

腰椎疾病的定性和定量评估方法*

蒯声政^{1,2} 周文钰³ 廖振华² 刘伟强^{1,2,4}

近年来,由于社会人口老龄化加速,以及大多数现代人久坐不动的不良生活方式,使得腰椎退行性疾病的发病率明显升高,而且年轻化的趋势越来越突出。已有研究表明^[1]:近年来骨科住院患者逐年增高,而腰椎间盘突出症一直排在骨科疾病的首位。腰椎疾病的治疗不仅包括临床手术,保守理疗及术后康复治疗训练对腰椎疾病整体恢复质量亦影响重大。而与腰椎疾病治疗相关的康复医学在国内目前仍以基础理疗为主^[2],且采用如小燕飞、三点支撑、五点支撑等通用方法训练腰背肌力,针对性不足。这主要源于临床尚缺乏系统、有效、客观的腰椎治疗效果评估方法。基于上述情况,本文通过web of knowledge、pubmed、google scholar、CNKI等检索平台和全文数据库进行文献检索,系统地介绍几种常见的主观问卷调查表和一些定量的评估方法。

1 定性评估方法

临床上定性的评估方法主要是利用问卷调查表进行评分,常用的有功能障碍指数评分、视觉模拟评分、日本骨科学会腰痛评估问卷评分等。

功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)于1976年由John O'Brien起草,经过一系列草稿试点后,于1980年开始出版,由于具有良好的效度、信度和反应度^[3-6],在脊柱外科领域被广泛使用。该评分表共有十个条目,包括疼痛程度、行走、举重、睡觉、起居、社会生活等。每个条目最低得分为0分,最高为5分。ODI的计算方法为十项得分总和除以50,得分越高表明患者的功能障碍越严重。而分析患者得分时,常将分数分成较小残疾、中度残疾、重度残疾、跛行和卧床或夸大症状五个等级,从而获取患者的患病情况。

视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)是用在问卷调查表中一种常用的心理反应的测量。因其简单方便,在临床上被广泛作为一种疼痛感的评分方法。这种方法的可靠性也得到了部分学者的验证,德国Knop等^[7]将表细分成100等份,通过对健康人与胸腰椎手术患者术前与术后间隔24h进行反复的VAS测量,去验证VAS的可信度与可靠性。

Yaray等^[8]也通过对大量数据的统计分析并同时结合对比ODI与SF-36的效果,结果均证明该方法是有效可信的,从而可以用来比对临床手术效果。但是,VAS评分完全是人的主观心理因素的综合评价,受到个人主观影响较大,而且越靠近中间位置其测量就越不准确。

日本骨科学会腰痛评估问卷(Japanese orthopaedic association back pain evaluation questionnaire, JOABPEQ)包括主观症状(9分)、临床体征(6分)、日常活动受限度(14分)共计29分,分数越低,表明功能障碍越明显,并且采用改善率=(术后总分-术前总分)/(29-术前总分)作为手术效果的评定方法。Azimi等^[9]通过对腰椎间盘突出症的术前和术后的功能和疼痛进行JOA评分并对可信度进行验证,得到科隆巴赫信度系数均>0.7,其中术后的JOA甚至>0.8,从而证明JOA评分是一种可靠且有效的评价方法。Fujiwara等^[10]不仅对JOA进行了可信度分析,同时还将JOA同ODI和RMDQ等的相关性进行了进一步分析,证明了这几种方法均为有效的主观评估方法。

腰椎疾病的主观评估除了上述几种比较常用的评分方法外,在临床实践中还辅助有其他的评分方法,比如:健康状况简表(36-item short-form, SF-36)^[11-12],罗兰·莫里斯残疾问卷(the Roland-Morris disability questionnaire, RMDQ)^[13],魁北克背痛残疾量表(Quebec back pain disability scale, QB-PDS)^[14]等。这些问卷调查表从不同的角度反映患者的真实情况,但是主观问卷的结果是患者的一种综合的心理感受,受环境和心情的影响较大,测试结果的可重复性低。因此,为了解腰椎患者的真实情况,则需要更为全面系统的客观定量评价方法。

2 定量评估方法

2.1 影像学方法

目前在临床上主要采用拍摄X光片、CT与MRI等获取腰椎影像,据此进行腰椎疾病的客观诊断与评定。通过影像了解腰椎病患者术后椎体或者假体是否达到预期的位置,

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2014.07.026

*基金项目:深圳市科技计划项目(jcyj20130401113135245);国家科技支撑计划资助项目(2012BAI18B00)

1 清华大学机械工程系,北京,100084; 2 深圳清华大学研究院生物医用材料及植入器械重点实验室; 3 深圳市第二人民医院;

4 通讯作者

作者简介:蒯声政,男,博士研究生; 收稿日期:2013-08-05

并以此作为治疗效果的依据。但是,MRI、CT和X光片都是获取静止状态下的腰椎相对位置,而部分腰椎患者在运动过程才能表现出疼痛与异常(比如运动过程中产生滑脱)。因此,不仅需要知悉腰椎椎体之间在静态下的相对位置,也更需要了解运动状态下腰椎的情况。

临床上脊柱不稳的诊断是采用过伸与过屈两个位置的X光片的动力位片,这是一种准运动情况下的测量方式。White和Panjabi提出利用椎体间的相对位移 $>3\text{mm}$,或者不稳椎体间成角与相邻正常椎体间成角之差超过 22° ,或者相邻椎体间在矢状面上的转动角度 $>10^\circ$ ^[15]作为腰椎不稳的诊断标准。但是,实际临床中,采用这种方法进行判断的阳性率太低。已经表现出明显的不稳,但是没有达到该诊断标准的患者比例很高,因此,无法给出患者有说服力的诊断结果。出现这种情况的一方面原因是诊断标准过于保守,另一方面是计算偏移和转角的信息来源是过伸和过屈两个极限位置的X光片,而这两个极限位置的中间变化情况却不得而知,因此只能了解到运动的数量,却不能得到运动的质量^[16]。为清楚运动的质量,则需要引入另一个运动学参数:瞬时旋转中心。

瞬时旋转中心(instantaneous center of rotation, ICR)是指在过伸(full-extension)—过屈(full-flexion)过程中,相邻两个刚性椎体一个椎体绕着另一个椎体(固定)转动的转动中心。其图形解法如图1^[17],以过伸位上位椎体的上前角(B)和上后角(A)作为标记点,腰椎从过伸位至过屈位的活动位移用AA'、BB'表示,两线段的垂直平分线的交点为该相邻节段的屈伸活动的瞬时转动中心。

瞬时旋转中心是除活动范围(range of motion, ROM)外又一个重要的运动学参数指标。有研究尝试建立ICR和临床上脊柱不稳之间的关系,但是效果不理想,并指出ICR与传统的ROM的信息来源都是过伸和过屈两张X光片,因此他们本质上没有什么区别^[18]。

虽然传统的ICR和ROM的信息来源是相同的,但是分析的角度不同,而且瞬时转动中心是指从过伸到过屈的运动过程中某一时刻的刚体转动中心,而不是图1介绍的利用两

极限位置计算得到的ICR。Panjabi没能成功建立ICR和临床上的脊柱不稳之间的关系,一方面是两点测量ICR的方法本身的不足,主观因素导致的测量误差相对椎体间的相对运动范围不可忽略;另一方面是Panjabi用来分析的ICR,仅仅采用过伸与过屈两张动力位片,得到的ICR并不是力学概念的刚体的瞬时旋转中心。为克服两点测量的不足,提高ICR的测量精度,Bifulco等^[19-21]引入了数字图像处理的方法,先是在透视的环境中获取椎体的模板,然后根据模板匹配的原理得到刚性椎体的运动学参数ICR,这种方法利用了整个椎体上的点,相比采用两点测量更准确,而且实现了自动化,大大减少了人为因素的干扰,测量获取的ICR也与力学上刚体ICR一致。

由于过伸与过屈过程中连续的瞬时转动中心的计算精度提高,使得ICR与临床上脊柱疾病关系的研究才得以进一步开展。Anderst等^[16]用两台X光机从不同角度去拍摄脊柱的影像,计算并最终获取从过伸到过屈的过程中以步长为 1° 的连续的瞬时旋转中心,得到不同节段椎体的瞬时旋转中心的位置有较大的差异,并指出在人工椎间盘假体的设计中应该考虑到不同椎体之间的差异。

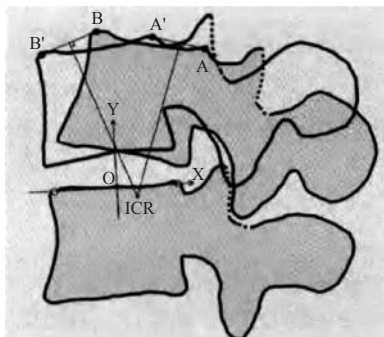
包括Anderst在内的很多学者在进行ICR测量分析时,仅仅对影像进行处理,并没有考虑腰椎椎体结构的特殊性。过伸运动中,椎体的运动主要受到韧带的约束,而在过屈的过程中,椎体间的相对运动除了受到韧带的约束以外,小关节面关节力也会对ICR产生不可忽略的影响。Schmidt^[22]采用有限元的方法模拟分析关节面关节力(facet joint force, FJF)与ICR的关系,发现当施加较小力矩时,ICR基本上在椎间盘内部且与方向(flexion-extension)无关,但是,随着关节力的增大,会发生ICR出现在椎间盘外的现象。因此,在临床上可通过ICR的落点异常进行初步的椎体受力是否过载的判断。其实,早在1992年,Amevo等^[23]就提出先计算出健康人的ICR,然后根据健康人的ICR划定正常ICR落点的椭圆区域,并且给出一个过渡带表示介于正常与异常之间。但是Amevo的结果并不是很理想,仅仅46%的颈椎患者ICR落在椭圆区域外,笔者认为也极其有可能和Panjabi同年尝试建立ICR与腰椎不稳关系失败的原因一样,都是计算的误差相对椎体本身的活动范围不可忽略。随后的研究中,如何建立ICR和脊柱疾病的关系,仍然是一个比较热门的话题。

2.2 步态分析方法

腰椎疾病患者,常常伴有下肢的放射痛和肢体麻木等症状。健康人与腰椎患者在行走的过程中会表现出明显的步态差异。

Khodadadeh^[24]对20例正常人、30例腰痛患者在术前、术后两年的步态参数进行测量,得到67%的患者的疼痛感和功能状况与步态分析的结果一致,33%的患者术后仍然表现出

图1 确定瞬时旋转轴的图解法



疼痛,但是步态参数也得到了一定程度上的改变。其他的一些早期研究^[25-26]中也表明:腰腿痛患者的运动形象会出现特征性的改变,主要包括步长变短,步速变慢,站立相延长,摆动相缩短,如果加快行走,则以增加步调为主,而且单腿支撑的时间出现明显的不对称。因此可以采用这些时间空间参数进行腰椎疾病的诊断和治疗效果的评定,从而可以提高评估的量化程度。

除了时间空间参数以外,上体运动的协调性也是步态分析的一个重要方面,Lamoth等^[27]采用谱分析的方法对盆骨和胸廓在不同速度行走过程中的相对运动进行分析,发现和正常人相比,腰痛患者在快速行走的时候(大于3.8km/h)盆骨和胸廓运动的相对相位明显变小,运动的耦合强度明显变大,但是它们的相对运动幅度和谱成分没有显著性差异。后续的研究中^[28],Lamoth引入的肌电信号,并且采用主成分分析的方法分析骨盆的旋转运动与上肢的运动协调性,也得到了类似的结论。其他一些学者^[29-30]还指出健康人在加快行走时,胸廓和盆骨的旋转运动在水平位会发生同相活动向异相活动的转变,而腰椎疾病患者却没有这种变化。因此,这些异常可以作为腰椎疾病制定康复方案的依据。而关于康复治疗的最佳时间,Sipko等^[31]通过对腰椎疾病的患者进行术前和术后行走过程中,身体的摆动速率和摆动范围进行研究指出,腰椎术后早期是最佳的获取正常步态的康复训练时机。

腰椎疾病的患者常常会有行走和维持稳定姿态的困难,患者在行走过程中的疼痛分布情况和维持稳定姿态的能力会给临床评估和治疗提供有效的帮助。Lee等^[26]通过电子走毯获取仅仅腰痛的腰椎患者、腰痛并伴有下肢疼痛的腰椎患者和正常人在不同行走速度下的垂直方向上的地面反力(ground reaction force, GRF)。研究结果表明:仅仅腰痛的患者和正常人在不同的行走速度下,GRF的M线图的参数没有显著性区别;伴有下肢疼痛的腰椎疾病患者和正常人的M线图参数除了峰值没有显著性差异以外,其他的参数(如承载率)有显著性差异。健康人与腰椎疾病患者不仅在地面反力上表现出差别,姿态维稳方面也有显著性差异。Mok等^[32]通过地面反力和电磁运动分析系统获取正常人和腰椎疾病患者在受到突然的扰动(将重物突然落到测试对象手中捧着的盒子)后腰部的运动和重新恢复平衡的能力,结果表明腰椎疾病患者,受到突然扰动后腰椎开始弯曲的时间较正常人有明显的延迟,而且恢复到稳定姿态的时间也比正常人明显延长。Sung^[33]采用同Mok类似的方法,得到的结论是男性患者维持姿态稳定性的能力明显优于女性患者。因此,在制定康复方案的过程中,需要考虑到患者的性别差异。

种种研究表明腰痛患者会改变他们的步态模式。Elbaz等^[34]认为这种步态模式的改变是一种保护机制,患者尽量避

免髋关节和脊柱的额外增大的活动度,同时尽量减小对身体产生的力与力矩。除此之外,神经肌肉的控制系统也会发生改变,这种改变归于运动过程中的疼痛影响。

2.3 腰部肌肉活动

在对腰椎实施手术时,常常会对肌肉进行剥离,对腰部肌肉产生一定的损伤;长期的腰椎疾病也会造成一定程度上的腰部肌肉的异常,因此了解到腰部肌肉的活动情况对手术指导和手术的效果评估有重要的意义。

Biering-sorensen(BS)测试^[35]是常用的一种测量背部肌肉抗疲劳能力的测试方法,但是有主观因素大等不足,因此在临床使用时往往会做一定的修正。Dederig等^[36-38]采用了修正的BS测试方法对腰椎疾病的患者在术前与术后的耐久能力进行测量,通过本体感受(耐久时间)与客观测量(椎旁肌肉的肌电信号的中位频或者中位频的斜率^[39])发现,经过手术治疗后两年,患者的抗疲劳耐久时间明显变长,中位频的初始测量值也明显偏高,并指出进行腰椎疲劳测试评估时,需要综合考虑肌电信号和耐久时间。除了肌肉的抗疲劳能力外,肌肉的协调性也是一个重要的指标。卫杰等^[39-40]提出采用腰部肌电信号的平均值的屈曲伸直比(flexion-extension ratio, FER)作为衡量肌肉的协调性指标,并对通过灵敏度、特异性和准确度的分析,验证了FER作为诊断非特异性下背痛指标的可靠性。

弯曲松弛现象(flexion relaxation phenomenon, FRP)是临床上了解背部肌肉状况的常见方法,弯曲松弛现象的研究有两个方面的分支^[41]:一方面是研究背部肌肉活动与上肢弯曲角度之间的关系,另一个方面是研究健康人和腰椎疾病患者在弯曲松弛现象中的不同。有研究表明^[39]正常人和腰椎间盘突出症患者的屈伸运动的表面肌电图明显不一致,96%正常人均有屈曲松弛现象,腰椎间盘突出症患者仅5%有屈曲松弛现象,因此,利用FRP能够显著地区分出正常人和腰椎疾病患者^[41,44]。除了站立测量方法,Mak^[42]还提出在直立坐和弯曲坐的情况测量弯曲松弛现象,并记录弯曲松弛比^[43]作为评判指标,结果表明在坐姿状态下利用弯曲松弛比也可以显著地区分正常人和腰椎疾病患者。

3 小结

腰椎治疗效果的评估方法中,主观的问卷调查表应用十分广泛,而且几种问卷调查表如ODI、JOA已经得到公认,因此,没有太多的改进空间。而定量的评估方法如瞬时旋转中心、步态分析等还没有形成系统。随着技术的进步,这些定量方法的精度也会越来越高,作为腰椎疾病治疗效果的评估方法也会越来越多地应用于临床。

目前腰椎疾病治疗效果的评估主要还是采用主观评价的方式,而主观评价受到的影响因素比较多,比如情绪等。

部分主观评价的方法,比如VAS,主观因素影响太大,虽然很多学者对其可信度进行了论证,但是其测量结果的可信度往往还是受到医生的质疑。因此,客观的方法是全面评估腰椎疾病治疗效果的最佳评定方法。但是,目前的客观评价方法还不系统,研究也比较零散。

此外,腰椎疾病常常伴有下肢的功能障碍,而目前的治疗(保守治疗和手术治疗)一般仅仅针对腰部,而忽略了下肢的影响。所以治疗(主要是手术治疗)后,虽然解除了腰部疼痛,却不能像健康人一样正常行走,而这种异常的步态又会导致脊柱受力情况的改变。手术的治疗效果在长期异常步态环境下受到严重影响,临床上表现为需要接受二次手术甚至多次手术,或者二次手术和第一次手术的时间间隔变短。因此,在进行康复训练方案的制订中,必须考虑到下肢的影响。而综合考虑下肢影响和腰椎疾病治疗效果则需要客观的评价方法,将治疗效果量化。因此,一种全面的、量化的腰椎治疗效果评估系统在临床上显得十分必要,虽然现在已经有一些零散的量化研究,但是量化程度和量化可靠性还有待改进,相信随着医学和生物医学工程的发展和进步,这种量化程度会越来越高,制定的康复训练方案也会越来越成熟。

参考文献

- [1] 薛力,查莉,梁益建,等.成都市第三人民医院骨科2008~2010年住院患者疾病及费用构成调查[J].中国循证医学杂志,2013,14(04):393—399.
- [2] 吴宗耀,郭铁成.我国康复医学研究现状[J].中国康复理论与实践,2004,10(2):65—66.
- [3] 郑光新,赵晓鸥,刘广林,等.Oswestry功能障碍指数评定腰痛患者的可信性[J].中国脊柱脊髓杂志,2002,12(1):13—15.
- [4] 刘绮,马超,伍少玲,等.Oswestry功能障碍指数评定慢性腰痛患者的效度分析[J].中国康复医学杂志,2010,25(3):228—231.
- [5] Changulani M, Shaju A. Evaluation of responsiveness of Oswestry low back pain disability index[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2009, 129(5):691—694.
- [6] Ma C, Wu S, Xiao L, et al. Responsiveness of the Chinese version of the Oswestry disability index in patients with chronic low back pain[J]. Eur Spine J, 2011, 20(3):475—481.
- [7] Knop C, Oeser M, Bastian L, et al. Development and validation of the Visual Analogue Scale (VAS) Spine Score[J]. Unfallchirurg, 2001, 104(6):488—497.
- [8] Yaray O, Akesen B, Ocaklioglu G, et al. Validation of the Turkish version of the visual analogue scale spine score in patients with spinal fractures[J]. Acta Orthop Traumatol Turc, 2011, 45(5):353—358.
- [9] Azimi P, Mohammadi HR, Montazeri A. An outcome measure of functionality and pain in patients with lumbar disc herniation: a validation study of the Japanese Orthopedic Association (JOA) score[J]. J Orthop Sci, 2012, 17(4):341—345.
- [10] Fujiwara A, Kobayashi N, Saiki K, et al. Association of the Japanese Orthopaedic Association score with the Oswestry Disability Index, Roland-Morris Disability Questionnaire, and short-form 36[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2003, 28(14):1601—1607.
- [11] Ware JE Jr, Sherbourne CD. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection[J]. Med Care, 1992, 30(6):473—483.
- [12] Zanolli G, Jönsson B, Strömquist B. SF-36 scores in degenerative lumbar spine disorders: analysis of prospective data from 451 patients[J]. Acta Orthop, 2006, 77(2):298—306.
- [13] Monticone M, Baiardi P, Vanti C, et al. Responsiveness of the Oswestry Disability Index and the Roland Morris Disability Questionnaire in Italian subjects with sub-acute and chronic low back pain[J]. Eur Spine J, 2012, 21(1):122—129.
- [14] Demoulin C, Ostelo R, Knottnerus JA, et al. Quebec Back Pain Disability Scale was responsive and showed reasonable interpretability after a multidisciplinary treatment[J]. J Clin Epidemiol, 2010, 63(11):1249—1255.
- [15] Leone A, Guglielmi G, Cassar-Pullicino VN, et al. Lumbar intervertebral instability: a review[J]. Radiology, 2007, 245(1):62—77.
- [16] Anderst W, Baillargeon E, Donaldson W, et al. Motion path of the instant center of rotation in the cervical spine during in vivo dynamic flexion-extension: implications for artificial disc design and evaluation of motion quality after arthrodesis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(10):E594—601.
- [17] Qizhen HE, Zhuojing LUO, Junjie DU. Distribution of instantaneous rotation center and the trajectory of the point of pedicle screw insertion in lumbar flexion—extension motion [J]. Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2010, 5(20):416—420.
- [18] Lee SW, Draper ER, Hughes SP. Instantaneous center of rotation and instability of the cervical spine. A clinical study [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1997, 22(6):647—648.
- [19] Cerciello T, Romano M, Bifulco P, et al. Advanced template matching method for estimation of intervertebral kinematics of lumbar spine[J]. Med Eng Phys, 2011, 33(10):1293—1302.
- [20] Bifulco P, Cesarelli M, Cerciello T, et al. A continuous de-

- scription of intervertebral motion by means of spline interpolation of kinematic data extracted by videofluoroscopy[J]. *J Biomech*, 2012, 45(4):634—641.
- [21] Zheng Y, Nixon MS, Allen R. Automated segmentation of lumbar vertebrae in digital videofluoroscopic images[J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2004, 23(1):45—52.
- [22] Schmidt H, Heuer F, Claes L, et al. The relation between the instantaneous center of rotation and facet joint forces - A finite element analysis[J]. *Clin Biomech*, 2008, 23(3): 270—278.
- [23] Amevo B, Aprill C, Bogduk N. Abnormal instantaneous axes of rotation in patients with neck pain[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1992, 17(7):748—756.
- [24] Khodadadeh S, Eisenstein SM. Gait analysis of patients with low back pain before and after surgery[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1993, 18(11):1451—1455.
- [25] 吴琪,朱敬德.腰腿痛患者步态运动形象分析及研究[J].*上海大学学报(自然科学版)*,1997,3(4):394—399.
- [26] Lee CE, Simmonds MJ, Etnyre BR, et al. Influence of pain distribution on gait characteristics in patients with low back pain: part 1: vertical ground reaction force[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(12):1329—1336.
- [27] Lamoth CJ, Meijer OG, Wuisman PI, et al. Pelvis-thorax coordination in the transverse plane during walking in persons with nonspecific low back pain[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2002, 27(4):E92—E99.
- [28] Lamoth CJ, Daffertshofer A, Meijer OG, et al. How do persons with chronic low back pain speed up and slow down? Trunk-pelvis coordination and lumbar erector spinae activity during gait[J]. *Gait Posture*, 2006, 23(2):230—239.
- [29] Huang Y, Meijer OG, Lin J, et al. The effects of stride length and stride frequency on trunk coordination in human walking[J]. *Gait Posture*, 2010, 31(4):444—449.
- [30] Huang YP, Bruijn SM, Lin JH, et al. Gait adaptations in low back pain patients with lumbar disc herniation: trunk coordination and arm swing[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(3): 491—499.
- [31] Sipko T, Chantsoulis M, Kuczyński M. Postural control in patients with lumbar disc herniation in the early postoperative period[J]. *European Spine Journal*, 2010, 19(3):409—414.
- [32] Mok NW, Brauer SG, Hodges PW. Changes in lumbar movement in people with low back pain are related to compromised balance[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2011, 36(1): E45—E52.
- [33] Sung PS, Park HS. Gender differences in ground reaction force following perturbations in subjects with low back pain [J]. *Gait Posture*, 2009, 29(2):290—295.
- [34] Elbaz A, Mirovsky Y, Mor A, et al. A novel biomechanical device improves gait pattern in patient with chronic nonspecific low back pain[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(15):E507—E512.
- [35] Bernard JC, Bard R, Pujol A, et al. Muscle assessment in healthy teenagers, Comparison with teenagers with low back pain[J]. *Ann Readapt Med Phys*, 2008, 51(4):263—283.
- [36] Dederding A, Elfving B, Németh G. EMG recovery and ratings after back extensor fatigue in patients with lumbar disc herniation and healthy subjects[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2004, 92(1—2):150—159.
- [37] Dederding Å. Lumbar muscle fatigue and subjective health measurements in patients with lumbar disc herniation 2 years after surgery[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(4):646—654.
- [38] Dederding A, Harms-Ringdahl K, Németh G. Back extensor muscle fatigue in patients with lumbar disc herniation. Pre-operative and post-operative analysis of electromyography, endurance time and subjective factors[J]. *Eur Spine J*, 2006, 15(5):559—569.
- [39] 卫杰.表面肌电图与腰椎间盘突出症临床表现和疗效的相关性研究[D].北京:中国中医科学院,2007.
- [40] Wei J, Zhao P, Zhou W, et al. Study on reliability of flexion-extension ratio in surface EMG for the diagnosis of nonspecific chronic low back pain[J]. *Zhongguo Gu Shang*, 2008, 21(6):411—413.
- [41] Shirado O, Ito T, Kaneda K, et al. Flexion-relaxation phenomenon in the back muscles. A comparative study between healthy subjects and patients with chronic low back pain[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 1995, 74(2):139—144.
- [42] Mak JN, Hu Y, Cheng AC, et al. Flexion-relaxation ratio in sitting: application in low back pain rehabilitation[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2010, 35(16):1532—1538.
- [43] Watson PJ, Booker CK, Main CJ, et al. Surface electromyography in the identification of chronic low back pain patients: the development of the flexion relaxation ratio[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 1997, 12(3):165—171.
- [44] Neblett R, Brede E, Mayer TG, et al. What is the best surface EMG measure of lumbar flexion-relaxation for distinguishing chronic low back pain patients from pain-free controls[J]? *Clin J Pain*, 2013, 29(4):334—340.