

◁肌肉骨骼影像学▷

DTI 联合椎体脂肪及椎旁肌脂肪半定量评分在
腰椎间盘退变中的应用研究宋绍文¹, 李晓静², 王 凤¹, 郭会利¹, 刘玉珂¹, 张斌青¹

(1. 河南省洛阳正骨医院(河南省骨科医院)影像中心, 河南 洛阳 471002;

2. 吉林大学中日联谊医院放射科, 吉林 长春 130033)

[摘要] 目的: 分析弥散张量成像(DTI)中的各向异性分数(FA 值)和表观弥散系数(ADC 值)在腰椎间盘退变中的应用, 评价其对退变程度的量化评估价值。并探讨腰椎间盘退变与相邻椎体、椎旁肌脂肪浸润的关联, 以揭示其是否作为一种肌骨协同的整体性病变。**方法:** 纳入我院 2022 年 9 月—2023 年 10 月符合研究标准的 60 例患者作为研究对象, 并行腰椎 MRI 和 DTI 检查。收集患者的一般临床资料(年龄、性别、解剖节段), 并由 2 位医师分别评估患者影像学资料, 用组内相关系数(ICC)评估测量结果一致性。比较不同 PM 分级里 FA 值和 ADC 值的差异、椎体和椎旁肌脂肪浸润评分的差异, 并分析 PM 分级与年龄、解剖节段、DTI 参数、椎体和椎旁肌脂肪浸润评分的相关性。**结果:** 两医师测量结果除右侧腰大肌外, 其余 ICC 均>0.75, 测量一致性良好。不同 PM 分级中, 双侧腰大肌脂肪浸润评分差异无统计学意义($P>0.05$), FA 值和 ADC 值、上下椎体脂肪浸润评分、双侧多裂肌和双侧竖脊肌脂肪浸润评分差异具有统计学意义($P<0.05$)。FA 值与 PM 分级呈强相关($r_{FA}=0.748$), ADC 值、解剖节段、年龄和上椎体脂肪浸润与 PM 分级呈中等相关($r_{ADC}=-0.539$, $r_{解剖节段}=0.571$, $r_{年龄}=0.471$, $r_{上椎体}=0.371$), 下椎体脂肪浸润、双侧多裂肌和双侧竖脊肌脂肪浸润与 PM 分级均呈弱相关($r_{下椎体}=0.250$, $r_{右多裂肌}=0.185$, $r_{左多裂肌}=0.198$, $r_{右竖脊肌}=0.102$, $r_{左竖脊肌}=0.126$), 双侧腰大肌与 PM 分级无相关。**结论:** FA 值和 ADC 值可用于量化评估腰椎间盘退变的程度, 且腰椎间盘退变是一种肌骨协同整体性的病变。

[关键词] 椎间盘退行性变; 磁共振成像**[中图分类号]** R681.53; R445.2**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1008-1062(2025)02-0131-06

DOI:10.12117/jccmi.2025.02.013

DTI combined with semi-quantitative scoring of vertebral body fat and paravertebral muscle fat for
evaluation of lumbar intervertebral disc degenerationSONG Shao-wen¹, LI Xiao-jing², WANG Feng¹, GUO Hui-li¹, LIU Yu-ke¹, ZHANG Bin-qing¹

(1. Medical Imaging Center, Luoyang Orthopedic-Traumatological Hospital of Henan Province

(Henan Provincial Orthopedic Hospital), Luoyang Henan 471002, China;

2. Department of Radiology, China-Japan Union Hospital of Jilin University, Changchun 130033, China)

Abstract: Objective: To analyze the application of fractional anisotropy (FA) and apparent diffusion coefficient (ADC) derived from diffusion tensor imaging(DTI) in assessing lumbar intervertebral disc degeneration, evaluating their value in quantifying the degree of degeneration. Additionally, to investigate the association between disc degeneration and adjacent vertebral body and paraspinal muscle fat infiltration, elucidating whether disc degeneration represents a synergistic musculoskeletal disorder. **Methods:** A total of 60 patients meeting inclusion criteria between September 2022 and October 2023 were enrolled, undergoing both lumbar MRI and DTI scans. Demographic data (age, sex, anatomic level) were collected, and two radiologists independently evaluated imaging findings. Intraclass correlation coefficients(ICC) were used to assess inter-rater agreement. Differences in FA and ADC values, vertebral body and paraspinal muscle fat infiltration scores across different PM grades were compared, and correlations between PM grade, age, anatomic level, DTI parameters, and fat infiltration scores were analyzed. **Results:** ICCs for measurements by both radiologists were >0.75, indicating good consistency, except for the right erector spinae muscle. No statistically significant differences were observed in bilateral erector spinae fat infiltration scores among different PM grades ($P>0.05$), while FA, ADC, fat infiltration scores of upper and lower vertebrae, and bilateral multifidus and erector spinae muscles showed significant differences ($P<0.05$). FA demonstrated a strong correlation with PM grade ($r_{FA}=0.748$), while ADC, anatomic level, age, and upper vertebral fat infiltration were moderately correlated($r_{ADC}=-0.539$, $r_{anatomic\ level}=0.571$, $r_{age}=0.471$, $r_{upper\ vertebral}=0.371$). Lower vertebral fat infiltration and bilateral multifidus and erector spinae muscle fat infiltration exhib-

[收稿日期] 2024-04-24; **[修回日期]** 2024-05-27**[作者简介]** 宋绍文(1998-), 男, 河南永城人, 硕士研究生。E-mail: ssw32153@163.com**[通信作者]** 张斌青, 河南省洛阳正骨医院(河南省骨科医院)影像中心, 471002。E-mail: sqfzbq@163.com**[基金项目]** 河南省医学科技攻关计划基金资助项目(LHGJ20230484)。

ited weak correlations ($r_{\text{lower vertebral}}=0.250$, $r_{\text{right multifidus}}=0.185$, $r_{\text{left multifidus}}=0.198$, $r_{\text{right erector spinae}}=0.102$, $r_{\text{left erector spinae}}=0.126$). Bilateral erector spinae muscles showed no correlation with PM grade. **Conclusion:** FA and ADC values are useful for quantitatively assessing the degree of lumbar intervertebral disc degeneration, and disc degeneration indeed manifests as a synergistic, holistic musculoskeletal disorder.

Key words: Intervertebral Disc Degeneration; Magnetic Resonance Imaging

腰痛是一种临床常见病,约 70%人群在其一生中会遭遇此困扰^[1]。腰痛与腰椎间盘突出密切相关,后者被视为腰痛的病理基础^[2]。因此,早期诊断和有效控制腰椎间盘突出成为解决腰痛问题的关键。PM^[3]分级是一种基于磁共振成像的常见腰椎间盘突出评估方法,但受限于形态学观察,主观性强且易产生误差。弥散张量成像(DTI)作为 MRI 功能成像技术,通过量化水分子弥散特性揭示组织微观结构变化,有望成为探测早期腰椎间盘突出变的有效手段^[4]。

既往在膝关节退变的研究中发现,骨、关节骨和周围软组织形成一个整体,都可能受到影响^[5]。我们推测腰椎间盘突出同样涉及椎骨、肌肉等周边组织的互动影响。现有研究多聚焦椎间盘本身,忽视了脊柱系统的整体考量。本研究旨在探讨 DTI 技术在腰椎间盘突出早期退变的应用价值,同时考察椎体脂肪浸润及椎旁肌脂肪浸润对其退变进程的潜在作用,旨在全面揭示退变迹象,为防治策略提供更为立体的科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

收集我院 2022 年 9 月—2023 年 10 月 60 例符合研究标准的患者作为研究对象,男 30 例,女 30 例,年龄 18~75 岁,平均(47.37±16.42)岁。纳入标准:①无急性腰部外伤史,且有腰腿痛症状 6 月以上者;②年龄 15~75 岁;③无磁共振检查禁忌症;④ BMI 控制在 23~25 kg/m²。排除标准:①有腰椎手术者;②腰椎肿瘤、转移瘤、椎间盘炎、结核、血液病累及腰椎、压缩骨折、腰椎先天发育不良、椎间盘脱出者;③临床拟诊为腰部肌肉病变引起腰痛者。所有患者自愿接受 MRI 平扫及 DTI 扫描,均了解本研究的目的及内容,检查前均获得受试者知情同意。本研究经河南省洛阳正骨医院(河南省骨科医院)伦理委员会审核批准。

1.2 仪器与方法

采用 Siemens 3.0T MAGNETOM Skyra 超导磁共振行多方位腰椎 MR 扫描。①矢状位 T₁WI:TR=520 ms,TE=8 ms,扫描视野(FOV)=300 mm×300 mm,层厚=4.0 mm,层间距=0.8 mm;②矢状位 T₂WI:TR=2 400 ms,TE=135 ms,FOV=300 mm×300 mm,层厚=

4.0 mm,层间距=0.8 mm;③矢状位 T₂WI 脂肪抑制序列:TR=2 500 ms,TE=135 ms,FOV=300 mm×300 mm,层厚=4.0 mm,层间距=0.8 mm;④横轴位 T₂WI:TR=3 280 ms,TE=98 ms,FOV=280 mm×250 mm,层厚=3.0 mm,层间距=1.0 mm,采集矩阵=320×288。⑤3D 容积扫描:采用 T₂WI 矢状位 3D 容积扫描成像,扫描参数为:TR=1 500 ms,TE=142 ms,FOV=300 mm×300 mm,层厚=0.94 mm,层间距=0,采集矩阵=256×205。⑥DTI 扫描:TR=5 000 ms,TE=92 ms,层厚=5.0 mm,层间距=0,FOV=230 mm×230 mm,采集矩阵=118×118。扩散加权系数 b 值为 0 和 600 s/mm²,激励次数=1;扩散梯度方向=20;读出分段=5;相位编码方向:头-脚方向。

1.3 图像分析

两名具有 10 年以上工作经验的副主任医师分别独立测量影像学资料一次,测量结果不同时经协商达成一致。

1.3.1 PM 分级

腰椎间盘突出 PM 分级^[3]:在常规 T₂WI 序列上对椎间盘进行分级。分级标准:I 级:髓核信号完整、均匀高信号,髓核和纤维环分界清晰,椎间盘高度正常;II 级:髓核信号完整、不均匀高信号,髓核和纤维环分界清晰,椎间盘高度正常;III 级:髓核信号欠完整、不均匀中等信号,髓核和纤维环分界模糊,椎间盘高度正常或轻度变窄;IV 级:髓核信号不完整、不均匀低信号,髓核和纤维环分界消失,椎间盘高度正常或中度变窄;V 级:髓核信号不完整、低信号,髓核和纤维环分界消失,椎间盘塌陷。见图 1。

1.3.2 DTI 参数测量

应用西门子 3.0T 磁共振自带的 syngo MRB15 版本后处理工作站对数据进行测量。在矢状位椎间盘中央髓核区域,选取前、中、后 3 个 ROI,大小控制在 0.20~0.25 cm²,尽量避开上下终板、纤维环及脑脊液以免影响测值的准确性,软件会自动计算出 FA、ADC 值,每个椎间盘中测量 3 个 ROI 取平均值。

1.3.3 腰椎椎体脂肪浸润半定量评分

在腰椎正中矢状位 T₂WI 上,参考 T₂WI 压脂序列对腰椎椎体脂肪进行评分,每个椎间盘按其上下椎体分别分析。评分标准:1 分:正常(<10%椎体横截面积);2 分:轻度(10%~<33%椎体横截面积);3

分:中度(33.3%~<67%椎体横截面积);4分:重度($\geq 67\%$ 椎体横截面积),见图2。

1.3.4 腰椎椎旁肌脂肪浸润半定量评分

在腰椎 T₂WI 横断位上评价腰大肌、多裂肌和竖

脊肌脂肪浸润评分^[6]。1分:正常(<10%肌肉横截面积);2分:轻度(10%~<30%肌肉横截面积);3分:中度(30%~<50%肌肉横截面积);4分:重度($\geq 50\%$ 肌肉横截面积)。见图3。

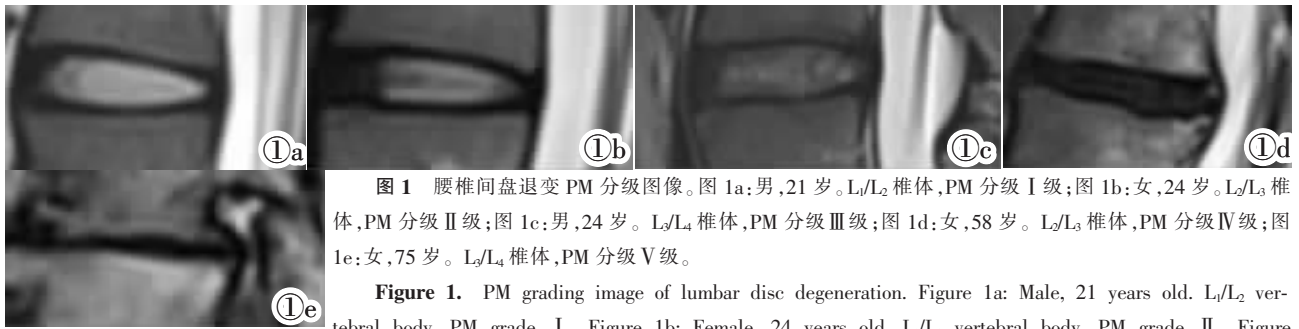


图1 腰椎间盘退变PM分级图像。图1a:男,21岁。L₁/L₂椎体,PM分级I级;图1b:女,24岁。L₂/L₃椎体,PM分级II级;图1c:男,24岁。L₃/L₄椎体,PM分级III级;图1d:女,58岁。L₂/L₃椎体,PM分级IV级;图1e:女,75岁。L₃/L₄椎体,PM分级V级。

Figure 1. PM grading image of lumbar disc degeneration. Figure 1a: Male, 21 years old. L₁/L₂ vertebral body, PM grade I. Figure 1b: Female, 24 years old. L₂/L₃ vertebral body, PM grade II. Figure 1c: Male, 24 years old. L₃/L₄ vertebral body, PM grade III. Figure 1d: Female, 58 years old. L₂/L₃ vertebral body, PM grade IV. Figure 1e: Female, 75 years old. L₃/L₄ vertebral body, PM grade V.

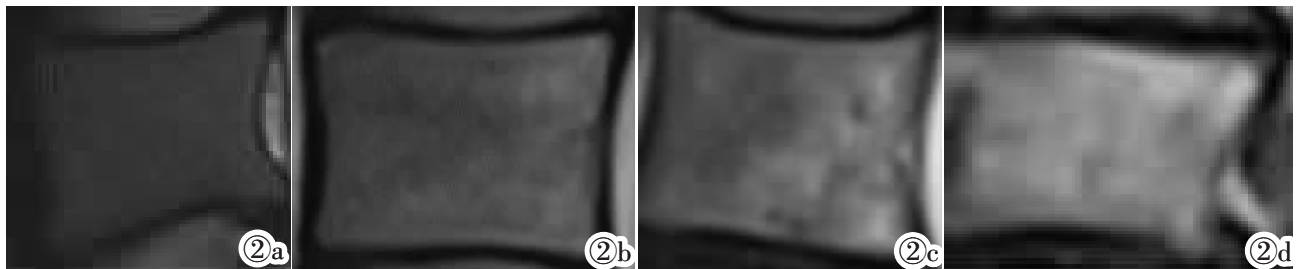


图2 腰椎椎体脂肪浸润半定量评分。图2a:女,19岁。L₄椎体,椎体脂肪评分1分;图2b:男,54岁。L₃椎体,椎体脂肪评分2分;图2c:女,58岁。L₂椎体,椎体脂肪评分3分;图2d:女,72岁。L₄椎体,椎体脂肪浸润评分4分。

Figure 2. Semi-quantitative score of lumbar vertebral fat infiltration. Figure 2a: Female, 19 years old. L₄ vertebral body, vertebral body fat score 1. Figure 2b: Male, 54 years old. L₃ vertebral body, vertebral body fat score 2 points. Figure 2c: Female, 58 years old. L₂ vertebral body, vertebral body fat score 3. Figure 2d: Female, 72 years old. Vertebral body L₄, vertebral fat infiltration score 4.

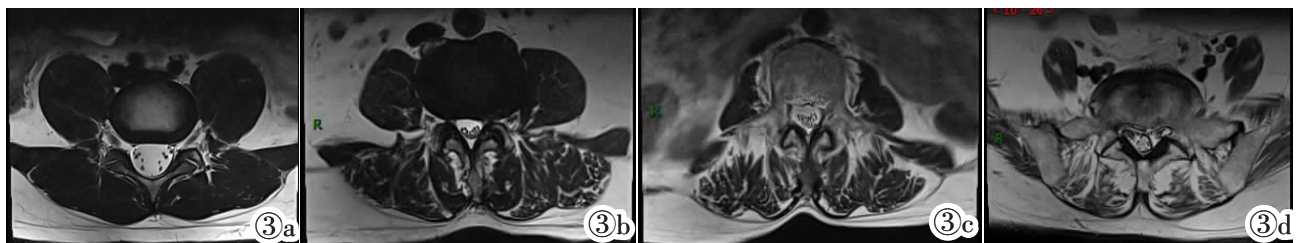


图3 腰椎椎旁肌脂肪浸润半定量评分(以多裂肌为例)。图3a:男,36岁。L₂/L₃节段,脂肪浸润评分1分;图3b:男,63岁。L₂/L₃节段,脂肪浸润评分2分;图3c:女,72岁。L₃/L₄节段,脂肪浸润评分3分;图3d:女,72岁。L₄/L₅节段,脂肪浸润评分4分。

Figure 3. Semi-quantitative score of lumbar paraspinal fat infiltration (multifidus muscle as example). Figure 3a: Male, 36 years old. At L₂/L₃ level, the fat infiltration score was 1. Figure 3b: Male, 63 years old. At L₂/L₃ level, fat infiltration score was 2. Figure 3c: Female, 72 years old. At L₃/L₄ level, the fat infiltration score was 3. Figure 3d: Female, 72 years old. At L₄/L₅ level, the fat infiltration score was 4.

1.4 统计学分析

采用 SPSS 27.0 统计软件对数据进行分析。用组内相关系数(ICC)评价两名医师测量结果的一致性。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 或中位数 \pm 四分位数间距表示,组间比较采用非参数秩和检验或方差分析;等级计数资料以率表示,组间比较采用 Kruskal-Wallis 检验;相关性检验采用 Person、Spearman 和偏相关分析, $r < 0.1$ 为无相关、 $0.1 \sim < 0.3$ 为弱相关、 $0.3 \sim < 0.6$ 为中等相关、 $r \geq 0.6$ 为强相关。 $P < 0.05$ 视为有统计学意义。

2 结果

2.1 一致性检验

除右侧腰大肌脂肪浸润外,其余测量指标 ICC 均 > 0.75 ,说明两医师之间测量一致性良好。

2.2 DTI 参数比较

FA 值和 ADC 值的总体差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。组间多重比较采用 Tamhane T₂ 法,结果显示 FA 值和 ADC 值除了 IV 级与 V 级差异没有统计学意义外 ($P > 0.05$),其余各级差异均有统计学意义。

义,见表 1。

2.3 椎体脂肪浸润比较

腰椎间盘的上、下椎体脂肪浸润评分在不同

PM 分级比较中,差异均具有统计学意义($P<0.05$),见表 2。

2.4 椎旁肌脂肪浸润比较

表 1 不同 PM 分级椎间盘之间 FA 值、ADC 值比较($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)

| PM 分级 | I 级(20 个) | II 级(129 个) | III 级(79 个) | IV 级(54 个) | V 级(18 个) | F 值 | P 值 |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|-------|
| FA 值 | 0.239±0.033 | 0.254±0.063 | 0.455±0.049 | 0.541±0.055 | 0.578±0.044 | 205.113 | <0.01 |
| ADC 值 | 2.027±0.111 | 1.875±0.125 | 1.708±0.215 | 1.458±0.263 | 1.404±0.266 | 71.701 | <0.01 |

注:FA 值和 ADC 值在 IV 级与 V 级间均无显著差异。

表 2 不同 PM 分级椎体脂肪浸润比较

| PM 分级 | 上椎体脂肪浸润 | | | | 下椎体脂肪浸润 | | | |
|-------|---------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|
| | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 |
| I 级 | 13 | 7 | 0 | 0 | 8 | 8 | 4 | 0 |
| II 级 | 10 | 77 | 35 | 7 | 9 | 57 | 52 | 11 |
| III 级 | 7 | 24 | 33 | 15 | 5 | 21 | 32 | 21 |
| IV 级 | 0 | 8 | 28 | 18 | 2 | 13 | 23 | 16 |
| V 级 | 0 | 4 | 6 | 8 | 0 | 1 | 11 | 6 |
| H 值 | 88.620 | | | | 44.338 | | | |
| P 值 | <0.001 | | | | 0.001 | | | |

在腰椎间盘退变患者不同 PM 分级的椎旁肌脂肪浸润比较中,左、右腰大肌的差异没有统计学意义($P>0.05$),左、右多裂肌和左、右竖脊肌的差异均有

统计学意义($P<0.05$),见表 3。

2.5 相关性分析

本研究结果显示解剖部位及年龄与 PM 分级、DTI 参数、椎体及椎旁肌脂肪浸润均有相关性,为了更科学的反映 DTI 参数、椎体及椎旁肌脂肪浸润与 PM 分级的相关性。给予控制年龄和解剖因素后,使用偏相关分析 DTI 参数、椎体及椎旁肌脂肪浸润与 PM 分级的相关性。FA 值与 PM 分级呈强相关,ADC 值、解剖节段、年龄和上椎体脂肪浸润与 PM 分级呈中等相关,下椎体脂肪浸润、双侧多裂肌和双侧竖脊肌脂肪浸润与 PM 分级均呈弱相关, 双侧腰大肌与 PM 分级无相关。见表 4,5。

表 3 不同 PM 分级椎旁肌脂肪浸润比较

| PM 分级 | 右腰大肌脂肪浸润 | | | | 左腰大肌脂肪浸润 | | | | 右多裂肌脂肪浸润 | | | | 左多裂肌脂肪浸润 | | | | 右竖脊肌脂肪浸润 | | | | 左竖脊肌脂肪浸润 | | | |
|-------|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|
| | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 |
| I 级 | 20 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 18 | 1 | 1 | 0 | 18 | 1 | 1 | 0 | 18 | 2 | 0 | 0 | 18 | 2 | 0 | 0 |
| II 级 | 129 | 0 | 0 | 0 | 129 | 0 | 0 | 0 | 78 | 48 | 3 | 0 | 84 | 42 | 3 | 0 | 95 | 32 | 2 | 0 | 101 | 27 | 1 | 0 |
| III 级 | 77 | 2 | 0 | 0 | 77 | 2 | 0 | 0 | 19 | 45 | 11 | 4 | 21 | 38 | 17 | 3 | 35 | 34 | 8 | 2 | 37 | 33 | 8 | 1 |
| IV 级 | 54 | 0 | 0 | 0 | 51 | 3 | 0 | 0 | 6 | 27 | 14 | 7 | 6 | 26 | 16 | 6 | 16 | 26 | 10 | 2 | 17 | 29 | 6 | 2 |
| V 级 | 18 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 8 | 3 | 0 | 10 | 5 | 3 | 2 | 12 | 3 | 1 | 3 | 10 | 4 | 1 |
| H 值 | 5.614 | | | | 8.147 | | | | 94.201 | | | | 102.218 | | | | 65.264 | | | | 67.833 | | | |
| P 值 | 0.23 | | | | 0.086 | | | | <0.001 | | | | <0.001 | | | | <0.001 | | | | <0.001 | | | |

表 4 DTI 参数与 PM 分级、解剖节段及年龄的相关性

| 偏相关分析 | FA 值 | ADC 值 | 解剖节段 | 年龄 |
|-------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| PM 分级 | 0.748 ¹ | -0.539 ¹ | 0.571 ¹ | 0.471 ¹ |
| 年龄 | 0.535 ¹ | -0.457 ¹ | - | - |
| 解剖节段 | 0.486 ¹ | -0.387 ¹ | - | - |

注:1: $P<0.05$ 。

3 讨论

腰椎间盘退变始于青少年时期,是生理衰老、力学负载及多种外因共同作用的渐进过程^[7]。椎体解剖节段对退变至关重要,郭家川等^[8]研究显示,越靠近骶尾部的椎间盘,ADC 值越低。沈思等^[9]发现 FA

值在 L₄/L₅ 和 L₅/S₁ 显著升高,与椎间盘水平相关。Faur 等^[6]的研究也得出结论,多裂肌的萎缩程度在下腰椎更为显著,与椎间盘水平呈轻度负相关。本研究显示 DTI 参数、上下椎体脂肪浸润、竖脊肌与多裂肌脂肪浸润与腰椎的解剖节段均具有相关性,与上述观点一致。这一现象可能受悬臂机制影响,当悬臂靠近固定端时,其承受的应力就会增加^[10]。脊柱可视为骶盆固定的悬臂,L₄/L₅ 与 L₅/S₁ 因接近固定端承受更大应力。此外,下腰椎受到重力、活动负荷及剪切力的影响,加之需提供大范围运动,导致局部肌肉韧带长期过载,易于受损。同时不良体姿、重复负荷

表 5 椎体和椎旁肌脂肪浸润与 PM 分级、解剖节段及年龄的相关性

| 偏相关分析 | 椎体 | | 腰大肌 | | 多裂肌 | | 竖脊肌 | |
|-------|--------------------|--------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 上椎体 | 下椎体 | 右侧 | 左侧 | 右侧 | 左侧 | 右侧 | 左侧 |
| PM 分级 | 0.371 ¹ | 0.250 ¹ | -0.040 | 0.058 | 0.185 ¹ | 0.198 ¹ | 0.102 ¹ | 0.126 ¹ |
| 年龄 | 0.310 ¹ | 0.283 ¹ | 0.089 | 0.069 | 0.426 ¹ | 0.470 ¹ | 0.364 ¹ | 0.340 ¹ |
| 解剖节段 | 0.288 ¹ | 0.149 ¹ | 0.029 | 0.074 | 0.637 ¹ | 0.614 ¹ | 0.530 ¹ | 0.536 ¹ |

注:1: $P<0.05$ 。

等生活因素,亦会加剧椎间盘磨损。综上,下腰椎因多种因素交互作用,更易发生结构与功能退变。

椎间盘是人体最早经历年龄相关退变的组织,其髓核由液态弹性向固态纤维状态转变,且随年龄加速^[11]。本研究显示,年龄与 PM 分级、FA 值和 ADC 值均相关。可能是因为老化过程中椎间盘细胞功能下降,释放的酶、因子等改变局部微环境,同时过度机械负荷、糖尿病、吸烟及急性损伤等多因素共同加速椎间盘退变。Al Saedi 等^[12]研究发现,衰老与骨质疏松症中骨髓脂肪增多,其源于成骨细胞生成减少。本研究揭示年龄与椎体脂肪浸润正相关,暗示随年龄增长,骨髓脂肪增加可能影响脊柱健康。高辉等^[13]通过 Revolution CT 技术证实多裂肌和竖脊肌随年龄退变,而腰大肌未见明显变化,与本研究相符。这或许与肌肉类型、肌内 I 型与 II 型肌纤维比例、以及腰大肌的功能和受力状况相关。年龄的增加导致脊柱的退变加重,腰部活动度减少,椎旁肌废用性萎缩逐渐显现。

椎间盘早期退变首先表现为蛋白聚糖与水合作用丧失,髓核细胞弥散功能下降,随后发生形态学变化如高度下降、髓核突出及环状撕裂等^[14]。DTI 作为 MRI 新技术,通过 FA 值(描述水分子扩散各向异性比例)与 ADC 值(衡量水分子扩散速度)评估椎间盘早期退变^[15]。本研究显示,FA 值与 ADC 值能识别早期退变,除 PM 分级 IV、V 级间差异无统计学意义外,其余各级间均有显著差异,且与 PM 分级相关。徐永利等^[16]的研究与本研究相符,认为 FA 值与 ADC 值可客观有效地评估椎间盘退变程度。正常椎间盘含水量高,ADC 值高,FA 值因 II 型胶原纤维不定性排列而较低。退变过程中,髓核内水分子、蛋白聚糖及 II 型胶原纤维减少,导致 ADC 值下降。同时, I 型胶原纤维同心圆排列增多,增强水分子各向异性,使 FA 值升高^[17]。其中 IV、V 级间差异不显著,可能是因为两级之间的差异仅在于椎间隙高度的变化,椎间盘结构与水分子含量差异不大。

健康椎间盘无血管,主要依赖椎体毛细血管供血^[18]。椎体内含有红骨髓和黄骨髓,红骨髓造血,保障机体血液供应及免疫功能,黄骨髓储存脂肪,并提供能量^[19]。Krug 等^[20]研究表明椎体脂肪增多可能破坏椎间盘营养供应,加速其退变。本研究发现椎间盘不同 PM 分级比较中,上下位椎体脂肪浸润存在显著差异,并且与退变程度存在一定的相关性。或许是因为椎体脂肪增加可能导致造血骨髓转化为脂肪骨髓,血流减少,营养供应下降。这逐渐降低了椎间盘髓核的水合能力,使髓核水含量减低,内部压力失衡,腰椎承受负荷能力减弱,从而引发退行性病变。

椎旁肌分为前后两组,前组有腰大肌、腰小肌和腰方肌,后组包括多裂肌、竖脊肌、回旋肌、横突间肌和半棘肌。研究椎旁肌退变主要关注于多裂肌、竖脊肌及腰大肌,因其与腰椎疾患及手术预后密切相关^[21]。腰大肌作为关键屈肌,连接躯干与下肢,对行走动力、下位脊柱稳定、髋关节屈曲及脊柱-骨盆稳定性至关重要^[22]。研究表明,尽管椎间盘存在退变,腰痛患者腰大肌脂肪浸润程度通常较低^[23]。本组中,双侧腰大肌在不同 PM 分级中的脂肪浸润无差异,且与 PM 分级无相关($P>0.05$),推测可能源于腰大肌丰富的神经支配对其脂肪浸润程度的影响。

多裂肌与竖脊肌为主要伸肌,共同参与正常运动,并在退变进程中经历相似变化^[24]。赵银霞等^[25]研究发现,多裂肌与竖脊肌的脂肪浸润与椎间盘退变 PM 分级存在正相关,但关联不强。本研究中,双侧多裂肌、竖脊肌在不同 PM 分级间的差异具有统计学意义,且与 PM 分级均呈弱相关。解剖学上,多裂肌与竖脊肌的脂肪浸润程度普遍高于腰大肌,这可能与二者均由同一节段脊神经背根节段性支配,而腰大肌受多根神经支配有关。椎间盘退变引发的神经根压迫可能导致肌肉萎缩和变性,当脂肪浸润时,脂肪组织取代肌肉组织,降低了肌肉自主收缩力与效率,最终可能导致腰椎失稳、腰痛或椎间盘退变等病变的发生。

本研究存在一些限制。①本研究为一项单中心研究,对病例的选择可能出现偏倚;②DTI 参数的获取方式多种多样,不同型号和参数设置可能导致不同的测量结果。此外,DTI 参数后处理软件和处理差异也可能引起结果的差异;③肌肉功能有多种评价指标,而本研究仅关注了部分肌肉的脂肪浸润情况,后续期待进一步探讨肌肉的功能性横截面积、肌电图等指标。

综上所述,DTI 可以定量分析椎间盘退变早期髓核组织细胞的细微结构变化,相较于传统的形态学评估,DTI 提供了客观有效的评价指标,而且在椎间盘形态和信号改变之前就能够提供关键信息。腰椎间盘的退变不仅仅是孤立的病变,而是与其他结构的病理变化紧密相连。类似于膝关节骨性关节炎等疾病,脊柱的退变也表现为一种全局性的病理过程。

[参考文献]

- [1]Buchbinder R, van Tulder M, Berg B, et al. Low back pain: a call for action[J]. Lancet, 2018, 391(10137): 2384-2388.
- [2]Heuck A, Glaser C. Basic aspects in MR imaging of degenerative lumbar disk disease[J]. Semin Musculoskelet Radiol, 2014, 18(3): 228-239.
- [3]Pfirrmann CW, Metzdorf A, Zanetti M, et al. Magnetic resonance

- classification of lumbar intervertebral disc degeneration [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2001, 26(17): 1873-1878.
- [4] Kadanka Z Jr, Adamova B, Kerkovsky M, et al. Predictors of symptomatic myelopathy in degenerative cervical spinal cord compression[J]. *Brain Behav*, 2017, 7(9): e00797.
- [5] Teichtahl AJ, Wluka AE, Davies-Tuck ML, et al. Imaging of knee osteoarthritis [J]. *Best Practice Res Clin Rheumatol*, 2008, 22(6): 1061-1074.
- [6] Faur C, Patrascu JM, Haragus H, et al. Correlation between multifidus fatty atrophy and lumbar disc degeneration in low back pain[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20(1): 414.
- [7] 王建伟, 许晓泉, 王德杭, 等. T₂ mapping 技术在腰椎间盘退变评估中的应用价值 [J]. *中国临床医学影像杂志*, 2015, 26 (5): 355-358.
- [8] 郭家川, 杨汉丰, 杜勇, 等. ADC 值在腰椎间盘退行性变诊断中价值的初步研究[J]. *临床放射学杂志*, 2011, 30(2): 239-242.
- [9] 沈思, 王昊, 汪飞, 等. DWI 和 DTI 对腰椎间盘早期退变的诊断价值[J]. *暨南大学学报(自然科学与医学版)*, 2012, 33(4): 409-413.
- [10] Larsen K, Lehnardt S, Anderson B, et al. Determining local modulus and strength of heterogeneous films by force-deflection mapping of microcantilevers [J]. *Rev Sci Instrum*, 2023, 94(3): 033904.
- [11] Nerlich AG, Bachmeier BE, Schleicher E, et al. Immunomorphological analysis of RAGE receptor expression and NF- κ B activation in tissue samples from normal and degenerated intervertebral discs of various ages [J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2007, 1096: 239-248.
- [12] Al Saedi A, Chen L, Phu S, et al. Age-related increases in marrow fat volumes have regional impacts on bone cell numbers and structure[J]. *Calcif Tissue Int*, 2020, 107(2): 126-134.
- [13] 高辉, 张堃, 黎芳丽, 等. Revolution CT 物质分离技术探索腰椎旁肌内肌与脂含量随年龄的变化规律 [J]. *临床放射学杂志*, 2020, 39(6): 1153-1157.
- [14] Chen C, Zhou T, Sun X, et al. Autologous fibroblasts induce fibrosis of the nucleus pulposus to maintain the stability of degenerative intervertebral discs[J]. *Bone Res*, 2020, 8(1): 7.
- [15] 邓绍强, 杜勇, 杨汉丰, 等. 弥散加权 ADC 值定量评价髓核蛋白多糖含量的研究[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2013, 24(9): 650-653.
- [16] 徐永立, 赵小华, 洪晓峰. ADC 及 FA 值对腰椎间盘退变程度的评估价值 [J]. *中国中西医结合影像学杂志*, 2019, 17 (6): 566-569.
- [17] 钟秀, 邱士军. 运动负荷对正常腰椎间盘 MR 扩散张量成像表现弥散系数和各向异性分数的影响 [J]. *南方医科大学学报*, 2015, 35(6): 812-815.
- [18] Hughes SP, Freemont AJ, Hukins DW, et al. The pathogenesis of degeneration of the intervertebral disc and emerging therapies in the management of back pain[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2012, 94(10): 1298-1304.
- [19] Baum T, Cordes C, Dieckmeyer M, et al. MR-based assessment of body fat distribution and characteristics [J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85(8): 1512-1518.
- [20] Krug R, Joseph GB, Han M, et al. Associations between vertebral body fat fraction and intervertebral disc biochemical composition as assessed by quantitative MRI [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2019, 50(4): 1219-1226.
- [21] Kalichman L, Carmeli E, Been E. The association between imaging parameters of the paraspinal muscles, spinal degeneration, and low back pain [J]. *Biomed Res Int*, 2017, 2017: 2562957.
- [22] Ouchi K, Oki Y, Sakuma T, et al. Risk of psoas muscle atrophy after endovascular aneurysm repair assessed by cross-sectional psoas muscle area [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2020, 43(7): 981-986.
- [23] Arbanas J, Pavlovic I, Marijancic V, et al. MRI features of the psoas major muscle in patients with low back pain[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(9): 1965-1971.
- [24] Fortin M, Videman T, Gibbons LE, et al. Paraspinal muscle morphology and composition: a 15-yr longitudinal magnetic resonance imaging study [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2014, 46(5): 893-901.
- [25] 赵银霞, 李绍林, 陈佳玲, 等. 腰椎旁肌脂肪浸润与椎间盘退变及年龄的相关性研究 [J]. *临床放射学杂志*, 2018, 37 (9): 1538-1541.
- (上接 126 页)
- [21] Wang F, Wang Y, Zhou Y, et al. Comparison between types I and II epithelial ovarian cancer using histogram analysis of monoexponential, biexponential, and stretched-exponential diffusion models[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2017, 46(6): 1797-1809.
- [22] Wei M, Feng G, Wang X, et al. Deep learning radiomics nomogram based on magnetic resonance imaging for differentiating type I/II epithelial ovarian cancer [J]. *Acad Radiol*, 2024, 31 (6): 2391-2401.
- [23] Liu D, Zhang L, Indima N, et al. CT and MRI findings of type I and type II epithelial ovarian cancer[J]. *Eur J Radiol*, 2017, 90: 225-233.
- [24] 陈静红, 尹如铁. 2023 年欧洲肿瘤内科学会《新诊断和复发性上皮性卵巢癌的诊断、治疗和随访临床实践指南》解读[J]. *实用妇产科杂志*, 2024, 40(2): 116-121.
- [25] Yeh BM, Shepherd JA, Wang ZJ, et al. Dual-energy and low-kVp CT in the abdomen[J]. *AJR*, 2009, 193(1): 47-54.
- [26] Pang T, Liu ZD, Deng K, et al. Preliminary application of multiple parameters spectral CT in the diagnosis of ovarian cancer [J]. *Medicine(Baltimore)*, 2017, 96(32): e7786.
- [27] 孟铁婷, 姚晶晶, 杨曦, 等. 盆腔高级别浆液性癌 2 例临床病理分析[J]. *诊断病理学杂志*, 2021, 28(1): 14-18.
- [28] 周兰妮, 欧阳富盛, 郭保亮, 等. 细胞外体积分数联合临床指标构建的列线图预测结直肠癌 p53 表达 [J]. *临床放射学杂志*, 2024, 43(5): 776-782.
- [29] 孙琦, 孙丹琦, 卞雪莲, 等. 光谱 CT 细胞外体积分数术前诊断结直肠癌病理 T 分期及组织学分级的价值 [J]. *临床放射学杂志*, 2024, 43(5): 782-787.