

【临床研究】

作者简介:毛光兰(1970-),女,河南新乡人,硕士,主治医师,研究方向:主要从事四肢的康复及影像学研究。

predictive value between fiber tracer imaging and FA, ADC ($P > 0.05$). The sensitivity, specificity, accuracy and negative predictive value of MRI were lower than those of FA and ADC ($P < 0.05$); there was no significant difference in the positive predictive value between MRI and FA, ADC ($P > 0.05$). The FA of patients with anterior cruciate ligament injury of grade III and IV at 1 week and 3 months after operation was higher than that before operation, and the ADC was lower than that before operation ($P < 0.05$). There was no significant difference in FA of patients with anterior cruciate ligament injury of grade III and IV between 1 week and 3 months after operation ($P > 0.05$); the ADC of grade III and IV patients at 3 months after operation was lower than that at 1 week after operation ($P < 0.05$). Before operation, the FA of patients with anterior cruciate ligament injury of grade III was higher than that with grade IV, and the ADC was lower than that with grade IV ($P < 0.05$); there was no significant difference in FA and ADC between grade III and grade IV patients at 1 week and 3 months after operation ($P > 0.05$). **Conclusion** The FA and ADC values of diffusion tensor imaging can objectively reflect the microstructural changes after reconstruction of anterior cruciate ligament injury, the fiber tracer imaging can visually display the stability of knee joint in the early stage after reconstruction, it can provide the reliable imaging information for clinical secondary operation or early rehabilitation treatment.

Key words: anterior cruciate ligament reconstruction; diffusion tensor imaging; tractography imaging; magnetic resonance imaging; knee joint

前交叉韧带损伤是膝关节常见的病变之一, 可以导致膝关节旋转失衡、骨关节炎、软骨退变等并发症。在关节镜下重建损伤韧带有助于恢复膝关节的稳定性及生物力学特性, 已成为治疗前交叉韧带损伤的主要手段^[1]。对重建移植物的观测是评估手术效果及判断预后的重要内容, 磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)可以较好地显示移植物的二维形态及内部结构, 是观测前交叉韧带重建术后移植物的有效方法, 但仍存在较大的局限性^[2]。弥散张量成像作为一种定量诊断的影像技术, 通过常用参数的各向异性分数(fractional anisotropy, FA)和表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)可以定量显示重建物纤维结构的微观变化, 纤维示踪成像可以直观显示纤维束的形态、走行及连接部位, 目前主要应用于中枢神经系统的病变诊断, 但随着弥散张量成像技术的逐渐普及, 国内外已陆续有报道将其应用于中枢神经系统以外的其他软组织病变中^[3-4], 而关于前交叉韧带损伤重建术后的纤维示踪成像研究较少^[5-6]。本研究利用弥散张量成像观测前交叉韧带重建术后的手术效果及重建术前与重建术后不同时期的 FA 和 ADC, 以及纤维示踪成像在评估手术效果中的应用, 为前交叉韧带损伤重建术后的手术效果评估提供影像学依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2017 年 1 月至 2018 年 9 月新乡医学院第三附属医院收治的 61 例膝关节前交叉韧带 III、IV 级撕裂伤患者的临床资料。病例纳入标准: (1) 膝关节不稳; (2) Lachman 试验(+)、抽屉试验(+)、轴移试验(+); (3) 患者住院前进行 MRI 及弥散张量成像检查, 前交叉韧带的连续性中断或形态异常; (4) 对侧膝关节及前交叉韧带正常。

排除标准: (1) 膝关节畸形和手术史、严重感染史; (2) 职业运动员; (3) 患有全身性疾病或恶性肿瘤者。61 例患者中, 男 23 例, 女 38 例; 年龄 22 ~ 58 (37.5 ± 2.40) 岁; 左侧 26 例, 右侧 35 例; III 级 36 例, IV 级 25 例。患者均接受单束自体肌腱重建术, 术后根据关节镜检查(金标准)膝关节的稳定性结果将患者分为稳定组($n = 54$)和不稳定组($n = 7$)。

1.2 MRI 及弥散张量成像检查 在重建术前及重建术后 1 周、3 个月分别使用 3.0 T 磁共振机器(上海联影公司)进行检查。MRI 扫描参数: 质子加权-频谱选择抑制反转恢复序列, 回波时间(time of echo, TE) 30 ms, 重复时间(time of repetition, TR) 3 100 ms, 层厚 3 mm, 层间距 0.3 mm, 视野(field of view, FOV) 16 cm × 16 cm, 矩阵 160 × 160。弥散张量成像扫描参数: 自旋回波-回波平面像序列, 在 32 个方向上施加弥散梯度, 弥散梯度因子 b 值 = $400 \text{ s} \cdot \text{mm}^{-2}$, TR 2 470 ms, TE 79 ms, FOV 16 cm × 16 cm, 矩阵 128 × 128, 层厚 2 mm, 层间距 0 mm。扫描时间为早晨起床后, 避免运动原因造成韧带内水分的变化。

1.3 图像处理及测量 将弥散张量成像数据输入图像后处理工作站, 利用工作站内的软件处理系统, 对图像进行背景噪声处理和矫正, 生成 FA 伪彩图和 ADC 图。在前交叉韧带的损伤及重建处设置感兴趣区, 测量感兴趣区的 FA 和 ADC。沿韧带走行方向在前交叉韧带重建处及其上端、上中部、中部、下中部、下端设置感兴趣区, 根据感兴趣区内自动搜索存在的纤维束, 按照最短纤维长度 = 10 mm, 最大角度 = 34° , 最小 FA 值 = 0.15, 进行纤维束生成示踪成像。测量感兴趣区的 FA 和 ADC, 为保证各感兴趣区测量值和重建术后体格检查的准确性, 由 2 名医师测量 3 次取平均值, 同时进行双盲阅片和体

格检查。

1.4 统计学处理 应用 SPSS 20.0 统计学软件进行数据分析。计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,组间比较采用 t 检验,前交叉韧带损伤重建术前与重建术后不同时期的 FA、ADC 比较采用方差分析,计数资料比较采用 χ^2 检验; $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 组患者重建术后 1 周不同手术效果的 FA、ADC 比较 结果见表 1 和图 1。在 MRI 图像上,术后 1 周稳定组患者重建处的信号强度增高,局部连续性显示不清;不稳定组患者重建处的局部信号强度增高,边界不清,韧带连续性显示不清。在弥散张量纤维示踪图像上,稳定组患者的纤维走行及连续性较好;不稳定组患者的纤维走行及连续性较好,但走行迂曲,或纤维杂乱且不连续。重建术后 1 周,稳定组与不稳定组患者 FA、ADC 比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

2.2 不同影像学检查方法评估膝关节前交叉韧带损伤患者重建术后手术效果 结果见表 2。FA 和 ADC、纤维示踪成像、MRI 评估前交叉韧带重建术后 1 周手术效果的灵敏度、特异度、准确度、阳性预测值、阴性预测值比较差异均有统计学意义($P < 0.05$)。MRI 评估膝关节前交叉韧带重建术后手术效果的灵敏度、特异度、准确度、阳性预测值、阴性预测值均低于纤维示踪成像,差异有统计学意义($P < 0.05$)。FA 和 ADC 的灵敏度、特异度、准确度、阴性预测值低于纤维示踪成像,差异有统计学意义($P < 0.05$);

表 2 FA 和 ADC、纤维示踪成像、MRI 评估前交叉韧带重建术后手术效果的效能比较

Tab.2 Comparison of the efficacy of FA and ADL ,fiber tracer imager images ,MIR in evaluating the surgical effect of anterior cruciate ligament reconstruction					
($\bar{x} \pm s$)					
项目	灵敏度/%	特异度/%	准确度/%	阳性预测值/%	阴性预测值/%
纤维示踪成像	98.15(53/54)	100.00(7/7)	98.36(60/61)	100.00(53/53)	87.50(7/8)
FA 和 ADC	87.04(47/54) ^a	71.43(5/7) ^a	85.25(52/61) ^a	97.91(47/48)	38.46(5/13) ^a
MRI	74.08(40/54) ^{ab}	57.14(4/7) ^{ab}	72.13(44/61) ^{ab}	95.24(40/42) ^a	21.05(4/19) ^{ab}
χ^2	1.660	2.385	1.642	1.735	3.416
P	0.032	0.002	0.038	0.048	0.001

注:与纤维示踪成像比较^a $P < 0.05$;与 FA 和 ADC 比较^b $P < 0.05$ 。

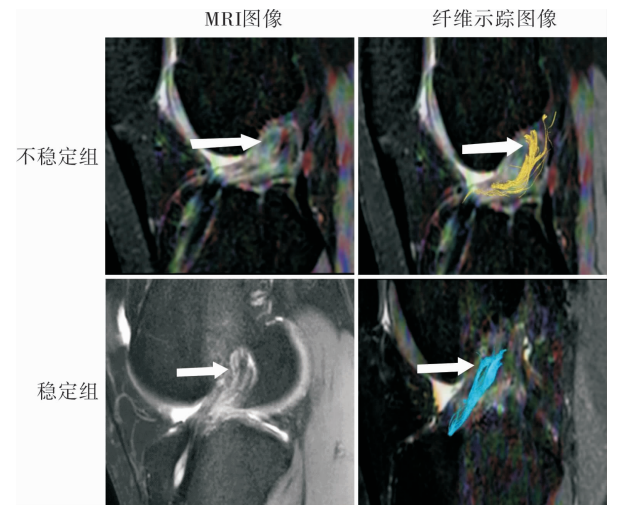
2.3 前交叉韧带损伤Ⅲ、Ⅳ级患者术前和术后不同时间点 FA、ADC 比较 结果见表 3。前交叉韧带损伤Ⅲ、Ⅳ级患者重建术后 1 周、3 个月的 FA 均高于重建术前,ADC 均低于重建术前,差异有统计学意义($P < 0.05$);前交叉韧带损伤Ⅲ、Ⅳ级患者重建术后 1 周与 3 个月的 FA 比较差异无统计学意义

纤维示踪成像与 FA 和 ADC 的阳性预测值比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。MRI 的灵敏度、特异度、准确度、阴性预测值低于 FA 和 ADC,差异有统计学意义($P < 0.05$);MRI 与 FA 和 ADC 的阳性预测值比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。

表 1 2 组患者术后 1 周 FA 和 ADC 比较

Tab.1 Comparison of the FA and ADC at one week after operation of patients between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	<i>n</i>	FA	ADC
稳定组	54	0.545 ± 0.042	2.259 ± 0.240
不稳定组	7	0.536 ± 0.041	2.264 ± 0.225
<i>t</i>		1.356	1.413
<i>P</i>		0.350	0.472



白色箭头示前交叉韧带重建处。
图 1 术后 1 周稳定组和不稳定组患者 MRI 图像和纤维示踪图像

Fig.1 MRI and fiber tracer images at one week after operation of patients in the stable group and unstable group

($P > 0.05$);术后 3 个月时的 ADC 均低于术后 1 周,差异有统计学意义($P < 0.05$)。

重建术前,前交叉韧带损伤Ⅲ级患者 FA 高于Ⅳ级患者,ADC 低于Ⅳ级患者,差异均有统计学意义($P < 0.05$);重建术后 1 周、3 个月,前交叉韧带损伤Ⅲ级与Ⅳ级患者的 FA 和 ADC 比较差异均无统

计学意义($P>0.05$)。

表 3 前交叉韧带损伤不同分级患者不同时间点 FA、ADC 比较

Tab. 3 Comparison of FA and ADC values in patients with different grades of cruciate ligament injury at different time points

分级	n	FA	ADC($\times 10^{-3} \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
Ⅲ级	36		
术前		0.412 ± 0.044	2.740 ± 0.253
术后 1 周		0.543 ± 0.047 ^a	2.262 ± 0.210 ^a
术后 3 个月		0.545 ± 0.046 ^a	2.027 ± 0.230 ^{ab}
Ⅳ级	25		
术前		0.378 ± 0.041 ^c	2.844 ± 0.327 ^c
术后 1 周		0.540 ± 0.042 ^a	2.265 ± 0.223 ^a
术后 3 个月		0.541 ± 0.057 ^a	2.031 ± 0.356 ^{ab}

注:与术前比较^a $P<0.05$;与术后 1 周比较^b $P<0.05$;与Ⅲ级患者术前比较^c $P<0.05$ 。

3 讨论

异体肌腱或韧带和自体肌腱是膝关节前交叉韧带撕裂伤后重建术常用的移植物,国内外采用的重建材料主要是半腱肌肌腱或股薄肌肌腱^[7]。在前交叉韧带损伤重建术后,无论采用的是异体肌腱或韧带还是自体肌腱,移植物在重建过程中都要经历移植物组织结构缺血坏死期、血管化期、细胞增殖期、改建成熟期 4 个阶段的病理变化,最终被胶原纤维和成纤维细胞形成的韧带样结构所取代,完成移植物的“韧带化”过程^[8]。前交叉韧带是维持膝关节生物力学稳定性的重要结构,MRI 被越来越多地应用于前交叉韧带及其移植物的稳定性和重建效果评估中,但由于前交叉韧带重建术后要经历缺血坏死、血管化、纤维化的过程,此时 MRI 显示移植物的信号强度增高或者显示不清晰,不能准确地判断移植植物情况,待重建术 18 个月后韧带完成重构,MRI 才能较好地显示重建的韧带^[9]。

在韧带重建术后至完成重构的“空窗期”内,临床医师需要及时了解移植物情况,判断术后膝关节是否稳定,从而制定合理的康复计划。弥散张量成像可以探测韧带重建处水分子弥散运动速度及方向,采用 FA 和 ADC 可定量评估韧带修复情况,纤维示踪成像可以将重建术后韧带内相似弥散运动方向的水分子连接起来,模拟韧带内纤维的走行,探测纤维结构的变化。YANG 等^[10]在正常前交叉韧带及重建韧带上进行了纤维示踪成像,发现图像较清晰,说明纤维示踪成像可以准确地显示韧带及其重建物。VAN 等^[11]研究发现,纤维示踪成像用于显示重建术后的韧带具有较好的重复性和可靠性。本研究在重建术后 1 周对韧带移植物进行了纤维示踪成像,结果发现稳定组和不稳定组患者的 FA、ADC

比较差异均无统计学意义,说明在重建术后早期 FA 和 ADC 用于评估手术效果有较大的局限性;纤维示踪成像显示重建处纤维基本呈连续性,纤维数量丰富,稳定组患者重建处纤维走行及连续性较好,不稳定组患者重建处纤维走行迂曲或纤维杂乱。本研究还发现,纤维示踪成像评估前交叉韧带重建术后手术效果的效能优于 FA 和 ADC 及 MRI。

肌腱和韧带均主要是由 I 型胶原纤维构成,二者属于同态非同源结构。肌腱是通过肌肉将力量传递到骨,受力方向一致,肌腱的纤维方向也趋向一致;而韧带需要限制向多个方向的过度移位,纤维呈多方向排列,一部分前交叉韧带纤维纵向走行,另一部分呈螺旋状排列,主要是由于膝关节在屈曲伴胫骨内旋运动时内旋时韧带处于紧张状态,伸直位时韧带逐渐恢复松弛,因此,螺旋状排列的纤维束在膝关节运动中起重要作用^[12-13]。本研究中前交叉韧带Ⅲ、Ⅳ级损伤患者重建术后 1 周、3 个月的 FA 高于术前,ADC 低于术前,可能是手术后移植物的纤维方向趋向一致,使移植物内水分子的弥散运动强度逐渐降低导致的;而前交叉韧带损伤重建术后 1 周与 3 个月的 FA 比较差异无统计学意义,可能与重建术后移植物的肌腱纤维尚处于缺血坏死期的不稳定修复状态有关。

综上所述,弥散张量成像的 FA 和 ADC 可以反映前交叉韧带重建术后移植物情况,但不能用来评估重建术后早期膝关节的稳定性;纤维示踪成像在评估重建术后早期膝关节稳定性上有重要价值,可以为临床二次手术或早期康复治疗提供可靠信息。

参考文献:

[1] 叶英文,苏尚贤,谢海莲,等. 关节镜下应用自体腘绳肌腱重建前交叉韧带的临床分析[J]. 中华关节外科杂志,2013,7(3):350-353.

[2] 王志斌,马春忠,于明珠,等. 前交叉韧带损伤: MRI 征象相关性分析[J]. 临床放射学杂志,2017,36(10):1472-1476.

[3] VAN D P,VANHOENACKER F M,GIELEN J L,et al. Three tesla magnetic resonance imaging of the anterior cruciate ligament of the knee: can we differentiate complete from partial tears[J]. *Skeletal Radiol*,2011,40(6):701-707.

[4] 陈立勋,赵衡,李劲松,等. 健康人前交叉韧带的扩散张量成像及其与 MRI 的比较[J]. 中南大学学报(医学版),2013,38(6):610-616.

[5] YANG X,LI M,CHEN D,et al. Diffusion tensor imaging for anatomical and quantitative evaluation of the anterior cruciate ligament and ACL grafts: a preliminary study[J]. *J Comput Assist Tomogr*,2014,38(4):489-494.

[6] 高振辉. 磁共振 DTI、DTT 在脑胶质瘤诊断和分级中的应用与病理分级的相关性研究[J]. 中西医结合心脑血管病杂志,2018,16(1):98-101.

反应程度。SP-A 是肺表面重要的活性物质,主要由肺泡细胞合成分泌,其主要作用是维护肺泡结构和功能,CPA 患者肺泡毛细血管通透性增加,SP-A 通过毛细血管进入血液循环,使血液中 SP-A 水平升高,因此,SP-A 是反映肺损伤程度的重要指标。本研究结果显示,治疗后,C 组患者血清 LTB4、sIL-2R、SP-A、CysLTs、IL-6 水平显著低于 A 组和 B 组,C 组患者 CD3⁺、CD4⁺、CD4⁺/CD8⁺ 水平显著高于 A 组和 B 组;表明阿奇霉素、山莨菪碱和布地奈德联合治疗 CAP,可以有效抑制炎症反应,改善患者免疫功能,减轻肺损伤。

综上所述,阿奇霉素联合山莨菪碱和布地奈德可快速缓解 CAP 患者的临床症状,提高患者的免疫功能,抑制炎症反应,减轻肺损伤,改善肺功能。

参考文献:

[1] 叶树鸣. 痰热清注射液联合抗生素治疗社区获得性肺炎 96 例临床观察[J]. 中国医师杂志,2018,20(12):1872-1873.

[2] 柯礼业. 千金苇茎汤加减联合左氧氟沙星治疗社区获得性肺炎疗效分析[J]. 中医临床研究,2019,11(20):19-20.

[3] ARPINELLI F,CARAMORI G,MAGNONI M S. Risk of pneumonia during long term regular treatment of stable COPD with inhaled glucocorticoids;a systematic review[J]. *Recenti Prog Med*,2017,

108(4):175-182.

[4] 中华医学会呼吸病学分会. 中国成人社区获得性肺炎诊断和治疗指南(2016 年版)[J]. 中华结核和呼吸杂志,2016,39(4):253-279.

[5] 李霖玲,周树平,陈强,等. 头孢泊肟酯与头孢克肟对儿童社区获得性肺炎常见病原菌体外抗菌活性的比较[J]. 中华实用儿科临床杂志,2020,35(21):1633-1637.

[6] 徐娟,殷勇,赵丽霞,等. 上海儿童社区获得性肺炎致病菌分布及耐药性分析[J]. 中华实用儿科临床杂志,2018,33(16):1246-1250.

[7] 程元妹,熊惠萍,熊峰. 小剂量山莨菪碱辅助治疗小儿支气管肺炎的疗效[J]. 实用临床医学,2012,13(1):86-87.

[8] 赵汝勤. 阿奇霉素联合山莨菪碱治疗小儿支原体肺炎的临床疗效及对免疫功能的影响[J]. 实用中西医结合临床,2016,16(8):5-6,11.

[9] 郝凤秀,王洪琰,程军,等. 布地奈德联合盐酸氨溴索对幼儿支原体感染性肺炎治疗疗效及复发的影响[J]. 贵州医药,2018,42(6):711-713.

[10] 张少雨,吕良,刘秀兰,等. 血清白三烯 B4 和降钙素原在儿童肺炎病原诊断和危重度判定中的意义[J]. 中华急诊医学杂志,2019,28(1):96-100.

[11] 郭清,韩登高. 肺痈宁方辅助治疗对肺炎支原体肺炎患儿早期血清中 sIL-2R、IL-6 与外周血单个核细胞 SOCS3 表达的影响[J]. 中药材,2016,39(7):1664-1666.

(本文编辑:徐自超)

(上接第 1176 页)

[7] 陈斌,曾昭池,阳波,等. 自体移植物和异体移植物在膝关节前后交叉韧带重建术中的应用效果对比[J]. 中国医学前沿杂志,2016,8(10):60-63.

[8] NTOULIA A,PAPADOPOULOU F,RISTANIS S,et al. Revascularization process of the bone-patellar tendon-bone autograft evaluated by contrast-enhanced magnetic resonance imaging 6 and 12 months after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Am J Sports Med*,2011,39(7):1478-1486.

[9] 杨献峰,李茗,陈东阳,等. MR 扩散张量成像评估前交叉韧带重建术后移植物的可行性[J]. 中华放射学杂志,2015,49(3):228-230.

[10] YANG X,CHEN D,LI M,et al. Diffusion tensor imaging of the

anterior cruciate ligament graft after reconstruction; repeatability and diffusion tensor imaging metrics[J]. *J Comput Assist Tomo*, 2015,39(2):244-249.

[11] VAN D,FROELING M,DE S,et al. Diffusion tensor imaging of the anterior cruciate ligament graft[J]. *JMRI*,2017,46(5):1423-1432.

[12] 常利,胡文清,张仲,等. 自体跟腱重建与聚乙烯对苯二酸酯人工韧带重建前交叉韧带在骨隧道内愈合情况的比较[J]. 广东医学,2017,38(18):2755-2759.

[13] 徐丛,陈永良,吕永明,等. ACL 断裂单束解剖重建及胫骨隧道扩大的临床研究[J]. 中国临床解剖学杂志,2016,34(5):572-576.

(本文编辑:孟 月)