

·综述·

肩胛骨动力学评估的研究进展

陈 康¹ 邓思敏¹ 何岚娟¹ 马燕红^{1,2}

肩关节是日常生活中完成各项运动的重要关节,其具有良好的关节活动。狭义的肩关节包括三个解剖学意义的关节(盂肱关节、肩锁关节、胸锁关节)和两个功能学意义的关节(肩胛胸壁关节和肩肱关节)^[1],肩关节依靠其周围肌肉的动力学作用,通过协调上述关节的活动,形成了完美的功能表现。在这其中,绝大多数运动发生在盂肱关节和肩胛胸壁关节^[2],可见肩胛骨发挥着重要角色。如肩胛骨动力学发生障碍,将影响肩关节的活动。对于肩胛骨动力学的评估将有助于进一步了解肩关节相关疾病的发生发展,并为其预防与治疗提供科学依据。本文将对近几年肩胛骨动力学评估方面的最新研究进展进行综述。

1 肩胛骨动力学和评估意义

肩胛骨是一块较为平坦的扁骨,紧紧贴于胸壁后侧,形成肩胛胸壁关节。目前研究所指肩胛骨运动,以肩胛胸壁关节运动^[3]为主,其在肩关节运动过程中具有良好的活动功能。肩胛胸壁关节可围绕三条坐标轴发生上/下旋、内/外旋、前/后倾^[4-6],相对于胸壁表面发生内/外侧移动、上抬、下降的运动。肩胛骨生理运动一般都是复合运动,肩胛骨前伸是指其前倾、内旋、下旋的复合,后撤是指其后倾、外旋、上旋的复合,耸肩是指其上旋、前倾、内旋的复合^[7]。肩关节在上举和外展时,伴有肩胛骨旋转的节律性变化。肩胛骨动力学的维持和稳定需要肩胛提肌、斜方肌、菱形肌、前锯肌参与,肩袖对于肩胛骨的动静态稳定也至关重要^[2]。

肩胛骨动力学障碍^[8]是指肩胛骨的动静态位置和运动发生异常。骨性因素、软组织因素、神经及肌肉活动改变因素均可引起肩胛骨动力学障碍,故肩胛骨动力学障碍^[7]与肩部疾病关系密切,如:神经损伤所致翼状肩、肩胛骨周围肌肉撕脱、撞击综合征、肩袖损伤、锁骨骨折、肩锁关节脱位、孟唇损伤、肩关节不稳等。

2 肩胛骨动力学的实验室评估

2.1 运动捕捉

通过运动捕捉系统,采集运动数据,结合计算机软件系

统的处理将肩胛骨的运动数据分别投影到三个坐标平面内,得出各项运动参数。常用肩胛骨运动捕捉系统主要可分为三类:机械式、电磁式、光电式。

2.1.1 机械式:由金属架和传感器组成。在金属架连接处(骨骼关节处)安装电位计,测算关节角度变化。Steven等^[9]在对13例无肩部疾患者,采用电位计测量肩胛骨平面肩关节上抬时肩胛骨上旋角度,发现电位计可作为测量肩胛骨上旋的良好工具。Scibek等^[10]对11例无肩部疾患者,对比采用电位计和电磁捕获方式分析所得的肩胛骨运动学数据,发现电位计的信度良好,但是效度方面有待改进,我们需要考虑数据准确性的影响因素。

2.1.2 电磁式:要求受试对象处于磁场发射器发射的低频磁场中,电磁感应器安放于受试者的关键处,测量磁场信号,再通过控制器与主机的处理,结合建立的坐标系,计算出运动参数。电磁捕获装置在肩胛骨动力学研究中应用广泛,Alexandra等^[11]用电磁装置对副神经损伤和胸长神经损伤患者肩胛骨运动学进行分析,采取健患侧对比,发现胸长神经损伤者的两侧肩胛骨后倾差异明显大于副神经损伤组,而其两侧肩胛骨前伸差异明显小于对方,这提示着神经损伤有其特定肩胛骨动力学障碍特点。Fernanda等^[12]采用电磁装置分析26例健康成年人和33例儿童肩胛骨平面上肢上举和下降时的肩胛骨运动学,发现上肢上举120°时,儿童肩胛骨前伸少于成年人,然而在全上举过程和下降至60°、90°、120°时,儿童肩胛骨前倾却多于成年人,这类差异对于儿童肩胛骨动力学障碍的诊疗有指导意义。Noriaki等^[13]采用电磁装置分析16例健康人上肢矢状面上举的三种动作:伸肘徒手上举、伸肘负重2kg上举,屈肘负重2kg上举,肩胛骨运动学情况。发现最后一个动作较前两者具有较小的内旋,却有更大的上旋和后倾,此种训练方式能为肩部训练提供新思路。

2.1.3 光电式:系统可分为主动式和被动式,均是通过计算机处理得动力学参数。主动式系统由位置传感器、标志光点和电脑主机等构成,传感器向电脑传递位置信息。被动式系统由标志光球、视频摄像机、电脑主机等构成,通过捕捉被测对象表面标记光球反射的红外线,记录小球空间位置的影像

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2015.11.024

1 上海交通大学附属第六人民医院康复医学科,上海,200233; 2 通讯作者
作者简介:陈康,男,硕士研究生; 收稿日期:2014-06-19

1188 www.rehabi.com.cn

信息。肩胛骨动力学评估采用后者居多,Bourne等^[14]采用被动系统,通过视频照相机采集体表红外线信号,分析8例健康人肩关节外展、前伸、水平内收、手放背后时肩胛骨的旋转活动度,这些关于肩胛骨旋转活动度的正常数据建立将对肩胛骨动力学障碍诊断提供指导。Bourne等^[15]通过在8例健康者肩胛骨不同位置进行皮肤标记,设计类似实验动作,采用光电系统,采集肩胛骨动力学数据,与金标准骨针采集数据对比,发现标志位于肩胛冈、肩胛骨中部、肩胛骨头尾部分别对肩胛骨外旋、上旋、后倾的评估准确性高,这可以用来改善肩胛骨动力学障碍的评估策略。William等^[4]采用运动录像测量10例无上肢疾病史受试者的肩胛骨运动,通过对比以往表面标志和骨针采集的肩胛骨动力学数据,认为运动录像捕获是一种评估肩胛骨动力学的好方法。

2.2 肌电收集

肌电分析在肩胛骨动力学的研究中应用广泛,肩胛骨周围神经肌肉控制能力对于正常肩胛骨动力学的维持起着重要作用,其改变与肩部疾病发生、发展及功能障碍相关。Laren等^[16]选取肩峰撞击综合征患者和健康人各15例,采用肌电分析对比其肩胛部神经肌肉控制能力,以其斜方肌选择性激活能力代表神经肌肉控制能力,发现对比健康组,肩峰撞击综合征组仅在存有生物反馈的前提下方能完成斜方肌的选择性激活。肌电分析有助于分析不同肩部动作时,肩胛部肌肉动力情况。Kyung等^[17]入组28例无肩痛史且无肩部外伤和神经损伤的大学生,按有无肩胛骨翼状隆起分两组,参与者分别做三种运动:标准手足着地俯卧撑(standard push-up plus, SPP)、同SPP、但膝部屈曲着地(wall push-up plus, WPP)、站立位,双手推墙俯卧撑(knee push-up plus, KPP),采用肌电图分析各动作时胸大肌和前锯肌的自主收缩比例,发现隆起组的胸大肌收缩比例明显大于无隆起组,前锯肌却是相反,三个动作对比,发现SPP的胸大肌/前锯肌收缩比例最小,这提示康复动作的改善能够提高肩胛骨动力学障碍的预防和治疗效率。

3 肩胛骨动力学的放射影像学评估

利用影像学研究肩胛骨动力学较早可追溯至1944年Inman等^[18]采用X线研究肩肱定律,在二维X光片上观察肩胛骨的投影,计算出肩胛骨上旋和肱骨外展的比例。但X线检查仅仅于二维平面观察肩胛骨活动,DeGroot等^[19]通过对肩胛骨三维运动的分析,与X光所得参数对比,认为利用X线检查不能精确研究肩胛骨全部活动。尽管如此,X线检查还是为肩胛骨动力学的理解评估提供了重要作用,Mallo等^[20]在尸体肩胛骨前后位、Y位、腋位X线片的研究中,通过定义一系列标志线,形成若干距离和角度,分析了其在某些肩部疾病的参数特征,这对今后临床利用X线检查大致评估肩胛

骨动力学提供了启示。Maurer等^[21]发现肩胛骨前后位X片上肩胛窝上下极连线与肩胛冈延长线的交角对于判断肩胛窝倾斜度信度高,对于评估肩胛骨位置的效度较高。三维CT较X线具有立体空间优势,利用其可更清晰、准确地测量肩胛骨动力学的相关参数。Park等^[22]利用三维CT测量肩胛骨动力障碍患者的静息位动力学(上旋、内旋、前倾、上移、后撤)参数,发现在测试者间差异小,所得数据与按照Kibler^[23]肩胛骨动力障碍类别标准的分类结果相关性好。

4 肩胛骨动力学的临床评估

在临床实践中,形成了各种肩胛骨动力学的评估方法,尽管其精确度劣于实验室评估,但其在实用性和有效性方面有显著优势。肩胛骨动力学的临床评估^[24]可分为肩胛骨视诊、邻近结构检查、运动试验。

4.1 肩胛骨视诊

肩胛骨视诊从其后面进行,休息位和运动位时,两侧肩胛骨位置变化需要做对比^[7],更详细的检查需要评估者寻找SICK肩胛骨的证据^[7,25]:肩胛骨位置不正、下界内界突出、喙突疼痛和位置不正、肩胛骨运动时的动力障碍。

Kibler^[23]将肩胛骨动力学障碍分成四类,分别为I型(下角型):静息位,肩胛骨下角向背侧突起,上肢运动时,肩胛下角向背侧倾斜并伴有肩峰于胸廓顶部的前倾;II型(内侧界型):静息位,肩胛骨内侧界向背侧突起,上肢运动时,肩胛骨内侧界向背侧倾斜;III型(上界型):静息位,肩胛骨上界上抬和同时伴有前倾移位,上肢运动时,耸肩动作不伴有明显的肩胛骨翼状隆起;IV型(对称型):静息位,两侧肩胛骨是相对对称的,上肢运动时,两侧肩胛骨对称性向上旋转,肩胛下角远离中线向外侧移动,肩胛骨内侧界仍贴于胸壁。这已成为肩胛骨动力学障碍分类的金标准^[22]。

在观察测量中,许多研究者发现一些距离和角度的测量可以大致代表肩胛骨的运动情况。受试者取站立位,在静息位和肩胛骨后撤位,检查者分别测量第四胸椎棘突到两侧肩胛骨内侧界的距离^[26];受试者仰卧位,在静息位和肩胛骨后撤位,检查者分别测量两侧肩峰后缘到床面的距离^[26];受试者取站立位,肩关节于不同体位下,检查者分别测量第四胸椎棘突到两侧肩胛骨内侧界的距离、两侧肩胛下角到同水平棘突的距离^[26]。Nijs等^[26]对三个距离测量的研究中,发现虽然两者的信度尚可,但是三个测量结果均与肩部疼痛症状和功能障碍无相关性,说明这些距离的临床意义仍有待考究。肩胛骨外侧移位程度可以用两侧肩胛骨内上角到脊柱中线的距离衡量,两侧肩胛骨内侧缘与脊柱中线的成角可以判断肩胛骨的外展程度^[25]。最近,又有研究者定义肩胛骨平衡角为两侧肩胛下角连线与C7-T9-T10棘突连线所成的两个角度差值的绝对值,发现该平衡角是一个简单可重复的评

估,测算总结发现该角度平均为 $2.505^{\circ}\pm 2.340^{\circ}$,超过 5° 即为肩胛骨动力学障碍可疑,超过 7° 即为肩胛骨动力学障碍^[27]。

4.2 邻近结构检查

肩胛骨邻近结构检查需要包括肩锁关节、肩袖、孟唇和肱二头肌肌腱等,这些结构的异常均有可能导致肩胛骨动力学障碍。虽然动力学障碍不是一种损伤,但是它与孟肱关节活动度、肩部肌肉激活程度、肩部疾病直接相关,故该步检查很重要^[24]。

4.3 运动试验

4.3.1 肩胛骨动力障碍试验 (scapular dyskinesis test, SDT):肩胛骨动力障碍试验^[7,24,28—29]是由受试者双手负重(3—5磅),双上肢做前屈和外展动作,然后下降动作,检查者观察受试者肩胛骨位置变化以及肩肘节律情况。肩胛骨内侧缘和肩胛下角向后侧远离胸壁;肩关节上抬或下降时,肩胛骨过早或过度上抬和前伸,肩胛骨运动不协调;肩关节下降时,肩胛骨快速下旋,认为是SDT试验阳性。SDT试验同时关注了肩胛骨的位置变化和运动协调性,其良好的信度和效度已被证明^[28—29]。

4.3.2 肩胛骨侧方移位试验 (lateral scapular slide test, LSST):肩胛骨侧方移位试验检查在不同姿态下两侧肩胛骨的对称性,该试验在三个姿态下完成:①受试者肢体置于体侧(放松位),②受试者双手撑于两侧髂骨外侧,③受试者肩关节内旋外展 90° 。检查者分别测量两侧肩胛下角到其邻近棘突的距离,进行对比,以1.5cm为一界值,超过即认为异常状态^[23,30—31]。过去LSST常被用来评估肩胛骨动力学障碍,Kibler等^[23]通过与放射学评估对比,认为LSST信度和效度较高,然而,其他一些学者的研究发现该试验的信度和效度均不理想^[30—31],认为LSST不能用来准确鉴别肩胛骨动力学障碍。

4.3.3 肩胛骨协助试验 (scapular assistance test, SAT):肩胛骨协助试验是受试者肩关节上抬,检查者固定肩胛骨内上界,并向外上方向推其内下界,从而协助肩胛骨上旋,观察患者的试验反应。阳性反应为检查者支持肩胛骨后,受试者撞击症状减轻,该试验适用于存在疼痛弧或者撞击综合征者,但并不适合无症状者^[8,24,32]。SAT的原理是通过增大肩峰下间隙,缓解症状,尤其在撞击综合征患者中更明显,而且在协助试验中其上旋活动度更大^[32—33]。

4.3.4 肩胛骨复位试验 (scapular retraction test, SRT):肩胛骨复位试验,又称肩胛骨后撤试验,检查者首先对受试者做一个传统的空罐子试验,评估患者的冈上肌力量,然后检查者徒手固定于受试者肩胛骨内侧使肩胛骨处于后倾、后撤位,再次重复之前的空罐子试验。患者疼痛症状减轻或者肩关节上抬时冈上肌肌力增强,即为试验阳性^[7]。SRT尤其适用于肩袖力量或孟唇疾病的检查^[7—8,24]。该试验除了评估

作用,也有一定的治疗作用,可用于增强冈上肌力量,改善肩胛骨动力学障碍^[34]。

4.3.5 肩胛骨运动控制试验 (kinetic medial rotation test, KMRT):肩胛骨运动控制试验,受试者取仰卧位,肩关节外展 90° ,前屈 30° ,肘关节屈曲 90° ,拇指指向天花板,肱骨处于肩胛骨平面上。嘱受试者内旋孟肱关节,同时保持肩胛骨位于中立位置,试验一般在孟肱关节内旋达 60° 终止。观察肩胛骨的位置变化,第一阳性指标:肩胛骨出现前倾、下旋或上抬;第二阳性指标:试验过程中患者出现呼吸困难、动作完成困难、孟肱关节不能完成 60° 内旋、肌肉疲劳无力、孟肱关节前移、诱发外旋反应、需要外旋支持等。界定肩胛骨运动控制障碍为:第一阳性指标阳性、第二阳性指标中7个指标不少于3项为阳性^[35]。以往有研究表明,孟肱关节内旋 60° 过程中,肩胛孟窝移动不超过4mm,肩胛骨移动不超过6mm,这说明了该试验KMRT的可行性^[36]。KMRT曾经被Morrissey^[36]等利用三维动态超声证明了其有效性,但是目前尚无有关该试验可信性的数据。

5 小结

越来越多的研究关注肩胛骨动力学障碍与评估。目前实验室测定方法在一定程度上能较精确地提供动力学数据,但是耗时、所需器材和实验条件要求较高。影像学检测虽然可以反映肩胛骨静态的异常,能在一定程度上量化,却不能反映运动中的动力障碍。临床评估方法,虽然便捷,有一定实用性,但是不够精确、不能量化,不能较全面地反映肩胛骨动力学的变化。因此,我们仍需进一步探索适用于临床,可以量化的评价方法,用于肩胛骨动力学障碍的发现、康复方案的制定和临床疗效的评价。

参考文献

- [1] Roren A, Fayad F, Roby-Brami A, et al. Precision of 3D scapular kinematic measurements for analytic arm movements and activities of daily living[J]. Manual Therapy, 2013, 18(6): 473—480.
- [2] Braman JP, Engel SC, Laprade RF, et al. In vivo assessment of scapulohumeral rhythm during unconstrained overhead reaching in asymptomatic subjects[J]. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2009, 18(6): 960—967.
- [3] Paine R, Voight ML. The role of the scapula[J]. International Journal of Sports Physical Therapy, 2013, 8(5): 617—629.
- [4] Janes WE, Brown JM, Essenberg JM, et al. Development of a method for analyzing three-dimensional scapula kinematics[J]. Hand, 2012, 7(4): 400—406.
- [5] Matsuki K, Matsuki KO, Mu S, et al. In vivo 3-dimensional analysis of scapular kinematics: comparison of dominant and nondominant shoulders[J]. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2011, 20(4): 659—665.
- [6] Warner MB, Whatling G, Worsley PR, et al. Objective classification of scapular kinematics in participants with movement faults of the scapula on clinical assessment[J]. Com-

- put Methods Biomech Biomed Engin,2013,Oct,25.[Epub ahead of print]
- [7] Kibler WB, Sciascia A, Wilkes T. Scapular dyskinesis and its relation to shoulder injury[J]. The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2012, 20(6): 364—372.
- [8] Kibler WB, Ludewig PM, McClure PW, et al. Clinical implications of scapular dyskinesis in shoulder injury: the 2013 consensus statement from the 'Scapular Summit' [J]. British Journal of Sports Medicine, 2013, 47(14): 877—885.
- [9] Tucker WS, Ingram RL. Reliability and validity of measuring scapular upward rotation using an electrical inclinometer [J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2012, 22(3): 419—423.
- [10] Scibek JS, Carcia CR. Validation and repeatability of a shoulder biomechanics data collection methodology and instrumentation[J]. Journal of Applied Biomechanics, 2013, 29(5): 609—615.
- [11] Roren A, Fayad F, Poiradeau S, et al. Specific scapular kinematic patterns to differentiate two forms of dynamic scapular winging[J]. Clinical Biomechanics(Bristol,Avon), 2013, 28(8): 941—947.
- [12] Habeckian FA, Fornasari GG, Sacramento LS, et al. Differences in scapular kinematics and scapulohumeral rhythm during elevation and lowering of the arm between typical children and healthy adults[J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2014, 24(1): 78—83.
- [13] Ichihashi N, Ibuki S, Otsuka N, et al. Kinematic characteristics of the scapula and clavicle during military press exercise and shoulder flexion[J]. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2014, 23(5): 649—657.
- [14] Bourne DA, Choo AM, Regan WD, et al. Three-dimensional rotation of the scapula during functional movements: an in vivo study in healthy volunteers[J]. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2007, 16(2): 150—162.
- [15] Bourne DA, Choo AM, Regan WD, et al. The placement of skin surface markers for non-invasive measurement of scapular kinematics affects accuracy and reliability[J]. Annals of Biomedical Engineering, 2011, 39(2): 777—785.
- [16] Larsen CM, Juul-Kristensen B, Olsen HB, et al. Selective activation of intra-muscular compartments within the trapezius muscle in subjects with Subacromial Impingement Syndrome. A case-control study[J]. Journal of Electromyography and Kinesiology,2014, 24(1): 58—64.
- [17] Park KM, Cynn HS, Kwon OY, et al. Comparison of Pectoralis Major and Serratus Anterior Muscle Activities During Different Push-Up Plus Exercises in Subjects With and Without Scapular Winging[J]. J Strength Cond Res,2014, Mar,10[Epub ahead of print].
- [18] Inman VT, Saunders JB, Abbott LC. Observations of the function of the shoulder joint. 1944[J]. Clinical Orthopaedics and Related Research, 1996, 330: 3—12.
- [19] de Groot JH. The scapulo-humeral rhythm: effects of 2-D roentgen projection [J]. Clinical Biomechanics, 1999, 14(1): 63—68.
- [20] Mallon WJ, Brown HR, Vogler JB 3rd, et al. Radiographic and geometric anatomy of the scapula[J]. Clinical Orthopaedics and Related Research, 1992, 277: 142—154.
- [21] Maurer A, Fucentese SF, Pfirrmann CW, et al. Assessment of glenoid inclination on routine clinical radiographs and computed tomography examinations of the shoulder[J]. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2012, 21(8): 1096—1103.
- [22] Park JY, Hwang JT, Kim KM, et al. How to assess scapular dyskinesis precisely: 3-dimensional wing computer tomography—a new diagnostic modality[J]. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2013, 22(8): 1084—1091.
- [23] Kibler WB, Uhl TL, Maddux JW, et al. Qualitative clinical evaluation of scapular dysfunction: a reliability study [J]. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2002, 11(6): 550—556.
- [24] Pluim BM. Scapular dyskinesis: practical applications[J]. British Journal of Sports Medicine, 2013, 47(14): 875—876.
- [25] Burkhart SS, Morgan CD, Kibler WB. The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation[J]. Arthroscopy, 2003, 19(6): 641—661.
- [26] Nijs J, Roussel N, Vermeulen K, et al. Scapular positioning in patients with shoulder pain: a study examining the reliability and clinical importance of 3 clinical tests[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2005, 86(7): 1349—1355.
- [27] Contreras J, Gil D, De Dios Errazuriz J, et al. Scapular balance angle reference values in a healthy population[J]. Revista Espanola de Cirugia Ortopedica y Traumatologia, 2014, 58(1): 24—30.
- [28] McClure P, Tate AR, Kareha S, et al. A clinical method for identifying scapular dyskinesis, part 1: reliability[J]. Journal of Athletic Training, 2009, 44(2): 160.
- [29] Tate AR, McClure P, Kareha S, et al. A clinical method for identifying scapular dyskinesis, part 2: validity[J]. J Athl Train, 2009, 44(2): 165—173.
- [30] Odom CJ, Taylor AB, Hurd CE, et al. Measurement of scapular asymmetry and assessment of shoulder dysfunction using the Lateral Scapular Slide Test: a reliability and validity study[J]. Phys Ther, 2001, 81(2): 799—809.
- [31] Shadmehr A, Bagheri H, Ansari NN, et al. The reliability measurements of lateral scapular slide test at three different degrees of shoulder joint abduction[J]. British Journal of Sports Medicine, 2010, 44(4): 289—293.
- [32] Seitz AL, McClure PW, Lynch SS, et al. Effects of scapular dyskinesis and scapular assistance test on subacromial space during static arm elevation[J]. Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 2012, 21(5): 631—640.
- [33] Seitz AL, McClure PW, Finucane S, et al. The scapular assistance test results in changes in scapular position and subacromial space but not rotator cuff strength in subacromial impingement[J]. The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 2012, 42(5): 400—412.
- [34] Tate AR, McClure PW, Kareha S, et al. Effect of the Scapula Reposition Test on shoulder impingement symptoms and elevation strength in overhead athletes[J]. The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 2008, 38(1): 4—11.
- [35] Struyf F, Nijs J, De Graeve J, et al. Scapular positioning in overhead athletes with and without shoulder pain: a case-control study[J]. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2011, 21(6): 809—818.
- [36] Morrissey D, Morrissey MC, Driver W, et al. Manual landmark identification and tracking during the medial rotation test of the shoulder: an accuracy study using three-dimensional ultrasound and motion analysis measures[J]. Manual Therapy, 2008, 13(6): 529—535.