

❖ 骨骼肌肉影像学

DTI evaluation of mild articular cartilage injury in patellofemoral joint: Comparison with arthroscopy

LI Min¹, DENG Demao^{1*}, FU Chunhua², MA Liheng³, SUN Peiyi¹, LI Shasha¹,
LIAO Hai¹, WEI Xiaomei¹, DUAN Gaoxiong¹, LUO Fang¹, CHEN Wenfu¹

(1. Department of Radiology, 2. Department of Orthopaedic, the First Affiliated Hospital of Guangxi Chinese Medicine University, Nanning 530023, China; 3. Department of Medical Imaging, the First Affiliated Hospital of Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510080, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate the value of DTI in mild articular cartilage injury in patellofemoral joint. **Methods** The DTI and arthroscopy data of 82 patients with routine MRI diagnosed as mild articular cartilage injury were analyzed retrospectively. According to the results of arthroscopy, 40 cases of mild articular cartilage injury with Outerbridge classification I or II were divided into experimental group, and 33 cases with normal patellofemoral articular cartilage were divided into control group. There were 8 articular cartilage injury patients with Outerbridge classification III or IV in patello-femoral joint were excluded. The DTI data were analyzed compared with arthroscopy. **Results** Arthroscopy detected 62 lesions of cartilage injury in experimental group. Totally 49 lesions (49/62, 79.03%) were detected by ADC pseudocolor image and 51 lesions (51/62, 82.25%) were detected by FA pseudocolor image. The DTI pseudocolor images of articular cartilage injury showed uneven levels. The red or pink levels can be observed. Compared with the control group, ADC value increased and FA value decreased significantly in experimental group (both $P < 0.05$). **Conclusion** DTI can clearly display and detect mild articular cartilage injury in patellofemoral joint, which provide valuable information for early cartilaginous injury.

[Key words] Diffusion tensor imaging; Patellofemoral joint; Cartilage injury; Arthroscopy

DOI:10.13929/j.1003-3289.201609096

DTI 评估髌股关节软骨轻度损伤:与关节镜对照

李敏¹, 邓德茂^{1*}, 伏春华², 马立恒³, 孙沛毅¹, 李莎莎¹,
廖海¹, 韦小梅¹, 段高雄¹, 罗芳¹, 陈文福¹

(1. 广西中医药大学第一附属医院放射科, 2. 骨科, 广西南宁 530023;
3. 广东药学院附属第一医院影像医学科, 广东广州 510080)

[摘要] **目的** 探讨 DTI 评估髌股关节软骨轻度损伤的价值。 **方法** 回顾性分析 82 例常规 MR 诊断髌股关节软骨正常或轻度损伤患者的 DTI 及关节镜检查资料。根据关节镜检查结果, 将其中 40 例 Outerbridge 分级 I、II 级者纳入髌股关节软骨轻度损伤组, 33 例无髌股关节软骨损伤者纳入对照组, 排除 9 例 Outerbridge 分级为 III、IV 级者。对比分析 2 组髌股关节软骨 DTI 表现, 并与关节镜结果对照。 **结果** 髌股关节软骨轻度损伤组 40 例关节镜检查共发现 62 处软骨轻度损伤; 其中通过 ADC 及伪彩图可显示 49 处 (49/62, 79.03%), FA 伪彩图可显示 51 处 (51/62, 82.25%)。髌股关节软骨轻度损伤 ADC 及 FA 伪彩图表现为软骨色阶不均匀, 内见红色或粉色色阶。与对照组正常软骨比较, 髌股关节软骨轻度损伤组软骨损伤区 ADC 值明显增高, FA 值明显降低 (P 均 < 0.05)。 **结论** DTI 可显示及量化髌股关节软骨的轻度损伤。

[基金项目] 广西省自然科学基金(2014GXNSFAA118257)。

[第一作者] 李敏(1982—), 男, 四川眉山人, 硕士, 主治医师。研究方向: 关节软骨功能成像。E-mail: hanbin21042332@126.com

[通信作者] 邓德茂, 广西中医药大学第一附属医院放射科, 530023。E-mail: demaodeng@163.com

[收稿日期] 2016-09-21 **[修回日期]** 2017-04-03

伤,为早期软骨损伤的诊治提供有价值的参考信息。

[关键词] 扩散张量成像;髌股关节;软骨损伤;关节镜

[中图分类号] R684; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2017)07-1071-05

近年来,临床因运动或外伤所致膝关节软骨损伤日益常见^[1]。DTI 主要基于分子在磁场中弥散运动的差异成像。膝关节软骨内不含血管结构,软骨细胞的营养及代谢几乎完全依靠分子弥散完成,为 DTI 技术应用于关节软骨的优势^[2]。目前关节软骨损伤的 DTI 研究较少,且关节镜 Outerbridge 分级 I、II 级的软骨损伤较轻微,形态学变化不明显,极易误、漏诊^[3]。本研究回顾性分析轻度损伤髌股关节软骨的 DTI 表现,并与关节镜结果对照,探讨 DTI 对 Outerbridge I、II 级软骨损伤的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集我院 2015 年 1 月—2016 年 6 月间常规 MR 诊断髌股关节软骨正常或轻度损伤的患者 82 例,其中男 57 例,女 25 例,年龄 16~44 岁,中位年龄 26.5 岁。纳入标准:①常规 MR 诊断髌股关节软骨正常或轻度损伤,且患者可耐受 DTI 检查;②均于 DTI 扫描后 1 周内接受关节镜手术;③MR 扫描前未对软骨损伤进行治疗。排除标准:①髌骨及股骨骨折;②既往有膝关节手术史;③患有其他膝关节疾病,如膝关节肿瘤、类风湿、缺血性骨坏死、发育异常等;④有 MR 检查禁忌证。本研究经我院医学伦理委员会批准,所有受试者均签署知情同意书。

根据关节镜检查结果,将髌股关节软骨损伤 Outerbridge 分级为 I、II 级者纳入髌股关节软骨轻度损伤组,无髌股关节软骨损伤者纳入对照组。髌股关节软骨轻度损伤组共 40 例,男 29 例,女 11 例,年龄 25~45 岁,中位年龄 28.5 岁,平均体质指数(body mass index, BMI)为 $(28.19 \pm 3.07) \text{ kg/m}^2$ 。髌股关节软骨轻度损伤组中,12 例为前交叉韧带损伤,12 例为半月板撕裂,8 例为胫骨平台骨折,3 例为后交叉韧带损伤,3 例为股骨外髁侧面软骨损伤,1 例为股骨内髁侧面软骨损伤,1 例为髌股关节发育不良并脱位。对照组共 33 例,男 24 例,女 9 例,年龄 16~46 岁,中位年龄 25 岁,平均 BMI 为 $(25.99 \pm 2.81) \text{ kg/m}^2$ 。对照组中,12 例为半月板撕裂,8 例为前交叉韧带损伤,5 例为胫骨平台骨折,3 例为后交叉韧带损伤,3 例为盘状半月板合并撕裂,2 例为滑膜皱襞增厚。9 例关节镜检查显示髌股关节软骨损伤 Outerbridge 分级为 III、IV 级者不纳入研究。

1.2 MR 检查 采用 Siemens Viro 3.0T MR 扫描仪,8 通道膝关节线圈。患者检查前静坐 30 min,检查时取仰卧位,足先进,膝关节微屈约 15°,受检膝关节位于磁场中心,扫描中心线位于髌骨下缘。先行矢状位 T1WI 及轴位脂肪抑制 T2WI、三维 MR 双回波稳态(three-dimensional dual echo steady state, 3D-DESS)、T2* 弛豫时间图(T2* relaxation time mapping, T2* mapping)序列扫描。扫描参数:T1WI,TR 400 ms,TE 8.8 ms,层厚 3.5 mm,层间距 0.7 mm;T2WI 脂肪抑制序列,TR 3 920 ms,TE 72 ms,层厚 3.5 mm,层间距 0.7 mm;3D-DESS,TR 14.1 ms;TE 5 ms,层厚 3 mm,层间距 0.6 mm,FOV 180 mm×180 mm,带宽 250 Hz/Px,翻转角 25°;T2* mapping,TR 445 ms,TE 分别为 4.36、11.90、19.44、26.98、34.52 ms,层厚 3 mm,层间距 0.6 mm,FOV 160 mm×160 mm,带宽 260 Hz/Px,翻转角 60°。DTI 采用单次激发自旋回波-回波平面(spin echo-echo plane image, SE-EPI)序列,扫描参数:TR 5 200 ms,TE 77 ms,层厚 3 mm,层间距 0, NEX 8, b 值 0、600 s/mm²,带宽 1488 Hz/Px,扩散敏感梯度场施方向 6 个;扫描时间 8 min 51 s。

1.3 关节镜检查 采用 Stryker 1088iHD 成像系统。术前常规复习 MRI 资料,以选择适合的穿刺点。观察各部位软骨、韧带及半月板情况,记录膝关节损伤(重点观察并记录软骨损伤)部位及程度。

1.4 图像分析 由 2 名从事骨关节影像诊断 10 年以上的副主任医师完成 DTI 图像后处理与分析,意见不一致时经协商决定。将原始图像数据转化为 DII 格式,通过 Matlab 12.0 软件进行校准配对;将匹配校对好的图像导入 Mricron 软件,以 3D-DESS 为解剖图,分别融合 ADC 图及 FA 图,并进行测量。以关节镜结果为标准,在 DTI 图像中定位膝关节软骨损伤部位,测量 FA 值及 ADC 值。正常软骨 FA 值及 ADC 值测量以髌骨或滑车中心层面为基准层面,并以该层面髌骨脊或滑车最低点为中心,分别测量并记录髌骨或滑车下 1/2 及上 1/2 中心层面的髌软骨 FA 及 ADC 值,对每一患者每一关节面(髌骨或滑车面)取 18 个测量点,共 1 188 个测量点。FA 及 ADC 值取 2 名医师测量值的平均值。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 19.0 统计分析软件。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 髌股关节软骨轻度损伤组与对照组患者年龄比较采用 Wilcoxon 秩和检验, 性别比较采用 Fisher 精确概率检验, 组间 BMI、FA 及 ADC 值比较采用两独立样本 *t* 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

髌股关节软骨轻度损伤组与对照组患者性别 ($P=0.176$)、年龄 ($P=0.218$) 及 BMI ($t=1.428, P=0.153$) 差异均无统计学意义。

2.1 关节镜结果 对照组正常关节软骨光整, 无关节软骨变软及表面缺损(图 1)。髌股关节软骨轻度损伤组 40 例患者共发现 62 处软骨损伤。Outerbridge I 级损伤主要表现为软骨变软, 表面纤维化; Outerbridge II 级损伤主要表现为软骨破损, 但软骨缺损小于全层的 50%。见图 2。

2.2 DTI 与关节镜结果对照 对照组髌股关节软骨 ADC 及 FA 伪彩图表现为沿骨性关节面走行的均匀色阶, 呈均匀黄色或蓝色(图 1)。髌股关节软骨轻度

损伤组 62 处软骨损伤中, 通过 ADC 及 FA 伪彩图分别可显示 49 处 (49/62, 79.03%) 及 51 处 (51/62, 82.25%); ADC 及 FA 伪彩图表现为软骨色阶不均匀, 内见红色或粉色色阶(图 2)。与对照组正常软骨相比, 髌股关节软骨轻度损伤组软骨损伤区 ADC 值明显增加, FA 值明显降低, 差异均有统计学意义 (P 均 < 0.01), 见表 1。

表 1 髌股关节软骨轻度损伤组与对照组 ADC 及 FA 值比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	ADC 值 ($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	FA 值
轻度损伤组 ($n=62$)	1.65 ± 0.22	0.30 ± 0.06
对照组 ($n=33$)	1.37 ± 0.07	0.40 ± 0.08
<i>t</i> 值	20.32	-7.70
<i>P</i> 值	< 0.01	< 0.01

3 讨论

软骨损伤后软骨细胞继发死亡, 软骨细胞死亡与软骨基质降解、软骨胶原结构网络破坏相伴^[4-6]。这种软骨复合体生化结构的变化早于形态学的变化。目前

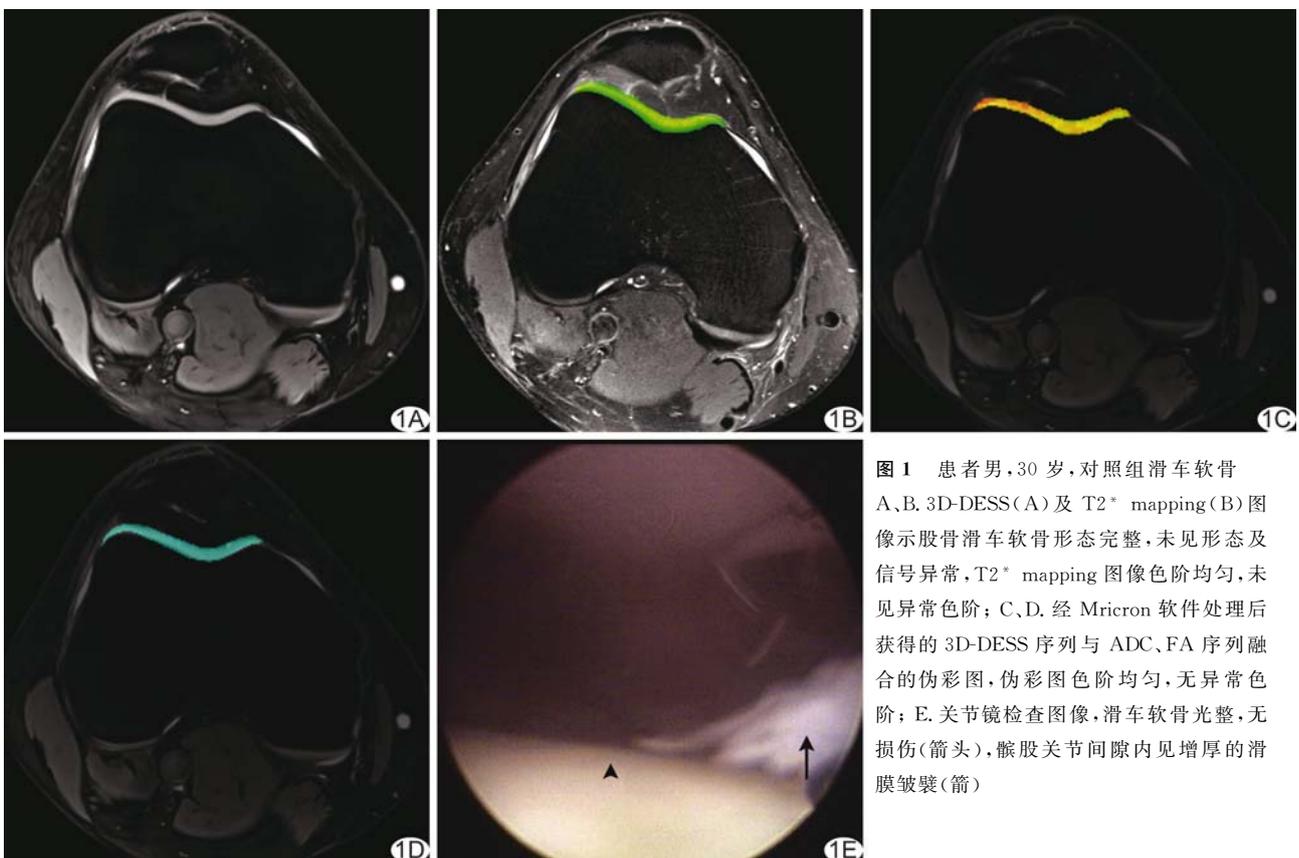


图 1 患者男, 30 岁, 对照组滑车软骨 A、B. 3D-DESS(A) 及 T2* mapping(B) 图像示股骨滑车软骨形态完整, 未见形态及信号异常, T2* mapping 图像色阶均匀, 未见异常色阶; C、D. 经 Mricron 软件处理后获得的 3D-DESS 序列与 ADC、FA 序列融合的伪彩图, 伪彩图色阶均匀, 无异常色阶; E. 关节镜检查图像, 滑车软骨光整, 无损伤(箭头), 髌股关节间隙内见增厚的滑膜皱襞(箭)

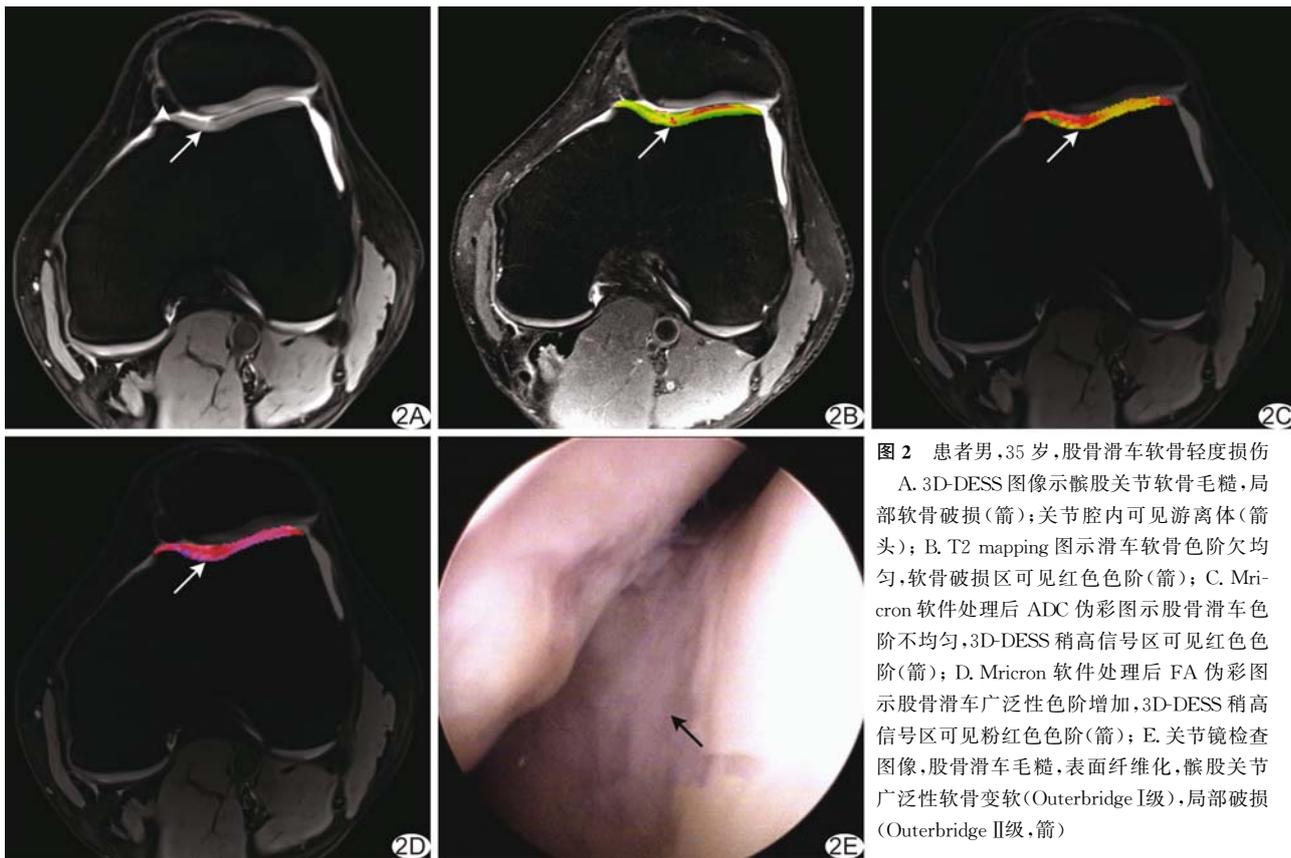


图 2 患者男, 35 岁, 股骨滑车软骨轻度损伤
 A. 3D-DESS 图像示髌股关节软骨毛糙, 局部软骨破损(箭); 关节腔内可见游离体(箭头);
 B. T2 mapping 图示滑车软骨色阶欠均匀, 软骨破损区可见红色色阶(箭);
 C. Mricron 软件处理后 ADC 伪彩图示股骨滑车色阶不均匀, 3D-DESS 稍高信号区可见红色色阶(箭);
 D. Mricron 软件处理后 FA 伪彩图示股骨滑车广泛性色阶增加, 3D-DESS 稍高信号区可见粉红色色阶(箭);
 E. 关节镜检查图像, 股骨滑车毛糙, 表面纤维化, 髌股关节广泛性软骨变软(Outerbridge I 级), 局部破损(Outerbridge II 级, 箭)

可显示软骨损伤的 MR 序列较多^[3-4,7-10]。三维快速扰相梯度回波(three dimensional spoiled gradient recalled acquisition in steady-state, 3D-SPGR)及 3D-DESS 序列均可全面显示膝关节软骨, 有助于对软骨缺损的诊断^[3,8]。但 Outerbridge 分级为 I、II 级的软骨损伤, 其软骨本身形态学变化较小(软骨变软或者表面轻度纤维化), 3D-SPGR 及 3D-DESS 序列 MR 检查仍存在不同程度的盲区。Na 成像、T1 ρ 成像、磁化转移成像、T2 图有利于反映软骨生化结构的变化, 但目前 T2 图、磁化转移成像表现主要取决于软骨基质内水及软骨内蛋白多糖(proteoglycan, PG)的相对含量^[9-11]。

DTI 技术主要基于分子弥散成像。理论上, DTI 对软骨结构显示可达到微米级, 可显示关节软骨微观结构(PG 蛋白分子直径约 10 μm , 胶原纤维直径约 0.2 μm)。关节软骨早期损伤时, DTI 对细微软骨损伤更为敏感。ADC 及 FA 值可用于对软骨 PG 及胶原纤维网络进行评估^[12-13]。但采用 3.0T MR 扫描仪进行关节软骨 DTI 扫描仍然存在一些问题。首先, DTI 采用 EPI 序列, EPI 图像存在变形, 而关节软骨菲薄, 变形的功能图像难以与解剖图融合。本研究应用 Matlab 12.0 及 Mricron 软件对原始 DTI 图像进行匹

配校正, 获得了较为满意的 DTI 融合图像。其次, DTI 参数设置在临床实际应用需要大量的研究进行优化及论证, 如理论上扩散敏感梯度场施方向越多, DTI 图像分辨率越高, 但实际应用中随着扩散敏感梯度场施方向增多, 扫描时间将大幅延长, 运动伪影增加, DTI 图像质量降低。

本研究显示, Outerbridge 分级为 I、II 级的软骨损伤的 ADC 及 FA 伪彩图表现为软骨色阶不均匀, 内见红色或者粉色色阶, 软骨损伤部分 ADC 值明显增高, 而 FA 值明显下降, 与既往研究^[2,13-14]结果一致。ADC 值增高的原因为 ADC 值是各方向扩散张量总和的平均值, 在软骨中主要取决于单位体积 PG 含量, 而软骨 PG 是糖胺聚糖与核心蛋白以糖苷键共价结合形成的复杂大分子, 糖胺聚糖聚合成的的大分子结构内羟基、硫酸根带有负电荷, 吸附集聚阳离子(主要是 Na⁺), 从而产生渗透压, 使水分进入软骨; 软骨损伤时单位体积内 PG 含量降低, 软骨内小分子(水分子, Li⁻、Na⁺ 及 CF₃CO²⁻)弥散运动增加, 导致 ADC 增加。FA 值由扩散张量的各向异性成分与整个扩散张量之比决定, 在软骨中主要取决于软骨胶原纤维网的完整性; 正常软骨中由于胶原纤维网网络的存在, 以水分子为代表的小分子更易沿网络结构向四周弥散, 当

软骨损伤时胶原纤维结构破坏,网络结构减少影响小分子弥散运动,从而导致 FA 值降低。

本研究共 62 处髌股关节软骨轻度损伤,通过 ADC 伪彩图可显示其中 49 处(49/62, 79.03%),FA 伪彩图可显示其中 51 处(51/62, 82.25%),存在漏诊病例,其可能的原因包括:①DTI 图像虽然经后处理软件进行校准,降低了图像变形的程度,但图像变形仍然存在;②关节软骨菲薄,正常髌股关节软骨平均厚度约 4.0~5.0 mm, EPI 图像与软骨匹配不准导致后期处理时将关节软骨周围结构(如关节积液、关节滑膜)划入感兴趣区,造成误差;③关节镜为关节软骨损伤的金标准,但其结果受操作者主观因素影响,尤其对 Outerbridge I 级关节软骨损伤,完全靠操作者探针加压判断损伤程度,可能产生误诊;④DTI 图像的采集及数据后处理对操作人员要求高,扫描过程必须严谨、细致,否则易对结果产生偏差。

本研究的局限性:①DTI 对膝关节软骨的分辨率仍然有待进一步提高;②研究对象为 Outerbridge I、II 级软骨损伤患者;Outerbridge 分级为 III、IV 级者由于软骨缺损区面积相对较大、较深,常规 MR 对其显示效果较好,DTI 优势不明显而未纳入研究;③髌股关节软骨损伤只是膝关节损伤的一部分,将 DTI 序列进一步优化并应用于整个膝关节软骨的监测还有待进一步深入研究。

总之,DTI 对 Outerbridge 分级为 I、II 级的髌股关节软骨损伤具有较好的显示能力,髌股关节软骨损伤区 ADC 值增高且 FA 值降低。

[参考文献]

- [1] 丁明,徐虎,王迎春,等.前交叉韧带断裂并发膝关节软骨损伤的影响因素.中华创伤杂志,2015,31(6):512-516.
- [2] Raya JG, Melkus G, Adam-Neumair S, et al. Diffusion-tensor imaging of human articular cartilage specimens with early signs of cartilage damage. Radiology, 2013,266(3):831-841.
- [3] 陶娟.比较四种 3D-MR 序列在膝关节软骨和骨关节炎病变软骨的应用价值.武汉:华中科技大学,2014:8-11.
- [4] 李敏,邓德茂,陈夏眉.DTI 技术定量测量健康成人髌软骨的初步研究.放射学实践,2016,41(12):1227-1230.
- [5] 王大鹏,张岚,赵娜,等.组织工程化软骨修复运动性软骨损伤.中国组织工程研究,2016,20(7):1037-1043.
- [6] Xu J, Xie G, Di Y, et al. Value of T2-mapping and DWI in the diagnosis of early knee cartilage injury. J Radiol Case Rep, 2011, 5(2):13-18.
- [7] 卢丽军,赵建,李石玲,等.MR 多角度屈曲观察髌股关节软骨损伤.中国医学影像技术,2017,33(2):281-284.
- [8] 朱乐发.膝关节软骨损伤磁共振双回波稳态序列参数优化及应用.广州:广州中医药大学,2012:8-10.
- [9] Keenan K, Besier T, Pauly J, et al. Prediction of glycosaminoglycan content in human cartilage by age, T1 ρ and T2 MRI. Osteoarthritis Cartil, 2011,19(2):171-179.
- [10] 沈思,王昊,张景,等.磁共振 T1 ρ 成像对运动员与普通青年人群髌软骨对照分析.中国介入影像与治疗学,2015,12(6):353-356.
- [11] Ma L, Meng Q, Chen Y, et al. Preliminary use of a double-echo pulse sequence with 3D ultrashort echo time in the MRI of bones and joints. Exp Ther Med, 2013,5(5):1471-1475.
- [12] Raya J, Dettmann E, Notohamiprodjo M, et al. Feasibility of in vivo diffusion tensor imaging of articular cartilage with coverage of all cartilage regions. Eur Radiol, 2014,24(7):1700-1706.
- [13] 侯进.扩散张量成像在骨性关节炎评估中的作用.广州:南方医科大学,2013:9-10.
- [14] 张慈慈,沈思,张景,等.磁共振扩散张量成像诊断曲棍球运动员髌软骨早期损伤.中国医学影像技术,2015,31(7):1090-1094.

文章题名要求

▲题名应以简明、确切的词语反映文章中最重要、最特定的内容,要符合编制题录、索引和检索的有关原则,并有助于选定主题词。

▲中文题名一般不宜超过 20 个字,必要时可加副题名。

▲英文题名应与中文题名含义一致。

▲题名应避免使用非公知公用的缩写词、字符、代号,尽量不出现数学公式和化学式。