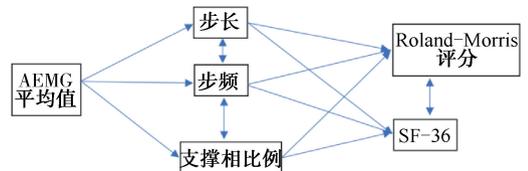


图 2 “多裂肌-运动功能-生活质量”特征模型

Fig. 2 ‘Multifidus muscle-motor function-quality of life’ feature model

也有明显变化( $P < 0.05$ ),见图 3。

### 2.2 训练前后步态参数和活动度比较

在厦门弘爱康复医院运动康复中心,采用三维步态动作捕捉分析系统采集受试者步态周期中各标记点运动学、动力学数据。结果显示,NSLBP 患者易筋经训练 8 周后步态参数均有明显改变,患者

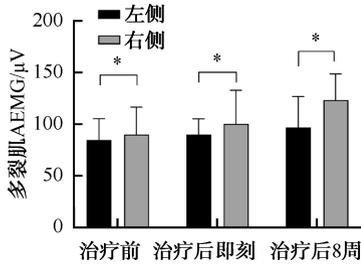


图3 治疗前后腰部多裂肌 AEMG 比较 (\* $P < 0.05$ )

Fig. 3 Comparison of AEMG for lumbar multifidus muscles before and after treatment

步态及本体感觉、协调能力均有所改善( $P < 0.05$ ), 见图4。

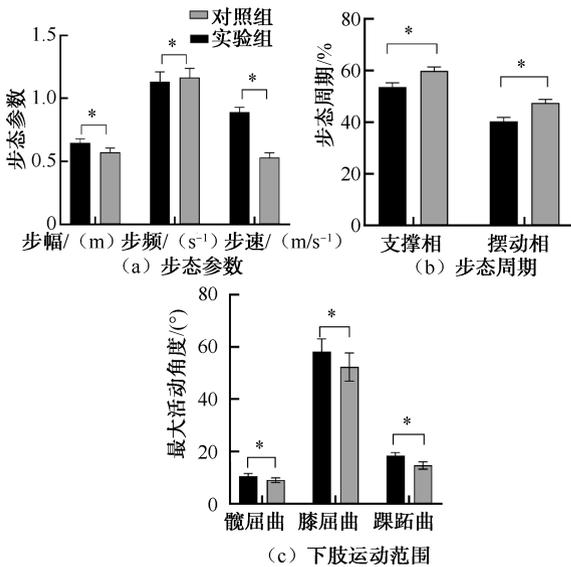


图4 两组训练前后步态参数和活跃度比较

Fig. 4 Comparison of gait parameters and range of motion before and after training between two groups

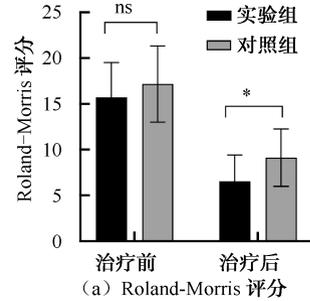
(a) Gait parameters, (b) Gait cycles, (c) Range of motion for lower limbs

### 2.3 训练前后功能量表评分比较

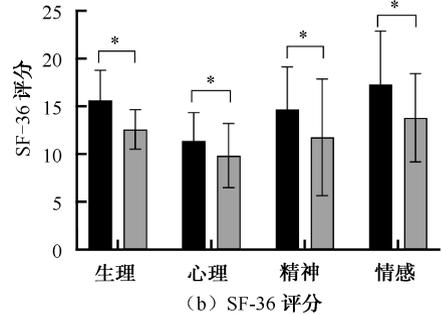
在使用易筋经“卧虎式”对 NSLBP 患者进行治疗性训练, 两组患者治疗后 Roland-Morris 评分均显著下降, 治疗后两组患者评分差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。两组患者治疗后 SF-36 评分均显著下降, 治疗后两组患者评分差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 见图5。

### 2.4 “多裂肌-运动功能-生活质量”特征模型研究

数据分析结果表明, AEMG 与步长、Roland-Morris 评分和 SF-36 评分存在正向关系( $P < 0.001$ ),



(a) Roland-Morris 评分



(b) SF-36 评分

图5 两组训练前后功能量表评分比较

Fig. 5 Comparison of functional scale scores before and after training between two groups

(a) Roland-Morris scores, (b) SF-36 scores

注: ns,  $P > 0.05$ ; \*  $P < 0.05$ 。

步长和 Roland-Morris 评分和 SF-36 评分存在正向关系( $P < 0.001$ )。模型拟合优度检验结果  $\chi^2 = 33.925$ ,  $df = 7$ ,  $P = 0.135$ ; 拟合优度指数(goodness of fit indices, GFI)为 0.905, 调整的拟合优度指数(adjusted goodness-of-fit index, AGFI)为 0.856; 近似误差均方根(root mean square error of approximation, RMSEA)为 0.092, 90%; 置信区间(confidence interval, CI)为 0~0.152, 提示拟合良好(见表2)。

## 3 讨论

易筋经是以中医学基本理论为基础的传统功法, 在提高受试者协调性、本体感觉能力的同时也使视觉系统、前庭系统、本体感觉系统的信号输入系统得到有效增强, 可以使患者在遭遇超负荷情况下有效调节躯体肌肉, 减少腰背痛的复发<sup>[5]</sup>。易筋经还可以强化髋、膝、踝等关节的本体感受功能, 改善和提升平衡协调能力<sup>[5]</sup>。

本文结果提示, 使用易筋经“卧虎式”对 NSLBP 患者治疗前和治疗后 AEMG 有显著性差异。由此推测, “卧虎式”动作能够增强椎旁小肌肉力量, 改善椎体小关节位置, 激活本体感受器及其本体感觉

表 2 模型拟合优度检验

Tab. 2 Goodness of fit test for the model

变量 1	路径		Estimate	SE	CR	P
	方向	变量 2				
Roland-Morris 评分	←	AEMG	0. 662	0. 082	1. 124	<0. 001
SF-36 评分	←	AEMG	0. 718	0. 109	1. 361	<0. 001
Roland-Morris 评分	←	步长	0. 527	1. 282	1. 337	<0. 001
SF-36 评分	←	步长	0. 881	0. 993	0. 769	<0. 001
Roland-Morris 评分	←	步频	0. 326	0. 521	1. 007	0. 251
SF-36 评分	←	步频	0. 449	0. 272	0. 824	0. 559
Roland-Morris 评分	←	支撑相比例	0. 473	0. 393	0. 617	0. 772
SF-36 评分	←	支撑相比例	0. 218	0. 116	0. 673	0. 594

注:Estimate 为估计值,SE 为估计参数的标准误(standard error),CR 为临界比(critical ratio)。

通路的信号传递,有效阻断痛觉信号传递,降低疼痛的机制<sup>[5]</sup>。并由实验结果可以推断,易筋经“卧虎式”可能通过改善患者腰背肌肉的募集次序,使失活的肌群重新发挥稳定椎体的作用,改善腰椎的核心稳定性,加强脊柱核心稳定性从而使其肌肉能力上升。另外,视觉信息的引导从手眼协调功能方面强化了本体感觉功能,可以被视为“多任务平衡反应”<sup>[6-7]</sup>。在使用易筋经对 NSLBP 患者进行治疗性训练后,治疗组患者在步幅、步速、髌膝踝关节最大屈曲角度等步态参数方面均优于对照组,提示易筋经功法锻炼有助于患者运动能力的改善。腰背痛 Roland-Morris 功能障碍量表评分治疗前后差异有统计学意义,提示易筋经“卧虎式”训练可以明显改善患者因腰痛引起的功能障碍问题<sup>[8-9]</sup>。SF-36 量表评分治疗前后差异有统计学意义,提示患者不仅在日常生活层面得到改善,精神和情感方面也得到了较大改善。由此可见,易筋经“卧虎式”训练不仅改善了患者的运动功能,也改善了患者可能出现的抑郁焦虑等问题,使患者的心理状态更加健康,从而提升了患者的生活质量<sup>[10]</sup>。

NSLBP 的病因涉及生物医学、社会行为、心理状态等多个层面和多个位点,而非生物医学体系中的线性相关关系<sup>[11-13]</sup>。本研究采用易筋经对 NSLBP 患者进行治疗性训练,获得训练前后腰部多裂肌 sEMG 信号和三维动作数据,并结合功能和生活质量评价数据,借助 SEM 方法进行统计学分析和数据挖掘,建立“多裂肌-运动功能-生活质量”的特征模型<sup>[14]</sup>,由本模型亦可看出:

(1) 在此模型中,sEMG 信号(AEMG)分析直观反映了腰背痛患者进行易筋经“卧虎式”训练前

后多裂肌的状态改变,在模型中与步态参数的变化,与功能量表和生活质量量表的分值变化都存在一定的联系,故在本方程中是最重要测量参数,对腰背痛患者的评估和诊断具有直接参考价值。多裂肌状态在整个步态周期中起着决定性的作用,在此模型中发现患者的步态参数与多裂肌功能状态正相关,可以认为多裂肌在步态周期中起到了“钥匙”的作用,易筋经特定动作“卧虎式”训练改善了多裂肌的功能状态,进而影响了步态周期各参数的变化。

(2) 步态参数的变化,特别是步长变化与患者功能量表及生活质量量表之间存在明显正相关,步态测试指标的好转也伴随着功能量表及心理量表评分的上升。患者步行姿态是患者功能状态表现的重要基础,步行参数的改善也使得腰部功能表现得到提升,也可以极大提升患者生活质量水平,完成部分以往不能完成或完成欠佳的生活行为,心理压力得以释放。因此,步态参数的改变也影响了功能量表和生活质量的改善。

(3) 功能量表与心理量表虽然多为患者主观意愿的体现,但是在模型中也可以看到主观意愿与 sEMG 信号的变化,与步态参数的改变存在正相关,说明人体作为一个整体性的生物,其客观机体状态的改变与主观心理感受之间存在密切联系,这也符合身心医学的基本原则和非药物治疗的基本理念。

## 4 结论

根据《中国非特异性腰背痛临床诊疗指南(2022)》对 NSLBP 患者推荐多学科的生物心理社

会康复模式 (multidisciplinary biopsychosocial rehabilitation, MBR) 及多学科协同治疗模式, 从身体、行为、心理三方面进行干预, 可以阐释 NSLBP 的内在机制<sup>[15]</sup>。在本文建立的结构方程中, 多裂肌状态、运动功能状态、生活质量状态三者其中一项的改善可以引起总体状态的变化, 提示后续研究要更多地从多层次入手, 而非仅关注于 NSLBP 本身。而本模型的结果也证明了易筋经“卧虎式”训练治疗 NSLBP 不仅可以从传统的生物医学层面展开治疗, 也可以从情绪疏导和心理干预等多个层面进行, 从而形成非药物治疗的最佳方案。

**利益冲突声明:** 无。

**作者贡献声明:** 李翔负责研究设计和思想指导、论文修改; 李天骄负责组织研究的具体实施和论文撰写; 张少伟和汤炳煌负责病人召集和数据采集; 李超负责数据分析。

### 参考文献:

[ 1 ] 中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会专家组. 中国急/慢性非特异性腰背痛诊疗专家共识[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2016, 26(12): 1134-1138.

[ 2 ] HARTVIGSEN J, HANCOCK MJ, KONGSTED A, *et al.* Lancet low back pain series working group. What low back pain is and why we need to pay attention [J]. Lancet, 2018, 391(10137): 2356-2367.

[ 3 ] OLIVEIRA CB, MAHER CG, PINTO RZ, *et al.* Clinical practice guidelines for the management of non-specific lowback pain in primary care: An updated overview [J]. Eur Spine J, 2018, 27(11): 2791-2803.

[ 4 ] CHIAROTTO A, KOES BW. Nonspecific low back pain [J]. N Engl J Med, 386(18): 1732-1740.

[ 5 ] 李天骄, 李翔, 王诗忠. 健身气功易筋经特定动作治疗腰背痛的表面肌电研究[J]. 福建中医药, 2011, 42(6): 11-12.

[ 6 ] 李翔, 王健, 李天骄, 等. 基于太极拳动作相关性康复训练模式研究[J]. 康复学报, 2016, 26(1): 20-24.

[ 7 ] 杨倩倩, 孟宪中, 颜雯婷, 等. 慢性非特异性腰痛患者足底压力特征分析和平衡研究[J]. 医用生物力学, 2023, 38(1): 176-181.

YANG QQ, MENG XZ, YAN WT, *et al.* Analysis on characteristics of plantar pressure and balance in patients with chronic nonspecific low back pain [J]. J Med Biomech, 2023, 38(1): 176-181.

[ 8 ] BALAGUE F, FERRER M, RAJMIL L, *et al.* Assessing the association between low back pain, quality of life, and life events as reported by schoolchildren in a population-based study [J]. Eur J Pediatr, 2012, 171(3): 507-514.

[ 9 ] STEVENS ML, LIN CC, MAHER CG. The Roland Morris disability questionnaire [J]. J Physiother, 2016, 62(2): 116.

[10] LEWIS S, HOLMES P, WOBY S, *et al.* The relationships between measures of stature recovery, muscle activity and psychological factors in patients with chronic low back pain [J]. Man Ther, 2012, 17(1): 27-33.

[11] OTERO-KETTERER E, PEÑACOBÁ-PUENTE C, FERREIRA PINHEIRO-ARAUJO C, *et al.* Biopsychosocial factors for chronicity in individuals with non-specific low back pain: An umbrella review [J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19(16): 10145.

[12] WONG CK, MAK RY, KWOK TS, *et al.* Prevalence, incidence, and factors associated with non-specific chronic low back pain in community-dwelling older adults aged 60 years and older: A systematic review and meta-analysis [J]. J Pain, 2022, 23(4): 509-534.

[13] CHOU R, DEYO R, FRIEDLY J, *et al.* Systemic pharmacologic therapies for low back pain: A systematic review for an American college of physicians clinical practice guideline [J]. Ann Intern Med, 2017, 166(7): 480-492.

[14] CHUNG S, CAI L. Alternative multiple imputation inference for categorical structural equation modeling [J]. Multivariate Behav Res, 2018, 53(1): 148.

[15] 顾蕊, 王岩, 陈伯华. 中国非特异性腰背痛临床诊疗指南[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2022, 32(3): 258-268.