

临床论著

中老年腰腿痛患者腰椎终板 Modic 改变的分布情况及其与腰椎不稳的关系

谢冬晓, 丁文元, 申 勇, 张英泽, 马 铮, 王 辉, 胡彬欣, 胡静男

(河北医科大学第三医院脊柱外科 050051 石家庄市)

【摘要】目的:探讨中老年腰腿痛患者腰椎终板 Modic 改变的分布情况, 分析其与腰椎不稳之间的关系。**方法:**随机选取 2007 年 3 月~2011 年 12 月因腰腿痛在我院行腰椎 MRI 和常规 X 线片检查的年龄 ≥ 40 岁的患者 430 例, 男 210 例, 女 220 例, 年龄 40~73 岁。观察患者腰椎终板 Modic 改变的发生率、类型及分布特点; 根据腰椎是否稳定分为腰椎稳定组和腰椎不稳定组, 分析其与 Modic 改变之间的关系; 腰椎稳定组患者分为腰椎曲度正常组和异常组, 分析其与 Modic 改变之间的关系。**结果:**430 例共计 2150 个腰椎椎间盘中, 124 例 (28.84%) 154 个 (7.16%) 椎间盘终板存在 Modic 改变, 其中 I 型 34 例 (7.91%)、34 个椎间盘 (1.58%), II 型 72 例 (16.74%)、100 个椎间盘 (4.65%), III 型 18 例 (4.19%)、20 个椎间盘 (0.93%); L2/3 14 个, L3/4 24 个, L4/5 50 个, L5/S1 66 个, 其发生率分别为 0.65%、1.12%、2.32%、3.07%; 其中 Modic 改变位于终板前部 79 个, 后部 31 个, 整个终板 44 个; 仅累及上终板 52 个, 仅累及下终板 41 个, 累及上、下终板 61 个。腰椎不稳定组终板 Modic 改变的发生率为 36.68%, 腰椎稳定组为 19.90%, 两组差异有统计学意义 ($P < 0.05$); Modic I、II、III 型中腰椎不稳的发生率分别为 82.35%、69.44%、33.33%, 三者差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 腰椎曲度正常组终板 Modic 改变的发生率为 11.11%, 腰椎曲度异常组为 23.91%, 两组差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。**结论:**中老年腰腿痛患者腰椎终板 Modic 改变以 II 型最多见, 以 L4/5 和 L5/S1 节段多发; 其与腰椎不稳和腰椎曲度之间存在相关关系, Modic I 型改变与腰椎不稳相关性最强。

【关键词】 腰椎; Modic 改变; 腰椎不稳; 腰椎曲度

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2012.12.08

中图分类号: R681.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2012)-12-1090-06

Distribution of Modic changes of lumbar endplate in middle-elderly population with low back pain and its relationship with lumbar instability/XIE Dongxiao, DING Wenyuan, SHEN Yong, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2012, 22(12): 1090-1095

【Abstract】Objectives: To investigate the distribution of Modic changes of lumbar endplate in middle-elderly population with low back pain, and its relationship with lumbar instability. **Methods:** 430 patients (210 males and 220 females) aged more than 40 years old (range, 40-73 years) in our hospital from March 2007 to December 2011 were reviewed retrospectively. The incidence, type and distribution of Modic changes were reviewed. All patients were divided into lumbar stable group and unstable group, and the relationship between Modic changes and lumbar instability was analyzed. The patients with lumbar stability were further divided into two subgroups based on lumbar curvature. The correlation between Modic changes and lumbar curvature was analyzed. **Results:** Among 2150 intervertebral discs of 430 patients, 154 (7.16%) discs of 124 (28.84%) cases were involved in Modic changes; 34 (1.58%) discs were diagnosed as type I; 100 (4.65%) discs as type II; 20 (0.93%) discs as type III; the lesions involved L2/3 (0.65%), L3/4 (1.12%), L4/5 (2.32%) and L5/S1 (3.07%). The location of Modic changes was noted in 154 levels (52 superior end plate, 41 inferior end plate, 61 both), and 79 sited anteriorly, 31 sited posteriorly, 44 sited both anteriorly and posteriorly. The incidence of Modic changes in unstable group and stable group was 36.68% and 19.90% respectively, which showed significant difference ($P < 0.05$). The incidence of lumbar instability in Modic I, II, III type was 82.35%,

第一作者简介: 男 (1987-), 在读研究生, 研究方向: 脊柱外科

电话 (0311) 88602017 E-mail: datouhuli@yahoo.com.cn

通讯作者: 丁文元 E-mail: dingwyster@gmail.com

69.44% and 33.33% respectively, and there were significant differences among them ($P < 0.05$). The incidence of Modic changes in normal lumbar curvature group and abnormal curvature group was 11.11% and 23.91% respectively, which showed significant differences between both groups ($P < 0.05$). **Conclusions:** Modic changes of lumbar endplate in middle-elderly population correlate with lumbar instability and lumbar curvature, and Modic I type change is related to lumbar instability greatly, while Modic II type change is the most prevalent, which almost sites in L4/5 and L5/S1.

[Key words] Lumbar spine; Modic changes; Lumbar instability; Lumbar curvature

[Author's address] Department of Spinal Surgery, Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang, 050051, China

脊柱退变患者 MRI 检查中常见有终板和终板下骨的信号改变,即 Modic 改变。Roos 于 1987 年率先报道,Modic 等^[1]于 1988 年对此进行了系统描述。近年来,关于其发生机制及其与腰痛的关系研究较多,但对中老年人腰椎终板 Modic 改变的分布及其与腰椎不稳之间关系的研究相对较少。本研究回顾性分析 430 例中老年腰腿痛患者的影像学资料,旨在探讨腰椎终板 Modic 改变的分布情况及其与腰椎不稳之间的关系。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入标准:①年龄 ≥ 40 岁。②因腰腿痛行腰椎正侧位、过伸过屈位 X 线片及腰椎 MRI 检查的患者。排除标准:既往有腰椎手术史、先天性脊柱侧凸、脊柱恶性肿瘤、感染、结核、外伤等明确病理改变的患者。2007 年 3 月~2011 年 12 月因腰腿痛在我院诊治的 1128 例患者中,符合上述标准的患者 702 例,从符合标准的患者中随机抽取 430 例,其中男性 210 例,女性 220 例,年龄 40~73 岁,平均 54 岁。

1.2 影像学检查

X 线片检查:所有患者均行腰椎正侧位、过伸过屈位 X 线片检查。采用 500mA Siemens DR 系统,电压:正位为 81kV,侧位和过伸过屈位 90kV,电流为 500mA,自动曝光控制系统。

MRI 检查:所有患者均行 1.5T MRI 检查 (SIEMENS MAGNETOM Symphony)。T1 加权像采用自旋回波序列,T2 加权像采用快速自旋回波序列。扫描使用表面线圈,层厚 4mm,采集矩阵 512 $\times$ 256。序列参数:T1 加权像重复时间 (TR) 482ms,回波时间 (TE) 10ms;T2 加权像 TR 1650ms,TE 97ms。

1.3 影像学分析及观测指标

在腰椎正侧位及过伸过屈位 X 线片上测量腰椎曲度,判断腰椎的稳定性。腰椎曲度测量采用 Cobb 角法,即 L1 椎体的上终板到 S1 椎体的上终板之间的夹角,正常值为 40°~60°,Cobb 角 $\geq 40^\circ$ 为正常组, $< 40^\circ$ 为曲度异常组。腰椎不稳的诊断采用 Frymoyer^[2]标准,在腰椎过伸过屈位 X 线片上椎间位移超过 3mm 或角度变化超过 15°诊断为腰椎不稳,符合标准者为腰椎不稳定组,不符合标准者为腰椎稳定组。

在腰椎 MRI 上观察腰椎终板信号改变,按照 Modic 终板改变标准进行分型:正常,椎体终板信号正常,无改变;I 型,T1 加权像上终板及邻近骨为低信号,T2 加权像上为高信号;II 型,T1 加权像上为高信号,T2 加权像为等信号或轻度升高;III 型,T1、T2 加权像上信号均低;将终板从前向后平均分为二等分(前部和后部),观察并记录终板 Modic 改变的位置变化。

所有影像学资料均由一位经验丰富的放射科医师与一位骨科医师相对独立地进行双盲分析,并集中分析讨论,以判断其可靠性。

1.4 统计学方法

所得数据应用四格表记录,用 SPSS 13.0 软件包行统计学处理,用 Kappa 一致性检验,组间比较采用 χ^2 检验,设 $P < 0.05$ 为有统计学差异。

2 结果

放射科医师与骨科医师对终板 Modic 改变评估的 Kappa 检验中, $K = 0.76$;对腰椎不稳的评估 Kappa 检验中, $K = 0.82$ 。不同医师的评估差异无显著性。

2.1 腰椎终板 Modic 改变的分布

430 例共计 2150 个腰椎椎间盘中,124 例 (28.84%) 154 个 (7.16%) 椎间盘终板存在 Modic 改变,其中 I 型 34 例 (7.91%),34 个椎间盘

(1.58%); II 型 72 例 (16.74%), 100 个椎间盘 (4.65%); III 型 18 例 (4.19%), 20 个椎间盘 (0.93%)。L2/3 14 个, L3/4 24 个, L4/5 50 个, L5/S1 66 个, 其发生率分别为 0.65%、1.12%、2.32%、3.07% (表 1, 图 1~3)。Modic 改变位于终板前部 79 个, 后部 31 个, 整个终板 44 个; 仅累及上终板 52 个, 仅累及下终板 41 个, 累及上下终板 61 个。

2.2 Modic 改变与腰椎不稳之间的关系

腰椎稳定组与腰椎不稳定组患者的 Modic 改变情况见表 2。腰椎不稳定组终板 Modic 改变的发生率为 36.68%, 腰椎稳定组的发生率为 19.90%, 两者差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。Modic

I、II、III 型患者的腰椎不稳发生情况见表 3, 发生率分别为 82.35%、69.44%、33.33%, 三者差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

2.3 Modic 改变与腰椎曲度之间的关系

将腰椎稳定组中患者以 Cobb 角测量值为依据, 分为腰椎曲度正常组和异常组, 腰椎曲度正常组终板 Modic 改变的发生率为 11.11%, 腰椎曲度异常组中终板 Modic 改变的发生率为 23.91%, 两者差异有统计学意义 ($P < 0.05$, 表 4)。

3 讨论

3.1 中老年腰腿痛患者腰椎终板 Modic 改变的分布特点

多数研究表明^[3-5], 正常人群腰椎终板 Modic 改变的发生率为 7.4%~12.0%, 而在腰痛患者中的发生率为 18.0%~58.0%。本研究对象为年龄 ≥ 40 岁的中老年腰腿痛患者, 其腰椎终板 Modic 改变的发生率为 28.84%, 明显高于正常人群, 说明中老年腰腿痛患者是腰椎终板 Modic 改变发生的一个高危人群。有学者^[5]研究发现, 腰椎终板 Modic 改变和年龄之间存在相关关系, 即随着年龄的增加 Modic 改变的发生率也逐渐增高。本研究结果显示, Modic 改变以 II 型最为多见, I 型次之, III 型最少见, 与国内外学者^[1,5,6]的研究结果一致。

表 1 Modic 改变在椎间盘节段中的分布
Table 1 Distribution of Modic changes in different disc segments

Modic 改变 Modic changes	椎间盘节段 (Disc segment)					合计 Total
	L1/2	L2/3	L3/4	L4/5	L5/S1	
I 型 Type I	0	1	3	14	16	34
II 型 Type II	0	12	20	28	40	100
III 型 Type III	0	1	1	8	10	20
合计 (Total)	0	14	24	50	66	154

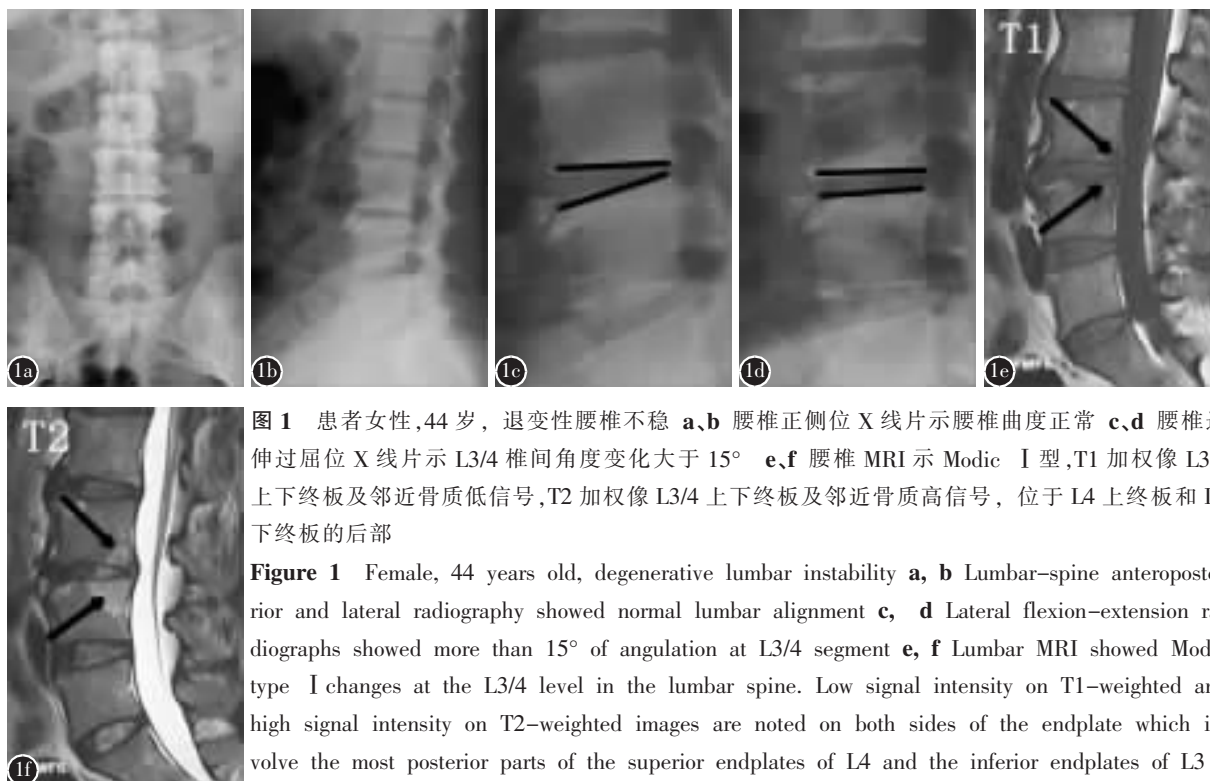


图 1 患者女性, 44 岁, 退变性腰椎不稳 a、b 腰椎正侧位 X 线片示腰椎曲度正常 c、d 腰椎过伸过屈位 X 线片示 L3/4 椎间角度变化大于 15° e、f 腰椎 MRI 示 Modic I 型, T1 加权像 L3/4 上下终板及邻近骨质低信号, T2 加权像 L3/4 上下终板及邻近骨质高信号, 位于 L4 上终板和 L3 下终板的后部

Figure 1 Female, 44 years old, degenerative lumbar instability a, b Lumbar-spine anteroposterior and lateral radiography showed normal lumbar alignment c, d Lateral flexion-extension radiographs showed more than 15° of angulation at L3/4 segment e, f Lumbar MRI showed Modic type I changes at the L3/4 level in the lumbar spine. Low signal intensity on T1-weighted and high signal intensity on T2-weighted images are noted on both sides of the endplate which involve the most posterior parts of the superior endplates of L4 and the inferior endplates of L3

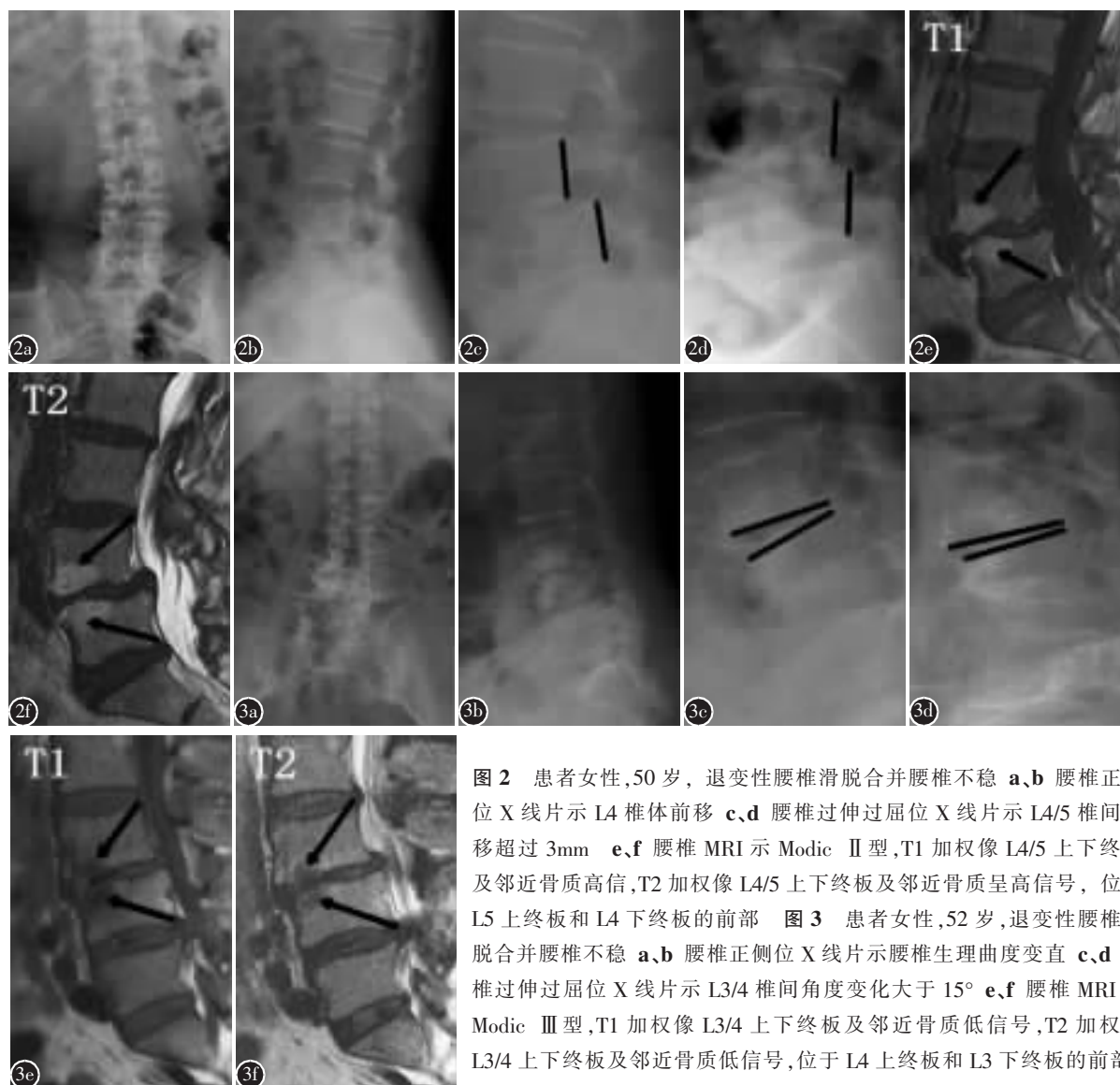


图 2 患者女性, 50 岁, 退变性腰椎滑脱合并腰椎不稳 **a, b** 腰椎正侧位 X 线片示 L4 椎体前移 **c, d** 腰椎过伸过屈位 X 线片示 L4/5 椎间位移超过 3mm **e, f** 腰椎 MRI 示 Modic II 型, T1 加权像 L4/5 上下终板及邻近骨质高信, T2 加权像 L4/5 上下终板及邻近骨质呈高信号, 位于 L5 上终板和 L4 下终板的前部 **图 3** 患者女性, 52 岁, 退变性腰椎滑脱合并腰椎不稳 **a, b** 腰椎正侧位 X 线片示腰椎生理曲度变直 **c, d** 腰椎过伸过屈位 X 线片示 L3/4 椎间角度变化大于 15° **e, f** 腰椎 MRI 示 Modic III 型, T1 加权像 L3/4 上下终板及邻近骨质低信号, T2 加权像 L3/4 上下终板及邻近骨质低信号, 位于 L4 上终板和 L3 下终板的前部

Figure 2 Female, 50 years old, degenerative lumbar spondylolisthesis

combined with lumbar instability **a, b** Lumbar-Spine anteroposterior and lateral radiography (L-Spine PA & LAT) showed L4 vertebral body slipped forwardly **c, d** Lateral flexion-extension radiographs showed more than 3mm of translation at L4-5 segment **e, f** Lumbar MRI showed Modic type II changes at the L4/5. High signal intensity on T1-weighted and T2-weighted images is noted on both sides of the endplate. These areas involve the most anterior aspects of the superior endplates of L5 and the inferior endplates of L4 **Figure 3** Female, 52 years old, degenerative lumbar spondylolisthesis combined with lumbar instability **a, b** L-Spine PA & LAT showed straight lumbar curvature **c, d** Lateral flexion-extension radiographs showed more than 15° of angulation at L3/4 segment **e, f** Lumbar MRI showed Modic type III changes at the L3/4 level. Low signal intensity on T1-weighted and T2-weighted images is noted on both sides of the endplate. These areas involve the most anterior aspects of the superior endplates of L4 and the inferior endplates of L3

Mitra 等^[7]研究表明, I 型 Modic 改变可能是椎间盘退变引起椎体骨髓损伤的急性或亚急性修复反应, 而 II 型可能是一种慢性或稳定的状态, III 型则是椎间盘退变引起椎体损伤后出现的反应性新生骨形成, 是 I、II 型退变的最终转归。本研究对象为中老年腰腿痛患者, 腰椎退变病程较长、程度较

重, 因此多以稳定型表现为主。除此之外, L4/5 和 L5/S1 节段是腰椎终板 Modic 改变的发好节段, 这种分布特点可能与上述节段承受应力较大、终板较易受损有关, 也可能与上述节段椎间盘退变程度较重有关。大多数学者^[1,5]的研究也证实了上述特点。

表 2 腰椎稳定组与腰椎不稳组患者的 Modic 改变情况

Table 2 Modic changes in lumbar stability group and lumbar instability group

	Modic改变 Modic changes		合计 Total
	有 Yes	无 No	
腰椎稳定组 Lumbar stability group	40	161	201
腰椎不稳组 Lumbar instability group	84	145	229
合计 Total	124	306	430

表 3 Modic 分型与腰椎不稳的关系

Table 3 Relationship between Modic type and lumbar instability

	腰椎不稳 Lumbar instability	腰椎稳定 Lumbar stability	合计 Total
Modic I	28	6	34
Modic II	50	22	72
Modic III	6	12	18
合计 Total	84	40	124

表 4 腰椎稳定组患者 Modic 改变与腰椎曲度之间的关系

Table 4 Relationship between Modic changes and lumbar curve in Lumbar stability

	Modic改变 Modic changes		合计 Total
	有 Yes	无 No	
正常组 Normal	7	56	63
异常组 Abnormal	33	105	138
合计 Total	40	161	201

3.2 Modic 改变与腰椎不稳之间的关系

目前对于 Modic 改变的确切机制仍不清楚,大多数学者认为生物力学机制是引起 Modic 改变的主要原因。本研究结果显示,腰椎不稳定组终板 Modic 改变的发生率明显高于腰椎稳定组。椎间盘-终板-椎体界面是一个动力性区域,腰椎不稳定可使腰椎在生物力学上存在较大的活动性、椎间盘-终板-椎体界面之间的扭力及剪切力增大,反复的力学负荷必然会加速椎间盘退变和终板微骨折的形成,从而诱发 Modic 改变。Girard 等^[8]报道胸椎终板区 Modic 改变发生率仅为 2.5%,李继刚等^[9]报道颈椎终板 Modic 改变发生率为 11.5%,略小于腰椎但远大于胸椎,这可能与胸椎的活动

度较颈椎和腰椎小有关。Hansson 等^[10]研究证实,对终板反复施加其极限抗拉强度 50%~80%的负荷,仅仅 100 次后终板就会出现微骨折。Modic^[11]认为 Modic 改变不是导致腰椎退行性变的原因,而是由生物学压力或腰椎不稳所致。本研究结果与其相一致。除此之外,Modic 分型与腰椎不稳之间也存在相关性,Modic I 型最易发生腰椎不稳,其发生率为 82.35%。Toyone 等^[12]对 74 例腰椎退行性变患者的 MRI 研究发现,I 型 Modic 改变的患者 70%有腰椎节段性不稳。也有学者认为 Modic 改变与腰椎稳定性之间不存在相关关系^[13]。

我们还研究了 Modic 改变与腰椎曲度之间的关系。为了消除腰椎不稳对研究结果的影响,将腰椎稳定组根据 Cobb 角测量值分为腰椎曲度正常组和曲度异常组,结果显示腰椎曲度异常组终板 Modic 改变的发生率明显高于正常组。正常的腰椎曲度对维持脊柱的生理曲线和人体的平衡、姿势起着重要作用。其生物学意义在于增加腰椎抵抗纵向压缩负荷的能力,同时具有缓冲震荡的作用。腰椎曲度是影响脊柱矢状面平衡的一个重要因素,理论上,腰椎生理曲度变直时,人体重心前移,应力重新分布,椎体-终板-椎间盘之间剪切力会逐渐减小,矢状位上的压力负荷逐渐增大,人体终板对轴向负荷尤为敏感,过大反复的轴向负荷可以导致软骨终板、骨性终板及终板下骨小梁弯曲变形,严重者出现不可逆损伤,从而诱发 Modic 改变。Karchevsky 等^[15]研究证实椎体终板和松质骨在压缩力作用下会发生结构破坏,较大负荷可能会导致更多微骨折或其他形式的损伤。其次,腰椎曲度变小,使腰椎整体的刚度增强、缓冲震荡的能力减弱,使椎间盘与后方小关节构成的三关节复合体容易发生异常位移和应变,产生腰椎失稳,进一步加重终板应力性损伤。有研究^[14]发现,在腰椎生理曲度变直时,椎体在 MRI T1 加权像上出现高信号,认为这是由于椎体应力增加造成红骨髓向黄骨髓转化造成的。

3.3 终板 Modic 改变与腰椎不稳之间关系的临床意义

腰痛是腰椎退变性疾病的常见症状,表现多样且病因复杂。腰椎不稳是引起腰痛的一个重要原因。本研究发现,Modic 改变与腰椎不稳之间存在相关关系。吴海龙等^[6]研究退变性腰椎侧凸椎体终板 Modic 改变发现,存在 Modic 改变的患者

腰痛 VAS 评分较高。Albert 等^[3]认为终板 Modic 改变与腰痛有显著相关性,而且 I 型 Modic 改变较 II 型 Modic 改变与腰痛的相关程度高。因此,Modic 改变可能是腰椎不稳患者腰痛的一个重要因素。Vital 等^[15]研究认为腰椎融合术会加速 I 型 Modic 改变向机械性稳定转变,这些改变是腰椎融合术良好预后的指标。随着腰椎融合术的广泛应用,其中远期并发症也开始引起人们的关注,腰椎融合会导致脊柱生物力学发生相应的变化,由于应力的重新分布和时间的推移导致邻近节段运动幅度增大,引起邻近节段退变,其中小关节受影响最明显,容易继发椎间盘退变和腰椎不稳^[16]。I 型 Modic 改变是终板损伤的早期改变,具有可逆性且与腰椎不稳关系最为密切。临床上,对腰椎融合术后患者定期复查腰椎 MRI,将终板 Modic I 型改变作为早期评价相邻节段退变或不稳的一个重要指标。

本研究样本量较小,仅对我院 430 例患者影像学回顾性研究,其结果具有一定局限性,将来应对 Modic 改变进行前瞻性、多中心、大样本的进一步研究。

4 参考文献

1. Modic MT, Steinberg PM, Ross JS, et al. Degenerative disk disease: assessment of changes in vertebral body marrow with MR imaging[J]. Radiology, 1988, 166(1): 193-199.
2. Frymoyer JW, Akeson W, Brandt K, et al. Clinical perspectives. In: Frymoyer JW, Gordon SL. New Perspectives on Low Back Pain[M]. Rosemont: American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1989. 217-248.
3. Albert HB, Kjaer P, Jensen TS, et al. Modic changes, possible causes and relation to low back pain[J]. Med Hypotheses, 2008, 70(2): 361-368.
4. Kjaer P, Leboeuf-Yde C, Korsholm L, et al. Magnetic resonance imaging and low back pain in adults: a diagnostic imaging study of 40 year-old men and women [J]. Spine, 2005, 30(10): 1173-1180.
5. Karchevsky M, Schweitzer ME, Carrino JA, et al. Reactive endplate marrow changes: a systematic morphologic and epidemiologic evaluation[J]. Skeletal Radiol, 2005, 34(3): 125-129.
6. 吴海龙, 丁文元, 申勇, 等. 退变性腰椎侧凸椎体终板 Modic 改变的分布情况及其影响因素[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(4): 285-289.
7. Mitra D, Cassar-Pullicino VN, McCall IW. Longitudinal study of vertebral type-1 end-plate changes on MR of the lumbar spine[J]. Eur Radiol, 2004, 14(9): 1574-1581.
8. Girard CJ, Schweitzer ME, Morrison WB, et al. Thoracic spine disc-related abnormalities: longitudinal MR imaging assessment[J]. Skeletal Radiol, 2004, 33(4): 216-222.
9. 李继刚, 杨惠林, 朱若夫, 等. 颈椎终板 Modic 改变分布特点与退变的关系[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(13): 2446-2449.
10. Hansson TH, Keller TS, Spengler DM. Mechanical behaviour of the human lumbar spine (II): fatigue strength during dynamic compressive loading [J]. J Orthop Res, 1987, 5(4): 479-487.
11. Modic MT. Modic type 1 and type 2 changes [J]. J Neurosurg Spine, 2007, 6(2): 150-151.
12. Toyone T, Takahashi K, Kitahara H, et al. Vertebral bone-marrow changes in degenerative lumbar disc disease: an MRI study of 74 patients with low back pain [J]. J Bone Joint Surg Br, 1994, 76(5): 757-764.
13. Bram J, Zanetti M, Min K, et al. MR abnormalities of the intervertebral disks and adjacent bone marrow as predictors of segmental instability of the lumbar spine[J]. Acta Radiol, 1998, 39(1): 18-23.
14. 于明安, 肖德贵. 腰椎曲度变直时各椎体内 MR 信号变化及生物力学原因分析[J]. 医学影像学杂志, 2008, 18(1): 64-67.
15. Vital JM, Gille O, Pointillart V, et al. Course of Modic 1 six months after lumbar posterior osteosynthesis [J]. Spine, 2003, 28(7): 715-720.
16. Levin DA, Hale JJ, Bendo JA. Adjacent segment degeneration following spinal fusion for degenerative disc disease [J]. Bull NYU Hosp Jt Dis, 2007, 65(1): 29-36.

(收稿日期:2012-06-14 末次修回日期:2012-10-10)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)