

2016. doi:10.1002/jor.23339.

志,2016,9(1):75-80.

[25] 周星彤,杨昕,曹永平. 骨质疏松相关基因甲基化水平与骨质疏松症的关系[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志,2016,9(1):75-80.

(收稿日期:2016-07-13 修回日期:2016-09-25)

• 综述 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2017.03.039

基于量化的动态影像学测量技术研究腰椎不稳症的进展*

陈文锦 综述,王建伟[△],张亚峰 审校

(南京中医药大学无锡附属医院骨科,江苏无锡 214001)

[关键词] 腰椎不稳症;量化研究;动态影像学

[中图分类号] R681.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2017)03-0403-03

退行性腰椎不稳症是严重影响中老年人生活质量慢性疾病,国内外学者对腰椎不稳症进行了大量研究。目前对腰椎稳定性的评估大都采用 X 射线上过伸、过屈位椎体间的位移及角度变化作为依据,但这种评估方法具有较大的局限性:(1)腰椎不稳症经常出现的疼痛、绞锁等症状是在轻微屈伸,旋转或侧屈活动时出现,而非过伸过屈位;(2)这种方法没有对腰椎的侧屈、旋转活动做出评估;(3)腰椎活动不仅会产生节段间的位移及角度的变化,亦会产生节段间的耦合运动变化。过伸过屈位只是一种静止状态,很难描述腰椎活动复杂的动态过程,临床上时常会出现假阴性结果。量化的动态影像学测量技术相对于既往诊断腰椎不稳症的“金标准”,能为下腰痛患者提供更早诊断与治疗的机会,为临床诊断腰椎不稳症提供新的思路和方法。

1 利用量化的动态影像学测量技术进行检查时需观察的参数

在脊柱运动中,两椎体间可以在 3 个平面上发生旋转、水平位移、角度位移的运动,其稳定性的维持有赖于椎间盘、关节突关节及周围的韧带结构。观察的参数应尽量包括以上内容。

1.1 椎体在矢状位及冠状位上的旋转和位移 观察椎体的旋转和位移的历史已有数十年,目前仍是大多数临床医生用来诊断腰椎不稳症的方法^[1-3]。相对于少数学者测量的椎体在冠状位上的旋转和位移^[4],既往对于矢状位上的旋转和位移研究较多。1944 年,Knuttson 最早描述了通过在过伸过屈侧位 X 片测量后者来诊断节段性腰椎不稳。也有学者通过测量后者来对腰椎不稳症的患者进行区分^[5]。此外,有学者利用磁共振成像(MRI)的小平面流体标志,通过测量此项目来计算量化的稳定指数(quantitative stability index, QSI),以此来探讨 QSI 与腰椎不稳间的关系。

1.2 运动中椎间盘的高度 脊柱节段运动主要是由于椎间盘的变形所形成。椎间盘的高度在 X 线片上表现为椎间隙的高度。椎间隙高度的异常时常提示腰椎不稳^[3]。通过测量椎间隙高度,可对采用不同手术方式进行腰椎间盘置换术的效果进行了较。Lee 等^[6]采用 MRI 技术,对两种手术方式进行腰椎间盘切除后的临床和影像结果进行了比较,并建议在腰椎间盘切除术中尽可能地保留中央部分的椎间盘,这样可防止椎间盘高度的丢失及腰椎不稳症的发生。

1.3 腰椎的松弛度 腰椎的松弛度是衡量腰椎稳定性的重要参数。松弛度增加,腰椎稳定性减弱。Wong 等^[7-8]采用的计算腰椎单向运动斜率的方法为腰椎松弛度的计算提供了新思路^[4]。Gay 等^[9]阐明了准静态中性区与动态运动参数间的相关性,并认为此相关性反映了腰椎在中立位的松弛度。

1.4 腰椎运动的对称性 腰椎运动的对称性与椎间节段不稳定性相关性已被 Kirkaldy-Willis 和 Farfan 总结^[10],其被认为有利于确定椎间盘突出水平。对称性分为侧屈及旋转对称性,前者为左右侧屈活动时椎体的两侧在冠状位上的位移和旋转的差值的均方根^[4],后者为左右旋转活动时椎体两侧的旋转度的对比。椎体旋转度采用评估脊柱侧凸时椎体旋转的 Nash-Moe 法。

1.5 腰椎活动的瞬时旋转轴(instantaneous helical axis, IHA)

在脊柱的运动过程中,每一个运动瞬间都对应一个轴,包括侧屈及屈伸活动旋转轴,这些轴被称为 IHA。通过数百帧图像的分析,IHA 可以观察每一个椎体的运动轨迹和活动特点,继而分析腰椎活动的动态平衡性。Mansour 等^[11]用高分辨率的 6D 运动跟踪系统对 IHA 进行了分析。Wachowski 等^[12-13]通过对 IHA 的定位、序列及位移的测量来阐明颈、胸、腰各段脊柱运动的特点。

2 量化的动态影像学测量技术的分类

既往有国内外学者采用非侵入式方法对脊柱活动度及稳定性进行测量。Thoumie 等^[14]利用电子跟踪及连续记录技术,研究了腰部支具对脊柱的姿势及运动所造成的影响;有学者采用运动捕捉技术,研究了颈椎旋提手法操作过程中的运动力学过程并对其运动力学参数进行了分析;也有学者利用计算机光学测量技术,对脊柱的运动进行了分析。但这些非侵入式的测量方法均是通过体表的标记来进行,并不能精确地反映骨骼的运动情况。而量化的动态影像学测量技术则具有优势。它是通过包括 X 射线、CT、MRI 在内的体内测量技术,全程、动态观察并精确测量各个椎节间的异常活动,量化分析失稳腰椎的活动特点。

2.1 X 射线测量技术 Takayanagi 等^[15]利用闪光 X 光照相技术对 L4 椎体滑脱患者的运动模式进行了连续动态的分析。最终发现,位移小于 15% 的患者的运动模式与节段的不稳定性有关;而位移大于 15% 的患者与脊柱的再稳定性有关。Lin 等^[16]运用表面与体积模型、单向与双向透视技术,对脊柱的运动进行测量和分析,最终发现,运用体积模型的双向透视组有最高的精确度,而运用表面模型的单向透视组的精确度最差。Lee 等^[17]采用带金属标志物的立体摄影测量技术对颈椎融合术后的椎体运动进行了测量,并获得了颈椎 3D 运动的数据。Leivseth 等^[18]通过立体摄影测量技术与失真补偿测量技术的对比,对腰椎矢状面上的节段运动进行分析,并得出结论:后者精确度略逊于前者,但明显好于一般的测量技术。Bifulco 等^[19]采用自动追踪 X 射线透视序列中椎骨的标记来分析椎体

* 基金项目:国家自然科学基金面上项目(81473693)。 作者简介:陈文锦(1985—),主治医师,博士,主要从事脊柱骨科方面研究。 △

间的运动,该项技术改善了椎间运动计算的精确性。

以上这些技术取得了一定的成果,但由于图像质量、图像配准和图像恢复的精度较差,射线量过大以及连续性图像获取困难等原因,难以应用于临床^[20]。量化 X 射线测量技术(quantitative fluoroscopy, QF)的出现较好地解决了上述问题。QF 是基于数字化动态 X 射线透视和图像自动措置演算法计算腰椎椎体的活动规律来评估腰椎活动状态和特点的方法。它克服了上述方法的诸多缺点,在低 X 射线剂量下对处于运动中的物体获取连续的动态数字化图像序列进行自动演算并获得精确的量化结果。利用动态的连续 X 射线扫描实现影像几何量的数字化,并在计算机内将数据整合重建成数字化三维立体结构图像。此外, QF 可以利用连续采集的二维图像资料通过计算机辅助的图像处理技术建立三维数字化模型。既往的三维数字化重建技术必须建立在二维图像如 CT、MRI 的连续扫描基础上,虽然成像清晰,但是具有射线剂量偏大、价格昂贵等缺点,而 QF 可以在低剂量射线的基础上建立三维数字化模型,既可以提供精确的瞬时信息,又可以提供多维信息,进行高质量的数字化重建,从而能够直观、具体地观察腰椎在三维空间上的位移变化及位置异常。

2.2 CT 测量技术 CT 是观察骨关节及软组织病变的一种较理想的检查方式。CT 图像的空间分辨力低于 X 射线,且射线剂量偏大,但 CT 密度分辨率高于 X 射线,且能做轴位成像。目前通过 CT 对失稳腰椎的活动特点进行动态观察的研究相对较少。Ochia 等^[21-22]利用 CT 三维重建,在矢状面、冠状面及横断面上,对下腰痛的患者及无症状的对照者的腰椎节段运动进行分析。结果表明,此种测量方法的空间分辨率较高。Rozumalski 等^[23]将带有被动标志物的金属棒分别置入受试者各腰椎棘突,用运动捕捉相机来追踪被动标志物,将数据进行腰椎三维运动的分析,得出腰椎平均段间在矢状面、冠状面及横断面上的运动范围。但此方法对受试者有较大损伤,难以应用于临床。Wang 等^[24]对 L3/4 不稳、L4/5 不稳及健康受试者进行 CT 扫描,阐述了在承载体质量的生理状态下腰椎的三维运动特点,并指出不稳节段的运动特点与正常节段有显著差异,不稳节段间的运动特点亦有差异,应根据不同的节段制定相应的腰椎不稳症的诊断标准。

2.3 MRI 测量技术 MRI 优点为高对比度,较好地反映解剖结构、组织特点,可任意方位断层,无辐射损伤。MRI 可清晰显示不稳节段周围组织的肉芽增生、炎症和水肿,这一优越性是 X 射线和 CT 所无法比拟的,但 MRI 检查费用较高,成像速度低于 CT,有运动伪影,体内有顺磁性金属物体者禁止该项检查。Fujii 等^[25]将受试者的腰椎中立位标记为 0°,用特殊旋转装置控制受试者腰椎的左右旋转角度,将得到的数据进行分析,获得了腰椎左右旋转的三维运动特点。Ellingson 等^[26]利用 MRI 分析指出,退变的椎间盘与腰椎的不稳定性在侧屈运动中存在相关性,而在屈伸运动中无相关性。Patriarca 等^[27]利用动态 MRI 技术获得了 103 例腰椎不稳症患者的影像学资料,结果表明,评估者是否具备动态 MRI 技术经验对于腰椎不稳症的评估没有大的影响。Kong 等^[28]利用动态 MRI 技术证实脊柱功能单位的异常节段活动与椎间盘的退变、关节突关节骨性关节炎及棘间韧带、黄韧带与椎旁肌的病理特征有着紧密的联系。Yao 等^[29]利用 MRI 对退行性椎间盘病变及退行性脊椎滑脱患者的腰椎棘突的运动特点进行了分析,指出腰椎棘突在退行性椎间盘病变患者中表现为高运动性,而在退行性脊椎滑脱患者中表现为低运动性。

综上所述,量化的动态影像学测量技术是基于 X 射线、CT、MRI 技术基础上的一项新兴的测量手段,它给临床诊断腰椎不稳症提供了新的思路和方法。其中, QF 发展更为迅猛,

它对评估腰椎的动态平衡性、探讨腰椎不稳症的发病原因有着积极的意义。目前,关于量化的动态影像学测量技术的研究报道并不多见,这是今后进一步深入研究的一个方向。相信随着研究的深入,腰椎不稳症的发病机制、诊断标准、治疗方法及疗效判定方面一定会取得突破性进展。

参考文献

- [1] Fritz JM, Piva SR, Childs JD. Accuracy of the clinical examination to predict radiographic instability of the lumbar spine[J]. *Eur Spine J*, 2005, 14(8): 743-750.
- [2] Javadian Y, Akbari M, Talebi G, et al. Influence of core stability exercise on lumbar vertebral instability in patients presented with chronic low back pain; a randomized clinical trial[J]. *Caspian J Intern Med*, 2015, 6(2): 98-102.
- [3] Pearson AM, Spratt KF, Genuario J, et al. Precision of lumbar intervertebral measurements; does a computer-assisted technique improve reliability[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2011, 36(7): 572-580.
- [4] Mellor FE, Muggleton JM, Bagust J, et al. Midlumbar lateral flexion stability measured in healthy volunteers by in vivo fluoroscopy[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(22): E811-817.
- [5] Taghipour-Darzi M, Takamjani EE, Salavati M, et al. The validity of vertebral translation and rotation in differentiating patients with lumbar segmental instability[J]. *Physiother Res Int*, 2012, 17(4): 227-234.
- [6] Lee SH, Bae JS. Comparison of clinical and radiological outcomes after automated open lumbar discectomy and conventional microdiscectomy; a prospective randomized trial[J]. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(8): 12135-12148.
- [7] Wong KW, Leong JC, Chan MK, et al. The flexion-extension profile of lumbar spine in 100 healthy volunteers[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004, 29(15): 1636-1641.
- [8] Wong KW, Luk KD, Leong JC, et al. Continuous dynamic spinal motion analysis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006, 31(4): 414-419.
- [9] Gay RE, Ilharreborde B, Zhao K, et al. Sagittal plane motion in the human lumbar spine; comparison of the in vitro quasistatic neutral zone and dynamic motion parameters[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2006, 21(9): 914-919.
- [10] Kirkaldy-Willis WH, Farfan HF. Instability of the lumbar spine[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1982; 110-123.
- [11] Mansour M, Spiering S, Lee C, et al. Evidence for IHA migration during axial rotation of a lumbar spine segment by using a novel high-resolution 6D kinematic tracking system[J]. *J Biomech*, 2004, 37(4): 583-592.
- [12] Wachowski MM, Mansour M, Lee C, et al. How do spinal segments move[J]. *J Biomech*, 2009, 42(14): 2286-2293.
- [13] Wachowski MM, Hawellek T, Hubert J, et al. Migration of the instantaneous axis of motion during axial rotation in lumbar segments and role of the zygapophysial joints[J]. *Acta Bioeng Biomech*, 2010, 12(4): 39-47.
- [14] Thoumie P, Drape JL, Aymard C, et al. Effects of a lumbar support on spine posture and motion assessed by electrogoniometer and continuous recording[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 1998, 13(1): 18-26.

- [15] Takayanagi K, Takahashi K, Yamagata M, et al. Using cineradiography for continuous dynamic-motion analysis of the lumbar spine[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2001, 26(17):1858-1865.
- [16] Lin CC, Lu TW, Wang TM, et al. Comparisons of surface vs. volumetric model-based registration methods using single-plane vs. bi-plane fluoroscopy in measuring spinal kinematics[J]. *Med Eng Phys*, 2014, 36(2):267-274.
- [17] Lee S, Harris KG, Goel VK, et al. Spinal motion after cervical fusion. In vivo assessment with roentgen stereophotogrammetry[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1994, 19(20):2336-2342.
- [18] Leivseth G, Brinckmann P, Frobin W, et al. Assessment of sagittal plane segmental motion in the lumbar spine. A comparison between distortion-compensated and stereophotogrammetric roentgen analysis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1998, 23(23):2648-2655.
- [19] Bifulco P, Cesarelli M, Allen R, et al. Automatic recognition of vertebral landmarks in fluoroscopic sequences for analysis of intervertebral kinematics[J]. *Med Biol Eng Comput*, 2001, 39(1):65-75.
- [20] Ahmadi A, Maroufi N, Behtash H, et al. Kinematic analysis of dynamic lumbar motion in patients with lumbar segmental instability using digital videofluoroscopy[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(11):1677-1685.
- [21] Ochia RS, Inoue N, Renner SM, et al. Three-dimensional in vivo measurement of lumbar spine segmental motion[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006, 31(18):2073-2078.
- [22] Ochia RS, Inoue N, Takatori R, et al. In vivo measurements of lumbar segmental motion during axial rotation in asymptomatic and chronic low back pain male subjects [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(13):1394-1399.
- [23] Rozumalski A, Schwartz MH, Wervey R, et al. The in vivo three-dimensional motion of the human lumbar spine during gait[J]. *Gait Posture*, 2008, 28(3):378-384.
- [24] Wang B, Xia Q, Miao J, et al. Application of digital orthopedic technology for observing degenerative lumbar segmental instability of three-dimensional kinematic characteristics in vivo[J]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2014, 94(29):2264-2268.
- [25] Fujii R, Sakaura H, Mukai Y, et al. Kinematics of the lumbar spine in trunk rotation; in vivo three-dimensional analysis using magnetic resonance imaging[J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(11):1867-1874.
- [26] Ellingson AM, Nuckley DJ. Altered helical axis patterns of the lumbar spine indicate increased instability with disc degeneration[J]. *J Biomech*, 2015, 48(2):361-369.
- [27] Patriarca L, Letteriello M, Di Cesare E, et al. Does evaluator experience have an impact on the diagnosis of lumbar spine instability in dynamic MRI? Interobserver agreement study[J]. *Neuroradiol J*, 2015, 28(3):341-346.
- [28] Kong MH, Hymanson HJ, Song KY, et al. Kinetic magnetic resonance imaging analysis of abnormal segmental motion of the functional spine unit [J]. *J Neurosurg Spine*, 2009, 10(4):357-365.
- [29] Yao Q, Wang S, Shin JH, et al. Motion characteristics of the lumbar spinous processes with degenerative disc disease and degenerative spondylolisthesis[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(12):2702-2709.

(收稿日期:2016-07-11 修回日期:2016-09-21)

(上接第 368 页)

- A novel design of the multilobed latissimus dorsi myocutaneous flap to achieve primary donor-site closure in the reconstruction of large defects[J]. *plast Reconstr Surg*, 2013, 131(5):752-758.
- [9] 张文亚, 伍辉国, 胡玉祥, 等. 旋股外侧动脉降支多叶组织瓣修复手部多部位软组织缺损[J]. *中华显微外科杂志*, 2011, 34(4):280-282
- [10] Shaw RJ, Batstone MD, Blackburn TK, et al. Preoperative Doppler assessment of perforator anatomy in the anterolateral thigh flap [J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2010, 48(6):419-422.
- [11] 冯运奎, 叶淦湖, 腾范文, 等. 旋股外侧血管蒂复(联)合组织瓣移植的解剖学基础[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2004, 24(5):533-535.
- [12] 徐永清, 朱跃良, 梅良斌. 上肢穿支皮瓣的临床应用[J]. *中华显微外科杂志*, 2014, 37(2):205-207.
- [13] 朱洪章, 杨有优, 范森, 等. CT 血管造影在旋股外侧动脉 3D 可视化与穿支体表导航定位中的应用[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2012, 36(3):287-291.
- [14] Saint-Cyr M, Oni G, Lee M, et al. Simple approach to harvest of the anterolateral thigh flap [J]. *Plast Reconstr Surg*, 2012, 129(1):207-291.
- [15] 刘鸣江, 夏晓丹, 谢松林. 股外侧穿支皮瓣的应用解剖[J]. *中华显微外科杂志*, 2013, 36(1):52-55
- [16] 徐家钦, 邱勋永, 潘云川, 等. 应用游离穿支皮瓣修复头部电烧伤创面六例[J]. *中华显微外科杂志*, 2014, 37(3):282-284.
- [17] 王欣, 潘佳栋, 胡皓良, 等. 分叶型穿支皮瓣在四肢皮肤软组织缺损修复中的临床应用[J]. *中华显微外科杂志*, 2013, 36(4):327-330.
- [18] 王宇, 嵇庆海, 胡皓良, 等. 游离股前外侧皮瓣修复头颈部肿瘤术后缺损中微血管吻合器的应用[J]. *中华显微外科杂志*, 2014, 37(2):166-167.
- [19] 李军, 张大伟, 赵广越, 等. 股前外侧 Flow-through 皮瓣修复四肢 Gustilo III C 损伤的临床研究[J]. *中华显微外科杂志*, 2013, 36(5):331-334
- [20] 丰波, 张志, 呼和, 等. 小腿穿支皮瓣修复踝周皮肤软组织缺损[J]. *中华显微外科杂志*, 2014, 37(2):139-142.
- [21] 韩立仁, 赵兆, 贺新兵, 等. 开放性胫腓骨骨折合并胫骨骨缺损的手术治疗[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2014, 29(4):356-358.
- [22] 蓝旭, 葛宝丰, 厉孟, 等. 高能量损伤致足踝部软组织缺损的创面修复[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2013, 28(10):932-934.
- [23] 寿建国, 张维东. 不带筋膜一期修薄的股前外侧穿支皮瓣移植修复四肢远端软组织缺损[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2013, 28(1):93-94.

(收稿日期:2016-07-12 修回日期:2016-10-16)