

腰椎不稳诊断方法的研究进展

Research progress in diagnosing methodology of lumbar spinal instability

陈小锋¹, 张天宇¹, 许庭珉^{1,2}, 王艳华^{1,2}, 薛峰^{1,2}, 张殿英^{1,2,3}, 姜保国^{1,2}

(1 北京大学人民医院创伤骨科 100044 北京市; 2 北京大学人民医院创伤与神经再生研究所 100044 北京市;

3 北京大学滨海医院骨科 300450 天津市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2020.02.13

中图分类号: R681.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2020)-02-0175-05

腰椎不稳是临床上一种常见的疾病, 是慢性腰痛的常见原因之一。但是对于腰椎不稳, 目前并没有统一的诊断标准。由于腰椎不稳的临床表现缺乏一定的特异性, 因此其诊断标准尚存在一定分歧。目前临床中常用前屈后伸位(flexion/extension, F/E) X 线片的椎体相对位移或成角作为腰椎不稳诊断依据, 但是研究者对于应用多大的移位及成角作为诊断标准有不同意见: 移位 $>4\text{mm}$, 成角 $>10^\circ$ ^[1]; 或移位 $>3\text{mm}$, 成角 $>9^\circ$ ^[2]; 抑或移位 $>5\text{mm}$, 成角 $>10^\circ$ ^[3]在文献中均有报道。关于成角的程度, 有研究者提出了不同节段使用不同成角数值作为标准的诊断方法, 即 L1~L4 节段成角 $>15^\circ$, L4~L5 $>20^\circ$, L5~S1 $>25^\circ$ ^[4]等。虽然上述诊断方法在临床和研究中被广泛应用, 标准清晰易懂, 操作简单, 组间一致性也较好^[4], 但也有研究者发现 F/E X 线片在诊断腰椎不稳时存在许多问题, 可能会存在许多无症状的患者在 F/E X 线片中存在较大的移位, 同时也有许多有症状的患者在 F/E X 线片中呈现出阴性的结果, 从而导致漏诊和误诊的情况发生^[5-7]。而且诊断标准的不统一导致研究结果之间缺乏较好的同质性, 难以实现横向对比研究, 因此探索新的影像学参数以及临床特征以供临床研究者制定新的诊断标准是十分必要的。

腰椎不稳的临床特征缺乏特异性, 目前大量的诊断学研究倾向于影像学研究, 主要通过对传统 F/E X 线片检查法进行改进, 此外还有一些研究者通过对比新的影像学参数与传统 X 线片的筛检效果来发现一些有诊断学意义的指标, 包括椎体的关节突关节面的积液和间隙、椎体的旋转中心及术中椎体测量系统等。虽然腰椎不稳的临床特征缺乏特异性, 也有研究者将成组的临床特征作为筛选腰椎不稳患者的依据, 并研究一些特异的查体试验的诊断准确性, 这些研究在指导我们探索腰椎不稳新的诊断方法方面具有积极意义。

1 传统 F/E X 线片检查

在目前的临床实践和科学研究中, F/E X 线片检查是腰椎不稳诊断最常用的诊断方法, 但站立前屈、后伸位未必能够灵敏地体现出腰椎不稳的程度。Hey 等^[8]对比了坐位屈曲位(slump-sitting)-站立后伸位与传统的站立前屈-后伸位在诱导椎体活动方面的效果, 发现站立后伸/坐位屈曲位 X 线片在测量成角活动度变化方面有显著优势, 总体成角比传统方法多 17.3° , 其中 L3/4、L4/5、L5/S1 三个节段有统计学差异, 但在椎体移位方面这两种检查方法的检出结果并无明显差异, 表明这种坐位屈曲位在诱导成角活动方面更为灵敏, 可能能检出一些传统方法无法检出的腰椎不稳人群。Landi 等^[9]将站立位前屈后伸改进为斜倚位前屈后伸位, 结果显示斜倚位有助于引出站立位被掩盖的腰椎不稳, 是诊断腰椎不稳的更好检查方法。

国外有学者将直立侧位片联合仰卧位(upright radiograph/supine sagittal, U/S)MRI 作为评估腰椎滑脱常用的检查。Liu 等^[10]评估了这种 U/S 检查方法对于腰椎不稳的诊断价值, 结果发现与传统的动力位片相比, 这种 U/S 法能观察到更大程度的移位 $[(7.68 \pm 5.34)\% \text{ vs } (4.90 \pm 3.82)\%, t = -3.545, P = 0.001]$ 。研究者认为, 这种新方法对于移位的呈现更好, 而且能够减少放射线的暴露, 是一种可供选择的替代方法。在 Viswanathan 等^[11]的研究之中, 他们将传统 F/E X 线片诊断的不稳纳入一组, 再将 U/S MRI 诊断为不稳且不满足 F/E X 线片诊断标准的患者纳入另一组, 并比较两组间的一些基线放射学参数(整体脊柱前凸角、脊柱前移严重程度的 Meyerding 评分、椎间盘高度、旋转的角度等)以及一些和关节面关节病和退变相关的参数(关节面有无液体出现、最大关节面间距以及关节面关节病和退变分级等), 结果显示两组患者的这些基础参数并无统计学差异, 表明应用 U/S MRI 标准有机会能够从 F/E X 线片诊断为稳定的患者中再区分出一部分, 这些患者依旧可以从椎间孔入路的腰椎融合手术中获益。Chen 等^[12]还发现, U/S MRI 能够发现许多 F/E X 线片法无法发现的脊柱后凸的腰椎不稳患者, 他们认为伴有脊柱后凸的退行性腰椎滑脱患者应当被视为不同的亚组对待, 才能减

第一作者简介: 男(1995-), 硕士研究生, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)88324570 E-mail: cxiaofeng1994@126.com

通讯作者: 薛峰 E-mail: dxuefeng@163.com

少漏诊。此外, U/S 法受评估者经验的影响也较小, 一致性很好^[13]。虽然 MRI 的费用高是 U/S MRI 法的一大缺点, 但上述研究依旧表明这种新型的 U/S MRI 法可以是传统 F/E X 线片法很好的补充^[14]。

此外 Giancarlo 等^[15]还发现, 对于轻度的腰椎滑脱(Ⅰ度或Ⅱ度), 仰卧位-俯卧位(supine/prone, S/P)动态 X 线片比标准的 F/E X 线片有更好的诊断价值, 根据 S/P 方法诊断出的患者群体比 F/E X 线片法诊断出的患者群体更符合症状学方面的特征。

美国研究者研发的电脑辅助椎体活动度分析系统(vertebral motion analysis system, VMA)是一种半自动的 X 线摄片装置, 除了可以拍摄标准的 F/E X 线片之外, 还包括在系统辅助下的各种特定体位的 X 线片, 如直立位、斜倚位等, 通过系统内置的程序, 可以让患者在更标准化的流程中实现摄片, 而且能够实现更精准的分析。研究者发现相较于传统 F/E X 线片, 这种 VMA 系统在特异度、灵敏度、阴性预测值、一致性等方面都有全面的提升^[16]。

传统 F/E X 线片法虽然是临床及研究中常用的诊断方法, 但是不应该成为我们探索腰椎不稳的一种限制, 研究者们积极探索并改进了传统的 F/E X 线法, 以及更先进的 VMA 系统, 这些改进有的呈现出了良好的诊断价值, 但尚需要更多的重复研究和多中心研究去验证。

2 关节突关节面的影像学检查

椎体关节的稳定性依赖椎体及椎旁周围稳定结构的完整性, 其中的关节突关节是稳定椎体的重要结构, 在近些年的研究中, 大量的研究者发现关节突关节面(即小关节面)的异常影像学信号往往与腰椎不稳有显著关联^[17-19], 因而探讨小关节面的异常影像学信号是否具有诊断意义成了许多研究者关心的热点。

小关节积液是许多研究者认可的一个与腰椎不稳有相关的影像学表现, 在 MRI 上通常表现为 T2 加权像上原小关节间隙处呈现出明显的高信号。Hasegawa 等^[20]利用自研的术中评估系统作为腰椎不稳的诊断金标准, 评价出小关节积液是腰椎不稳的最强预测因子, 其后则是脊柱前移、椎间盘 MRI 评分和软骨下硬化。有研究者^[21]还发现, 如果患者存在退行性脊柱前移, 椎间盘 MRI 评分 3~4 分, 小关节积液, 软骨下硬化(-), 其腰椎不稳的可能性能达到 91.6%。Cho 等^[9]以 94 例接受了减压手术的退行性脊柱滑脱患者为研究对象, 将移位超过 5mm 或者屈伸位侧位片成角超过 10°定义为腰椎不稳, 他们发现在腰椎不稳定组中, 患者 MRI 的 T2 相中关节面有明显的高信号, MRI 中发现关节面的液体信号是一个腰椎不稳的很好的预测因素, 阳性预测值达 93.22%。Friederike 等^[22]的研究则发现腰椎小关节的积液是一个可以预测退行性脊柱前移的一个征象, 研究者取 MRI 中滑动程度>3%为临界值, 发现滑动程度超过 3%的椎体的小关节积液值为 $2.15 \pm 0.85\text{mm}$, 显著高于滑动程度低于 3%的椎体, 而且小关节积液值与滑

动程度呈线性的正相关关系, 伴有旋转移位的患者积液情况与不伴有旋转移位的患者小关节积液值同样有统计学差异。

Cho 等^[9]在研究中还发现腰椎不稳定组与腰椎稳定组的小关节间隙距离有统计学差异 ($1.68 \pm 0.74\text{mm}$ vs $0.81 \pm 0.4\text{mm}$, $P < 0.001$), 在腰椎稳定组之中超过 90%的小关节间隙<1mm, 不稳定组中 76%患者小关节间隙超过 1mm。但这一研究结果与国内一些研究者的结论并不完全一致。郝小东等^[24]利用 CT 测量慢性腰腿痛及腰椎关节突关节压痛的患者的的小关节间隙, 发现男性患者 L3、L4、L5 椎体小关节间隙均在 2mm 以上, 女性关节突关节间隙 L3、L4 椎体低于 2mm, 但仍高于 Cho 等的结果, 这结果可能与 MRI 测量和 CT 测量的误差有关, 因为 MRI 测量关节突关节间隙或许会受到小关节积液的影响, 导致结果不准确。而王亚伟等^[24]以 X 线片结合 CT 研究了 60 例腰椎不稳的患者, 发现其中椎小关节间隙增宽 16 例, 变窄 10 例, 让我们对小关节间隙增宽是否具有诊断价值产生怀疑。目前国内外都比较缺乏关于小关节间隙宽度的研究, 临床实践之中我们经常发现腰椎不稳患者伴有小关节间隙增宽的实例, 其是否具有诊断学上意义上的价值尚待进一步明确。

Sun 等^[25]发现, 在 L4/5 退行性腰椎滑脱患者中, 伴有空腔小关节征 CT 表现的患者发生腰椎不稳的几率以及表现屈伸位滑脱比的动态活动指数(dynamic motion index, DMI)显著高于不伴有的患者, 而且小关节空腔指数与 DMI 呈线性相关, 研究者认为这表明退行性腰椎滑脱患者合并 CT 上的空腔小关节征时强烈预示患者会合并腰椎不稳。总的来说, 目前大多数研究者认为小关节积液是腰椎不稳较为灵敏的表现, 在临床实践中适当应用这一特异的征象可以有助于更好地为患者提供早期诊断。

3 椎体的旋转中心

椎体的旋转中心(center of rotation, COR)是用以评估关节活动度、分析关节活动质量、评价治疗及恢复的疗效以及诊断病变椎体的重要运动学参数^[26, 27], 其测量的方法是取前屈后伸位两个位置同一椎体的两点做垂直平分线, 其交点即为该椎体的旋转中心。Taghipour-Darzi 等^[28]利用 Hicks 等提出的临床预测准则(clinical prediction rule, CPR)^[29]将人群分为腰椎不稳组、非特异性腰痛组以及健康人群组, 在测量出各椎体的 COR 之后, 以患者相对稳定的 S1 椎体的后缘和上缘作 Y 轴和 X 轴建立坐标系, 测量出各椎体的 COR 坐标, 最后发现腰椎不稳患者、非腰椎不稳的下腰痛患者以及健康人群 L4 及 L5 椎体 COR 的 Y 坐标存在统计学差异, 其中腰椎不稳患者 L4 及 L5 椎体 COR 的 Y 坐标最靠近 S1 椎体, 可以据此将慢性腰痛中的腰椎不稳患者与非腰椎不稳患者加以区分^[28]。COR 是一种新型的评价方法, 但是该研究者所采用的 CPR 准则本身并未得到一致认可, 存在灵敏性、特异性和一致性方面的问题^[30], 所以其结论未必可靠, 需要进一步的重复试验并

且优化研究设计。

4 术中椎体测量系统

目前我们缺少可用于诊断腰椎不稳的金标准,这导致许多新型的影像学检测手段缺乏评估指标,只能与传统的 F/E X 线片法进行比较,从而缺乏真正的灵敏度和特异度的评价。自 1997 年起,Hasegawa 等^[31]就开始研发一套可以用于术中评估椎体各项生物力学参数的装置,这套装置可以测量椎体在保留各种韧带情况下的各项力学参数,主要通过装置的握把夹持在椎体的棘突上,再向棘突施加应力并同时测量棘突的移位距离,从而得到相应的负荷-移位曲线图,Hasegawa 等沿用 Panjabi 等^[32]的中立区(neutral zone,NZ)定义,并定义这种新型的术中评估系统中椎体棘突移位从-5mm(屈曲)至 5mm(伸展)范围内所需的必要负荷值的倒数为 NZ 值。并利用这一套新型的术中系统,评估了腰椎脊柱前移和正常人群之间的术中椎体生物力学表现,最后发现 NZ 值>2mm 可以作为腰椎不稳的依据^[33]。这套术中评估系统虽然不适用于临床实践之中对患者进行术前的确诊,但是在评价其他新型诊断方法的灵敏度和特异度方面依旧具有一定价值。

5 腰椎不稳的独立预测因子

除了上述新型的检查诊断方法之外,还有不少研究者做了可预测患者腰椎不稳的预测因子方面的研究,主要以放射学表现为主。Pitkänen 等^[34]研究发现,F/E X 线片法诊断出的脊柱不稳可以被普通腰椎正侧位片中的某些特殊征象所预测:退行性脊柱前移及崩裂性脊柱滑脱是预测向前滑动性不稳的最强独立预测因子;后滑脱、牵张骨刺、脊柱关节病是向后滑动性不稳的重要预测因子。Fritz 等^[35]发现腰椎屈曲角度>53°以及在做椎间运动试验时缺少可动性减少的表现可以较好地预测影像学上的腰椎不稳,若以上两者同时出现,则患者腰椎不稳的可能性可达 90%。

6 临床表现

通过患者的临床表现来筛选患者有无腰椎不稳是许多研究者努力的方向,因为这将比 X 线检查更加方便、快捷、经济,这其中以各种各样的查体试验方面的探索为主。

Abbot 等^[36]发现移位型的腰椎不稳与复发性/慢性下腰痛有显著性关联,而被动附属椎间运动试验(passive accessory intervertebral motion tests,PAIVMs)以及被动椎间运动试验(passive physiological intervertebral motion tests,PPIVMs)被证实对于诊断移位型而非成角型的腰椎不稳特异度很高,但其灵敏度较低^[36]。Hicks 等^[29]设计了可用于预测腰椎不稳的 CPR,该 CPR 包含 4 个条件,分别是:(1)年龄小于 40 岁;(2)平均直腿抬高角度大于 91°;(3)异常的腰椎活动表现;(4)俯卧不稳试验(prone instability test,PIT)阳性。当 4 条件满足 3 个及以上时,患者腰椎不稳或能从腰椎稳定性锻炼获得收益的阳性似然比可

达 4.0,而且其中 PIT 试验具有极好的组间一致性($\kappa=0.87$)^[29]。Denteneer 等^[37]的系统综述将与腰椎不稳诊断相关的 30 个查体试验进行了组间和组内一致性的评价,也认为异常的腰椎活动表现、PIT 以及 Beighton 评分的组间一致性是较好的。然而 Ravenna 等的研究却指出 PIT 组间一致性较差($\kappa=0.10$,95% CI:-0.27~0.47),他们认为对于 PIT 进一步的探索、规范以及某些具体操作步骤的详细阐述是必要的^[38]。在 Rabin 等^[39]的研究中,该 CPR 各条件的组间一致性为可观的($\kappa:0.64\sim0.73$),而 CPR 整体的一致性极好的($\kappa=0.86$,95% CI:0.65~1.00),而且该研究者认为除了 Hicks 等提出的 CPR 的各组成因素之外,主动直腿抬高角度(active straight leg raise,ASLR)、被动腰椎伸展试验(passive lumbar extension test,PLET)和负重腰椎伸展试验(lumbar extension load test,LELT)拥有较好的一致性(其中 PLET 最高, $\kappa=0.76$),可以考虑在临床上用于辅助腰椎不稳以及腰椎稳定性锻炼获益人群的筛选。在 Ferrari 等^[40]和 Esmailieh 等^[41]的研究中,PLET 是单个查体试验中最准确的,其高灵敏度、特异度和一致性使其成为单独筛查腰椎不稳的最佳选择,但仍不及 F/E X 线片^[41]。但在 Rathod 等^[42]的研究中,PLET 的灵敏度、特异度是较差的,而滚动试验表现则更好。另有研究者认为低中线窗台征(low midline sill sign)是腰椎不稳较好的查体方法^[43],但此试验和滚动试验一样缺少重复验证,难以评价其价值。曾被认为可以用于指导治疗的腰椎不稳测评问卷^[44],有研究者认为其存在内部一致性差、效度不稳定等诸多问题,难以实际应用^[45,46]。

总的来说,查体试验或者测评问卷理应是辅助诊断腰椎不稳的重要手段,因为它们简便、经济,但是无论是 Hicks 提出的 CPR 还是单独的 PLET 试验、PIT 试验,不同研究者对于他们的看法往往大相径庭,故而远未达到可应用于临床的程度^[30],这是由于查体试验无论是在操作过程中还是结果解读中,都存在主观误差较大的缺点,因此各个研究中常得出相互矛盾的结论,研究重复性也比较差,而且由于查体试验数目繁多,有许多查体试验仅有一项研究涉及,无法进行横向比较,这也是一个重要的问题。利用查体试验或测评问卷诊断腰椎不稳是前景非常光明的一个方向,但还需要在明确查体试验详细步骤、规范查体者培训和标准化结果解读等方面做出努力。

7 总结与展望

在研究者对于如何更准确地诊断腰椎不稳的探索之中,我们发现改进传统的 F/E X 线片法的检查体位以及采取 U/S MRI 法是对传统 F/E X 线片法的有效补充,可以提高对腰椎不稳的诊断率;利用电脑辅助系统辅助摄片也是一种思路,可以减少因患者姿势不标准导致的误差,还能提供多种的有助于检出腰椎不稳的特殊位置摄片,在灵敏性、特异性、一致性等方面都有明显进步;腰椎 MRI 所发现的小关节积液是预测腰椎不稳的一个良好指标,甚至

对于判断腰椎不稳严重性也有助益,小关节间隙宽度的变化或许是预测腰椎不稳的另一个有效指标,但需要进一步的研究加以论证;腰椎旋转中心有助于鉴别腰椎不稳和非特异性慢性下腰痛以及健康人群,但应用于临床实践还需要进一步完善其评价标准并经过重复试验验证;术中评估系统难以用于术前的确诊,但是可以评价其他诊断或检查方法的灵敏度和特异度,值得更多研究者使用和改进;将患者的临床表现用于腰椎不稳的诊断是许多研究者都在尝试的方向,其中以各种查体试验最常见,有不少研究证实了某些查体试验如 PIT、PLET 有较好的筛查价值,但也有不少研究者得到了相反的结论,这主要是由查体试验操作者在操作和解读上的主观误差所造成,因此对于查体试验而言,严格、标准化的操作步骤,严谨的操作人员培训以及清楚的评判标准是相当重要的。总的来说,研究者们在新的检查诊断方法方面的尝试是多种多样的,有不少的尝试已经卓有成效,虽然现阶段还没有形成共识性的结论,但是相信在不久的将来腰椎不稳的诊断会变得更加容易且准确。

8 参考文献

- Hanley EN Jr, Spengler DM, Wiesel S, et al. Controversies in low back pain: the surgical approach [J]. Instr Course Lect, 1994, 43: 415-423.
- Boden SD, Wiesel SW. Lumbosacral segmental motion in normal individuals: have we been measuring instability properly?[J]. Spine, 1990, 15(6): 571-576.
- Cho IY, Park SY, Park JH, et al. MRI findings of lumbar spine instability in degenerative spondylolisthesis[J]. J Orthop Surg(Hong Kong), 2017, 25(2): 1-5.
- Segundo ST, Valesin ESF, Lenza M, et al. Interobserver reproducibility of radiographic evaluation of lumbar spine instability [J]. Einstein (Sao Paulo, Brazil), 2016, 14 (3): 378-383.
- Hayes MA, Howard TC, Gruel CR, et al. Roentgenographic evaluation of lumbar spine flexion-extension in asymptomatic individuals[J]. Spine, 1989, 14(3): 327-331.
- Shaffer WO, Spratt KF, Weinstein J, et al. 1990 Volvo award in clinical sciences. The consistency and accuracy of roentgenograms for measuring sagittal translation in the lumbar vertebral motion segment. An experimental model [J]. Spine, 1990, 15(8): 741-750.
- Danielson B, Frennered K, Irstam L. Roentgenologic assessment of spondylolisthesis. I. A study of measurement variations[J]. Acta radiologica(Stockholm, Sweden: 1987), 1988, 29(3): 345-351.
- Hey HW, Lau ET, Lim JL, et al. Slump sitting X-ray of the lumbar spine is superior to the conventional flexion view in assessing lumbar spine instability[J]. Spine J, 2017, 17(3): 360-368.
- Landi A, Gregori F, Marotta N, et al. Hidden spondylolisthesis: unrecognized cause of low back pain? Prospective study about the use of dynamic projections in standing and recumbent position for the individuation of lumbar instability [J]. Neuroradiology, 2015, 57(6): 583-588.
- Liu N, Wood KB, Schwab JH, et al. Utility of flexion-extension radiographs in lumbar spondylolisthesis: a prospective study[J]. Spine, 2015, 40(16): E929-935.
- Viswanathan VK, Hatef J, Aghili-Mehrizi S, et al. Comparative utility of dynamic and static imaging in the management of lumbar spondylolisthesis[J]. World neurosurg, 2018, 117: e507-e513.
- Chen X, Zhou QS, Xu L, et al. Does kyphotic configuration on upright lateral radiograph correlate with instability in patients with degenerative lumbar spondylolisthesis? [J]. Clin Neurol Neurosurg, 2018, 173: 96-100.
- 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.
- Michelini G, Corridore A, Torlone S, et al. Dynamic MRI in the evaluation of the spine: state of the art[J]. Acta Biomed, 2018, 89(1-s): 89-101.
- D'Andrea G, Ferrante L, Dinia L, et al. "Supine-prone" dynamic X-ray examination: new method to evaluate low-grade lumbar spondylolisthesis[J]. J Spinal Disord Tech, 2005, 18(1): 80-83.
- Davis RJ, Lee DC, Wade C, et al. Measurement performance of a computer assisted vertebral motion analysis system [J]. Int J Spine Surg, 2015, 9: 36.
- Hasegawa K, Kitahara K, Shimoda H, et al. Facet joint opening in lumbar degenerative diseases indicating segmental instability[J]. J Neurosurg Spine, 2010, 12(6): 687-693.
- Chaput C, Padon D, Rush J, et al. The significance of increased fluid signal on magnetic resonance imaging in lumbar facets in relationship to degenerative spondylolisthesis[J]. Spine, 2007, 32(17): 1883-1887.
- Cho BY, Murovic JA, Park J. Imaging correlation of the degree of degenerative L4-5 spondylolisthesis with the corresponding amount of facet fluid[J]. J Neurosurg Spine, 2009, 11(5): 614-619.
- Hasegawa K, Shimoda H, Kitahara K, et al. What are the reliable radiological indicators of lumbar segmental instability?[J]. J Bone Joint Surg Br, 2011, 93(5): 650-657.
- Pfaffmann CW, Metzdorf A, Zanetti M, et al. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration [J]. Spine, 2001, 26(17): 1873-1878.
- Lattig F, Fekete TF, Grob D, et al. Lumbar facet joint effusion in MRI: a sign of instability in degenerative spondylolisthesis[J]. Eur Spine J, 2012, 21(2): 276-281.
- 郝小东. 腰椎关节突关节的 X 线基础研究及临床意义[J]. 临床医学研究与实践, 2016, 25(1): 84-85.

24. 王亚伟, 陈岩, 黄海涛. X 线结合 CT 对腰椎不稳的影像学诊断[J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2007, 28(13): 1587-1588.
25. Sun ZM, Jiang C, Xu JJ, et al. Vacuum facet phenomenon in computed tomography imaging: a sign of instability in degenerative spondylolisthesis[J]. *World Neurosurg*, 2019, 129: e393-e400.
26. Hinderaker J, Lord SM, Barnsley L, et al. Diagnostic value of C2-3 instantaneous axes of rotation in patients with headache of cervical origin[J]. *Cephalalgia*, 1995, 15(5): 391-395.
27. Challis JH. Estimation of the finite center of rotation in planar movements[J]. *Med Eng Phys*, 2001, 23(3): 227-233.
28. Taghipour-Darzi M, Ebrahimi-Takamjani E, Salavati M, et al. Construct validity of center of rotation in differentiating of lumbar segmental instability patients [J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2015, 28(4): 675-680.
29. Hicks GE, Fritz JM, Delitto A, et al. Preliminary development of a clinical prediction rule for determining which patients with low back pain will respond to a stabilization exercise program [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2005, 86(9): 1753-1762.
30. Mitchell UH, Hurrell J. Clinical spinal instability: 10 years since the derivation of a clinical prediction rule. A narrative literature review[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2019, 32(2): 293-298.
31. Hasegawa K, Kitahara K, Hara T, et al. Evaluation of lumbar segmental instability in degenerative diseases by using a new intraoperative measurement system[J]. *J Neurosurg Spine*, 2008, 8(3): 255-262.
32. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis [J]. *J Spinal Disord*, 1992, 5(4): 390-397.
33. Hasegawa K, Kitahara K, Hara T, et al. Biomechanical evaluation of segmental instability in degenerative lumbar spondylolisthesis[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(4): 465-470.
34. Pitkanen MT, Manninen HI, Lindgren KA, et al. Segmental lumbar spine instability at flexion-extension radiography can be predicted by conventional radiography [J]. *Clin Radiol*, 2002, 57(7): 632-639.
35. 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.
36. Abbott JH, McCane B, Herbison P, et al. Lumbar segmental instability: a criterion-related validity study of manual therapy assessment[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2005, 6: 56.
37. Denteneer L, Stassijns G, De Hertogh W, et al. Inter- and intrarater reliability of clinical tests associated with functional lumbar segmental instability and motor control impairment in patients with low back pain: a systematic review[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2017, 98(1): 151-164.
38. Ravenna MM, Hoffman SL, Van Dillen LR. Low interrater reliability of examiners performing the prone instability test: a clinical test for lumbar shear instability[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2011, 92(6): 913-919.
39. Rabin A, Shashua A, Pizem K, et al. The interrater reliability of physical examination tests that may predict the outcome or suggest the need for lumbar stabilization exercises [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2013, 43(2): 83-90.
40. Ferrari S, Manni T, Bonetti F, et al. A literature review of clinical tests for lumbar instability in low back pain: validity and applicability in clinical practice[J]. *Chiropr Man Therap*, 2015, 23: 14.
41. Esmailieh AA, Abbasian M, Bidar R, et al. Diagnostic efficacy of clinical tests for lumbar spinal instability[J]. *Surg Neurol Int*, 2018, 9: 17.
42. Rathod AK, Garg BK, Sahetia VM. Lumbar rocking test: A new clinical test for predicting lumbar instability[J]. *J Craniovertebr Junction Spine*, 2019, 10(1): 33-38.
43. Ahn K, Jhun HJ. New physical examination tests for lumbar spondylolisthesis and instability: low midline sill sign and interspinous gap change during lumbar flexion-extension motion[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2015, 16: 97.
44. Macedo LG, Maher CG, Hancock MJ, et al. Predicting response to motor control exercises and graded activity for patients with low back pain: preplanned secondary analysis of a randomized controlled trial[J]. *Phys Ther*, 2014, 94(11): 1543-1554.
45. Macedo LG, Kuspinar A, Roduta Roberts M, et al. A rasch analysis of the lumbar spine instability questionnaire [J]. *Physiother Theory Pract*, 2019: 1-8.
46. Saragiotto BT, Maher CG, New CH, et al. Clinimetric testing of the lumbar spine instability questionnaire [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2018, 48(12): 915-922.
- (收稿日期 2019-07-15 末次修回日期 2019-10-18)
(本文编辑 姜雅浩)