

• 诊治分析 •

腰椎间盘突出性变患者 T₂ 加权像高信号区及椎间盘 IVIM-DWI 定量参数的临床价值分析

沈国华, 祝春燕, 邵炫赫

【关键词】 腰椎间盘突出; 退行性变; T₂ 加权像; 高信号区; IVIM-DWI

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2024.03.020

【中图分类号】 R816.8 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-0800(2024)03-0351-04

腰椎间盘突出性变是脊柱退行性疾病的关键一环,其病理过程复杂且多样,对患者生活质量产生深远影响^[1]。随着医学影像技术的不断发展,尤其是 MRI 技术的广泛应用,腰椎间盘突出性变的诊断与评估手段得到了极大的丰富与提升^[2]。其中, T₂ 加权像高信号区及椎间盘体素内不相干运动扩散加权成像 (intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging, IVIM-DWI) 定量参数作为近年来研究的热点,在腰椎间盘突出性变的诊断与评估中展现出独特的优势与潜力^[3-4]。 T₂ 加权像高信号区作为腰椎间盘突出性变的重要影像学特征,其出现往往与纤维环的撕裂、髓核的突出等病理改变密切相关^[5-6]。本研究将 T₂ 加权像高信号区与 IVIM-DWI 定量参数相结合,综合评估腰椎间盘突出性变的程度,揭示腰椎间盘突出性变患者 T₂ 加权像高信号区及椎间盘 IVIM-DWI 定量参数的临床价值,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 采用回顾性研究方法,收集 2019 年 1 月至 2022 年 12 月在绍兴文理学院附属医院治疗的腰椎间盘突出性变患者 178 例退行性椎间盘 554 个,其中男 98 例,女 80 例;年龄 21 ~ 71 岁,平均 (49.9±10.2) 岁。同时选取正常体检者 100 例正常椎间盘 500 个,其中男 62 例,女 38 例;年龄 20 ~ 68 岁,平均 (50.0±9.9) 岁。纳入标准: (1) 腰椎间盘突出性变患者有腰部或下肢放射性疼痛; (2) 既往无腰椎手术史; (3) 在本院行 MRI 检查,且图像质量好。排

除标准: (1) 有脊柱侧弯或后凸畸形; (2) 有脊柱肿瘤、结核; (3) 纳入者有腰椎滑脱、椎间盘炎等其他脊柱疾病。正常和退行性椎间盘的 MRI 诊断标准: 正常椎间盘 MRI 呈类圆形低信号,与椎体边缘同步,对后方硬膜囊无明显压迫。腰椎间盘突出性改变 MRI 表现主要有髓核黑线征、纤维环破裂、许莫氏结节、椎间盘突出及硬膜囊或神经受压等。

1.2 MRI 检查 检查所用仪器为 SIEMENS 1.5 T 超导型 MRI 成像仪,进行矢状位 T₂WI 及矢状位 IVIM-DWI 序列扫描。 T₂WI 扫描参数: 层厚 4 mm, TE 为 137 ms, TR 为 2 720 ms,采集 1 次,扫描视野为 350 mm×350 mm。矢状位 IVIM-DWI 参数: 层厚 4.5 mm,层间距 1.0 mm, TE 88.5 ms, TR 2 425 ms, FOV 280 mm×140 mm。

将 IVIM-DWI 原始数据传至 ADW4.6 影像工作站,避开椎基静脉及骨皮质分别于 L1 ~ S1 椎体手动勾画 ROI,计算其髓核及前后纤维环的 ADC 值、D 值、D* 值 f 值,分别测量 2 次 (间隔 14 d),取平均值作为最终结果。

1.3 图像分析 由两名主任医师在未告知临床信息的情况下独立进行分析,由两人商议后确定。对椎间盘的髓核结构、髓核与纤维环的界限、髓核信号强度及椎间盘的高度进行评估。修正 Pfirrmann 分级评估参照文献 [7],1 级: 髓核与内层纤维环信号高,后方纤维环信号层次清晰,椎间盘高度正常。2 级: 髓核及内层纤维环信号高,可能伴有髓核内低信号裂隙,后方纤维环信号层次清晰,椎间盘高度正常。3 级: 髓核及内层纤维环信号高,后方纤维环信号层次清晰,椎间盘高度维持正常。4 级: 髓核及内层纤维环信号中等偏高,后方纤维环信号层次模糊,椎间

作者单位: 312000 浙江省绍兴,绍兴文理学院附属医院

通信作者: 沈国华, Email: shenghuo1985@163.com

盘高度正常。5级:髓核及内层纤维环信号中等偏高,髓核与纤维环边界消失,椎间盘结构不均匀。6级:髓核及内层纤维环信号低,后方纤维环信号层次模糊,椎间盘高度减小<30%。7级:髓核及内层纤维环信号低,后方纤维环信号层次模糊,椎间盘高度减小30%~60%。8级:髓核及内层纤维环信号低,后方纤维环信号层次模糊,椎间盘高度减小>60%。

1.4 统计方法 采用SPSS 22.0统计软件进行分析,符合正态分布的计量资料以均数±标准差表示,非正态分布计量资料以 $M(Q_{25}, Q_{75})$ 表示,两组比较采用 t 检验或秩和检验,多组比较采用方差分析或秩和检验;计数资料采用 χ^2 检验;相关性分析采用Spearman秩相关分析。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 T_2 加权像高信号区情况 退行性椎间盘高信号区检出312个(56.32%),正常椎间盘无高信号区检出,两者差异有统计学意义($\chi^2=399.99, P < 0.05$)。

2.2 不同修正Pfirrmann分级椎间盘退变高信号检出情况 修正Pfirrmann分级7~8级退行性椎间盘高信号检出率均高于3~4级和5~6级退行性椎间盘(均 $P < 0.05$);5~6级退行性椎间盘高信号检出率高于3~4级($P < 0.05$),见表1。

2.3 退行性椎间盘和正常椎间盘IVIM-DWI定量参数比较 退行性椎间盘髓核ADC值和D值明显

低于正常椎间盘($P < 0.05$),而f值明显高于正常椎间盘($P < 0.05$);退行性椎间盘前纤维环ADC值、D值和D*值明显低于正常椎间盘($P < 0.05$);退行性椎间盘后纤维环ADC值、D值明显低于正常椎间盘($P < 0.05$),而f值明显高于正常椎间盘($P < 0.05$),见表2。

2.4 不同修正Pfirrmann分级椎间盘退变IVIM-DWI定量参数比较 修正Pfirrmann分级7~8级退行性椎间盘髓核ADC值和D值,前纤维环ADC值、D值和D*值,后循环ADC值和D值均低于3~4级、5~6级(均 $P < 0.05$),而髓核f值和后纤维环f值均高于3~4级、5~6级(均 $P < 0.05$);修正Pfirrmann分级5~6级退行性椎间盘髓核ADC值和D值,前纤维环ADC值、D值和D*值,后循环ADC值和D值均低于3~4级(均 $P < 0.05$),而髓核f值和后纤维环f值均高于3~4级(均 $P < 0.05$),见表3。

2.5 相关性分析 高信号区与修正Pfirrmann分级呈正相关($P < 0.05$),髓核、前纤维环和后纤维环ADC值、D值与修正Pfirrmann分级均呈负相关(均 $P < 0.05$),前纤维环D*值与修正Pfirrmann分级呈

表1 不同修正Pfirrmann分级椎间盘退变高信号检出情况

修正Pfirrmann分级	个数	高信号检出[个(%)]	χ^2 值	P值
3~4级	176	55(31.25)	80.12	< 0.05
5~6级	297	187(62.96) ^a		
7~8级	81	70(86.42) ^{ab}		

注:a为与3~4级比较,b为与5~6级比较, $P < 0.05$

表2 退行性椎间盘和正常椎间盘IVIM-DWI定量参数比较

组别	个数	髓核			
		ADC值($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	D值($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	D*值($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	f值($\times 10^{-2}$)
退行性椎间盘	554	1.54±0.21	1.60(1.40, 1.82)	0.78(0.70, 0.88)	4.45(2.21, 6.10)
正常椎间盘	500	1.96±0.24	1.99(1.90, 2.10)	0.82(0.73, 0.93)	2.29(1.98, 3.43)
Z(t)值		(30.30)	4.58	0.98	3.17
P值		< 0.05	< 0.05	> 0.05	< 0.05
组别	个数	前纤维环			
		ADC值($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	D值($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	D*值($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	f值($\times 10^{-2}$)
退行性椎间盘	554	1.13±0.27	1.03(0.82, 1.22)	0.94(0.78, 1.12)	19.43(11.92, 25.54)
正常椎间盘	500	1.30±0.21	1.43(1.10, 1.80)	1.21(0.99, 1.81)	21.02(13.34, 28.10)
Z(t)值		(11.32)	2.89	3.00	1.14
P值		< 0.05	< 0.05	< 0.05	> 0.05
组别	个数	后纤维环			
		ADC值($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	D值($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	D*值($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	f值($\times 10^{-2}$)
退行性椎间盘	554	1.22±0.23	1.10(0.90, 1.32)	0.84(0.43, 1.02)	10.20(5.56, 15.12)
正常椎间盘	500	1.65±0.30	1.40(1.08, 1.84)	0.78(0.52, 1.21)	6.65(4.10, 8.65)
Z(t)值		(26.25)	2.99	0.77	3.88
P值		< 0.05	< 0.05	> 0.05	< 0.05

表 3 不同修正 Pfirrmann 分级退行性椎间盘 IVIM-DWI 定量参数比较

修正 Pfirrmann 分级	个数	髓核			
		ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	D 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	D*值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	f 值($\times 10^{-2}$)
3 ~ 4 级	176	1.65 $\pm$ 0.24	1.72(1.51, 1.92)	0.79(0.68, 0.83)	3.20(2.43, 4.54)
5 ~ 6 级	297	1.53 $\pm$ 0.21 ^a	1.48(1.35, 1.57) ^a	0.80(0.66, 0.88)	4.24(3.31, 5.92) ^a
7 ~ 8 级	81	1.34 $\pm$ 0.25 ^{ab}	1.32(1.20, 1.40) ^{ab}	0.75(0.64, 0.85)	5.03(3.88, 6.60) ^{ab}
H(F)值		(7.28)	8.21	0.58	10.44
P 值		< 0.05	< 0.05	> 0.05	< 0.05
修正 Pfirrmann 分级	个数	前纤维环			
		ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	D 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	D*值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	f 值($\times 10^{-2}$)
3 ~ 4 级	176	1.28 $\pm$ 0.22	1.28(1.04, 1.52)	1.10(0.93, 1.32)	20.03(12.54, 23.39)
5 ~ 6 级	297	1.10 $\pm$ 0.23 ^a	1.10(0.89, 1.23) ^a	0.98(0.82, 1.18) ^a	19.82(11.80, 26.50)
7 ~ 8 级	81	0.91 $\pm$ 0.20 ^{ab}	0.91(0.77, 1.10) ^{ab}	0.77(0.64, 0.85) ^{ab}	20.15(12.10, 25.45)
H(F)值		(5.86)	8.11	10.02	2.19
P 值		< 0.05	< 0.05	< 0.05	> 0.05
修正 Pfirrmann 分级	个数	后纤维环			
		ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	D 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	D*值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	f 值($\times 10^{-2}$)
3 ~ 4 级	176	1.42 $\pm$ 0.25	1.22(1.04, 1.50)	0.83(0.40, 1.12)	7.87(5.78, 10.05)
5 ~ 6 级	297	1.19 $\pm$ 0.27 ^a	1.09(0.95, 1.12) ^a	0.80(0.51, 1.10)	10.12(7.91, 13.32) ^a
7 ~ 8 级	81	0.90 $\pm$ 0.21 ^{ab}	0.88(0.80, 0.92) ^{ab}	0.79(0.60, 1.30)	14.48(10.22, 20.12) ^{ab}
H(F)值		(7.79)	5.56	0.89	7.11
P 值		< 0.05	< 0.05	> 0.05	< 0.05

注:a 为与 3 ~ 4 级比较,b 为与 5 ~ 6 级比较,P < 0.05

负相关 ($P < 0.05$), 髓核、后纤维环 f 值与修正 Pfirrmann 分级均呈正相关(均 $P < 0.05$), 见表 4。

3 讨论

椎间盘是椎体间的骨连接结构, 由上下椎体的软骨板、纤维环、髓核组成。在腰椎间盘突出退行性变的诊断和评估中,MRI T₂ 加权像上腰椎间盘突出高信号区逐渐受到临床重视, 该区域的信号较髓核高, 且和髓核是独立的。有研究发现, 矢状位 MRI T₂ 加权像上腰椎间盘突出高信号区的存在常反映纤维环的损伤^[8]。有研究也将外侧、后外侧和后侧纤维环上的高信号区纳入观察^[9]。IVIM-DWI 在脊柱的应用主要为椎体病变观察, 对于椎间盘的定量研究较少。

有研究报道,L_{4/5} 腰椎间盘的退变程度与高信号区存在正相关^[10]。高信号区的出现在一定程度上反映腰椎间盘突出性改变的发生及发展^[11]。椎间盘发生退变会释放炎症介质并通过破裂的椎间盘间隙漏出, 上述现象会对纤维环外部神经末梢产生刺激, 使得该区域在 MRI 图像上出现改变, 呈现高信号。

腰椎的纤维环和髓核含水量减少, 髓核张力下降, 透明质酸减少, 纤维变性、胶原纤维沉积增加, 导致髓核失去弹性, 发生椎间盘退变。本研究结果显

表 4 相关性分析结果

指标	修正 Pfirrmann 分级	
	r 值	P 值
高信号区	0.31	< 0.05
髓核		
ADC 值	- 0.38	< 0.05
D 值	- 0.34	< 0.05
D*值	- 0.32	< 0.05
f 值	0.38	< 0.05
前纤维环		
ADC 值	- 0.42	< 0.05
D 值	- 0.39	< 0.05
D*值	- 0.18	> 0.05
f 值	0.11	> 0.05
后纤维环		
ADC 值	- 0.45	< 0.05
D 值	- 0.41	< 0.05
D*值	- 0.09	> 0.05
f 值	0.40	< 0.05

示退行性椎间盘髓核 ADC 值和 D 值均较正常椎间盘低, 而 f 值则高于后者; 退行性椎间盘前纤维环 ADC 值、D 值和 D*值均低于正常椎间盘; 退行性椎间盘后纤维环 ADC 值、D 值均低于正常椎间盘, f 值高于后者。椎间盘由软骨终板、纤维环、髓核三部分构成, 以往常依据形态学特征推测椎间盘退变, IVIM-DWI 结合多个 b 值扫描, 可以得出 ADC 值、D 值、f 值、D*值, 进而显示出髓核和纤维环的形态结构

变化^[12-13]。ADC、D 值、D* 值与蛋白多糖和水含量密切相关。椎间盘相比其他组织乏血供,单独使用 D* 值稳定性差,联合使用的效果更好。椎间盘退变过程中,水分子和大分子蛋白多糖含量减少,ADC、D 值、D* 值降低水平与退变程度呈正相关。f 值代表组织微循环产生的弥散效应占总体弥散效应的百分比,其值可反映灌注效应的改变,髓核及后纤维环 f 值随椎间盘退变程度加重而增加。

目前 Pfirrmann 分级法是常用的基于 T₂WI 的评估腰椎间盘退行性变严重程度的分级方法,但是也有学者认为该方法包含一定的主观因素^[14]。本研究使用修正 Pfirrmann 分级,结果显示提示腰椎间盘退行性程度越严重,越易出现高信号区域。高信号区域实际上是存在于纤维环损伤裂隙中含水量较高的炎性肉芽组织,其本质是局部炎症反应在 MRI 上的体现,因此其与病变程度相关。本研究结果说明运用 IVIM-DWI 技术检测髓核来预测前后纤维环的变化趋势与腰椎间盘退变趋势是一致的。椎间盘退变发生时,髓核和纤维环内的水分及蛋白聚糖会大量丢失,结构也会发生紊乱,分级越高,上述现象越明显。腰椎间盘退行性病变发展过程中,组织的结构及组成成分会发生变化,影响水分子扩散及组织灌注能力,导致 ADC 值、D 值、D* 值逐渐降低,而 f 值逐渐升高。通过测量上述参数的差异,可以在检测到形态变化之前对病变进行诊断。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] OGON I, IBA K, TAKASHIMA H, et al. Association between lumbar segmental mobility and intervertebral disc degeneration quantified by magnetic resonance imaging T2 mapping[J]. N Am Spine Soc J, 2021, 5(8):100044.
- [2] JONES J, HARRISON C, MERCURI J, et al. Open-source image analysis software yields reproducible MRI measures of lumbar intervertebral disc degeneration in sheep models[J]. Vet Radiol Ultrasound, 2021, 62(5):568-572.
- [3] SHINDE J V, JOSHI Y V, MANTHALKAR R R, et al. Machine learning-based approach for segmentation of intervertebral disc degeneration from lumbar section of spine using MRI images[J]. Bio-Algorithms and Med-Systems, 2021, 12(8):e242.
- [4] SHARMA A, LAGERSTRAND K, BRISBY H, et al. Interpretation of morphological details of nondegenerated lumbar intervertebral discs on magnetic resonance imaging: Insights from a comparison between computed tomography discograms and magnetic resonance imaging[J]. J Comput Assist Tomogr, 2022, 46(3):487-491.
- [5] 邓兴,姚红艳,陈晓飞,等.磁共振 IVIM-DWI 与 T2 mapping 技术定量评价早期腰椎间盘退行性变的对比研究[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(8):1556-1562.
- [6] 马春郁,姚红艳,陈晓飞,等.MR 体素内不相干运动弥散加权成像及 T2 mapping 评估腰椎间盘退行性变[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(7):1056-1061.
- [7] 史洪洋,赵天翌,孙晨曦,等.腰椎椎间隙高度与上位椎体高度的比值与椎间盘退行性变 Pfirrmann 分级的相关性[J]. 脊柱外科杂志, 2023, 21(1):40-43, 67.
- [8] 王仓义,李月河,钱冬乐,等.MRI T2-mapping 检查在颈椎间盘退行性变程度评估中的应用价值研究[J]. 临床误诊误治, 2022, 35(5): 65-68.
- [9] 鲁雪红,马娟,郭辉,等.磁共振弥散张量成像在腰椎间盘突出症神经根受压损伤程度中的诊断效果研究[J]. 中国医学装备, 2022, 19(11):93-96.
- [10] 刘晨,陈基明,李勇,等.MR 体素内不相干运动弥散加权成像评估腰椎间盘退变程度[J]. 中国医学影像技术, 2023, 39(2):259-263.
- [11] 靳苏日娜,张维升.磁共振功能和定量成像在腰椎间盘早期退变中应用的研究进展[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31(11):1043-1046.
- [12] 邓兴,姚红艳,陈晓飞,等.体素内不相干运动扩散加权成像定量评价腰椎间盘退行性变的初步研究[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(7): 5-7.
- [13] 王旻,邹丹丹,耿海涛,等.MRI 腰部成像参数与腰椎间盘突出症患者椎间孔镜术后疗效的关系[J]. 山东医药, 2021, 61(17):58-61.
- [14] 张炳,王鹏,王国华,等.T2 mapping 成像在评价颈痛患者颈椎间盘退行性变中的应用价值[J]. 医学影像学杂志, 2021, 31(8):1408-1412.

收稿日期:2023-11-18

(本文编辑:陈志刚)