

扩散张量成像对 2 型糖尿病患者小腿肌肉扩散特征的定量评价

付云雷¹ 管士明² 祁卉卉² 顾静² 李薇¹ 张迨阳¹

¹南京医科大学附属无锡第二医院影像科 214002; ²华东疗养院内科, 江苏省无锡市 214042

通信作者: 顾静, Email: g950324@163.com; 李薇, Email: wxlw0101@hotmail.com

【摘要】 **目的** 探讨扩散张量成像(DTI)对无外周缺血表现的 2 型糖尿病(T2DM)患者小腿肌肉早期改变的定量分析价值。**方法** 前瞻性收集 2018 年 9 月至 2019 年 3 月间南京医科大学附属无锡第二医院的无外周缺血表现的 20 例男性 T2DM 患者(年龄 45~64 岁)和 20 名匹配的男性健康志愿者(年龄 46~62 岁)作为健康对照,所有受试者均进行双下肢 DTI。测量两侧腓肠肌内侧头(GM)、腓肠肌外侧头(GL)、胫骨前肌(TA)、比目鱼肌(SOL)的各向异性分数(FA)、表观扩散系数(ADC)及 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 值;分析 FA、ADC 与体质指数(BMI)、空腹血糖(FBG)、糖化血红蛋白(HbA1c)、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)及总胆固醇(TG)的相关性。采用两独立样本 *t* 检验及 Pearson 相关分析数据。**结果** T2DM 组 TA、SOL 的 ADC 高于对照组[TA:(1.77 ± 0.15)与(1.66 ± 0.11) $\times 10^{-3}$ mm²/s, SOL:(1.83 ± 0.10)与(1.75 ± 0.16) $\times 10^{-3}$ mm²/s], T2DM 组 TA 的 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 [(2.30 ± 0.21)、(1.63 ± 0.17)、(1.38 ± 0.13) $\times 10^{-3}$ mm²/s] 高于对照组[(2.17 ± 0.12)、(1.51 ± 0.13)、(1.31 ± 0.12) $\times 10^{-3}$ mm²/s], SOL 的 λ_2 、 λ_3 [(1.74 ± 0.11)、(1.53 ± 0.12) $\times 10^{-3}$ mm²/s] 也高于对照组[(1.64 ± 0.18)、(1.44 ± 0.15) $\times 10^{-3}$ mm²/s], 差异均有统计学意义(*t* 值: 2.65~3.91, 均 $P < 0.05$)。T2DM 组 FA、ADC 与 BMI、FBG、HbA1c、HDL、LDL 及 TG 均无相关性(*r* 值: -0.15~0.08, 均 $P > 0.05$)。**结论** DTI 的定量参数特别是 ADC 能灵敏发现无外周缺血表现的 T2DM 患者小腿肌肉微结构改变; TA、SOL 对 T2DM 相关微结构变化的扩散灵敏度高。

【关键词】 糖尿病, 2 型; 弥散张量成像; 肌; 腿

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20191022-00228

Quantitative evaluation of the diffusion characteristics of calf muscles in type 2 diabetic mellitus patients by diffusion tensor imaging

Fu Yunlei¹, Guan Shiming², Qi Huihui², Gu Jing², Li Wei¹, Zhang Zhuiyang¹

¹Department of Radiology, Wuxi Second Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Wuxi 214002, China; ²Department of Medicine, Huadong Sanatorium, Wuxi 214042, China

Corresponding authors: Gu Jing, Email: g950324@163.com; Li Wei, Email: wxlw0101@hotmail.com

【Abstract】 **Objective** To explore the quantitative analysis value of diffusion tensor imaging (DTI) for early changes of calf muscle in type 2 diabetes mellitus (T2DM) patients without peripheral ischemia. **Methods** From September 2018 to March 2019, 20 male T2DM patients (age: 45–64 years) without peripheral ischemia and 20 matched male healthy controls (age: 46–62 years) who performed lower limb DTI in Wuxi Second Hospital Affiliated to Nanjing Medical University were prospectively analyzed. Fractional anisotropy (FA), apparent diffusion coefficient (ADC) and λ_1 , λ_2 , λ_3 values of medial head of gastrocnemius (GM), lateral head of gastrocnemius (GL), tibialis anterior (TA) and soleus muscles (SOL) were measured respectively. The differences of DTI diffusion characteristics between 2 groups were compared by using independent-sample *t* test, and the correlation between FA, ADC and body mass index (BMI), fasting blood glucose (FBG), hemoglobin A 1c (HbA1c), high density lipoprotein (HDL), low density lipoprotein (LDL) and triglyceride (TG) were analyzed by Pearson correlation analysis. **Results** The ADC of TA and SOL in T2DM group ((1.77 ± 0.15) and (1.83 ± 0.10) $\times 10^{-3}$ mm²/s) was higher than that in control group ((1.66 ± 0.11) and (1.75 ± 0.16) $\times 10^{-3}$ mm²/s); λ_1 , λ_2 , and λ_3 of TA in the T2DM group ((2.30 ± 0.21), (1.63 ± 0.17) and (1.38 ± 0.13) $\times 10^{-3}$ mm²/s) were higher than those in control group ((2.17 ± 0.12), (1.51 ± 0.13) and (1.31 ± 0.12) $\times 10^{-3}$ mm²/s); λ_2 and λ_3 of SOL were also higher than those in control group ((1.74 ± 0.11) vs (1.64 ± 0.18) $\times 10^{-3}$ mm²/s and (1.53 ± 0.12) vs (1.44 ± 0.15) $\times 10^{-3}$ mm²/s; *t* values: 2.65–3.91, all $P < 0.05$). There were no significant correlations between FA, ADC and BMI, FBG, HbA1c, HDL, LDL and TG (*r* values: from -0.15 to 0.08, all $P > 0.05$). **Conclusions** Quantita-

tive parameters of DTI, especially ADC, can sensitively detect the microstructural changes of calf muscle in T2DM patients without peripheral ischemia. TA and SOL have high sensitivity to the diffusion of T2DM-related microstructural changes.

【Key words】 Diabetes mellitus, type 2; Diffusion tensor imaging; Muscles; Leg

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20191022-00228

MR 扩散张量成像 (diffusion tensor imaging, DTI) 通过测量水分子在组织内各向异性程度, 提供了一种基于分子水平的、活体内无创探测组织微结构改变的方法, 临床上广泛用于中枢神经系统疾病的研究^[1]。近年有学者将这种方法用于骨骼肌的定量研究^[2-4]。目前, DTI 在糖尿病肌肉改变方面的应用较少。本研究拟探讨 DTI 对缺乏外周缺血表现的 2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 患者下肢肌肉定量分析的应用价值。

资料与方法

1. 一般资料。以 2018 年 9 月至 2019 年 3 月间南京医科大学附属无锡第二医院内分泌科治疗的 T2DM 患者为研究对象进行前瞻性研究, 所有患者均符合 1999 年的 WHO 糖尿病诊断标准^[5]。排除标准: 下肢血管超声提示外周血管病变者; 踝-肱指数 < 0.9 者; 下肢外伤或手术史者; 糖尿病足者、合并高血压者; 职业运动员; MRI 检查禁忌者。

共 20 例 T2DM 患者入组, 均为男性, 年龄 45 ~ 64 岁, 病程为 2 ~ 12 (8.7 ± 6.4) 年。同时按相同排除标准选择性别、年龄匹配的 20 名健康志愿者 (均为男性, 年龄 46 ~ 62 岁) 作为对照。2 组受试者均常规检测体质指数 (body mass index, BMI)、空腹血糖 (fasting blood glucose, FBG)、糖化血红蛋白 (hemoglobin A1c, HbA1c)、高密度脂蛋白 (high density lipoprotein, HDL)、低密度脂蛋白 (low density lipoprotein, LDL) 和总胆固醇 (triglyceride, TG)。要求所有受试者检查开始前 2 d 内避免剧烈下肢运动。本研究获得本院伦理委员会批准 (批准号: 2019w-8), 所有受试者均被告知检查方法并签署知情同意书。

2. MR 检查方法。成像设备为 Magnetom Trio 3.0 T MR 扫描仪 (德国 Siemens 公司), 采用 18 通道体部表面线圈, 患者取仰卧位于小腿自然放松状态下行图像采集。DTI 采用轴位采集, 重复时间 (repetition time, TR) 3 900 ms, 回波时间 (echo time, TE) 68 ms, 采用并行采集, 20 个梯度编码方向, $b=400 \text{ s/mm}^2$, 层厚 5 mm, 层间隔 0 mm, 采集 30 层, 视野 (field of view, FOV) 350 mm × 350 mm, 矩阵 130 × 130, 总采集时间 5 min 29 s。采用 T_1 -mprage-tra_p2_iso 序列采集 T_1 加权成像 (weighted imaging,

WI) 轴位图像用于定位: TR 2 200 ms, TE 2.45 ms, 层厚 1 mm, 层间距 0 mm, FOV 350 mm × 350 mm, 矩阵 256 × 256, 采集时间 3 min 4 s。

3. 图像处理与分析。DTI 原始数据导入 NEURO 三维软件 (德国 Siemens 公司 VE40B), 生成扩散部分各向异性分数 (fractional anisotropy, FA) 图、表观扩散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 图和 3 个扩散特征图 (λ_1 图、 λ_2 图、 λ_3 图), 然后将其叠加在 T_1 WI 图像上。以小腿最大截面图层作为测量中心平面, 结合纤维追踪图 (fiber tracking or tractography, FT), 分别测量腓肠肌内侧头 (medial head of gastrocnemius, GM)、腓肠肌外侧头 (lateral head of gastrocnemius, GL)、胫骨前肌 (tibialis anterior, TA)、比目鱼肌 (soleus, SOL) 的 FA、ADC 及 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 (图 1)。勾画感兴趣区 (region of interest, ROI), 大小为 2 个像素, ROI 的放置尽量避开脂肪浸润区和伪影区, 由经过培训的 2 名医师独立测量, 每块肌肉重复测量 3 次。将 2 名测量者所获得各组数据分别取均值, 获得每位受试者 GM、GL、TA、SOL 的 DTI 定量参数。

4. 统计学处理。使用 IBM SPSS 20.0 软件处理数据, 符合正态分布的定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用两独立样本 t 检验比较 T2DM 组和对照组的临床一般资料和扩散特征; 采用单因素方差分析比较 4 组肌肉间的扩散特征 (两两比较行最小显著差异 t 检验); 采用 $Kappa$ 分析评价测量者间观察结果的一致性; 采用 Pearson 相关分析 T2DM 组 BMI、FBG、HbA1c、HDL、LDL 及 TG 与 FA、ADC 的相关性。 $P < 0.05$ 为差异或相关性有统计学意义。

结 果

1. 2 组受试者一般资料的比较 (表 1)。与对照组相比, T2DM 组的 FBG、HbA1c 明显升高, 差异有统计学意义 (t 值: 13.79 和 12.10, 均 $P < 0.01$); 余指标差异均无统计学意义 (t 值: 0.68 ~ 1.97, 均 $P > 0.05$)。

2. 2 名测量者测量结果及一致性。2 名测量者测量的 GM、GL、TA、SOL 的 FA、ADC、 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 差异均无统计学意义 (t 值: -0.540 ~ 1.780, 均 $P > 0.05$), FA 测量的一致性中等 ($Kappa$ 值: 0.55 ~ 0.69), ADC ($Kappa$ 值: 0.79 ~ 0.91)、 λ_1 ($Kappa$ 值: 0.77 ~ 0.85)、

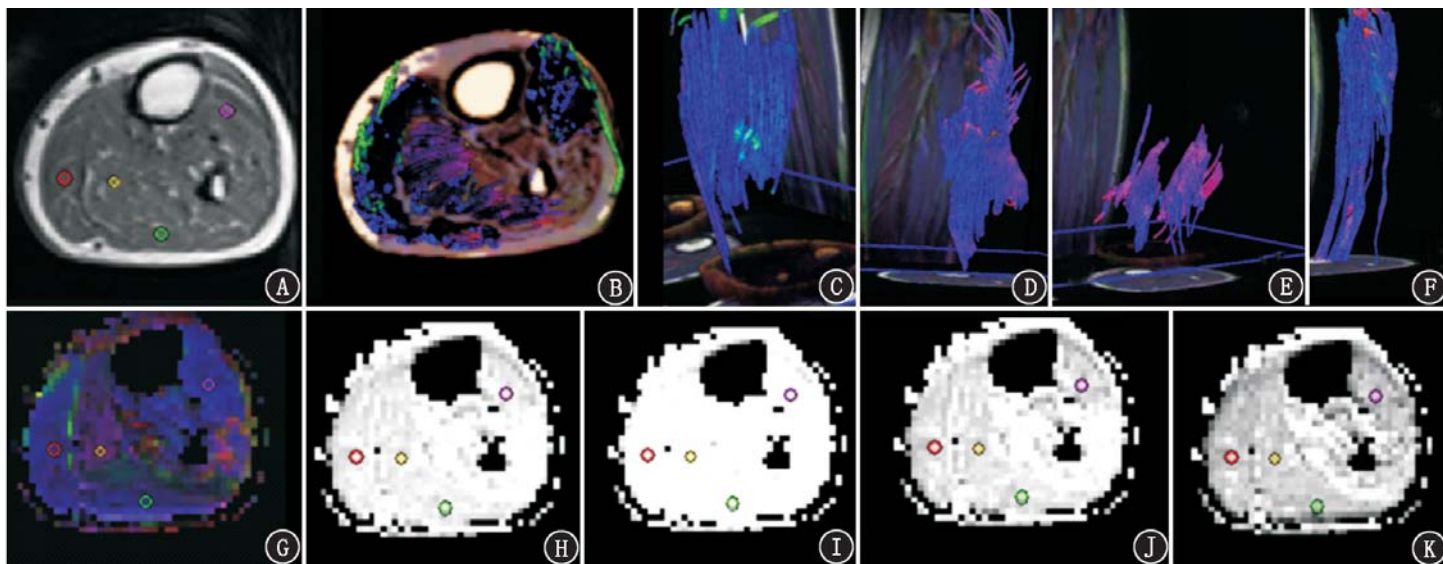


图 1 2 型糖尿病患者 (男, 45 岁) 右侧小腿 MR 扩散张量成像 (DTI) 图。A. T₁ 加权成像 (WI) 轴位解剖图, 红色、绿色、黄色、紫色的感兴趣区分别放置于腓肠肌内侧头 (GM)、腓肠肌外侧头 (GL)、比目鱼肌 (SOL)、胫骨前肌 (TA); B. GM、GL、SOL、TA 的轴位彩色纤维追踪图; C~F. 分别为 GM、GL、SOL、TA 的彩色纤维追踪图, 红色编码表示主要特征向量是左右方向行走, 绿色编码表示前后方向行走, 蓝色编码表示上下方向行走; G~K. 分别为各向异性分数 (FA) 彩色编码图、表观扩散系数 (ADC) 图、 λ_1 图、 λ_2 图、 λ_3 图

λ_2 (Kappa 值: 0.76~0.89)、 λ_3 (Kappa 值: 0.78~0.92) 测量的一致性较好。T2DM 组和对照组左右两侧 GM、GL、TA、SOL 的 FA、ADC、 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 值差异无统计学意义 (t 值: -1.067~1.040, 均 $P>0.05$), 因此把左右两侧测量值进行平均后行下一步分析。

3. 2 组受试者小腿肌肉扩散特征比较。T2DM 组与对照组不同部位小腿肌肉扩散特征数据见表 2。T2DM 组的 GM、GL、TA、SOL 的 FA ($F=26.68$)、ADC ($F=2.99$)、 λ_1 ($F=4.76$)、 λ_2 ($F=2.76$)、 λ_3 ($F=9.58$) 差异均有统计学意义 (均 $P<0.05$)。对照组的 GM、GL、TA、SOL 的 FA ($F=14.97$)、ADC ($F=6.33$)、 λ_1 ($F=5.23$)、 λ_2 ($F=10.14$)、 λ_3 ($F=4.93$) 差异亦均有统计学意义 (均 $P<0.01$)。多重比较显示, 对照组中 SOL 的 FA 最小, TA 的 ADC、 λ_2 、 λ_3 最小 (均 $P<0.01$)。T2DM 组 TA、SOL 的 ADC、 λ_2 、 λ_3 均高于对照组 (t 值: 2.65~3.91, 均 $P<0.05$), T2DM 组 TA λ_1 亦高于对照组 ($t=3.37, P<0.01$), 而 2 组间 GM、GL 的 ADC、 λ_2 、 λ_3 差异均无统计学意义 (t 值: -0.61~1.94, 均 $P>0.05$)。2 组间的 GM、GL、TA、SOL 的 FA 差异均无统计学意义 (t 值: -1.94~0.71, 均 $P>0.05$)。

相关分析结果表明, T2DM 组的 FA 和 ADC 与 BMI (r 值: -0.08 和 -0.06)、FBG (r 值: -0.01 和 0.00)、HbA1c (r 值: -0.07 和 -0.15)、HDL (r 值: -0.02 和 0.05)、LDL (r 值: -0.01 和 0.08) 及 TG (r 值: -0.01 和 0.04) 间相关性均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。

讨 论

利用弥散加权成像能测量水分子的随机运动,

由于组织微结构的阻碍, 各方向上的水分子扩散速度均不相同, 即为各向异性, 由此产生了 DTI。DTI 通过测量至少 6 个独立方向上的 ADC 来定量评价扩散方向各向异性^[3], 早期主要用于中枢神经系统疾病的研究, 目前研究已证实骨骼肌 DTI 可行^[2]。骨骼肌的各向异性是由于肌细胞膜的横向限制使得水分子在肌纤维中沿纵轴方向的扩散速度快于沿横轴方向的速度造成。本研究显示, 对照组 TA 的 ADC、 λ_2 、 λ_3 最小, 与 Galbún 等^[6]的研究一致; SOL 的 FA 最小, 与 Edalati 等^[7]的研究结果一致。Galbún 等^[6]报道了正常小腿肌肉的 FA 为 0.26~0.42, λ_1 为 $(2.0\sim2.5)\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, λ_2 为 $(1.4\sim1.8)\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, λ_3 为 $(0.8\sim1.3)\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 与本研究略有差异, 可能与采集参数 (如 b 值、梯度方向及层厚等) 的设置差异有关^[2,8]。本研究发现, T2DM 组的 ADC 较对照组升高, 与 Edalati 等^[7]的研究一致。ADC 反映水分子在细胞内、细胞外及跨细胞膜的扩散情况, 水分子运动越自由, ADC 就越高。在骨骼肌组织中, 由于细胞膜限制了水分子扩散, ADC 很大程度上反映的是细胞内的水分子扩散^[9]。T2DM 组 ADC 升高与微循环障碍有关, 局部微循环缺血使得肌细胞膜通透性增加、肌细胞肿胀, 细胞内水分增加; 当肌细胞发生破坏、胞质外渗, 可诱发一系列炎症反应, 毛细血管通透性增加, 细胞外水分增加。但 4 组肌肉中仅 TA、SOL 的 ADC 与对照组差异有统计学意义, 可能与肌纤维的类型有关。TA 以 II 型肌纤维为主, 主要参与无氧代谢, 其线粒体、毛细血管含量少, 耐受力差, 易疲劳。糖尿病骨骼肌变化可致肌

表 1 2 型糖尿病(T2DM)组和对照组受试者的一般资料比较($\bar{x}\pm s$)

级别	例数	年龄 (岁)	BMI (kg/m ²)	身高 (m)	体质量 (kg)	FBG (mmol/L)	HbA1c (%)	HDL (mmol/L)	LDL (mmol/L)	TG (mmol/L)
T2DM 组	20	60.1±7.1	24.36±2.07	1.69±0.06	69.2±6.4	7.30±0.75	7.15±1.36	1.34±0.21	2.91±0.47	4.64±0.62
对照组	20	57.8±4.9	23.57±1.60	1.67±0.07	66.2±8.6	4.59±0.41	4.84±0.36	1.27±0.15	2.64±0.35	4.32±0.57
<i>t</i> 值		1.67	1.33	0.68	1.23	13.79	12.10	1.24	1.97	1.70
<i>P</i> 值		0.10	0.19	0.50	0.23	<0.01	<0.01	0.22	0.06	0.10

注: BMI 为体质指数, FBG 为空腹血糖, HbA1c 为糖化血红蛋白, HDL 为高密度脂蛋白, LDL 为低密度脂蛋白, TG 为总胆固醇

表 2 T2DM 组($n=20$)和对照组($n=20$)不同部位小腿肌肉扩散特征的比较($\bar{x}\pm s$)

组别及肌肉部位	FA	ADC($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	λ_1 ($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	λ_2 ($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	λ_3 ($\times 10^{-3}$ mm ² /s)
对照组					
GM	0.24±0.03	1.78±0.23	2.23±0.23	1.72±0.24	1.40±0.20
GL	0.25±0.04	1.81±0.15	2.32±0.16	1.70±0.17	1.42±0.16
TA	0.27±0.03	1.66±0.11	2.17±0.12	1.51±0.13	1.31±0.12
SOL	0.22±0.04	1.75±0.16	2.17±0.19	1.64±0.18	1.44±0.15
T2DM 组					
GM	0.24±0.03	1.79±0.18	2.26±0.23	1.71±0.21	1.40±0.15
GL	0.25±0.03	1.86±0.15	2.38±0.16	1.72±0.18	1.48±0.13
TA	0.26±0.04	1.77±0.15	2.30±0.21	1.63±0.17	1.38±0.13
SOL	0.20±0.03	1.83±0.10	2.23±0.15	1.74±0.11	1.53±0.12

注: ADC 为表观扩散系数, FA 为各向异性分数(相对值, 无单位), GL 为腓肠肌外侧头, GM 为腓肠肌内侧头, SOL 为比目鱼肌, TA 为胫骨前肌, λ_1 、 λ_2 、 λ_3 为特征值

肉力量、肌肉质量及肌肉体积减少, 较健康人更易发生肌肉疲劳^[7]。当 TA 发生疲劳时, 肌内压升高造成局部微循环障碍, ADC 升高。SOL 以 I 型肌纤维为主, 微血管、肌红蛋白及线粒体含量丰富。有研究发现, 细胞内其他结构, 如线粒体、内质网、大蛋白分子以及肌纤维网格, 也是细胞内限制水分子扩散的因素^[10], 糖尿病可致毛细血管网密度减低, 线粒体肿胀、破坏, 细胞内外水分子扩散受限减轻, ADC 升高。GM、GL 的肌纤维介于 TA 和 SOL 肌纤维之间, 兼有两者纤维的特点, 与 TA 和 SOL 相比, 在糖尿病早期阶段对高血糖环境的耐受力高, 损伤程度轻, 可能是其 ADC 在 T2DM 组和对照组间差异无统计学意义的原因。因此, 本研究认为 TA、SOL 对 T2DM 相关微结构变化的扩散灵敏度高。

本研究中 T2DM 组 TA 的 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 及 SOL 的 λ_2 、 λ_3 较对照组明显增高, 由于肌纤维的长度远大于水分子的扩散距离, λ_1 的增加主要与细胞内水分增加有关; λ_2 的增加与炎性反应细胞浸润使得水分子穿过肌内膜和肌膜跨膜运动的增加有关; λ_3 的增加则与细胞肿胀有关。本研究选择的 4 组肌肉的 FA 在 T2DM 组与对照组中差异均无统计学意义, FA 能反映肌纤维的完整性及排列^[11], 本研究中 T2DM 患者无明显下肢缺血表现, 骨骼肌纤维损害程度较轻, 尽管发生了细胞肿胀及炎性浸润, 肌纤维

的完整性和排列尚未被明显破坏。随着病程延长, 肌纤维排列的方向性和顺序性被破坏, 可能出现 FA 明显降低。这与 Ai 等^[12]的研究一致, 他们发现多发性肌炎/皮肌炎导致的肌肉水肿与正常肌肉的 FA 差异无统计学意义。另外, 本研究 2 名测量者间对 FA 的测量一致性一般, 笔者认为 ADC 较 FA 更能灵敏地发现尚无外周缺血表现的 T2DM 患者小腿肌肉早期微结构改变。本研究未发现 T2DM 组 FA、ADC 与 BMI、FBG、HbA1c、HDL、LDL 及 TG 间有相关性, 可能是由于样本量较小。有研究发现女性 ADC 高于男性, 且老年女性脂肪浸润更明显, 对 FA 的测量有影响^[2,4], 故本研究选择男性作为研究对象。

目前, 临床上越来越重视糖尿病骨骼肌微循环障碍的早期诊断及治疗, 尽管有研究使用 CT 或 MRI 灌注评估下肢肌肉灌注^[13], 但含碘或钆类造影剂的肾毒性限制了其应用。¹⁸F-脱氧葡萄糖 PET 也被用于下肢肌肉代谢的定量分析研究^[14-15], 但价格等因素限制了其临床推广。本研究中 DTI 的定量参数, 特别是 ADC 能在水分子水平灵敏地检测无外周缺血表现的 T2DM 骨骼肌微结构变化, 间接反映微循环障碍, 对糖尿病并发症的早期诊断、病情评估、治疗策略和预后判断有重要意义。TA 和 SOL 对无外周缺血表现的 T2DM 骨骼肌微结构变化的扩散灵敏度高, 这可为以后研究选择肌肉时提供参考。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 邓德茂, 孟俊非. MR 扩散张量成像在骨骼肌肉系统中的研究进展[J]. 中华放射学杂志, 2009, 43(3): 334-336. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2009.03.035.
Deng DM, Meng QF. Advances of MR diffusion tensor imaging in musculoskeletal system[J]. Chin J Radiol, 2009, 43(3): 334-336. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2009.03.035.
- [2] Oudeman J, Nederveen AJ, Strijkers GJ, et al. Techniques and applications of skeletal muscle diffusion tensor imaging: a review [J]. J Magn Reson Imaging, 2016, 43(4): 773-788. DOI:10.1002/jmri.25016.
- [3] Zaraiskaya T, Kumbhare D, Noseworthy MD. Diffusion tensor imaging in evaluation of human skeletal muscle injury[J]. J Magn Reson Imaging, 2006, 24(2): 402-408. DOI:10.1002/jmri.20651.
- [4] Schlaffke L, Rehmann R, Froeling M, et al. Diffusion tensor imaging of the human calf: variation of inter- and intramuscle-specific diffusion parameters[J]. J Magn Reson Imaging, 2017, 46(4): 1137-1148. DOI:10.1002/jmri.25650.
- [5] 中华医学会糖尿病学分会. 最新 2 型糖尿病防治指南要点(三)(2011 年版)[J]. 健康指南, 2011(9): 12-14.
Chinese Diabetes Society. Key points of 2011 China guideline for prevention and treatment of type 2 diabetes (III) [J]. Health Guide, 2011(9): 12-14.
- [6] Galbún CJ, Maderwald S, Uffmann K, et al. Diffusive sensitivity to muscle architecture: a magnetic resonance diffusion tensor imaging study of the human calf[J]. Eur J Appl Physiol, 2004, 93(3): 253-262. DOI:10.1007/s00421-004-1186-2.
- [7] Edalati M, Hastings MK, Sorensen CJ, et al. Diffusion tensor imaging of the calf muscles in subjects with and without diabetes mellitus[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 49(5): 1285-1295. DOI:10.1002/jmri.26286.
- [8] Rockel C, Noseworthy MD. An exploration of diffusion tensor eigenvector variability within human calf muscles[J]. J Magn Reson Imaging, 2016, 43(1): 190-202. DOI:10.1002/jmri.24957.
- [9] 曾祥柱, 李选, 余若晖, 等. 兔骨骼肌缺血模型扩散张量成像研究[J]. 中华放射学杂志, 2010, 44(2): 207-212. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2010.02.024.
Zeng XZ, Li X, Yu RH, et al. Diffusion tensor imaging study of hind-limb ischemia model on rabbit[J]. Chin J Radiol, 2010, 44(2): 207-212. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2010.02.024.
- [10] Okamoto Y, Mori S, Kujiraoka Y, et al. Diffusion property differences of the lower leg musculature between athletes and non-athletes using 1.5T MRI [J]. MAGMA, 2012, 25(4): 277-284. DOI:10.1007/s10334-011-0294-3.
- [11] Li GD, Liang YY, Xu P, et al. Diffusion-tensor imaging of thigh muscles in duchenne muscular dystrophy: correlation of apparent diffusion coefficient and fractional anisotropy values with fatty infiltration [J]. AJR Am J Roentgenol, 2016, 206(4): 867-870. DOI:10.2214/AJR.15.15028.
- [12] Ai T, Yu K, Gao L, et al. Diffusion tensor imaging in evaluation of thigh muscles in patients with polymyositis and dermatomyositis [J]. Br J Radiol, 2014, 87(1043): 20140261. DOI:10.1259/bjr.20140261.
- [13] Benitez E, Sumpio BJ, Chin J, et al. Contemporary assessment of foot perfusion in patients with critical limb ischemia [J]. Semin Vasc Surg, 2014, 27(1): 3-15. DOI:10.1053/j.semvasc Surg.2014.12.001.
- [14] Kolk S, Klawer EM, Schepers J, et al. Muscle activity during walking measured using 3D MRI segmentations and [¹⁸F]-fluorodeoxyglucose in combination with positron emission tomography [J]. Med Sci Sports Exerc, 2015, 47(9): 1896-1905. DOI:10.1249/MSS.0000000000000607.
- [15] 王冬艳, 吴敏, 王跃涛, 等. ¹⁸F-FDG PET/CT 对皮肌炎肌肉炎性病变的评估价值 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2018, 38(8): 532-536. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.08.003.
Wang DY, Wu M, Wang YT, et al. Clinical value of ¹⁸F-FDG PET/CT in assessing muscular inflammation of dermatomyositis [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2018, 38(8): 532-536. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.08.003.

(收稿日期:2019-10-22)