

- fidus: Does the evidence support clinical beliefs [J]? Manual Therapy, 2006 (11):254—263.
- [17] Hodges PW, Richardson CA. Feedforward contraction of transverses abdominis is not influenced by the direction of arm movement [J]. Experimental Brain Research, 1997, 114: 362—370.
- [18] Hodges PW, Richardson CA. Delayed postural contraction of transverses abdominis in low back pain associated with movement of the lower limbs[J]. Spinal Disorders, 1998,11:46—56.
- [19] McGill SM. Low back stability: from formal description to issues for performance and rehabilitation [J]. Exercise and Sport Sciences Reviews, 2001,29(1):26—31.
- [20] Jull GA, Richardson CA. Motor control problems I patients with spinal pain: A new direction for therapeutic exercise[J]. Manu Physio Therap, 2000,23:115—117.
- [21] Hertling D, Kessler RM. Management of Common Musculoskeletal Disorders – physical therapy principles and methods [M].3rd ed. Philadelphia: Lippincott, 1996.
- [22] 孙启良. 关于下腰痛诊治的一些问题 [J]. 中国康复医学杂志, 2004, 19(2):85—86.
- [23] 顾新. 腰痛的 McKenzie 力学诊断与治疗方法[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2006, 28(1):59—61.
- [24] Sufka A. Centralization of low back pain and perceived functional outcome[J]. Ortho Sports Phys Ther, 1988, 27:205—212.
- [25] 卫小梅, 郭铁成. 悬吊运动疗法——种主动训练及治疗肌肉骨骼疾患的方法 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2006, 28(4):281—283.
- [26] Rackwitz B, de Bie R, Limm H, et al. Segmental stabilizing exercises and low back pain. What is the evidence? A systematic review of randomized controlled trials [J]. Clin Rehabil, 2006, 20(7):553—567.
- [27] Cairns MC, Foster NE, Wright C. Randomized controlled trial of specific spinal stabilization exercises and conventional physiotherapy for recurrent low back pain [J]. Spine, 2006, 31 (19):E670—681.
- [28] Hides JA, Jull GA, Richardson CA. Long-term effects of specific stabilizing exercises for first-episode low back pain[J]. Spine, 2001, 26:E243—248.
- [29] 丁献军, 范顺武. 运动疗法治疗非特异性腰痛的疗效分析[J]. 中国骨伤, 2004, 17 (7): 432—433.

· 综述 ·

腰痛康复治疗的新观念 ——脊柱节段性稳定性训练

张 洲^{1,2} 黄 真¹

腰痛(low back pain)是临床常见病症,美国调查数据报告: 美国有 75%—80% 的人一生中要经受不同程度的腰痛,腰痛是造成 45 岁以下人口活动受限的第 1 位原因、门诊看病中的第 2 位原因(仅次于感冒)、住院的第 5 位原因、手术治疗的第 3 位原因、男性和女性的发病率相似^[1]。

腰痛对患者造成的困扰极大,在社会成本、医疗花费上也甚巨。患者在服药和进行康复治疗之后,腰痛或许有了明显的改善,但是日后常弯腰受限,姿势稍异常便诱发疼痛,复发率非常高。疼痛消失并不等同于患者脊柱功能的障碍已经改善。近年来 Richardson 等^[2]学者研究发现,急性腰痛会造成患者稳定脊柱的肌群运动控制功能发生障碍,此功能障碍并不会随着腰痛消失而恢复,而且它与日后此患者腰痛复发率的高低有密切的关系。

治疗性运动(therapeutic exercises)在治疗腰痛及恢复肌肉机能中一直是非常重要和有效的方法。传统的治疗性运动(如燕飞等)侧重于腰背肌肌力和耐力的训练,但有学者认为腰痛主要是由于负责脊柱稳定的肌群的运动控制出现异常,而非单纯的肌力和耐力的异常,所以传统的运动训练并不能取得很好的疗效^[3-4]。那么怎样的治疗性运动才是更有效的呢? 近几年提出了以重新训练躯干深层肌肉运动控制为基础的脊柱节段性稳定性训练(spinal segmental stabilization exercises)的方法,它对慢性持续性腰痛的缓解、日常生活活动能力的恢复及返回工作岗位都有显著的疗效^[2,4-5]。正常人群

进行稳定性训练后,可以改变腰背肌群的运动模式,使其运动控制机能提高,可以预防腰痛^[6]。

1 稳定性机制

1.1 脊柱稳定与运动控制的关系

1992 年著名的生物力学学者 Panjabi^[7]提出维持腰椎稳定的系统包括三方面:①被动支持系统,由骨骼、韧带、筋膜等提供支撑,包括椎体、椎间盘、小关节和韧带;②主动收缩系统,通过肌肉组织的收缩来维持腰椎的动作和稳定度,包括脊柱周围的肌肉和肌腱;③中枢神经系统主导的运动控制(motor control):通过精密的神经回路来控制主动系统肌肉收缩的时间、顺序、强度等,来维持腰椎的运动和稳定度。

维持脊柱稳定是腰痛运动治疗的主要目标。Hodges 等^[8]指出腰椎本身是不稳定的,需要主动系统中脊柱周围肌肉的支持才能维持腰椎的稳定。

1.2 维持脊柱稳定的肌群—核心肌群(core muscles)

核心肌群这个名词已渐渐广泛用于康复医学和运动医学领域,它是指负责维持脊柱稳定的肌肉群,依其功能和属性,核心肌群可分为两大群^[9-10]:

1 北京大学第一医院物理医学与康复科,100034

2 中山大学康复治疗专业 03 级实习生

作者简介:张洲,男

收稿日期:2007-06-04

第一群为深层核心肌群, 又称为局部稳定肌群(local stabilizing muscles), 包括多裂肌、腹横肌、膈肌和盆底肌等, 它们中有的直接与椎体连接, 通过肌肉的收缩直接固定相邻椎体, 有的则是通过各肌肉的协同收缩调节腹内压来维持各椎体间的稳定, 并使腰椎维持在正中区域(neutral zone)。加上神经系统精密的运动控制, 故此肌群为维持腰椎稳定的第一道防线。

第二群为表浅核心肌群, 又称为整体稳定肌群(global stabilizing muscles), 包括腹直肌、腹内斜肌、腹外斜肌、竖脊肌、腰方肌及臀部肌群等, 其收缩时主要功能在于控制脊柱的运动方向, 并产生较大的动作力矩, 因此可对抗施加在躯干上的外来负荷, 维持整个脊柱的姿势, 此为维持脊柱稳定的第二道防线。

随着研究的不断深入, 学者们将研究的重点放在了深层核心肌群上, 认为它们是基础且更为重要。

1.2.1 多裂肌(multifidus, MF):多裂肌起自骶骨背面、胸腰椎横突, 向上内方斜行, 浅表部分止于上方 3—4 个椎骨的棘突, 稍深的止于上方 2—3 个椎骨的棘突, 最深的肌束连于其上方相邻椎骨, 在腰部比较发达, 对腰椎稳定性的作用就显得尤为突出。刘邦忠等^[1]采用快速上肢的运动(前屈、后伸、外展)作为引起脊柱突然失衡的因素来研究多裂肌在腰椎稳定中的作用。上肢前屈时, 重心前移, 脊柱受到使其屈曲的重力矩作用。上肢后伸时, 脊柱受到使其背伸的重力矩作用。上肢屈曲和后伸两个方向的运动主要造成脊柱在矢状面上的失衡。上肢外展时, 脊柱受到使其侧弯的重力矩作用, 这主要造成脊柱在额状面上的失衡。为对抗这些干扰因素, 躯干肌迅速做出反应, 以维持躯干平衡。此研究发现, 正常人多裂肌在上肢三个运动方向的运动中的收缩均早于最长肌和髂肋肌, 表明在椎旁肌群中多裂肌对脊柱突然失衡的反应最快且最先收缩, 从而对维持腰椎矢状面和额状面上的平衡均发挥着重要作用。它的预先收缩, 使 1—3 个腰椎节段紧张度增高, 稳定性增加, 腰椎节段间的位移减少, 损伤也由此避免, 从而起到了稳定腰椎、保护腰椎的作用。而在上述研究中, 对于慢性腰痛患者组则在上肢三个方向的快速运动中多裂肌的收缩与最长肌、髂肋肌的收缩几乎同时出现, 与正常人相比, 多裂肌收缩明显延迟, 表明腰痛患者出现了多裂肌功能的减退。慢性腰痛患者多裂肌在脊柱突然失衡的瞬间(如上肢快速运动时)收缩延迟, 收缩力下降, 稳定性降低, 使腰椎部分节段出现过度移位, 引起损伤, 导致腰痛。这也反过来证明了多裂肌在腰椎稳定中的重要作用。

Wilke 等^[12]对尸体腰椎模拟施以 5 对肌肉收缩产生的力(多裂肌向尾端的力、多裂肌向头端的力、髂肋肌和最长肌共同作用于横突的力、腰大肌作用于横突的力、腰大肌作用于椎体的力), 测量腰椎活动度的变化, 发现多裂肌对腰椎活动度的影响最大。Danneels 等^[13]发现正常人群在非对称性举重物的过程中多裂肌存在对称性收缩, 腰部髂肋肌的收缩两侧不对称。这些也说明多裂肌在腰椎稳定中发挥着重要作用。

1.2.2 腹横肌(transversus abdominis, TrA):腹肌作为椎旁肌群的拮抗肌在腰椎稳定性中的作用也非常重要, 先天性腹肌发育不全的患者因失去了矢状面平衡可出现脊柱侧弯^[14]。

随着对腹肌稳定性作用的研究不断深入, 学者们将更多的注意力放在了腹横肌的研究上。腹横肌为腹部深层肌肉, 自上而下起自第 7—12 肋的内面、胸腰筋膜、髂嵴前部的内唇、腹股沟外侧 1/3, 肌纤维向内横行移行于腱膜, 参加腹直肌后鞘的构成, 止于白线。虽然腹横肌为腹肌中最薄者, 但其纤维环绕腹部, 经胸腰筋膜与各个椎体的横突、棘突相连, 它的收缩增加了胸腰筋膜的紧张性。腹横肌增加脊柱稳定性的机制是: ①增加腹内压, 通过腹内压增强腰椎的紧张性, 减轻椎体间的压力, 如举重、跳跃等躯干背伸运动中维持腰椎稳定主要就是这一机制^[15-16]; ②增加了附着于腰椎棘突、横突上的胸腰筋膜的张力, 从而直接稳定椎体。胸腰筋膜后层主要为背阔肌筋膜, 附着于棘突, 只维持矢状面的平衡; 胸腰筋膜中层附着于横突, 可维持冠状面及矢状面的平衡, 如在侧弯和举重物等动作中维持冠状面和矢状面的平衡^[17]。上述两个机制, 前者作用点较弥散, 后者则较局限, 两者协同作用以维持腰椎的平衡。

Hodges 等^[18]研究下肢活动时各躯干肌的肌电活动情况, 发现腹横肌是所有躯干肌中最早收缩的, 且明显早于下肢活动肌群, 其收缩不因下肢活动方向的变化而改变。Gresswell 等^[19]的研究也发现腹侧负荷突然增加时, 腹肌收缩早于竖脊肌, 其中腹横肌最早收缩。

Hodges 和 Richardson^[20-22]研究还发现, 在腰痛患者身上腹横肌的收缩出现了明显的延迟, 更意想不到的是腹横肌的收缩时间和强度会随下肢运动方向的变化而改变, 说明了这已经不是一个简单的反应延迟的问题, 而是腹横肌的运动控制出现了障碍。

学者们认为腹横肌的这种在脊柱稳定性发生改变前的预先收缩机制是由中枢神经系统(CNS)所控制的, 而非反射性的。研究发现对于一些有 CNS 病症的患者(如前叶受损和帕金森病)当四肢快速运动从而影响脊柱稳定时出现了与腰痛患者相同的腹横肌收缩延迟现象^[23-25]。

1.2.3 膈肌(diaphragm):当出现脊柱失稳时膈肌不能直接作用于脊柱, 膈肌维持腰椎稳定的作用主要是通过膈肌的收缩减少腹腔内容物向胸腔的移位, 增加了腹内压, 这样使得腹部肌群保持着一个圆箍状的几何形状, 便增加了附着于腰椎棘突、横突上的胸腰筋膜的张力, 通过胸腰筋膜从而实现了稳定性作用^[26-27]。

Hodges 等^[28]的研究提供了证据证实膈肌有稳定腰椎的作用, 证据一: 在产生上肢的活动前膈肌出现了提前收缩; 证据二: 当只是手腕或手指活动而肘和肩保持中立位时并未产生膈肌的收缩, 说明当出现不影响脊柱稳定的肢体活动时, 膈肌并不收缩。

当上肢活动时出现的膈肌收缩不可能通过脊髓的某种反射来作为对上肢活动的反应而产生的, 因为它是在上肢还未产生任何动作时就预先收缩了。因此, 膈肌的预先收缩反应很有可能是由中枢神经系统预先控制的, 而且是作为上肢活动整个程序的一部分。虽然目前还不清楚调节膈肌参与姿势控制的神经系统的构架, 但已有证据证明膈肌的活动是经由上肢活动时姿势控制通路所传导的。此外, 在一般情况下, 膈肌和腹肌参与呼吸时是互相拮抗的, 但是在维持脊柱稳定时却是协同收缩的, 这更进一步说明膈肌的稳定性作用

并非由传统的呼吸中枢所控制的。在实验中,无论是在呼吸的哪一期膈肌都能出现早于上肢活动的预先收缩^[28]。

1.2.4 盆底肌(pelvic floor muscles, PFM):盆底肌作为躯干的底部支撑着腹腔和盆腔内的脏器,当站立和坐位时盆底肌便会紧张收缩^[29]。既然作为腹腔的底部,盆底肌也将对腹内压产生影响。所以盆底肌也是通过改变腹内压来产生稳定性作用的,机制与膈肌类似。

Hodges 的研究发现当产生肢体的活动时,盆底肌也出现了预先收缩,而且不随肢体活动的方向发生改变^[30]。此研究还指出盆底肌的预先收缩用因腹内压升高而产生的盆底肌牵张反射来解释显然是不可能的,可能也是由 CNS 的姿势稳定控制通路所调节的。

通过以上的大量研究我们可以发现深层核心肌群即局部稳定肌群在维持腰椎稳定中的重要作用,但是它们并不是独立作用的,需相互协同收缩共同作用组成一个局部稳定系统才能发挥其稳定性作用。当然,浅表核心肌群即整体稳定肌群也同样重要,在局部稳定系统的基础上再加上整体稳定系统才能达到最终的稳定。

2 稳定性训练

核心肌群正常时,可维持椎体间的稳定,保护脊柱。但是对于腰痛的患者,其核心肌群功能受限,运动控制异常,进而失去稳定脊柱、保护脊柱的功能。通过运动控制的再学习(motor control re-learning),可使上述核心肌群的机能恢复,降低腰痛的复发。Hides^[2]进行的疗效研究发现,经过 10 周的核心肌群运动控制再学习的运动治疗后,一年内腰痛复发率由 85%降至 25%,三年内腰痛复发率由 75%降至 35%。

具体到训练的方法, Peter O'Sullivan 提出了三阶段(three stages)训练法^[31-32]:第一阶段是认知阶段(cognitive stage),此阶段主要是训练患者进行局部稳定肌群(主要是多裂肌和腹横肌)独立的低强度自主等长收缩,避免整体稳定肌群的参与,目标是让患者感知并熟练掌握局部稳定肌群独立的自主协同收缩;第二阶段是联合阶段(associative stage),强调对特定的运动模式进行强化训练。这一阶段是通过检查发现两三种错误和引发疼痛的运动模式,并将其分解为多个运动成分,然后针对每个运动成分进行高度重复的训练,在每个成分完成的过程中均包含着第一阶段中局部稳定肌群的协同收缩。此阶段的训练从一开始的保持腰椎正常前凸的体位逐渐过渡到正常的脊柱运动中,比如步行、上举、弯腰等功能性运动,逐渐增加运动的速度和复杂程度;第三阶段是自发阶段(autonomous stage),这一阶段是通过特定的训练,患者可以通过恰当的自发运动动态地稳定脊柱,以满足日常生活的功能性需要。此三阶段训练法提供了一个很好的训练思路,但在具体的训练操作上不够明确。

Comerford^[33]又在 O'Sullivan 的三阶段训练法的基础上提出了更细的操作性更强的“腰部稳定性训练四优先”(four priorities of back stabilizing exercises)法。具体内容如下:

2.1 第 1 步:局部稳定系统:中立位的控制(priority one-local stability system:control of neutral)

第 1 步的训练目标是让患者掌握局部稳定肌群亚极量

有意识自觉控制的收缩。用意在于固定腰椎的各节段以控制腰椎在中立位上(即腰椎的正常前凸)。训练重点是在腰椎中立位学会多裂肌和腹横肌的协同收缩,这也是整套训练法的基础。

第 1 步的训练是一个循序渐进的过程,开始是在不负重的特定训练中练习腰椎中立位的控制,待患者掌握后,提高到在低负重的对功能要求较低的活动中练习中立位的控制,最终在完全负重的功能性活动中掌握中立位的控制。

训练初期的特定训练又分为 A 和 B 两类。A 类采用在非常特定的完全不负重的腰椎中立位的情形下训练收缩局部稳定肌群(主要是多裂肌和腹横肌),以使其恢复完全独立于整体稳定肌群的力学作用。A 类采用的都是非功能性的动作。A 类的特定性、限制性和技巧性要求较高,可能部分患者无法很好的掌握和完成。与 A 类相比,B 类则相对容易掌握和完成。因为 B 类的特定性和限制性低一些,它是采用对功能要求较低的稍负重的动作进行训练,且允许腰椎在非中立位下训练,可有整体肌群的参与。

当 A 类训练中的动作能够很好完成时就应该进阶到负重的功能性活动。当 A 类的特定训练中的动作完成得非常差时,最好采用 B 类训练,直到这些特定的训练已经掌握,再提高到功能性的动作。

2.2 第 2 步:整体稳定系统:方向的控制(priority two-global stability system:control of direction)

腰痛的患者常存在着腰椎向某个方向活动(前屈、后伸、旋转)上的稳定性功能不良。第 2 步的训练目的就是通过学习,让患者重新掌握在这些方向上的动态控制,包括后伸的控制、屈曲的控制和旋转的控制。

第 2 步的训练是在低负重下由局部和整体稳定肌群的共同参与综合来完成。一般都是采用在维持腰椎中立位的前提下进行肢体或躯干的活动来训练腰椎在各个活动方向上的动态控制。局部稳定肌群负责控制腰椎各节段间的活动,而整体稳定肌群则是抵抗来自肢体或躯干的影响腰椎中立位的外加负荷。例如:在仰卧双下肢屈膝脚底平放于床面的体位下,进行单腿髋关节的旋转加外展的动作训练,可用来训练腰椎旋转的控制,此过程中局部稳定肌群控制和固定出现功能不良的腰椎节段,维持腰椎在中立位上的稳定,而整体稳定肌群则是控制和拮抗来自髋旋转加外展产生的外在负荷。类似,桥式运动和四点跪位下的单侧下肢后伸可用来训练腰椎在后伸方向上的动态控制。但需注意的是这些训练动作必须在完成了局部稳定肌群持续协同收缩的基础上进行才有效。另外,动作不应过快,需缓慢。

2.3 第 3 步:整体稳定系统:失衡的控制(priority three-global stability system:control of imbalance)

第 3 步的训练目的是训练整体稳定肌群对腰椎活动方向上的全范围的控制能力。这在第 2 步的控制方向的基础上更进一步,强调在这一方向内的全范围的控制。

2.4 第 4 步:整体肌群的主动牵伸或抑制(priority four-active lengthening or inhibition of the global)

第 4 步的训练主要是对那些柔韧性较差的整体稳定肌群进行自我牵伸,以改善其柔韧性;同时对那些过度兴奋的

整体肌群进行抑制。通常以自我牵伸性的动作为主,教给患者徒手或利用器械的自我牵伸方法。

最后,在整个训练方案的末期可以进行一些整体肌群的肌力和耐力训练。

2.5 关于此训练方法的补充说明

Comerford^[33]建议局部稳定系统和整体稳定系统的训练应同时进行,比单独训练完一个系统后再进行另一系统的训练,更有利于功能整合。也就是说,当患者基本掌握了第 1 步初期的特定的局部稳定肌群协同收缩后,就应立即进行第 2 步的训练,而且开始的越早越好,而不必等到第 1 步的所有训练完成后再来进行第 2 步的训练。第 1 步的训练要逐步整合进入到在功能性活动中练习中立位的控制,不管采用怎样的复合步骤和程序,只要能够积极主动和能达到要求就行。第 3 步的训练内容和第 2 步有部分重叠,第 3 步难度更大。第 4 步又是在第 3 步的基础上提高而来,但第 4 步是要在病理症状已经得到控制的情况下才适用。

参考文献

- [1] Andersson GBJ. The epidemiology of spinal disorders. In: Frymoyer JW, Ed. The adult spine: principles and practice[M]. New York: Lippincott-Raven Publishers, 1997. 93—141.
- [2] Hides JA, Jull GA, Richardson CA. Long-term effects of specific stabilizing exercises for first-episode low back pain[J]. Spine, 2001, 26:E243—248.
- [3] Jull GA, Richardson CA. Motor control problems in patients with spinal pain: a new direction for therapeutic exercise[J]. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics, 2000, 23 (2):115—117.
- [4] Richardson C, Jull G, Hodges P, et al. Therapeutic exercise for the spinal segmental stabilization in low back pain: scientific basis and clinical approach [M]. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1999.
- [5] O'Sullivan PB, Twomey LT, Allison GT. Evaluation of specific stabilizing exercise in the treatment of chronic low back pain with radiologic diagnosis of spondylolysis or spondylolisthesis[J]. Spine, 1997, 22(24): 2959—2967.
- [6] Stevens VK, Coorevits PL, Bouche KG, et al. The influence of specific training on trunk muscle recruitment patterns in healthy subjects during stabilization exercises [J]. Man Ther, 2007, 13(2):271—279.
- [7] Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaption, and enhancement[J]. Journal of Spinal Disorders, 1992, 5:383—389.
- [8] Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain: a motor control evaluation of transversus abdominis [J]. Spine, 1996, 21 (22): 2640—2650.
- [9] Barr KP, Griggs M, Cadby T. Lumbar stabilization: core concepts and current literature, Part 1 [J]. Am J Phys Med Rehabil, 2005, 84(6):473—480.
- [10] Barr KP, Griggs M, Cadby T. Lumbar stabilization: a review of core concepts and current literature, part 2 [J]. Am J Phys Med Rehabil, 2007, 86(1):72—80.
- [11] 刘邦忠, 李泽兵. 慢性腰痛患者在脊柱突然失衡时多裂肌的肌电表现[J]. 中国康复医学杂志, 2003, 18(10):609—611.
- [12] Wilke HJ, Wolf S, Claes LE, et al. Stability increase of the lumbar spine with different muscle groups: A biomechanical in vitro study [J]. Spine, 1995, 20: 192—198.
- [13] Danneels LA, Vanderstraeten GG, Cambier DC, et al. A functional subdivision of hip, abdominal, and back muscles during asymmetric lifting[J]. Spine, 2001, 26:E114—121.
- [14] Lam KS, Mehdi H. The importance of an intact abdominal musculature mechanism in maintaining spinal sagittal balance: Case illustration in prune belly syndrome [J]. Spine, 1999, 24: 719—722.
- [15] Cholewicki J, Juluru K, McGill SM. Intra-abdominal pressure mechanism for stabilizing the lumbar spine [J]. J Biomech, 1999, 32:13—17.
- [16] Cholewicki J, Juluru K, Radebold A, et al. Lumbar spine stability can be augmented with an abdominal belt and/or increased intra-abdominal pressure [J]. Eur Spine J, 1999, 8: 388—395.
- [17] Tesh KM, Dunn S, Evans JH. The abdominal muscles and vertebral stability [J]. Spine, 1987, 12:501—508.
- [18] Hodges PW, Richardson CA. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb [J]. Phys Ther, 1997, 77:132—143.
- [19] Cresswell AG, Oddsson L, Thorstensson A. The influence of sudden perturbations on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure while standing [J]. Exp Brain Res, 1994, 98: 336—341.
- [20] Hodges PW, Richardson CA. Delayed postural contraction of transversus abdominis in low back pain associated with movement of the lower limb [J]. J Spinal Disord, 1998, 11(1): 46—56.
- [21] Hodges PW. Changes in motor planning of feedforward postural responses of the trunk muscles in low back pain [J]. Exp Brain Res, 2001, 141(2):261—266.
- [22] Hodges PW, Moseley GL, Gabrielsson A, et al. Experimental muscle pain changes feedforward postural responses of the trunk muscles [J]. Exp Brain Res, 2003, 151(2):262—271.
- [23] Pal'tsev YI, El'ner AN. Preparatory and compensatory period during voluntary movement in patients with involvement of the brain of different localization. [J]. Biofizika, 1967, 12:142—147.
- [24] Latash ML, Aruin AS, Neyman I. Anticipatory postural adjustments during self inflicted and predictable perturbations in Parkinson's disease [J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 1995, 58:326—334.
- [25] Rogers MW, Kukulka CG, Soderberg GL. Postural adjustments preceding rapid arm movements in Parkinsonian subjects [J]. Neurosci Lett, 1987, 75:246—251.
- [26] Hodges PW, Gandevia SC. Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task [J]. J Physiol, 2000, 522(Pt 1): 165—175.
- [27] Hodges PW, Gandevia SC. Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm [J]. J Appl Physiol, 2000, 89(3):967—976.
- [28] Hodges PW, Butler JE, McKenzie DK, et al. Contraction of the human diaphragm during rapid postural adjustments [J]. J Physiol, 1997, 505 (Pt 2):539—548.
- [29] Bo K, Finckenhagen HB. Is there any difference in measurement of pelvic floor muscle strength in supine and standing position [J]? Acta Obstet Gynecol Scand, 2003, 82 (12):1120—1124.
- [30] Hodges PW, Sapsford R, Pengel LHM. Postural and respiratory functions of the pelvic floor muscles [J]. Neurourology and Urodynamics, 2007, 26(3):362—371.
- [31] O'Sullivan PB. Lumbar segmental 'instability': clinical presentation and specific stabilizing exercise management [J]. Manual Therapy, 2000, 5(1):2—12.
- [32] Shumway-Cook A, Woollacott M. Motor control: Theory and Practical applications [M]. Baltimore: Williams & Wilkins, 1995.
- [33] Comerford MJ, Mottram SL. Functional stability re-training: principles and strategies for managing mechanical dysfunction [J]. Manual Therapy, 2001, 6(1):3—14.