

## ·综述 General review·

## 糖尿病足的影像学研究进展

李 菁, 王 珏

**【摘要】** 糖尿病足是糖尿病最常见、最严重的并发症之一。早发现、早治疗对糖尿病足的预后具有重要的意义。影像学是目前最方便且有效的早期诊断方法,可以对糖尿病足周围血管病变、周围神经病变、软组织并发症、肌肉肌腱病变、骨并发症进行直观准确的呈现,对病变的范围可以做出准确判断,从而为临床治疗方案的选择及评估提供可靠依据。现就目前糖尿病足的影像学研究进展作以下综述。

**【关键词】** 糖尿病足;影像学;周围血管病变;周围神经病变;软组织;肌肉肌腱;骨质

中图分类号:R578.1 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2014)-05-0456-04

**Advances in imaging research of diabetic foot** LI Jing, WANG Jue. Department of Radiology, Shanghai Jiaotong University, Affiliated Sixth People's Hospital, Shanghai 200233, China

Corresponding author: WANG Jue, E-mail: wangjuedr@163.com

**【Abstract】** Diabetic foot is one of the most common and serious complications of diabetes. Early detection and prompt treatment is of great significance to the prevention of diabetic foot. Imaging is the most convenient and effective method for making an early diagnosis of diabetic foot, and imaging examination can directly and accurately reveal the peripheral vascular disorders, peripheral neuropathy, soft tissue complications, muscle and tendon lesions, bone complications, etc. thus the lesion's extent can be exactly evaluated, which provides reliable basis for the selection and evaluation of the clinical therapeutic scheme. This paper aims to make a general review about the recent imaging research progress in diabetic foot. (J Intervent Radiol, 2014, 23: 456-459)

**【Key words】** diabetic foot; imaging; peripheral vascular disease; peripheral neuropathy; soft tissue; muscle and tendon; bone

糖尿病足是糖尿病患者由于神经病变及各种不同程度末梢血管病变而导致下肢感染、溃疡形成和(或)深部组织的破坏。至 2011 年,全球约有 3.66 亿糖尿病患者,占人口 7%,到 2030 年,预计会增加到 5.52 亿<sup>[1]</sup>。糖尿病足是糖尿病最常见、最严重的并发症之一,早发现、早治疗对糖尿病足的预防、预后具有重要意义。影像学是目前最方便且有效的早期诊断方法,现就目前糖尿病足的影像学研究进展做以下综述。

## 1 周围血管病变

大量临床研究显示,50%糖尿病足溃疡患者伴有周围血管病变(PAD)且容易进展,PAD 伴足部皮

肤溃疡(DFU)患者预后不佳。PAD 是影响糖尿病足溃疡预后的最重要因素,所以早期诊断 PAD 并准确估计严重程度对降低截肢及病死率具有重要价值。糖尿病性 PAD 多呈多节段、对称性狭窄或闭塞,主要累及下肢动脉,较非糖尿病性 PAD,其膝以下腘动脉、胫后动脉、腓动脉以及膝以上股深动脉病变更为严重<sup>[2]</sup>。目前评估下肢血管病变的常用影像技术有下肢动脉血管造影(DSA)、动态增强 MR 血管成像(CE-MRA)、CT 血管成像(CTA)、超声(DUS)等。

### 1.1 DSA

DSA 是诊断糖尿病血管病变的金标准,作为评估其他无创检查,如超声、CTA、MRA 的参考标准。DSA 对细小血管分辨率高,可以清晰地显示下肢动脉各个节段完整的血管树形态,还可以准确地显示血管闭塞部位、程度、范围及血流通畅情况。

但 DSA 作为一项侵袭性有创检查,消耗人力物

力大,检查时间长,辐射量相对较大,而且存在引发医源性肾衰竭(CIN)的风险<sup>[3]</sup>。使用低渗对比剂(如碘克沙醇)及下肢动脉 DSA 步进技术可以明显降低 CIN 的风险<sup>[4-5]</sup>。临床上不将 DSA 作为诊断动脉病变的常规手段,但对于拟行介入治疗的患者,DSA 为必要检查。

## 1.2 MRA、CE-MRA

已广泛应用于下肢血管病变的临床诊断。其具有一定优势,比如对比剂较碘肾毒性明显轻、无 X 线辐射等。最近的一项整合 5 693 篇论著的荟萃分析证明对于狭窄程度 > 50% 下肢血管病变,MRA 诊断灵敏度为 93%(95%CI,91%~95%),特异度为 94%(95%CI,93%~96%);对于狭窄程度 > 50% 的下肢血管病变,MRA 效果也优于 CTA<sup>[6]</sup>。相较 CTA 和 DUS,MRA 不受血管壁钙化影响。

由于涡流、边缘放大效应、膝以下静脉污染等原因,MRA 有高估病变的缺陷。采用大腿静脉加压法,可以减少静脉干扰,临床效果也已证实<sup>[7]</sup>。

## 1.3 CTA

最近的一项荟萃分析证明对于狭窄程度 > 50% 的下肢血管病变,CTA 灵敏度 96%(95%CI,93%~98%),特异度 95%(95%CI,92%~97%)<sup>[6]</sup>。CTA 较 MRA 检查速度快,空间分辨率高,可以评估植入支架的血管。有 MRA 禁忌证的患者适用。再加上其强大的图像后处理功能,综合应用可以进一步确定血管狭窄程度、分析血管内斑块,实际应用价值是巨大的。

患者下肢动脉硬化严重,管壁钙化斑块较多时,应用去骨软件去骨时,钙化易被混淆,较难去除,从而影响诊断,需用 MRA、DSA 进一步明确诊断。CTA 也存在一定 CIN 风险。

## 1.4 DUS

采用 B 超结合彩色多普勒超声可以明确血管狭窄位置及其程度,甚至可以评估病变处血流动力学改变。诊断下肢血管狭窄或闭塞灵敏度 88%(84%~91%),特异度 94%(93%~96%)<sup>[8]</sup>。DUS 重复性好,价格较低廉,无辐射,易为患者接受。有学者认为应将彩超作为诊断糖尿病足下肢动脉病变的首选方法,对于诊断困难的病例,超声造影可做有益补充<sup>[9]</sup>。

超声仍存在一定局限性,其用于盆部髂血管受限(肠气干扰);若患者下肢动脉管壁钙化斑块较多时,图像易受钙化灶影响。超声对于检查者依赖性较强,且对较细小动脉、轻度狭窄时诊断困难,其影像

分辨力较低,与其他检查相比缺乏整体观,对病变会出现低估<sup>[10]</sup>。

## 2 周围神经病变(DPN)

DPN 是糖尿病足发生的主要原因,目前临床上主要以临床症状及体征、神经电生理学检查等为诊断依据。但若可以应用影像学技术从形态上诊断神经病变,对临床治疗及手术方案的选择将会有重要的指导价值。目前采用的影像技术包括磁共振神经成像术(MRN)及其高频超声。

### 2.1 MRN

可以获得神经纤维束的高分辨率影像,但该项新技术对磁场强度及其线圈要求极高,目前对周围神经的应用多还处在动物实验及临床试验阶段。多项动物实验证明 MRN 可以显示周围神经病变患者轴突形态及其脱髓鞘改变,从临床实际用途来看,MRN 可以显示神经卡压、损伤以及炎性反应区域,具体损伤定位还需要依赖 MR 技术的进一步提升<sup>[11]</sup>。Pham 等<sup>[12]</sup>发现,DPN 神经缺损评分(NDS)较高患者,MRN 表现神经内 T2 高信号,近端多发性束状神经损伤与远端神经脱髓鞘和进展程度呈现相关性。

### 2.2 高频超声

可以清晰显示周围神经形态、细微结构、走行及与周围组织的关系。有学者发现 DPN 患者受累神经(坐骨神经、腓总神经、胫神经)增粗、水肿,神经内部回声减低,且平行线状结构消失,但仍需进一步大样本量调查<sup>[13]</sup>。

## 3 软组织并发症

X 线片可以显示软组织肿胀、溃疡及积气等,但特异度及灵敏度都很低,当出现阳性征象时感染多较严重,甚至需要截肢。CT 在显示软组织损伤程度上优于普通 X 线。MR 是公认的显示软组织病变的最佳成像手段,其对早期病变诊断价值较高。

### 3.1 硬茧

由于局部压力异常,角化细胞活性增加,糖尿病患者皮肤常出现硬茧,是溃疡形成的先兆,MR 上表现为皮下脂肪层内斑片状 T1WI 低、T2WI 等低信号影,外周可伴包膜形成<sup>[14]</sup>。

### 3.2 溃疡

绝大多数需要截肢患者,发病前期都伴有足部溃疡。皮肤溃疡影像上表现为皮肤连续性中断,其发生部位往往和硬茧类似,因为溃疡就是由硬茧逐步发展而来的,它们多发生于最易受力且压力较高

的地方:第 1、第 5 跖趾关节、脚尖和脚跟处<sup>[15]</sup>。溃疡深度大于 2 cm 特别容易导致骨髓炎的发生<sup>[16]</sup>。糖尿病足大血管及微环境的改变对溃疡的形成、发展及其愈合有重要作用,通过动态对比增强 MR (以 MR 跨膜转运常数为研究手段)可以量化糖尿病患者肌肉微循环状况<sup>[17-18]</sup>。

### 3.3 肿胀

实质上是皮下脂肪组织内的急性炎性反应过程,同时伴有皮肤增厚。在 MRI 上变现为 T1WI 低信号、T2WI 高信号,增强后若伴强化则提示为蜂窝组织炎,而非单纯水肿<sup>[19]</sup>。

### 3.4 脓肿

CT 上即可表现局限性低密度灶伴边缘强化。MRI 灵敏度更高,局限性 T2WI 高信号灶(高于周围组织水肿)伴包膜强化。

### 3.5 窦道/瘘管

在 MRI 上表现为管状 T2WI 高信号影,需要多平面评估,单从横断面上管样结构易和脓肿混淆<sup>[14]</sup>。

### 3.6 坏疽

坏死组织与周围正常组织有明显分界,增强后无强化,邻近组织因充血可伴强化,湿性/气性坏疽可伴气体形成。

## 4 肌肉肌腱病变

### 4.1 肌腱炎

软组织感染延伸入肌腱产生的炎性反应。MRI 可见肌腱增粗,T2WI 信号增高,增强后腱膜强化。多见于腓侧肌腱及跟腱<sup>[8]</sup>。

### 4.2 化脓性肌炎、坏死性筋膜炎

二者会导致糖尿病患者截肢甚至威胁生命,所以在 MRI 上早期发现具有很重要的临床意义。化脓性肌炎变现为肌肉内脓肿样信号,增强后边缘不规则强化<sup>[20]</sup>。坏死性筋膜炎 MR 表现为肌肉表面带样异常信号影,T2 压脂呈高信号,T1 增强可见强化。

### 4.3 肌肉失神经性萎缩

周围神经病变最终会引起肌肉失神经性改变。急性期在 MRI 上无特征性,亚急性期 T2WI 可以看到肌肉水肿,病程较长患者肌肉体积减小,脂肪组织增加。这种失神经性萎缩多先发生于足部肌肉,然后是小腿肌肉,与周围神经病变进展程度相关<sup>[21]</sup>。

## 5 骨并发症

糖尿病早期主要表现为骨质疏松,骨干变细,骨皮质变薄,随病程进展会出现骨质破坏、关节变

形、脱位及病理性骨折,常并发神经性关节炎、骨髓炎、化脓性关节炎。X 线平片及 CT 显示的动脉壁的钙化具有诊断价值,病理检查证实足动脉钙化区域均伴有骨坏死。

### 5.1 神经性关节炎

又称为夏柯关节,是由于神经病变引起的非感染性、进行性骨关节疾病,在一次外伤或反复小的应力作用下,可发生骨折、脱位。多发生于中足骨(跖跗关节),影像上表现为关节畸形、骨碎片、关节积液,髓腔内骨髓水肿不多见。

### 5.2 骨髓炎

常继发于邻近溃疡或窦道,在 X 线平片上显示关节周边骨质破坏,但 X 线平片能显示时,往往反映患肢病理变化阶段已到非截肢不可的程度。以往人们主张用核素扫描来诊断骨髓炎,目前已有足够证据证明 MRI 是诊断骨髓炎的最佳手段<sup>[22]</sup>,MRI 在诊断骨髓炎上优于其他检查手段,灵敏度为 93% ~ 100%, 特异度为 40% ~ 100%<sup>[23]</sup>,其 MRI 呈 T1WI 低信号、T2WI/STIR 高信号。其他检查手段,如骨扫描和 FDG-PET 可在有 MR 禁忌证时选用<sup>[24]</sup>。

### 5.3 化脓性关节炎

与骨髓炎类似,化脓性关节炎常发生于溃疡或窦道的邻近关节。T1 压脂增强显示滑膜强化、关节周围滑液渗出、滑膜周围软组织水肿,伴邻近骨质骨髓水肿(区别于滑膜炎)。

影像学对于糖尿病足病诊断有重要的临床价值,结合临床可以来确定保守治疗或手术治疗,以及治疗效果的评估。X 线平片常被用作评价骨质感染的情况,但其通常要落后于临床病程的进展,在感染发生至少 1 ~ 2 周后 X 线平片上才会有阳性表现。CT 密度分辨率较平片高,但较 MRI 其对早期病变敏感性要差得多。骨质的同位素扫描有较高的敏感度,但空间分辨率差,难以准确定位病变部位,而且当血供缺乏时,可出现假阴性结果。与上述检查结果相比,MRI 显示了对糖尿病足诊断的独特优势:不仅可以早期诊断软组织及骨质异常,而且对病变的范围可以做出准确判断,从而为临床治疗方案的选择及评估提供可靠依据。

因此,对于有外伤史、软组织肿胀、足部变形等症状的糖尿病患者,X 线平片是不可或缺的检查。若 X 线平片未见异常,应及时行 MRI 及下肢血管检查,来确认或排除感染、缺血或血管狭窄,以达到早诊断、早治疗的目的。

## [参考文献]

- [1] Lam D, LeRoith D. The worldwide diabetes epidemic [J]. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes*, 2012, 19: 93 - 96.
- [2] Jude EB, Oyibo SO, Chalmers N, et al. Peripheral arterial disease in diabetic and nondiabetic patients: a comparison of severity and outcome [J]. *Diabetes Care*, 2001, 24: 1433 - 1437.
- [3] Brar SS, Shen AY, Jorgensen MB, et al. Sodium bicarbonate vs Sodium chloride for the prevention of contrast medium-induced nephropathy in patients undergoing coronary angiography: a randomized trial[J]. *JAMA*, 2008, 300: 1038 - 1046.
- [4] Isenbarger DW, Kent SM, O'malley PG. Meta - analysis of randomized clinical trials on the usefulness of acetylcysteine for prevention of contrast nephropathy[J]. *Am J Cardiol*, 2003, 92: 1454 - 1458.
- [5] 任重阳, 狄镇海, 毛学群, 等. DSA 步进技术在糖尿病下肢血管病变诊断中的应用 [J]. *介入放射学杂志*, 2010, 19: 737 - 740.
- [6] Jens S, Koelemay MJ, Reekers JA, et al. Diagnostic performance of computed tomography angiography and contrast - enhanced magnetic resonance angiography in patients with critical limb ischaemia and intermittent claudication: systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Radiol*, 2013, 23: 3104 - 3114.
- [7] Berg F, Bangard C, Bovenschulte H, et al. Feasibility of peripheral contrast-enhanced magnetic resonance angiography at 3.0 Tesla with a hybrid technique: comparison with digital subtraction angiography [J]. *Invest Radiol*, 2008, 43: 642 - 649.
- [8] Visser K, Hunink MG. Peripheral arterial disease: gadolinium-enhanced Mr angiography versus color - guided duplex US—a meta-analysis[J]. *Radiology*, 2000, 216: 67 - 77.
- [9] 梁 彤, 任 杰, 梁峭嵘, 等. 彩色多普勒超声与超声造影诊断糖尿病足胫后动脉病变的对比研究 [J]. *中国超声医学杂志*, 2013, 29: 358 - 361.
- [10] 柴 萌, 张海涛, 黄丛春, 等. 无创检查在糖尿病足下肢血管病变中的诊断价值与 DSA 对照研究 [J]. *医学影像学杂志*, 2008, 18: 300 - 303.
- [11] Wessig C, Bendszus M, Reiners K, et al. Lesions of the peripheral nerves: Mr neurography as an innovative supplement to electrodiagnostics [J]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2012, 44: 155 - 162.
- [12] Pham M, Oikonomou D, Bäumer P, et al. Proximal neuropathic lesions in distal symmetric diabetic polyneuropathy: findings of high - resolution magnetic resonance neurography [J]. *Diabetes Care*, 2011, 34: 721 - 723.
- [13] 程 娟, 陈亚青. 超声诊断糖尿病周围神经病变 [J]. *中国医学影像技术*, 2011, 27: 1035 - 1038.
- [14] Donovan A, Schweitzer ME. Current concepts in imaging diabetic pedal osteomyelitis[J]. *Radiol Clin North Am*, 2008, 46: 1105 - 1124.
- [15] Rozzanigo U, Tagliani A, Vittorini E, et al. Role of magnetic resonance imaging in the evaluation of diabetic foot with suspected osteomyelitis[J]. *Radiol Med*, 2009, 114: 121 - 132.
- [16] Petre M, Erdemir A, Cavanagh PR. An MRI-compatible foot-loading device for assessment of internal tissue deformation[J]. *J Biomech*, 2008, 41: 470 - 474.
- [17] Wang J, Li YH, Li MH, et al. Use of dynamic contrast - enhanced magnetic resonance imaging to evaluate the microcirculation of lower extremity muscles in patients with Type 2 diabetes[J]. *Diabet Med*, 2011, 28: 618 - 621.
- [18] 朱海云, 程永德, 李跃华. 跨膜转运常数评价 2 型糖尿病患者下肢肌肉微循环状况 [J]. *介入放射学杂志*, 2012, 21: 547 - 550.
- [19] Loredo R, Rahal A, Garcia G, et al. Imaging of the diabetic foot diagnostic dilemmas [J]. *Foot Ankle Spec*, 2010, 3: 249 - 264.
- [20] Seok JH, Jee WH, Chun KA, et al. Necrotizing fasciitis versus pyomyositis: discrimination with using Mr imaging [J]. *Korean J Radiol*, 2009, 10: 121 - 128.
- [21] Andreassen CS, Jakobsen J, Ringgaard S, et al. Accelerated atrophy of lower leg and foot muscles—a follow-up study of long-term diabetic polyneuropathy using magnetic resonance imaging (MRI)[J]. *Diabetologia*, 2009, 52: 1182 - 1191.
- [22] Poll LW, Weber P, Bohm HJ, et al. Sudeck's disease stage 1, or diabetic Charcot's foot stage 0? Case report and assessment of the diagnostic value of MRI [J]. *Diabetol Metab Syndr*, 2010, 2: 60.
- [23] Kapoor A, Page S, Lavalley M, et al. Magnetic resonance imaging for diagnosing foot osteomyelitis: a meta - analysis [J]. *Arch Intern Med*, 2007, 167: 125 - 132.
- [24] Nawaz A, Torigian DA, Siegelman ES, et al. Diagnostic performance of FDG - PET, MRI, and plain film radiography (PFR) for the diagnosis of osteomyelitis in the diabetic foot[J]. *Mol Imaging Biol*, 2010, 12: 335 - 342.

(收稿日期:2013-11-18)

(本文编辑:俞瑞纲)