

## 基于DCE-MRI图像TIC分析法的类风湿关节滑膜炎定量评估

毛瑾玲<sup>1</sup>, 朱中旗<sup>1</sup>, 李英豪<sup>1</sup>, 何东仪<sup>2</sup>, 姜婷<sup>2</sup>, 夏天<sup>1</sup>, 石洁<sup>2</sup>, 汪红志<sup>1</sup>

1. 华东师范大学物理与电子科学学院/上海市磁共振重点实验室, 上海 200062; 2. 上海市光华中西医结合医院医学影像科, 上海 200523

**【摘要】目的:** 为了提高对评估类风湿性关节炎(RA)的诊断敏感性, 对滑膜血管翳尤其是炎性血管翳的形状及数量进行量化评估和可视化呈现, 为临床指导用药提供可靠依据。**方法:** 对18例经临床病理确诊的RA患者行手腕关节DCE-MRI检查, 统一对第4个时相的增强图像进行感兴趣区域(ROI)勾画。采用Spearman相关性分析评价该病例的时间强度曲线(TIC)参数[早期增强率(MSI)、强化幅值差(MSD)、达峰时间、拟合曲线尾部切线斜率]之间的相关性并确定其独立特征。使用独立特征定义4型曲线(I型, 缓升型; II型, 速升速降型; III型, 速升平台型; IV型, 速升缓升型), 并计算出ROI内每个类型TIC所占容积, 再与RAMRIS评分结果进行比较确定相关性最强的TIC, 基于该曲线特征进行滑膜炎的定量分级和二维多切片彩色编码显示。**结果:** MSI与MSD存在显著的正相关, II型区域容积与RAMRIS评分具有极好的相关性( $r=0.812$ ), 即动态增强MRI图像中, TIC为速升速降型区域符合滑膜炎性血管翳类型。**结论:** TIC分析法方便医生精准地进行炎性血管翳的定量分析, 为RA患者疾病严重程度的诊断及用药治疗前后对比提供重要临床信息。

**【关键词】** 滑膜炎; 血管翳; 腕关节; 磁共振成像; TIC分析

**【中图分类号】** R312; O482.53

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1005-202X(2024)04-0426-07

## Quantitative evaluation of rheumatoid synovitis with TIC analysis of DCE-MRI image

MAO Jinling<sup>1</sup>, ZHU Zhongqi<sup>1</sup>, LI Yinghao<sup>1</sup>, HE Dongyi<sup>2</sup>, JIANG Ting<sup>2</sup>, XIA Tian<sup>1</sup>, SHI Jie<sup>2</sup>, WANG Hongzhi<sup>1</sup>

1. Shanghai Key Laboratory of Magnetic Resonance/School of Physics and Electronic Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Department of Medical Imaging, Shanghai Guanghua Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Shanghai 200523, China

**Abstract: Objective** To improve the diagnostic sensitivity to rheumatoid arthritis (RA) by quantitatively evaluating and visualizing the shape and quantity of synovial pannus, especially inflammatory pannus, thereby providing reliable evidence for clinical medication guidance. **Methods** The wrists of 18 patients with RA confirmed by clinicopathology were examined with dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI), and the region of interest was delineated for the 4th phase of the enhanced image. Spearman correlation analysis was used to evaluate the correlations of time-intensity curves (TIC) parameters, including early enhancement rate (MSI), enhancement amplitude difference (MSD), time to peak, tangent slope of fitted curve tail, and determine the independent feature which was then used to define the type of curves (type I, slow enhancement; type II, fast enhancement followed by washout phase; type III, fast enhancement followed by plateau phase; type IV, fast enhancement followed by slow enhancement increase). The volume of each type of TIC in ROI was calculated, and then compared with RAMRIS score for determining the TIC with the strongest correlation. Based on the characteristics of the selected curve, the quantitative classification of synovitis and two-dimensional multi-section color coding were carried out. **Results** MSI had significant positive correlation with MSD, and the volume of type II TIC was correlated with RAMRIS score ( $r=0.812$ ), indicating that in DCE-MRI image, the volume of type II TIC was consistent with the type of synovitis pannus. **Conclusion** Statistical analysis of TIC is convenient for doctors to accurately and quantitatively analyze inflammatory pannus, providing important clinical information for diagnosis of disease severity and comparison before and after drug treatment in patients with RA.

**Keywords:** synovitis; pannus; wrist joint; magnetic resonance imaging; time-intensity curve analysis

**【收稿日期】** 2023-11-21

**【基金项目】** 国家自然科学基金(61731009); 上海中医药大学预算内项目(2020LK085)

**【作者简介】** 毛瑾玲, 硕士在读, 研究方向: 核磁共振理论与方法学、成像技术及应用, E-mail: 15708563483@163.com

**【通信作者】** 石洁, 副主任医师, 研究方向: 医学影像诊断、成像技术及应用, E-mail: Ghyfysk@163.com; 汪红志, 副教授, 研究方向: 核磁共振理论与方法学、成像技术及应用、生物电磁学, E-mail: hzwang@phy.ecnu.edu.cn

## 前言

类风湿性关节炎(Rheumatoid Arthritis, RA)是一种以滑膜炎为特征的主要累及外周关节的慢性疾病,任何年龄段均存在发病风险,早期临床表现为受累关节疼痛肿胀,持续进展,反复发作<sup>[1]</sup>。治疗不及时则导致关节软骨破坏、骨侵蚀、关节间隙狭窄,甚至消失形成关节强直而致残<sup>[2]</sup>。晚期滑膜炎可以形成许多血管翳,突向关节腔内或侵入到软骨或软骨下骨质,是造成关节破坏、关节畸形、功能障碍的病理基础<sup>[3]</sup>。磁共振成像(MRI)是一种非侵入性的医学成像技术<sup>[4]</sup>,具有较高的软组织对比度和空间分辨率,其多方位、多参数扫描可清晰显示手部和腕部的各种正常结构和滑膜炎增生、RA早期血管翳形成等病理变化,是评估炎症性病变最敏感的成像方式<sup>[5-8]</sup>。动态对比增强扫描(Dynamic Contrast Enhanced MRI, DCE-MRI)是一种基于MRI技术的成像方法,通过在静脉注射对比剂期间和之后每隔几秒快速连续获取序列图像<sup>[9-10]</sup>。它可以根据关节损伤程度仔细观察滑膜血管翳等炎症病变的增强过程和特点,绘制动态增强曲线,直观看病理种类并在此基础上观察RA的活动状态,对于预测病变的发展趋势具有重要意义和临床应用价值<sup>[11]</sup>。因此,动态增强在判断RA疾病进程具有较高价值<sup>[2,12-14]</sup>。

依据RA滑膜炎活动性程度或血管化程度可分为炎性血管翳、混合性血管翳和纤维性血管翳<sup>[3]</sup>。滑膜血管翳的MRI信号和强化程度与内部血管化和纤维化程度密切相关,孟俊等<sup>[15]</sup>调查RA的MRI研究进展表明炎性血管翳的强化曲线呈速升速降型,混合性血管翳的强化曲线呈速升缓降型,纤维性血管翳的强化曲线呈缓升缓降型。Lavini等<sup>[16]</sup>自定义7种类型的TIC形状曲线分析动态增强的骨骼肌肉系统。Van De Sande等<sup>[17-18]</sup>将时间强度曲线(Time-Intensity Curve, TIC)分析的方法用于对早期关节滑膜炎进行分析表明速升速降型的TIC与RA相关,TIC形状分析可作为早期关节炎诊断工具的前景以及破坏性疾病发展关系的基本原理。Sakashita等<sup>[19]</sup>进一步使用TIC形状曲线评估滑膜炎,此研究表明速升速降型的TIC与滑膜炎评分有极好的相关性( $r=0.809$ )。

炎性血管翳的形态及数量与疾病活动的严重程度有关,对其进行量化有助于评估RA患者严重程度及后续治疗。目前已建立了国际类风湿磁共振评分系统(OMERACT RAMRIS)对RA活动度进行评价,通常可作为评价RA疾病严重程度的金标准<sup>[20-21]</sup>。但该标准只能通过滑膜炎评分对病例进行一个整体严重性评估,无法具体到关节内部血管翳的形态、分布

及数量的占比。本文基于DCE-MRI像素级分析对滑膜炎炎症进行研究,基于半定量的独立特征创建一种TIC分类方法,分析类风湿关节炎患者滑膜组织中不同TIC形状的分布,并对每一类型的TIC容积进行计算,与RAMRIS评分比较其相关性。结果显示速升速降型TIC形状的容积与RAMRIS评分有显著相关性,可用速升速降型像素区域表示滑膜炎性血管翳区域,并将这一区域进行可视化呈现。

## 1 资料与方法

### 1.1 临床资料

本文为回顾性研究,收集上海市光华中西医结合医院20例有腕或指关节的RA患者,去掉2例图像质量差的病例,实际参与研究病例18例。所有病例的诊断均符合2009年ACR/EULAR最新发布的RA分类标准和评分系统标准<sup>[22]</sup>。其中,男1例,女17例;年龄19~65岁,平均 $(48.7\pm13.3)$ 岁。

### 1.2 检查方法

采集图像所用设备是Siemens Avanto 1.5T MRI扫描仪及关节专用线圈,扫描时患者取仰卧位,被检单侧手腕下垂放于身体一侧并将被检手腕放置于腕关节8通道正交线圈内,使手腕的冠状位与检查床面垂直。被检者尽量身体偏向检查床一侧,使腕关节线圈位于磁场中心。选择滑膜病变显著的层面行动态增强扫描。所用增强序列为t1\_vibe\_spair\_cor\_dynamic,对比剂选用钆喷酸葡胺注射液(Gd-DTPA),剂量0.1 mmol/kg,采用高压注射器经患者前臂肘静脉以团注形式注入(注射速度约3 mL/s)。在注入对比剂同时进行无间隔扫描,取得注入对比剂后7个时相的动态增强图像,每个时相有12层,相应的参数为回波时间TE:4.76 s,重复时间TR:11.7 s,层厚:3.0 mm,采样频率:1.5 Hz,成像频率:63.68 MHz,回波链长度:1,翻转角:12°,图像尺寸为:640×640,视野FOV:170 mm×170 mm。对比剂注射完毕后以相同流速注射20 mL生理盐水。

### 1.3 数据分析

**1.3.1 RAMRIS评分标准** 数据采集的同时进行滑膜炎严重程度评分,由两名经验丰富的放射科医师采取目前国内外通用的类风湿评分系统RAMRIS<sup>[21,23-24]</sup>进行。对18例患者的腕关节和掌指关节进行分析,其中腕关节评价部位包括远端尺桡关节、桡腕关节、腕间关节及5个腕掌关节总共8个关节,由于一些病例的指尖关节不在视野范围内且未完全识别,指尖关节未进行评估。根据滑膜强化程度,每个关节的评分范围从0分(正常)到3分(严重)。0分为正常,

1~3分(轻度、中度、重度)为滑膜腔内增强组织的最大体积增加了三分之一,总分为24分,病例评分细节如表1所示,分别对腕关节和掌指关节进行评分,两者的总和即为该病例滑膜炎总分。

表1 病例RAMRIS评分表  
Table 1 RAMRIS scores

病例影像号	检查日期	性别	年龄/岁	腕关节评分/分	掌指关节评分/分	RAMRIS评分/分
121661	2017/12/1	女	19	3	2	5
121661	2018/5/18	女	20	2	0	2
260523	2018/4/13	女	47	5	2	7
269355	2018/5/15	女	64	6	0	6
271487	2018/4/13	女	60	3	3	6
306134	2019/4/12	女	65	2	2	4
270734	2018/4/3	女	35	5	5	10
271455	2017/10/27	女	53	5	3	8
274737	2017/12/7	男	55	6	6	12
271144	2017/10/24	女	47	7	4	11
271144	2018/4/10	女	48	7	3	10
271487	2017/10/27	女	60	6	5	11
272646	2018/4/27	女	51	5	6	11
272832	2018/4/27	女	55	7	2	9
275245	2018/5/31	女	37	9	10	19
272002	2017/11/1	女	58	7	1	8
271832	2017/11/10	女	54	8	2	10
273155	2017/11/8	女	50	6	8	14

**1.3.2 感兴趣区域(ROI)的勾画** 由经验丰富的放射科医师统一对所有病例的第4个时相增强图像的滑膜区域进行勾画,因为第4个时相图像的增强信号基本已达峰值,勾画时需避开骨头、血管等其它组织。本文使用 itk-snap 软件进行ROI勾画,勾画文件保存为nii格式。

**1.3.3 TIC 曲线参数计算** 将病例增强 DICOM 图像导入本课题组开发软件 mri\_seresis\_main,对 ROI 内像素生成 TIC,所显示的曲线主要可以归为I、II、III、IV共4种类型,如图1所示。使用 Python 3.6 对图像转为数据矩阵进行像素级处理,其中实验运行环境为 GeForce GTX 1660Ti GPU,操作系统为 Ubuntu 20.04。逐一对照病例ROI内像素点的特征参数如早期增强率(MSI)、强化幅值差(MSD)、达峰时间(TTP)、拟合曲线尾部切线斜率(RelFS)等进行计算,见图2。其中各参数的定义为:

$$MSI = (S_{80} - S_0) / t \tag{1}$$
$$MSD = S_{max} - S_{min} \tag{2}$$

RelFS =  $\beta$  / MSD (3)

TTP为增强信号达到最大值的时间点;式(1)中  $S_{80}$  为增强后第80秒病灶的信号强度;  $S_0$  为增强前病灶的信号强度,  $t$  为增强时间;式(2)中  $S_{max}$  是信号强度的最大值,  $S_{min}$  是信号强度的最小值;本文用曲线后4个时相的点来拟合其尾部的走势,式(3)中  $\beta$  表示该尾部切线的斜率,是为了描述曲线在扫描最后的部分是平稳、速降还是上升的,除以 MSD 得到 RelFS 为曲线的绝对斜率而不是相对斜率。

1.4 分类特征

各特征之间的相关性分析结果如表2所示,其中 MSI 与 MSD 存在强相关性( $r=0.886, P<0.01$ ), MSD 与 TTP 相关性较差, TTP 与 RelFS 相关性一般, MSI 与 TTP、RelFS 相关性较差,因 MSD 和 RelFS 从公式表达看本身为反比例关系,所以不对其进行相关性研究。

1.5 TIC 分析

不同曲线类别由表3中的特征定义。由于 MSI 与

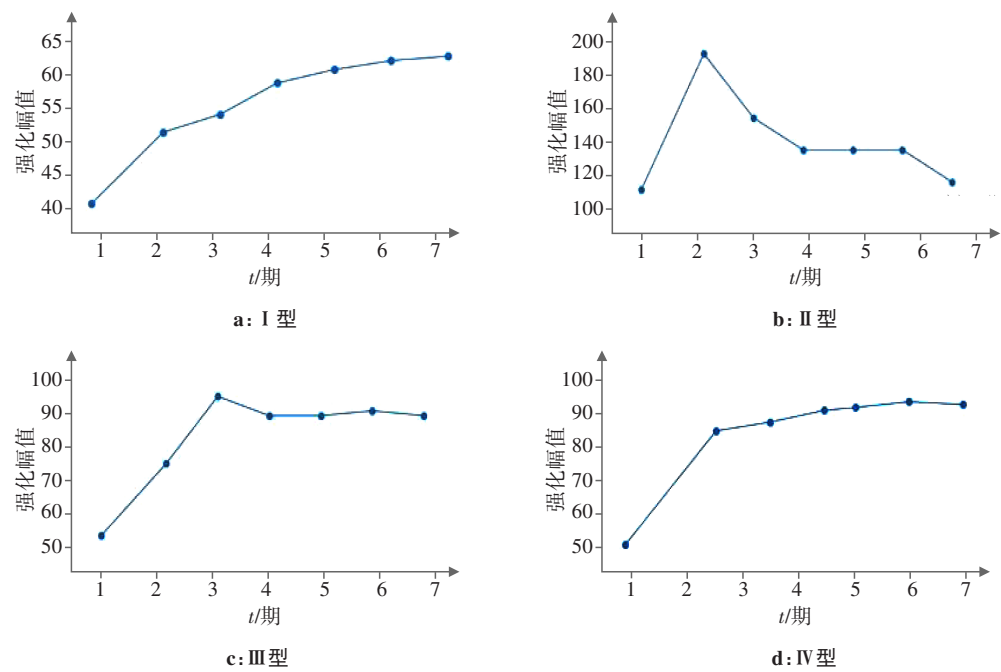


图1 曲线示例图

Figure 1 Examples of different types of curves

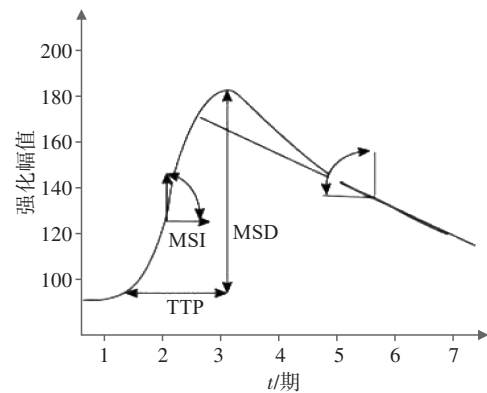


图2 特征参数定义图

Figure 2 Feature parameter definition

表2 各参数特征之间的相关性分析

Table 2 Correlation analysis among parameters

组别	r 值	P 值
MSI vs MSD	0.886	<0.01
MSI vs TTP	-0.002	<0.01
MSI vs RelFS	-0.095	<0.01
MSD vs TTP	0.212	<0.01
TTP vs RelFS	0.577	<0.01

MSD存在显著的正相关,可将其看作一个独立特征,本文这里取MSI,其它类型参数均无明显相关性,将其分别用作独立的特征,将TIC定义为以下4个类型:I型(缓

升型),信号强度逐渐增加,曲线缓慢增加至稳定;II型(速升速降型),上升期信号强度明显增加,达到峰值后曲线呈下降趋势;III型(速升平台型),信号强度在上升期明显且迅速增加,达到峰值后曲线基本保持稳定;IV型(速升缓升型),在上升期前信号强度明显增加,达到峰值后曲线仍缓慢上升。TIC分类图见图3。

表3 特征分类表

Table 3 Feature classification

类型	MSI	TTP	RelFS
I型	<0.1	≥4	>-0.150
II型	>0.1	2≤TTP≤4	<-0.015
III型	>0.1	≥2	-0.015<RelFS<0.015
IV型	>0.1	≥4	>-0.150

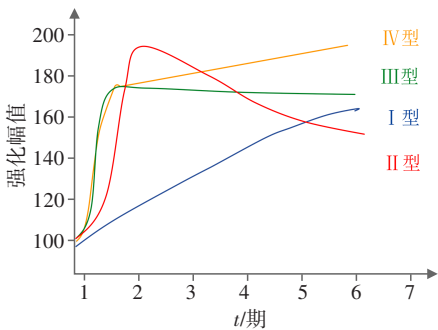


图3 TIC分类图

Figure 3 TIC classification



1.6 关于分类阈值的选取

ROI中不同像素点的曲线类型对应上述4个类型中的某一型,不同类型的曲线所对应的独立特征的阈值选择见表3。MSI阈值最初是根据其灰度直方图来进行设定,如图4所示,然后经过一些测试调整最终确定为表3中的数值,由图4也可以知道本文所研究的18例病例中,所有ROI内像素点的MSI几乎都在1以内;TTP阈值的选择是根据曲线形状来进行设定;RelFS阈值的选择在某种程度上是任意的,经过调整和后续的相关性分析表明取表3中的值是非常吻合的。

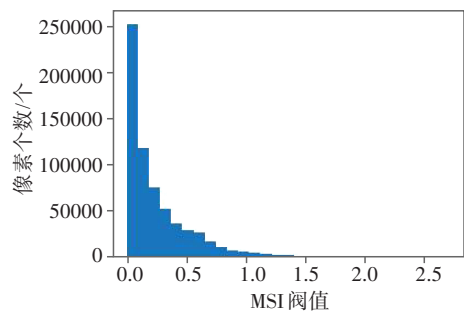


图4 MSI灰度直方图  
Figure 4 MSI grayscale histogram

1.7 统计学分析

使用SPSS 23.0软件进行统计学分析,采用Spearman相关性分析,分别评价每个病例的所有ROI像素点的MSI、MSD、TTP、RelFS之间的相关性。Spearman的相关系数设置如下: $r<0.20$ ,相关性差; $r$ 为 $0.20\sim0.40$ ,相关性较差; $r=0.41\sim0.60$ ,一般相关; $r$ 为 $0.61\sim0.80$ ,相关性好; $r>0.81$ ,相关性极佳<sup>[25]</sup>。

2 结果

2.1 曲线容积与评分相关性分析

根据每个类型的像素数,可以通过以下公式计算出每个类型的血管翳容积:血管翳容积=像素数×像素体素大小。由表4可知II型血管翳容积与RAMRIS评分具有极佳的相关性( $r=0.812, P<0.0001$ )。

表4 每个类型曲线与RAMRIS评分的相关性分析  
Table 4 Correlation analysis between each type of curve and RAMRIS score

类型	$r$ 值	$P$ 值	相关性
I型	0.300	0.227	相关性较差
II型	0.812	<0.0001	相关性极佳
III型	0.393	0.106	相关性较差
IV型	0.371	0.129	相关性较差

2.2 分类结果可视化

为更清晰地观察每一个像素点的曲线类型,本文将TIC形状的分布进行可视化呈现,每个类型有不同的颜色分布,其中每个类型血管翳容积颜色与图1曲线类型相符。图5为选取的5个不同滑膜炎评分病例其中某一层的ROI内TIC分布图(其中蓝色为I型,红色为II型,黄色为III型,绿色为IV型,红色表示炎性血管翳区域),由该图可知连续增强的图像肉眼很难判定滑膜组织之间的差异,通过TIC的二维可视化呈现可以把连续动态扫描的滑膜血管翳差异反映出来。每个类型所占容积与RAMRIS评分在表5中给出,通过表5和图5可以看出,随着RAMRIS评分越高,红色区域即II型炎性血管翳所占容积越多。

2.3 结果验证

为验证本文的统计结论,招募正常健康志愿者进行增强扫描,其二维彩色编码图如图6所示。通过图6可以发现,健康腕部的滑膜血管翳分布大部分为I型和IV型,II型几乎没有,因此再次验证了II型血管翳容积即为炎性血管翳容积。

3 讨论

RA血管翳是类风湿关节炎患者常见的病理改变,其病变程度与疾病的活动性和预后密切相关。因此,对RA血管翳的定量研究对于评估治疗效果具有重要意义<sup>[26-27]</sup>。本文基于动态增强的图像分析方法可以快速、准确地评估RA血管翳的病变程度,从而为临床用药和治疗效果的评估提供重要依据。本文采用的动态增强图像分析通过对病灶的增强曲线进行分析,可以有效确定整个病灶的增强特性,从而提高对RA血管翳的准确分析。不同TIC形状的颜色编码使放射科医师能够快速、直观地确定整个病灶的增强特性病变。该方法通过对病灶的TIC进行分析,确定整个病灶的增强特性,从而提高对RA血管翳的准确分析。该方法可以灵活调整分类的阈值,适用于不同的病灶分析,不仅应用于类风湿关节炎的RA分析,还可以用于其他软组织病变的分析,比如软组织肿瘤等。除了用于RA血管翳的定量分析,该方法还具有实用价值,可以用于指导临床用药。通过对比同一病人用药前后II型血管翳数量是否减少来评估治疗效果,从而调整治疗方案和用药剂量。此外,该方法对硬件条件要求不高,后续可做成相对应软件供医院落地使用。

综上所述,动态增强MRI图像中,TIC为速升速降型容积与RAMRIS评分具有极好的相关性,且符合滑膜炎性血管翳类型。像素级TIC分析方法可用于量化炎性血管翳容积。TIC分析法方便医生进行

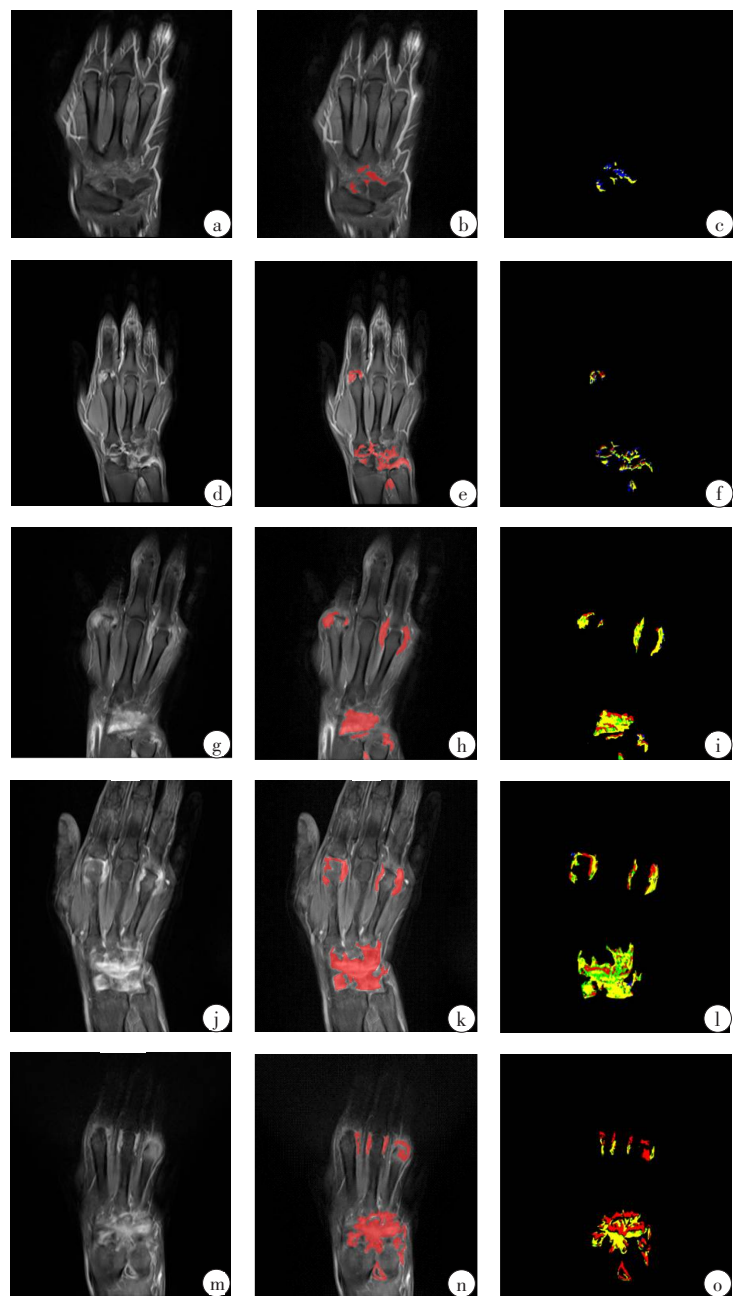


图5 滑膜炎患者影像图

Figure 5 Images of the patients with synovitis

图 5a~5c 分别为病例 121661 的原始 DICOM 图、勾画 ROI 图、TIC 分析图;图 5d~5f 分别为病例 260523 的原始 DICOM 图、勾画 ROI 图、TIC 分析图;图 5g~5i 分别为病例 271487 的原始 DICOM 图、勾画 ROI 图、TIC 分析图;图 5j~5l 分别为病例 273155 的原始 DICOM 图、勾画 ROI 图、TIC 分析图;图 5m~5o 分别为病例 275245 的原始 DICOM 图、勾画 ROI 图、TIC 分析图

表 5 每个类型血管翳所占容积展示  
Table 5 Volume of each type of pannus

病例影像号	RAMRIS 评分/分	I型容积/mm <sup>3</sup>	II型容积/mm <sup>3</sup>	III型容积/mm <sup>3</sup>	IV型容积/mm <sup>3</sup>
121661	5	406	104	220	846
260523	7	1 475	825	787	2 009
271487	11	377	2 642	1 356	5 976
273155	14	109	3 225	3 871	6 592
275245	19	54	7 272	1 090	5 690

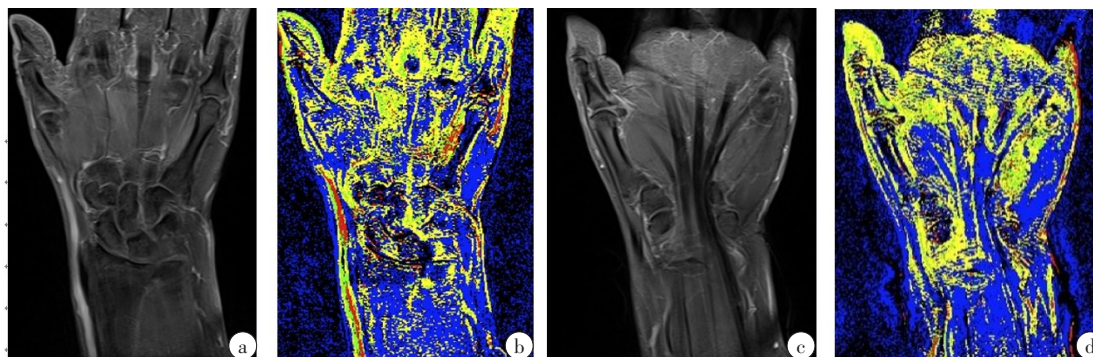


图6 健康腕部影像图

Figure 6 Images of a healthy wrist

图6a、6c是影像号为319167的健康志愿者DICOM图;图6b、6d为对应的TIC分析图

炎性血管翳的定量分析,为RA患者疾病严重程度的诊断及用药治疗提供重要的临床信息。

## 【参考文献】

- [1] Zhang B, Xiao L, Zhou H, et al. Application of dynamic contrast-enhanced mri in the diagnosis of rheumatoid arthritis[J]. Contrast Media Mol Imaging, 2022: 1-8.
- [2] 傅丽晖,李晖,王波,等.腕关节3D LAVA动态增强在判断类风湿性关节炎疾病进程的价值研究[J].中国临床医学影像杂志,2014,25(2): 113-116.
- [3] Fu LH, Li H, Wang B, et al. The value of 3D LAVA dynamic enhancement in the wrist joint in determining the progression of rheumatoid arthritis[J]. Journal of China Clinic Medical Imaging, 2014, 25(2): 113-116.
- [4] König H, Sieper J, Wolf KJ. Rheumatoid arthritis: evaluation of hypervascular and fibrous pannus with dynamic MR imaging enhanced with Gd-DTPA[J]. Radiology, 1990, 176(2): 473-477.
- [5] Plewes DB, Kucharczyk W. Physics of MRI: a primer[J]. J Magn Reson Imaging, 2012, 35(5): 1038-1054.
- [6] Østergaard M, Hansen M, Støttenberg M, et al. New radiographic bone erosions in the wrists of patients with rheumatoid arthritis are detectable with magnetic resonance imaging a median of two years earlier[J]. Arthritis Rheumatol, 2003, 48(8): 2128-2131.
- [7] Sugimoto H, Takeda A, Masuyama JI, et al. Early-stage rheumatoid arthritis: diagnostic accuracy of MR imaging[J]. Radiology, 1996, 198(1): 185-192.
- [8] Klarlund M, Østergaard M, Jensen K, et al. Magnetic resonance imaging, radiography, and scintigraphy of the finger joints: one year follow up of patients with early arthritis[J]. Ann Rheum Dis, 2000, 59(7): 521-528.
- [9] Noguerol TM, Luna A, Cabrera MG, et al. Clinical applications of advanced magnetic resonance imaging techniques for arthritis evaluation[J]. World J Orthop, 2017, 8(9): 660-673.
- [10] 王艾博,边杰. DCE-MRI原理及临床应用情况[J].中国临床医学影像杂志,2016,27(6): 435-438.
- [11] Wang AB, Bian J. Principle and clinical application of DCE-MRI[J]. Journal of China Clinic Medical Imaging, 2016, 27(6): 435-438.
- [12] Verstraete K, Van Der Woude H. Dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging[J]. Imaging of Soft Tissue Tumors, 1997, 4(6): 89-110.
- [13] Xu S, Huang H, Xu J, et al. Application value of endoscopic ultrasonography combined with enhanced mri in preoperative staging of rectal cancer[J]. World Chinese Journal of Digestology, 2020, 28(23): 1212-1217.
- [14] 孙雁,张炳,李涛.动态增强MRI对手部类风湿性关节炎活动性的诊断价值[J].中国临床医学影像杂志,2017,28(3): 208-211.
- [15] Sun Y, Zhang B, Ji T. Diagnostic value of dynamic enhanced MRI in manual rheumatoid arthritis activity[J]. Journal of China Clinic Medical Imaging, 2017, 28(3): 208-211.
- [16] 郭九生.动态增强MRI诊断手部类风湿性关节炎活动性价值研究[J].中国医疗设备,2019,34(s1): 179-180.
- [17] Guo JS. Value of dynamic enhanced MRI in the diagnosis of hand rheumatoid arthritis activity[J]. China Medical Devices, 2019, 34(s1): 179-180.
- [18] 曾伟科,莫颖倩,张翔,等.动态增强MRI定量评价类风湿性关节炎腕关节炎症活动度的价值[J].磁共振成像,2015,6(6): 455-461.
- [19] Zeng WK, Mo YQ, Zhang X, et al. Value of dynamic enhanced MRI in quantitative evaluation of wrist inflammatory activity in rheumatoid arthritis[J]. Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2015, 6(6): 455-461.
- [20] 孟俊,杨汉丰,杜勇,等.类风湿性关节炎的MRI研究进展[J].中国介入影像与治疗学,2012,9(1): 51-54.
- [21] Meng J, Yang HF, Du Y, et al. Advances in MRI research of rheumatoid arthritis[J]. Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy, 2012, 9(1): 51-54.
- [22] Lavini C, De Jonge MC, Van De Sande MG, et al. Pixel-by-pixel analysis of DCE MRI curve patterns and an illustration of its application to the imaging of the musculoskeletal system[J]. Magn Reson Imaging, 2007, 25(5): 604-612.
- [23] Van De Sande MG, Van Der Leij C, Lavini C, et al. Characteristics of synovial inflammation in early arthritis analysed by pixel-by-pixel time-intensity curve shape analysis[J]. Rheumatology, 2012, 51(7): 1240-1245.
- [24] Van Der Leij C, Van De Sande MG, Lavini C, et al. Rheumatoid synovial inflammation: pixel-by-pixel dynamic contrast-enhanced MR imaging time-intensity curve shape analysis-a feasibility study[J]. Radiology, 2009, 253(1): 234-240.
- [25] Sakashita T, Kamishima T, Kobayashi Y, et al. Accurate quantitative assessment of synovitis in rheumatoid arthritis using pixel-by-pixel, time-intensity curve shape analysis[J]. Br J Radiol, 2016, 89(1061): 20151000.
- [26] McQueen F, Lassere M, Edmonds J, et al. OMERACT rheumatoid arthritis magnetic resonance imaging studies: summary of OMERACT 6 MR imaging module[J]. J Rheumatol, 2003, 30(6): 1387-1392.
- [27] Østergaard M, Edmonds J, McQueen F, et al. An introduction to the EULAR-OMERACT rheumatoid arthritis MRI reference image atlas[J]. Ann Rheum Dis, 2005, 64(Suppl 1): i3-i7.
- [28] Kay J, Upchurch KS. ACR/EULAR 2010 rheumatoid arthritis classification criteria[J]. Rheumatology, 2012, 51(Suppl\_6): vi5-vi9.
- [29] Østergaard M, Peterfy C, Conaghan P, et al. OMERACT rheumatoid arthritis magnetic resonance imaging studies: core set of MRI acquisitions, joint pathology definitions, and the OMERACT RA-MRI scoring system[J]. J Rheumatol, 2003, 30(6): 1385-1386.
- [30] Østergaard M, Peterfy CG, Bird P, et al. The OMERACT rheumatoid arthritis magnetic resonance imaging (MRI) scoring system: updated recommendations by the OMERACT MRI in arthritis working group[J]. J Rheumatol, 2017, 44(11): 1706-1712.
- [31] Fujima N, Kudo K, Tsukahara A, et al. Measurement of tumor blood flow in head and neck squamous cell carcinoma by pseudo-continuous arterial spin labeling: comparison with dynamic contrast-enhanced MRI[J]. J Magn Reson Imaging, 2015, 41(4): 983-991.
- [32] Cimmino MA, Innocenti S, Livrone F, et al. Dynamic gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging of the wrist in patients with rheumatoid arthritis can discriminate active from inactive disease[J]. Arthritis Rheumatol, 2003, 48(5): 1207-1213.
- [33] Boesen M, Østergaard M, Cimmino MA, et al. MRI quantification of rheumatoid arthritis: current knowledge and future perspectives[J]. Eur J Radiol, 2009, 71(2): 189-196.

(编辑:陈丽霞)