

❖ 骨骼肌肉影像学

MR intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging and T2 mapping for evaluating lumbar intervertebral disc degeneration

MA Chunyu¹, YAO Hongyan¹, CHEN Xiaofei², QI Yanmei²,
DONG Furwen², JIA Runhui², ZHOU Sheng^{3*}

(1. The First Clinical Medical College of Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China;

2. Department of Radiology, Gansu Provincial Hospital of TCM, Lanzhou 730050, China;

3. Department of Radiology, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730013, China)

[Abstract] **Objective** To observe the value of MR intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging (IVIM-DWI) and T2 mapping for evaluating lumbar intervertebral disc degeneration (IVDD). **Methods** Nineteen patients with low back pain and 31 healthy volunteers were prospectively enrolled. Sagittal T2WI, T2 mapping and IVIM-DWI of L1—S1 vertebral bodies were collected, and IVDD was graded according to Pfirrmann standard. The differences of T2 values of intervertebral disc and IVIM parameters of corresponding upper and lower vertebral bodies of different Pfirrmann grades and different layers were observed, and the correlation analysis was performed to explore the diagnostic values. **Results** The differences of T2 values of anterior annulus fibrosus (AAF), nucleus pulposus (NP) and posterior annulus fibrosus (PAF) of different Pfirrmann grades and the apparent diffusion coefficient (ADC) of the corresponding lower vertebral body were all significant difference (all $P < 0.05$), as well as T2 values of NP and PAF of different layers of intervertebral discs (both $P < 0.05$). T2 value of PAF of intervertebral disc was positively correlated with ADC of upper and lower vertebral bodies ($r = 0.128$, $P = 0.043$; $r = 0.148$, $P = 0.019$), while Pfirrmann grade of intervertebral disc was negatively correlated with T2 values of AAF, NP and PAF ($r = -0.187$, $P = 0.003$; $r = -0.579$, $P < 0.001$; $r = -0.401$, $P < 0.001$) but positively correlated with slow ADC (ADC_{slow}) of upper and lower vertebral bodies ($r = 0.196$, $P = 0.002$; $r = 0.126$, $P = 0.046$). The position of intervertebral disc ($L_{1-2} \rightarrow L_5-S_1$) was negatively correlated with T2 values of NP and PAF ($r = -0.183$, $P = 0.004$; $r = -0.356$, $P < 0.001$) but positively correlated with ADC_{slow} of upper and lower vertebral bodies ($r = 0.196$, $P = 0.003$; $r = 0.126$, $P = 0.026$). **Conclusion** IVIM-DWI and T2 mapping had certain potential value for evaluating IVDD, and T2 value of intervertebral disc and ADC of corresponding lower vertebral body were more valuable.

[Keywords] lumbar vertebrae; intervertebral disk degeneration; magnetic resonance imaging; intravoxel incoherent motion; prospective studies

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2022.07.021

[基金项目] 甘肃省卫生健康行业科研计划(GSWSKY2020-73)。

[第一作者] 马春郁(1992—),女,甘肃天水人,在读硕士。研究方向:骨骼肌肉影像学。E-mail: 1446091210@qq.com。

[通信作者] 周晟,甘肃省人民医院放射科,730013。E-mail: lzsz@sina.com

[收稿日期] 2021-11-18 [修回日期] 2022-03-31

MR 体素内不相干运动弥散加权成像及 T2 mapping 评估腰椎间盘突出性变

马春郁¹, 姚红艳¹, 陈晓飞², 祁艳梅², 董馥闻², 贾润慧², 周 晟^{3*}

(1. 甘肃中医药大学第一临床医学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省中医院放射影像科,

甘肃 兰州 730050; 3. 甘肃省人民医院放射科, 甘肃 兰州 730013)

[摘要] **目的** 观察 MR 体素内不相干运动弥散加权成像 (IVIM-DWI) 及 T2 mapping 技术评估腰椎间盘突出性变 (IVDD) 的价值。**方法** 前瞻性纳入 19 例下腰部疼痛患者和 31 名健康志愿者, 采集 L1~S1 椎体矢状位 T2WI、T2 mapping 及 IVIM-DWI; 根据 Pfirrmann 标准进行 IVDD 分级, 观察不同分级及不同层面椎间盘 T2 值及其对应上、下位椎体 IVIM 参数的差异, 并进行相关性分析, 评价其诊断价值。**结果** 不同 Pfirrmann 分级椎间盘之间, 前纤维环 (AAF)、髓核 (NP) 和后纤维环 (PAF) T2 值差异及对应下位椎体表观弥散系数 (ADC) 差异均有统计学意义 (P 均 < 0.05), 不同层面椎间盘 NP、PAF 的 T2 值差异均有统计学意义 (P 均 < 0.05)。椎间盘 PAF 的 T2 值与其上、下位椎体 ADC 呈正相关 ($r = 0.128, P = 0.043, r = 0.148, P = 0.019$); 椎间盘 Pfirrmann 分级与 AAF、NP 及 PAF 的 T2 值均呈负相关 ($r = -0.187, P = 0.003, r = -0.579, P < 0.001, r = -0.401, P < 0.001$), 与其上、下位椎体慢 ADC (ADC_{slow}) 均呈正相关 ($r = 0.196, P = 0.002, r = 0.126, P = 0.046$); 椎间盘层面位置 ($L_{1-2} \rightarrow L_5-S_1$) 与 NP 及 PAF 的 T2 值均呈负相关 ($r = -0.183, P = 0.004, r = -0.356, P < 0.001$), 而与其上、下位椎体 ADC_{slow} 呈正相关 ($r = 0.196, P = 0.003, r = 0.126, P = 0.026$)。**结论** IVIM-DWI 及 T2 mapping 技术用于评估 IVDD 具有一定潜在价值, 以椎间盘 T2 值及其对应下位椎体 ADC 的价值较高。

[关键词] 腰椎; 椎间盘退变; 磁共振成像; 体素内不相干运动; 前瞻性研究

[中图分类号] R681.5; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2022)07-1056-06

腰椎间盘突出性变 (lumbar intervertebral disc degeneration, IVDD) 占腰痛病因的 42%^[1], 严重影响患者生活质量^[2], 早期诊断 IVDD 具有重要临床意义。既往临床多采用常规 MRI 半定量 Pfirrmann 分级^[3]评价 IVDD。随着定量 MRI 早期诊断 IVDD 成为研究热点, 有学者^[4-5]采用 T2* 及 Dixon 等观察腰椎椎体骨髓脂肪含量及微循环变化, 进而早期评估 IVDD。体素内不相干运动弥散加权成像 (intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging, IVIM-DWI) 无须对比剂即可获得椎体骨髓表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC)、慢 ADC (slow ADC, ADC_{slow})、快 ADC (fast ADC, ADC_{fast}) 及灌注分数 (perfusion fraction, f)。T2 mapping 技术可获得前纤维环 (anterior annulus fibrosus, AAF)、髓核 (nucleus pulposus, NP) 及后纤维环 (posterior annulus fibrosus, PAF) T2 值。本研究采用 IVIM-DWI 及 T2 mapping 技术评估腰椎椎体骨髓弥散及微循环改变, 观察其用于诊断 IVDD 的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 前瞻性纳入 2020 年 6 月—2021 年 3 月 19 例下腰部疼痛患者和 31 名健康志愿者共 50 人,

男 26 人、女 24 人, 年龄 20~61 岁、平均 (31.5 ± 12.0) 岁, 身高 1.56~1.92 m、平均 (1.67 ± 0.09) m, 体质指数 $16.82 \sim 29.70 \text{ kg/m}^2$ 、平均 $(21.91 \pm 3.05) \text{ kg/m}^2$; 共 250 个椎间盘 ($L_{1-2} \sim L_5-S_1$)、300 个椎体 ($L1 \sim S1$)。排除标准: ①脊柱畸形、肿瘤、外伤; ②曾接受脊柱相关手术; ③内分泌或代谢性疾病; ④幽闭恐惧症或 MR 检查禁忌证; ⑤图像质量不佳。本研究经伦理委员会批准 (2018-034-04)。受试者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 GE 3.0T Signa HDxt MR 仪, 8 通道脊柱联合相控阵线圈。嘱受试者仰卧、头先进, 屈曲双膝, 佩戴 MRI 静音耳塞, 采集 L1~S1 椎体矢状位 T2WI、T2 mapping、IVIM-DWI (b 值 = 0、10、20、40、60、80、100、200、400、600 s/mm^2), 具体参数见表 1。

1.3 图像分析 由 2 名具有 5 年肌肉骨骼影像学诊断经验的医师分别观察图像并进行分析, 意见产生分歧时, 经协商达成共识。

1.3.1 IVDD 分级 针对矢状位 T2WI, 参考 Pfirrmann 分级标准对 IVDD 程度进行分级。

1.3.2 测量椎间盘 T2 值 于 ADW4.6 影像工作站, 采用 Functool/T2 mapping 软件, 选取 T2 mapping 序列第二回波 (TE 18.9 ms) 正中矢状位图

像,将各椎间盘自前至后平均分成 5 等分,使前 1/5 对应 AAF、中 1/5 对应 NP、后 1/5 对应 PAF、其余 2/5 为 NP 和纤维环交界区;分别于 AAF、NP 及 PAF 区域内避开椎体终板及前后纵韧带手动勾画大小约 20~30 mm² 的椭圆形 ROI(图 1A、1B)^[6],测量其 T2 值。每名医师分别测量 2 次(2 次间隔 14 天),以总平均值为最终结果。

1.3.3 测量椎体 IVIM 参数 将 IVIM 原始数据传至 ADW4.6 影像工作站,采用 Functool/MADC 软件,选取 b 值=10 s/mm² 的正中矢状位 IVIM-DWI,避开椎基静脉及骨皮质分别于 L1~S1 椎体手动勾画大小约 400~600 mm² 的矩形 ROI(图 1C~1E),计算其 ADC、ADC_{slow}、ADC_{fast} 及 f;每名医师分别测量 2 次(间隔 14 天),计算平均值;以 2 名医师的平均值为最终结果。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 19.0 统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 表示符合正态分布的计量资料,组间行 LSD 检验;以中位数(上下四分位数)表示不符合者,采用

Kruskal-Wallis H 检验进行组间比较。采用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)分析观察者内及观察者间测量椎体 IVIM 参数的一致性: ICC<0.4 为一致性较差,0.4≤ICC≤0.75 为一致性一般,ICC>0.75 为一致性良好,并行 Spearman 或 Pearson 相关性分析。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

不同 Pfirrmann 分级椎间盘之间,AAF、NP 及 PAF 的 T2 值差异均有统计学意义($F=3.182$ 、 $P=0.014$, $F=21.226$ 、 $P<0.001$, $F=9.543$ 、 $P<0.001$,图 2A),不同层面椎间盘 NP、PAF 的 T2 值差异均有统计学意义($F=2.783$ 、 $P=0.027$, $F=8.066$ 、 $P<0.001$,图 2B)。不同 Pfirrmann 分级椎间盘对应下位椎体 ADC 差异有统计学意义($P<0.05$),而不同 Pfirrmann 分级或不同层面椎间盘对应上、下位椎体其他 IVIM 参数间差异均无统计学意义(P 均>0.05);见表 2、3。

表 1 L1~S1 椎体矢状位 T2WI、T2 mapping 及 IVIM-DWI 扫描参数

图像	TR(ms)	TE(ms)	FOV(cm)	矩阵	层厚(mm)	层间距(mm)	NEX	扫描时间(s)
T2WI	2 900	125.7	28×28	416×320	4.0	1.0	1	106
T2 mapping	1 000	18.9	28×28	320×265	4.5	1.0	1	548
IVIM-DWI	2 425	88.5	28×14	256×128	4.5	1.0	6	223

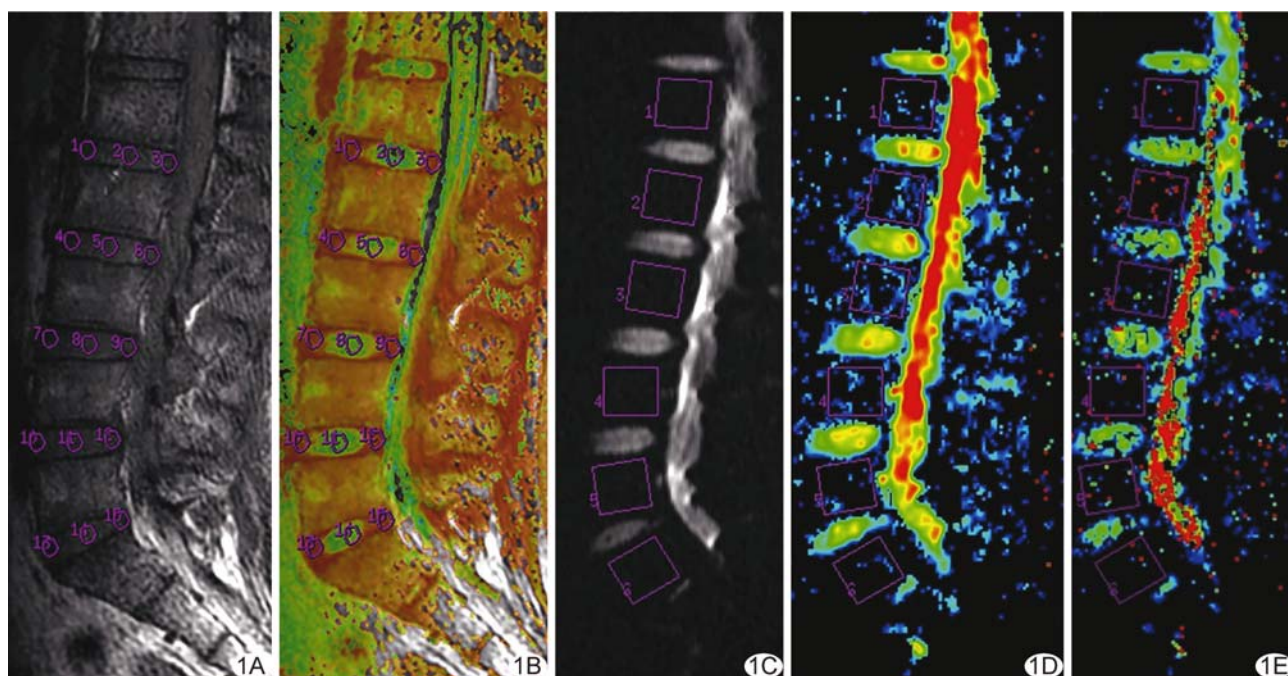


图 1 健康志愿者,男,25 岁 A、B. 腰椎正中矢状位 T2 mapping(TE=18.9 ms)图(A)及伪彩图(B),圆圈示椎间盘 ROI; C~E. 腰椎正中矢状位 IVIM(b 值=10 s/mm²)图(C)、ADC 伪彩图(D)及 ADC_{slow}伪彩图(E),方框示椎体 ROI

椎间盘 PAF 的 T2 值与其上、下位椎体 ADC 呈正相关($r=0.128, P=0.043, r=0.148, P=0.019$, 图 3), 而 AAF 及 NP 的 T2 值与其上、下位椎体 ADC 均无明显相关(P 均 >0.05); 且椎间盘 AAF、NP 及 PAF 的 T2 值均与其上、下位椎体 ADC_{slow} 、 ADC_{fast} 及 f 无明显相关(P 均 >0.05)。椎间盘 Pfirrmann 分级与 AAF、NP 及 PAF 的 T2 值均呈负相关($r=-0.187, P=0.003, r=-0.579, P<0.001, r=-0.401, P<0.001$, 图 4), 与其上、下位椎体 ADC_{slow} 均呈正相关($r=0.196, P=0.002, r=0.126, P=0.046$), 而与其上、下位椎体 ADC、 ADC_{fast} 及 f 均无明显相关(P 均 >0.05)。椎间盘层面位置($L_{1-2} \rightarrow L_5-S_1$)与 NP 及 PAF 的 T2 值均呈负相关($r=-0.183, P=0.004, r=-0.356, P<0.001$), 与其上、下位椎体 ADC_{slow} 呈正相关($r=0.196, P=0.003, r=0.126, P=0.026$), 而与其上、下位椎体 ADC、 ADC_{fast} 及 f 均无明显相关(P 均 >0.05)。

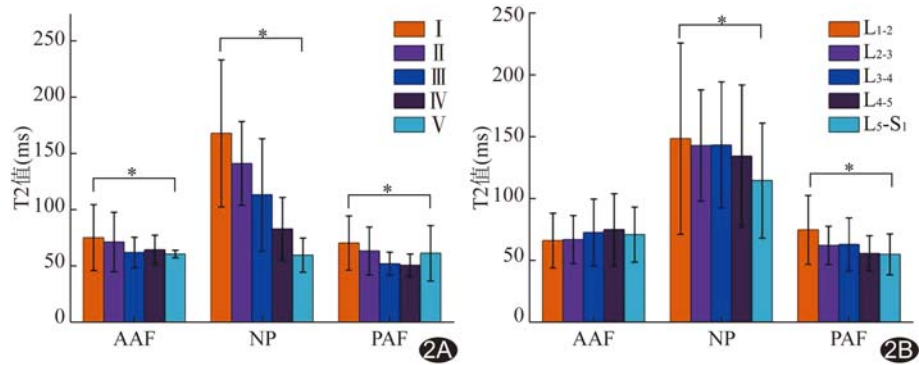


图 2 不同 Pfirrmann 分级及不同层面椎间盘 T2 值柱状图 A. 不同 Pfirrmann 分级; B. 不同层面 (* : $P<0.05$)

表 2 不同 Pfirrmann 分级椎间盘对应上、下位椎体 IVIM 参数比较

椎间盘 Pfirrmann 分级	ADC($\times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{s}$)		ADC _{slow} ($\times 10^{-2} \text{ mm}^2/\text{s}$)	
	上位椎体	下位椎体	上位椎体	下位椎体
I 级($n=79$)	2.68 $\pm$ 0.45	2.59(2.36, 2.93)	0.11(0.02, 0.30)	0.12(0.07, 0.16)
II 级($n=84$)	2.69 $\pm$ 0.42	2.66 $\pm$ 0.39	0.13(0.07, 0.17)	0.12(0.06, 0.18)
III 级($n=55$)	2.62 $\pm$ 0.40	2.49(2.24, 2.88)	0.16 $\pm$ 0.07	0.14(0.10, 0.21)
IV 级($n=29$)	2.55 $\pm$ 0.43	2.57(2.22, 2.84)	0.14(0.10, 0.23)	0.15 $\pm$ 0.11
V 级($n=3$)	2.38(2.16, 3.39)	3.17(3.05, 3.20)	0.12(0.01, 0.27)	0.12(0.05, 0.20)
F/H 值	0.66	2.81	0.10	0.45
P 值	0.62	0.03	0.98	0.78

椎间盘 Pfirrmann 分级	ADC _{fast} ($\times 10^{-1} \text{ mm}^2/\text{s}$)		f($\times 10^{-1}$)	
	上位椎体	下位椎体	上位椎体	下位椎体
I 级($n=79$)	1.18(1.00, 1.30)	1.18(1.03, 1.29)	3.37(3.08, 4.12)	3.40(3.02, 3.88)
II 级($n=84$)	1.17(1.01, 1.28)	1.10(0.95, 1.30)	3.42(3.03, 3.87)	3.69 $\pm$ 0.94
III 级($n=55$)	1.17(1.00, 1.35)	1.28(1.14, 1.65)	3.74 $\pm$ 0.98	3.70(3.16, 4.26)
IV 级($n=29$)	1.16(1.03, 1.29)	1.18(1.03, 1.34)	3.57 $\pm$ 0.67	3.24 $\pm$ 0.93
V 级($n=3$)	1.10(1.05, 1.21)	1.00(0.62, 1.20)	3.88(3.67, 3.89)	4.47(3.97, 4.81)
F/H 值	2.25	2.12	0.54	1.85
P 值	0.06	0.08	0.71	0.12

表 3 不同层面椎间盘对应上、下位椎体 IVIM 参数比较($n=50$)

椎间盘 层面	ADC($\times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{s}$)		ADC _{slow} ($\times 10^{-2} \text{ mm}^2/\text{s}$)		ADC _{fast} ($\times 10^{-1} \text{ mm}^2/\text{s}$)		f($\times 10^{-1}$)	
	上位椎体	下位椎体	上位椎体	下位椎体	上位椎体	下位椎体	上位椎体	下位椎体
L ₁₋₂	2.66 $\pm$ 0.44	2.70 $\pm$ 0.45	0.14 $\pm$ 0.07	0.15 (0.10, 0.19)	1.19 (0.94, 1.26)	1.18 (1.05, 1.34)	3.56 $\pm$ 0.82	3.66 $\pm$ 0.78
L ₂₋₃	2.70 $\pm$ 0.45	2.62 $\pm$ 0.38	0.15 (0.10, 0.19)	0.11 (0.07, 0.17)	1.18 (1.05, 1.34)	1.16 $\pm$ 0.24	3.66 $\pm$ 0.78	3.45 $\pm$ 0.69
L ₃₋₄	2.63 $\pm$ 0.38	2.64 $\pm$ 0.41	0.10 (0.07, 0.17)	0.14 $\pm$ 0.07	1.16 $\pm$ 0.24	1.17 (1.00, 1.26)	3.45 $\pm$ 0.69	3.58 (3.17, 4.17)
L ₄₋₅	2.64 $\pm$ 0.41	2.63 $\pm$ 0.44	0.14 $\pm$ 0.07	0.12 (0.08, 0.17)	1.17 (1.00, 1.26)	1.18 (1.03, 1.39)	3.58 (3.17, 4.17)	3.49 $\pm$ 0.86
L _{5-S} ₁	2.63 $\pm$ 0.44	2.40 (2.19, 2.85)	0.12 (0.08, 0.18)	0.11 (0.05, 0.19)	1.18 (1.03, 1.39)	1.08 (0.69, 1.29)	3.49 $\pm$ 0.86	3.60 $\pm$ 1.46
F/H 值	0.27	1.41	0.33	0.19	0.20	0.59	1.21	0.86
P 值	0.90	0.22	0.86	0.94	0.94	0.68	0.31	0.49

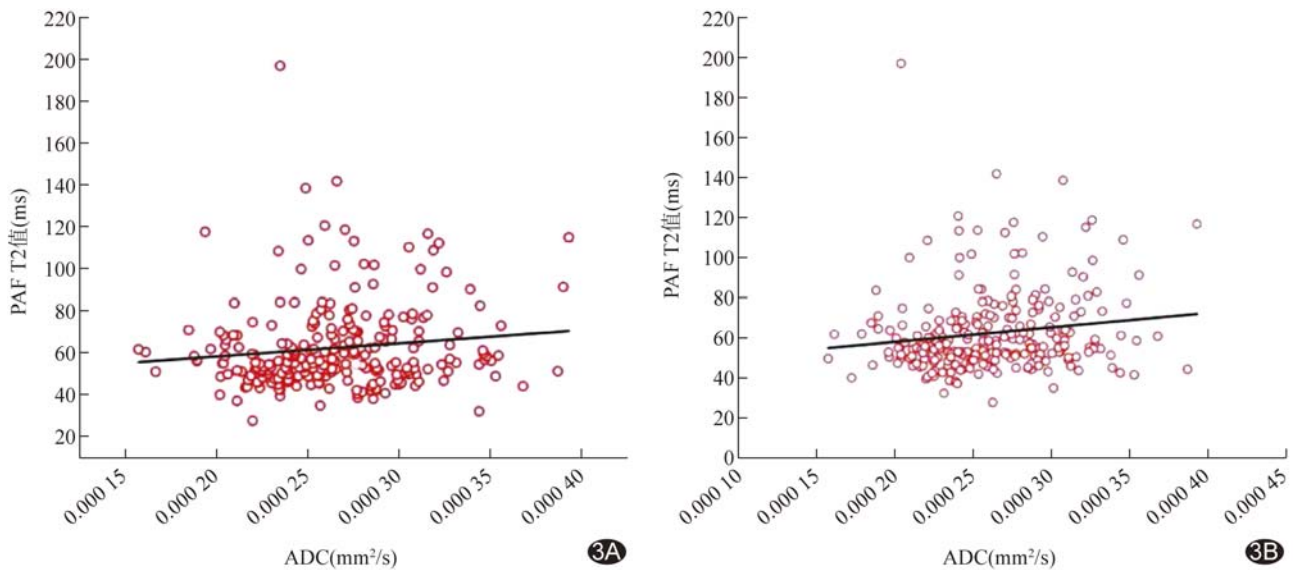


图3 椎间盘 PAF 的 T2 值与其上、下位椎体 ADC 的相关性散点图 A. 上位椎体; B. 下位椎体

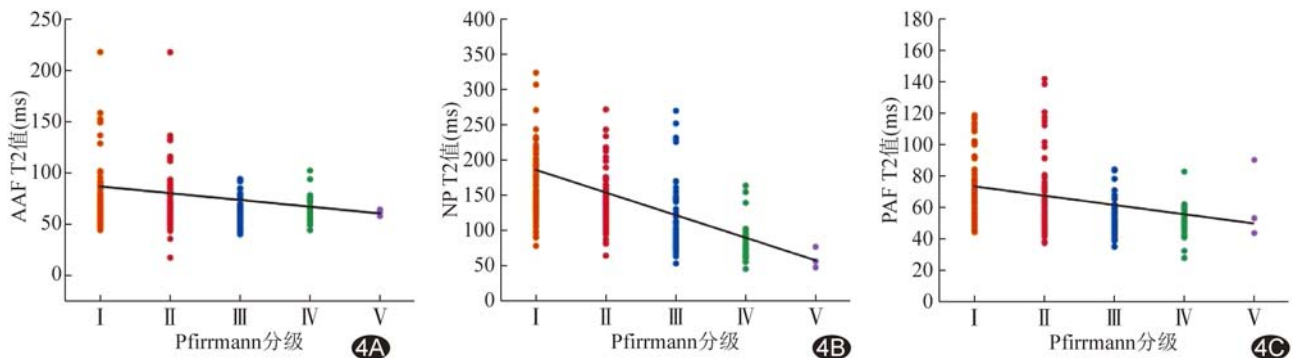


图4 椎间盘 Pfirrmann 分级与 AAF、NP 及 PAF T2 值的相关性分析 A. AAF; B. NP; C. PAF

观察者间测量 ADC 和 f 结果的一致性良好 ($ICC=0.978, 0.925$), 测量 ADC_{slow} 结果的一致性一般 ($ICC=0.684$), 而测量 ADC_{fast} 的一致性较差 ($ICC=0.331$)。观察者内测量 ADC、 ADC_{slow} 、 ADC_{fast} 及 f 的一致性均良好 ($ICC=0.991, 0.893, 0.840, 0.982$)。

3 讨论

椎间盘 NP 为无血管组织, 由其上、下终板通过渗透作用及外层纤维环毛细血管提供营养^[7]; 前者为主要途径, 且与椎体微循环变化有关。本研究发现椎间盘 Pfirrmann 分级与 AAF、NP 及 PAF 的 T2 值均呈负相关, 椎间盘层面位置与 NP 及 PAF 的 T2 值均呈负相关; 可能由于脊柱应力和腰椎生理性前凸易致 NP 和 PAF 压力负荷增加而发生退变, 使 PAF T2 值下降较 AAF 更为明显。

IVIM-DWI 可基于双指数模型计算组织的 ADC 及 ADC_{slow} 反映组织中的水分子扩散情况, 通过计算

ADC_{fast} 及 f 值反映组织灌注信息, 目前多用于定量研究前列腺、乳腺、肝脏及腋下脂肪垫等相关疾病^[8-11], 而少见用于骨骼^[12]。影响 IVIM-DWI 参数的因素较多, 包括磁场稳定性、受试者体位及勾画 ROI 方式^[13]。本研究观察者间测量 ADC 和 f 结果的一致性良好, 测量 ADC_{slow} 的一致性一般; 观察者内测量 ADC、 ADC_{slow} 、 ADC_{fast} 及 f 的一致性均良好。

本研究发现, 不同 Pfirrmann 分级椎间盘对应下位椎体 ADC 差异具有统计学意义, IVDD 与下位椎体内水分子扩散相关, 可能与下位椎体承重较大有关; 椎间盘 PAF 的 T2 值与其上、下位椎体 ADC 呈正相关; 可能与脊柱生理性弯曲致 PAF 承重增大等因素, 以及本组受试者较年轻、椎间盘多处于退行性变早期有关。

本研究的主要局限性: ①样本量小, 特别是下腰部疼痛患者较少, 且纳入受试者多较年轻, 可能导致结果偏倚; ②仅根据椎间盘 Pfirrmann 分级及层面标准分析, 未对比观察患者与健康人; ③未获得 IVDD 病理

结果。

综上所述,IVIM-DWI 及 T2 mapping 技术对评估 IVDD 具有一定潜在价值,尤其椎间盘 T2 值及其对应下位椎体 ADC 的价值较高。

[参考文献]

- [1] DePALMA M J, KETCHUM J M, SAULLO T. What is the source of chronic low back pain and does age play a role? [J]. Pain Med, 2011, 12(2):224-233.
- [2] RUIZ-FERNÁNDEZ C, FRANCISCO V, PINO J, et al. Molecular relationships among obesity, inflammation and intervertebral disc degeneration: Are adipokines the common link? [J]. Int J Mol Sci, 2019, 20(8):2030.
- [3] ZHANG X, YANG L, GAO F, et al. Comparison of T1 ρ and T2* relaxation mapping in patients with different grades of disc degeneration at 3T MR [J]. Med Sci Monit, 2015, 21:1934-1941.
- [4] WANG J, YI P, HUANG Y, et al. Quantitative evaluation of bone marrow fat content and unsaturated fatty index in young male soccer players using proton magnetic resonance spectroscopy (¹H-MRS): A preliminary study [J]. Quant Imaging Med Surg, 2021, 11(10):4275-4286.
- [5] DONNERS R, HIRSCHMANN A, GUTZEIT A, et al. T2-weighted Dixon MRI of the spine: A feasibility study of quantitative vertebral bone marrow analysis [J]. Diagn Interv Imaging, 2021, 102(7-8):431-438.
- [6] DRISCOLL S J, ZHONG W, TORRIANI M, et al. In-vivo T2 relaxation times of asymptomatic cervical intervertebral discs [J]. Skeletal Radiol, 2016, 45(3):393-400.
- [7] 王娇, 查云飞, 邢栋, 等. 3D 超短回波序列联合 T2* mapping 评价腰椎间盘软骨终板缺损与椎间盘退变的关系 [J]. 中国医学影像技术, 2015, 31(10):1470-1474.
- [8] CHANG C B, LIN Y C, WONG Y C, et al. IVIM parameters on MRI could predict ISUP risk groups of prostate cancers on radical prostatectomy [J]. Front Oncol, 2021, 11:659014.
- [9] SONG Q, GUO Y, YAO X, et al. Comparative study of evaluating the microcirculatory function status of primary small HCC between the CE (DCE-MRI) and Non-CE (IVIM-DWI) MR Perfusion Imaging [J]. Abdom Radiol (NY), 2021, 46(6):2575-2583.
- [10] CHAN S W, HU W H, OUYANG Y C, et al. Quantitative measurement of breast tumors using intravoxel incoherent motion (IVIM) MR images [J]. J Pers Med, 2021, 11(7):656.
- [11] 谭辉, 王斌, 康武林, 等. 体素内不相干运动弥散加权成像定量评价轻中度症状性膝关节炎患者髌下脂肪垫 [J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(12):1865-1869.
- [12] RASIUK A S, WALSH S R, CHAN L, et al. The role of type I interferon signaling in regulating cytokine production and cell survival in bone marrow-derived macrophages [J]. Viral Immunol, 2021, 34(7):470-482.
- [13] MEYER H J, HÖHN A K, WOIDACKI K, et al. Associations between IVIM histogram parameters and histopathology in rectal cancer [J]. Magn Reson Imaging, 2021, 77:21-27.