

# 糖尿病足磁共振增强成像优化方案的探讨

李昌宪<sup>1,2</sup>, 唐鹤茜<sup>1</sup>, 郭惠利<sup>1</sup>, 陈大伟<sup>2</sup>, 冉兴无<sup>2, 3△</sup>

1. 四川大学华西医院 放射科(成都 610041); 2. 四川大学华西医院 糖尿病足诊治中心(成都 610041);  
3. 四川大学华西医院 内分泌代谢科(成都 610041)

**【摘要】 目的** 探讨糖尿病足磁共振增强成像的优化方案。**方法** 纳入 20 例糖尿病足患者,对患足进行增强后的三维小角度激发快速梯度回波血管成像序列(3D FLASH-MRA)、三维容积内插法屏气序列(3D VIBE)-水激励(WE)、T1 WI 二维自旋回波(2D SE)-压脂(FS)、T1 WI 二维快速自旋回波(2D TSE)-FS、T1 WI 二维小角度激发快速梯度回波(2D FLASH)-FS 序列的扫描,比较各序列在足部血管显示,静脉重叠,关节软骨显示,足底皮肤、跟骨、趾短屈肌、足背动脉、距跟关节软骨的信噪比(SNR)及对比率(CR)的差异。**结果** ①在足部血管显示及静脉重叠评价方面,3D FLASH-MRA 优于其余序列( $P<0.05$ );②在对关节软骨的显示方面,3D VIBE-WE 序列优于 2D SE-FS、2D TSE-FS、2D FLASH-FS( $P<0.05$ );③足底皮肤、跟骨、趾短屈肌、足背动脉、距跟关节软骨的 CR 及足底皮肤、足背动脉、距跟关节软骨的 SNR 在 3D VIBE-WE 序列上高于其余序列( $P<0.05$ )。**结论** 3D VIBE-WE 序列应作为糖尿病足增强 T1 WI 序列的首选序列,并在足部血管显示方面能作为 3D FLASH-MRA 的补充序列。

**【关键词】** 糖尿病足 磁共振 增强序列

**Optimal Protocol of MR Contrast Imaging in Diabetic Foot** LI Chang-xian<sup>1,2</sup>, TANG He-han<sup>1</sup>, GUO Hui-li<sup>1</sup>, CHEN Da-wei<sup>2</sup>, RAN Xing-wu<sup>2,3△</sup>. 1. Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Diabetic Foot Care Center, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 3. Department of Endocrinology and Metabolism, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

△ Corresponding author, E-mail: ranxingwu@yahoo.com.cn

**【Abstract】 Objective** To identify the optimal protocol of MR contrast imaging in diabetic foot. **Methods** 20 patients with diabetic feet were enrolled and examined with 3D FLASH-MRA, 3D VIBE-WE, 2D SE-FS, 2D TSE-FS and 2D FLASH-FS at a 1.5T MR scanner for vascular changes in feet. Their effectiveness in displaying blood vessels, venous aliasing and articular cartilage, as well as the signal-to-noise ratio (SNR) and contrast ratio (CR) of plantar skins calcaneus, flexor digitorum brevis, dorsal artery, and talocalcaneal joint cartilage in diabetic feet were compared. **Results** ① 3D FLASH-MRA was better in displaying blood vessels and venous aliasing than the others ( $P<0.05$ ); ② 3D VIBE-WE was better in displaying articular cartilage than 2D SE-FS, 2D TSE-FS and 2D FLASH-FS ( $P<0.05$ ); ③ 3D VIBE-WE had higher SNR and CR of plantar skins, dorsal artery, talocalcaneal joint cartilage, calcaneus, and flexor digitorum brevis than the others ( $P<0.05$ ). **Conclusion** 3D VIBE-WE is the preferred sequence for T1 weighted imaging with contrast in diabetic feet. It can also serve as the supplemental sequence of 3D FLASH-MRA in MR angiography.

**【Key words】** Diabetic foot MR imaging Sequence with contrast

糖尿病足(diabetic foot, DF)是糖尿病患者局部神经损害和下肢远端外周血管病变导致的足部感染、溃疡和(或)深层组织破坏,是糖尿病患者尤其是老年糖尿病患者最痛苦的慢性并发症之一。据统计,因糖尿病导致的双下肢截肢率比正常人高 5~15 倍,足部溃疡恶化造成深部感染或坏疽是主要原因,占 DF 截肢患者的 85%<sup>[1]</sup>,而全球 15% 以上的糖

病患者一生中 will 发生足溃疡或坏疽<sup>[2]</sup>。我国现有糖尿病患者约 9240 万<sup>[3]</sup>,因此,重视 DF 的诊断和治疗尤为重要,近年来也逐渐受到国内学者的关注。

磁共振成像(MRI)是一种安全、无辐射的成像检查工具,它采用多参数成像,可清晰显示各种组织的关系、病变累及范围。有文献报道,MRI 是诊断糖尿病骨关节炎的最佳手段<sup>[4,5]</sup>。但是,关于 DF 的 MRI 增强序列的优化方案,目前国内却鲜有报道。本研究通过对增强后的不同序列在足部血管显

示、关节软骨显示及足部各组织的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)、对比率(contrast ratio, CR)等方面的比较,探讨 DF MRI 的优化方案。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

研究纳入患者 20 例。纳入标准:① 2 型糖尿病患者;② 临床确诊为 DF;③ 单侧患足发病。其中男性 16 例,女性 4 例,平均年龄 65.3(56~72)岁。在检查前获得患者的磁共振增强扫描的知情同意书。

### 1.2 检查设备及方法

采用 Siemens Avanto 1.5T 超导型磁共振仪及 8 通道头颈部相控阵线圈。对比剂选用磁显葡胺(Gd-DTPA,先灵有限公司,德国)。患者行仰卧位、足先进。双手置于头顶,以便给药。采用 Spectris Solaris EP 磁共振对比剂注射系统(MEDRAD INC, Indianola, USA),经肘前静脉注射给药。对比剂用量为 0.2 mol/kg 体质量,注射速率为 2~3 mL/s,注射后立即用 20 mL 生理盐水用相同注射速率冲洗,以保证所用对比剂全部进入患者体内。若患者伴有静息痛,则在检查前约 15 min 肌注强痛定 100 mg 止痛。所有扫描序列均由同一放射技师施行。

**1.2.1 足部血管成像** 三维小角度激发快速梯度回波血管成像序列(three dimensional fast low angle shot-MR angiography imaging, 3D FLASH-MRA)。重复时间(repetition time, TR): 4.25 ms, 回波时间(echo time, TE): 1.43 ms, 层厚: 1.0 mm, 采集矩阵: 384×256, 视野(field of view, FOV): 30×30 cm。在给药前先行一次 3D FLASH 序列,以作为蒙片。给药同时进行 Care Blous 动态监测,待对比剂行至足背动脉时,进行给药后的 3D FLASH 扫描,并重复 2~3 次。然后对剪影图像行最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)及多平面重建(multiplanar reconstruction, MPR)。

**1.2.2 足部 T1 WI+C** ① 三维容积内插法屏气序列(three dimensional volumetric interpolated breath-hold examination, 3D VIBE)。水激励(WE), TR: 13.9 ms, TE: 5.86 ms, 翻转角度(flip angle, FA): 10°, 重建层厚: 0.6 mm, 采集矩阵: 256×256, FOV: 24×24 cm, 包全整个足部,行 MPR 重建。② T1 WI 二维自旋回波(two dimensional spin echo, 2D SE)-压脂(FS)序列。

TR: 509 ms, TE: 18 ms, FA: 90°, 层厚: 3.0 mm, 采集矩阵: 256×224, FOV: 300×300 cm。分别行足部的轴冠矢位成像。③ T1 WI 二维快速自旋回波(two dimensional turbo spin echo, 2D TSE)-FS 序列。TR: 556 ms, TE: 10 ms, FA: 90°, 层厚: 3.0 mm, 采集矩阵: 256×224, FOV: 300×300 cm。分别行足部的轴冠矢位成像。④ T1 WI 二维小角度激发快速梯度回波(2D FLASH)-FS 序列。TR: 264 ms, TE: 2.94 ms, FA: 70°, 层厚: 3.0 mm, 采集矩阵: 256×224, FOV: 24×24 cm。分别行足部的轴冠矢位成像。

### 1.3 结果评价

所有图像均由 2 名有经验的放射科医师进行双盲评价。

① 血管的显示: 1 分=很好(血管轮廓清楚且连续,信号均匀); 2 分=好(血管轮廓较清楚且连续,信号较均匀); 3 分=一般(血管轮廓较清楚但不连续,信号较均匀); 4 分=差(血管轮廓不清楚、不连续,信号不均匀)。

② 静脉重叠的评价: 1 分=无; 2 分=轻度浅静脉重叠; 3 分=中度浅静脉重叠; 4 分=深静脉重叠。

③ 足部组织关节盘显示的清晰度(只针对 T1 WI+C 序列): 1 分=显示清晰,无伪影干扰; 2 分=显示较清晰,无伪影干扰; 3 分=显示欠清晰,有少量伪影干扰; 4 分=显示不清晰,伪影较大。

④ 足部组织的 SNR 与 CR 的测量(只针对 T1 WI+C 序列): 运用兴趣区(region of interest, ROI)的方法,分别在足底皮肤、跟骨、趾短屈肌、足背动脉、距跟关节盘上标注 ROI,求得信号值(signal intensity, SI)。再在图像的 4 个角测得平均噪声值(standard deviation, SD)。利用公式  $SNR = SI/SD$  求得各组织的 SNR。利用公式  $CR = SI/SI_{\text{跟骨}}$  求得各组织的 CR。

### 1.4 统计学方法

计量资料若服从正态分布用  $\bar{x} \pm s$  表示,行重复测量的方差分析。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 足部血管的显示及静脉重叠

结果见图 1、图 2、表 1。在足部血管显示方面,3D FLASH-MRA 序列评分为  $1.12 \pm 0.52$ , 低于 3D VIBE-WE、2D SE-FS、2D TSE-FS 和 2D FLASH-FS 序列评分,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ); 同样,在静脉重叠评价方面,3D FLASH-MRA 序列评分为

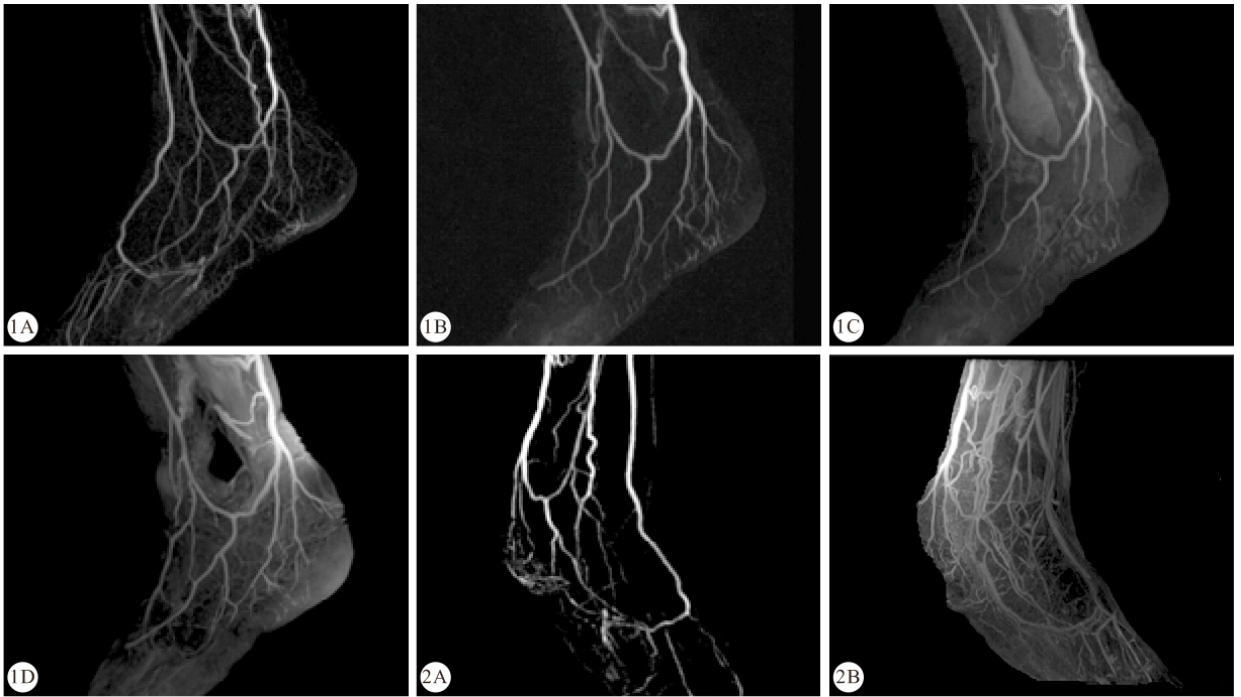


图 1 糖尿病足的血管成像(男,72岁)

图 2 3D FLASH-MRA 与 3D VIBE-WE 在静脉混叠效应的显示(男,65岁)

Fig 1 MRA of a diabetic foot (male, 72 yr.)

Fig 2 Venous aliasing shown by 3D FLASH-MRA and 3D VIBE-WE (male, 65 yr.)

1A: MIP image from 3D FLASH-MRA; 1B: MPR image from subtracted 3D FLASH-MRA (15 mm); 1C: MPR image from 3D FLASH-MRA (without subtraction, 15 mm); 1D: MPR image from 3D VIBE-WE (15 mm). MPR image from 3D VIBE-WE can be used to show specific vessels preferably; 2A: MIP image from 3D FLASH-MRA; 2B: MIP image from 3D VIBE-WE. MIP image from 3D FLASH-MRA showed little venous aliasing, but arteries were aliased by venous heavily in MIP image from 3D VIBE-WE

1.24 ± 0.31, 亦低于 3D VIBE-WE、2D SE-FS、2D TSE-FS 和 2D FLASH-FS 序列评分, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 提示在足部血管显示及静脉重叠评价方面, 3D FLASH-MRA 明显优于其他序列。

表 1 糖尿病足患者足部血管显示及静脉重叠的评价

Table 1 Scores for displaying blood vessels and venous aliasing in diabetic feet

Sequence	n	Vascular display	Venous aliasing
3D FLASH-MRA	20	1.12 ± 0.52 *	1.24 ± 0.31 *
3D VIBE-WE	20	1.73 ± 0.73	3.85 ± 0.33
2D SE-FS	20	3.82 ± 0.27	3.92 ± 0.56
2D TSE-FS	20	3.76 ± 0.42	3.88 ± 0.42
2D FLASH-FS	20	3.13 ± 0.95	3.82 ± 0.27

3D FLASH-MRA: Three dimensional fast low angle shot-MR angiography imaging; 3D VIBE-WE: Three dimensional volumetric interpolated breath-hold examination-water excitation; 2D SE-FS: Two dimensional spin echo-fat saturation; 2D TSE-FS: Two dimensional turbo spin echo-fat saturation; 2D FLASH-FS: Two dimensional fast low angle shot-fat saturation. \*  $P < 0.05$ , vs. the other sequences

## 2.2 足部关节软骨显示的清晰度

3D VIBE-WE、2D SE-FS、2D TSE-FS、2D FLASH-FS 在足部关节软骨显示的评分分别为:

1.24 ± 0.38、3.52 ± 0.77、3.16 ± 0.23、2.11 ± 0.79, 四者之间差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 两两比较中发现, 除 2D SE-FS 与 2D TSE-FS 之间无明显差异 ( $P > 0.05$ ) 外, 其余序列之间差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。

## 2.3 足部组织的 SNR 与 CR

从表 2 可以看出, 足底皮肤、跟骨、趾短屈肌、足背动脉、距跟关节软骨的 CR 在 3D VIBE-WE 序列上高于 2D SE-FS、2D TSE-FS 和 2D FLASH-FS 序列, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 足底皮肤、足背动脉、距跟关节软骨的 SNR 在 3D VIBE-WE 序列上高于其他序列 ( $P < 0.05$ ) (表 2, 图 3)。

## 3 讨论

### 3.1 关于 DF 患者足部 MRA 序列的选择

糖尿病外周动脉病变的病理基础是动脉粥样硬化, 其中足部的中小动脉容易受累且病变程度较重<sup>[6]</sup>。因此, 清晰、准确显示足部中小动脉病变对 DF 的诊断治疗具有重要的意义。目前临床上常用的 DF 患者足部 MRA 成像多选用 3D FLASH-MRA<sup>[7]</sup>。本研究发现, 3D FLASH-MRA 在对于足部动脉的显示上明显优于另外 3 个 T1 WI+C 序列

表 2 足部各组织的 SNR 与 CR 的比较

Table 2 Comparison of SNR and CR in various tissues of diabetic feet

Sequence		Plantar skin	Calcaneus	Flexor digitorum brevis	Dorsal artery of foot	Talocalcaneal joint cartilage
3D VIBE-WE	SNR	119.2±62.4 <sup>#</sup>	22.1±12.1	140.0±76.3	259.3±163.1 <sup>#</sup>	166.3±74.4 <sup>#</sup>
	CR	8.16±2.64 <sup>*</sup>	1.49±0.24 <sup>*</sup>	9.39±3.28 <sup>*</sup>	17.50±3.39 <sup>*</sup>	11.07±5.32 <sup>*</sup>
2D SE-FS	SNR	65.3±72.8	27.2±19.3	59.6±34.9	90.6±42.3	53.4±21.9
	CR	3.21±0.77	1.35±0.64	2.82±0.39	4.40±2.58	2.48±0.36
2D TSE-FS	SNR	69.4±73.2	35.7±20.9	106.2±78.3	173.2±96.1	96.8±45.2
	CR	2.35±1.21	1.21±0.53	3.57±2.32	5.69±4.97	3.16±1.75
2D FLASH-FS	SNR	109.7±67.7	32.6±19.9	216.2±97.7	233.9±171.2	159.8±62.3
	CR	3.77±2.45	1.12±0.37	7.44±3.27	8.05±4.23	5.49±3.11

SNR: Signal-to-noise ratio; CR: Contrast ratio; 3D VIBE-WE, 2D SE-FS, 2D TSE-FS, 2D FLASH-FS: Denote the same as those in table 1. \*  $P < 0.05$ , vs. CR of the other sequences; #  $P < 0.05$ , vs. SNR of the other sequences



图 3 糖尿病足的 T1 WI+C 序列(女, 67 岁, 箭头所示为足背的溃疡)

Fig 3 T1 WI+C of a diabetic foot (female, 67 yr., arrow showed dorsal ulcer of diabetic foot)

A: MPR image from 3D VIBE-WE; B: Shaded surface display (SSD) image from 3D VIBE-WE; C: 2D SE-FS; D: 2D TSE-FS; E: 2D FLASH-FS. Display of lesion in 3D VIBE-WE was better than other sequences

(2D SE-FS、2D TSE-FS 和 2D FLASH-FS),其原因在于:①高时间分辨率(仅 19 s)及 K 空间中心填充方式,这一特性可降低足部静脉对动脉成像的干扰;②Care Bolus 动态监测序列的应用,能恰当地把握动脉增强时相,提高足部 MRA 的成像质量;③三维容积采集方式能够提高图像的 SNR,使高空间分辨率成像成为可能,利于中小动脉的观测。

但是,也有文献报道 3D FLASH-MRA 在足部动脉显示时,常存在静脉混叠情况<sup>[8]</sup>。原因在于:①患者下肢动脉侧枝循环丰富或局部炎症导致血液循环加速;②若 DF 患者要求同时行下肢小腿及足部

的 MRA,则小腿 MRA 扫描花费的时间将导致足部 MRA 成像时静脉干扰。

3D VIBE-WE 虽然在 MRA 显示上不及 3D FLASH-MRA 序列,有明显的静脉重叠效应,但其能够清楚显示足部的各个解剖结构,可通过 MPR 重建,找到受累动脉。且其分辨率较 3D FLASH-MRA 更高,能提高细小血管的显示,有利于 MRA 的诊断。

### 3.2 关于 DF 患者足部 T1 WI+C 序列的选择

3.2.1 足部关节软骨显示的清晰度 据报道,约有 0.1%~0.4%的糖尿病患者合并有骨关节病,年龄

分布从20岁以前直至79岁,高发的年龄段为50~59岁,其中跖趾关节最易受累(约31.5%)。而糖尿病骨关节病的早期临床症状常很轻微,许多患者在出现严重的骨病症状后才到医院就诊。因此,及早诊断糖尿病患者的骨关节病有助于患者及时预防、治疗。

3D VIBE-WE序列其本质是扰相梯度回波序列,它是在梯度回波之后,在层面选择梯度方向上再加上一个扰相梯度,使残留的质子横向磁矩在下次射频脉冲到来之前完全去相位,从而减少T2的影响,使图像更具T1加权特性。另外,它还采用了WE这种FS方式,增加了软骨与软骨下骨的对比,使软骨显示更清晰。并且,三维薄层扫描可以进行多方位重建,无信号丢失,有利于观察关节软骨微小病变,是目前诊断软骨病变的最佳序列<sup>[9]</sup>。本次研究发现,足部骨关节盘显示的清晰度在3D VIBE-WE序列上明显优于2D SE-FS、2D TSE-FS及2D FLASH-FS序列,评分依次为:1.24±0.38、3.52±0.77、3.16±0.23、2.11±0.79。这一结果与之前的研究相符<sup>[10]</sup>。

**3.2.2 足部组织的SNR比较** 3D VIBE-WE的激励与采集方式都是针对整个采集块。它是将整个采集块内的整体信号进行一二次的编码、平均,最终得到准确的图像信息,这种方法有利于提高图像的SNR。本研究发现,3D VIBE-WE在足底皮肤、足背动脉、距跟关节软骨的SNR都明显高于其余3个序列。但在跟骨及趾短屈肌上,3D VIBE-WE均低于2D FLASH-FS序列,可能与其体素(分别为 $1 \times 0.9 \times 0.6 \text{ mm}^3$ 及 $1.5 \times 1.2 \times 3 \text{ mm}^3$ )及FA(分别为 $10^\circ$ 及 $70^\circ$ )均较小有关。

**3.2.3 足部组织的CR比较** 本研究发现,3D VIBE-WE在足底皮肤、跟骨、趾短屈肌、足背动脉及距跟关节软骨与胫骨的对比上均优于2D TSE-FS、2D SE-FS及2D FLASH-FS序列。这一结果提示,3D VIBE-WE序列相较于其它增强T1WI序列而言,在显示足部各组织上具有明显优势。另外,由于3D VIBE-WE为薄层连续采集图像,相较于2D序列而言,它可以行任意方位、任意层厚的重建,

有利于病变的观察与显示。且其扫描时间与其余序列的3个方位扫描的总时间相比,并未明显延长。本研究证实,只要在摆放患者体位时注意告知患者制动并合理放置泡沫垫,患者完全可以配合扫描而无明显运动伪影干扰。

综上所述,3D VIBE-WE为增强T1WI序列的首选序列,同时亦为DF患者足部MRA的补充序列。

## 参 考 文 献

- 1 Apelqvist J, Larsson J. What is the most effective way to reduce incidence of amputation in the diabetic foot? *Diabetes Metab Res Rev*,2000;16(Suppl 1):S75-S83.
- 2 Boulton AJ. The diabetic foot: a global view. *Diabetes Metab Res Rev*,2000;16(Suppl 1):S2-S5.
- 3 Yang W, Lu J, Weng J, *et al.* Prevalence of diabetes among men and women in China. *N Engl J Med*,2010;362(12):1090-1101.
- 4 Suzuki E. New technique of magnetic resonance imaging to evaluate peripheral circulation in diabetic patients. *Nihon Rinsho*,2006;64(11):2062-2068.
- 5 Güttler A, Hammerschmidt S, Wirtz H, *et al.* Unexpected cause of a tarsal destruction in a diabetic patient. *Dtsch Med Wochenschr*,2004;129(22):1243-1245.
- 6 Dyet JF, Nicholson AA, Ettles DF. Vascular imaging and intervention in peripheral arteries in the diabetic patient. *Diabetes Metab Res Rev*,2000;16(Suppl 1):S16-S22.
- 7 Kreitner KF, Kalden P, Neufang A, *et al.* Diabetes and peripheral arterial occlusive disease: prospective comparison of contrast-enhanced three-dimensional MR angiography with conventional digital subtraction angiography. *AJR Am J Roentgenol*,2000;174(1):171-179.
- 8 孟利民,张挽时,宋云龙等. 三维增强磁共振血管成像在DF并外周动脉病变中的应用. *放射学实践*,2006;3(21):295-298.
- 9 谢海柱,史红英,岳凤斌等. 3T磁共振3D-FS-SPGR序列对膝关节软骨损伤的诊断价值. *医学影像学杂志*,2001;2(21):269-273.
- 10 顾菲,张雪哲. 膝关节软骨多种MR成像序列对比. *中华医学杂志*,2008;88(04):245-249.

(2012-05-21收稿,2012-07-16修回)

编辑 余琳