

论 著

磁化准备快速采集梯度回波磁共振成像序列在下肢深静脉血栓中的应用及其诊断价值

陈惠枚^{1,*} 张 娜² 梁久平¹吴 谦¹

1.宝安区人民医院磁共振

(广东 深圳 518101)

2.中国科学院深圳先进院生物医学成像研

究中心(广东 深圳 518055)

【摘要】目的 评估磁化准备快速采集梯度回波(MPRAGE)磁共振成像序列检查下肢深静脉血栓(DVT)的临床价值。方法 对43例经超声确诊或疑似有DVT的患者进行MPRAGE和对比增强磁共振静脉血管造影(CE-MRV)检查,并评估采集得到图像的图像质量及诊断信心分数(四分法:1-最差,4-最好)。结果 MPRAGE和CE-MRV均获得较好的图像质量和诊断信心分数,MPRAGE的图像质量评分结果比CE-MRV稍低(平均值:3.62±0.64 vs 3.72±0.51, P<0.001),两者的诊断信心分数无统计差异(平均值:3.67±0.62 vs 3.68±0.54, P=0.572)。结论 MPRAGE可准确地诊断DVT患者,其检查结果与CE-MRV一致性高,可以作为安全、方便的替代方法。

【关键词】下肢深静脉血栓,磁共振成像,磁化准备快速采集梯度回波序列

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2022.11.060

The Application Value of Magnetization Prepared Rapid Acquisition Gradient Echo for the Diagnosis of Deep Vein Thrombosis

CHEN Hui-mei^{1,*}, ZHANG Na², LIANG Jiu-ping¹, WU Qian¹.

1.MR of Bao'an District People's Hospital, Shenzhen 518101, Guangdong Province, China

2.Research Center for Biomedical Imaging Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, Guangdong Province, China

ABSTRACT

Objective To evaluate a magnetic resonance (MR) sequence, magnetization prepared rapid acquisition gradient echo (MPRAGE), for the diagnosis of deep vein thrombosis (DVT). **Methods** Forty-three DVT patients confirmed by ultrasound were recruited and then conducted by MPRAGE and contrast-enhanced MR venography (CE-MRV). The image quality and diagnostic confidence of both MPRAGE and CE-MRV were assessed on a 4-point scale (1: poor; 4: excellent). Using the consensus CE-MRV as a reference, the sensitivity, specificity, positive and negative predictive values, and accuracy of MPRAGE in the diagnosis of DVT patients were calculated. Wilcoxon signed rank test was used for the comparison of the image quality and diagnostic confidence scores between MPRAGE and CE-MRV. Interobserver agreement and agreement between MPRAGE and CE-MRV were tested using Cohen's κ test. **Results** Good image quality and diagnostic confidence scores were obtained by both MPRAGE and CE-MRV. Although the image quality of MPRAGE was slightly lower than that of CE-MRV (3.62±0.64 vs 3.72±0.51, P<0.001), their diagnostic confidence scores were comparable (3.67±0.62 vs 3.68±0.54, P=0.572). **Conclusion** MPRAGE has high accuracy for the diagnosis of DVT. It is a safe and complementary technique for diagnosing the suspected DVT patients.

Keywords: Deep Vein Thrombosis, Magnetic Resonance Imaging, Magnetization Prepared Rapid Acquisition Gradient Echo.

下肢深静脉血栓(deep vein thrombosis, DVT)是一种常见的静脉系统疾病,其发病率约为1.5%^[1]。DVT除可导致致死性“肺栓塞”外,约50%的患者即使经规范化治疗仍在两年内发展为血栓后综合征,导致下肢肿胀、疼痛甚至截肢^[2],因此及时诊断和治疗DVT极为重要,有助于预防“肺栓塞”的发生和降低血栓后综合征的发生率^[3-4]。

当前可用于DVT临床检查的影像方法有多种,包括DSA、超声、CT以及MRI等^[5-6]。DSA是诊断DVT的“金标准”,但是该方法为有创性检查,不仅检查费用高,而且存在电离辐射和手术风险,目前仅在介入治疗过程中使用^[7]。超声则具有检查方便、费用便宜等优点,但是受超声物理性质的制约,超声成像的视野小、穿透深度有限,对髂静脉、胫腓干静脉、肌静脉等部位的血栓检查存在困难,尤其是当下肢有伤口、严重水肿或打石膏时,超声检查无法进行^[8]。CT虽然对DVT的敏感度和特异性较高,但电离辐射剂量大,现已较少用于DVT的临床检查^[9]。磁共振成像具有良好软组织对比度、全视野成像以及无辐射伤害等优点,已成功应用于DVT临床检查^[10],研究表明CE-MRV诊断DVT具有很高的敏感性、特异性和准确性;但临床部分患者存在肾功能异常,不适合对造影剂检查。本文拟利用MPRAGE磁共振成像序列,在不使用对比剂条件下进行DVT患者扫描,与CE-MRV成像对比,探讨其诊断DVT的临床价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究已获得医院临床伦理委员会批准并在检查前每位患者签署知情同意书。从2015年9月至2017年10月共招募43名经超声确诊或疑似DVT患者行磁共振检查,女性20名,男性23名,年龄25~73岁,平均年龄55.9±22.0岁。所有患者均有下肢疼痛、肿胀等症状。

病例排除标准:超声和磁共振的检查时间超过3天;患者有幽闭恐惧症、肾功能不全(肾小球滤过率eGFR<30mL/min/1.73m²)或其它MRI检查禁忌症。

1.2 检查仪器及方法 采用西门子 Avato 1.5T磁共振扫描仪,使用12通道的体部线圈及18通道的下肢线圈覆盖患者全下肢。扫描采取仰卧位、足先进的方式。

MPRAGE扫描参数如下:矩阵=256×256,视野=340mm×340mm,层厚=1.3mm,层数为224-288,插值重建的图像空间分辨率为0.65mm×0.65mm×0.65mm,TR=1200ms,TE=1.7ms,FA=18°,TI=250ms, Bandwidth=685Hz/Pixel,并行加速因子为2,采用非选择性的水激发脉冲进行脂肪抑制,每位患者均需进行三站扫描以覆盖全下肢,扫描时间约10分钟。

CE-MRV采用三维快速梯度回波序列进行数据采集,在注射对比剂前先采集一组下肢图像,在注射对比剂后当对比剂达到髂动脉时开始采集数据,并反复采集3次以抓取到对比剂充盈静脉血管的最佳图像。扫描参数如下:矩阵=288×288,视野

【第一作者】陈惠枚,女,主治医师,主要研究方向:心血管影像诊断。E-mail: 2324924770@qq.com

【通讯作者】陈惠枚

=360mm×360mm, 层厚=1.1mm, 层数为224-288, 插值重建的图像空间分辨率为0.65mm×0.65mm×0.65mm, TR = 2.8ms, TE = 1.6ms, FA = 18°, Bandwidth = 685Hz/Pixel, 并行加速因子为3, 采用频率选择饱和脉冲进行脂肪抑制, 每位患者均需进行三站扫描以覆盖全下肢, 一次全下肢扫描的时间为27s。

采用钆对比剂((Magnevist; Bayer, Germany), 使用的剂量为30mL(469.01mg/mL), 通过手臂静脉团注对比剂, 注射速率为3.0mL/s, 在对比剂注射完成后再接着以相同速率注射20mL生理盐水。

1.3 图像分析 图像分析采用图形处理工作站(Leonardo; Siemens AG, Germany)进行分析, 由两位具有10年以上工作经验的影像医师双盲下分别独立分析MPRAGE和CE-MRV图像意见不一致时, 讨论后决定。将下肢静脉分为: 髂总静脉、髂内静脉、髂外静脉、股总静脉、股浅静脉、股深静脉、腘静脉、胫腓干静脉、胫前静脉、胫后静脉、腓静脉、大隐静脉和小隐静脉等共13个节段。对各静脉节段的图像质量和诊断信心分数进行评分, 并分别独立判断各个静脉节段内是否存在静脉血栓。

MPRAGE诊断血栓的定义为静脉管腔内存在比肌肉组织高的信号; CE-MRV的定义为静脉管腔内存在黑色充盈缺损。图像质量和诊断信心分数均按四分法进行(1-差; 4-好), 其中图像质量评分的具体标准为: 1-最差, 图像信噪比差、脂肪信号抑制不佳、存在严重血流伪影, 不能用于诊断; 2-一般, 图像信噪比较好、脂肪信号抑制较好、存在轻微血流伪影, 可以用于诊断; 3-较好, 图像信噪比较好, 脂肪信号抑制较好, 不存在血流伪影, 可以用于诊断; 4-好, 图像信噪比好, 脂肪信号抑制佳、不存在血流伪影, 可以用于诊断。

1.4 统计分析 采用SPSS 19.0软件进行统计分析, 分析内容包括: (1)计算图像质量和诊断信心分数的平均值和标准偏差; (2)使用秩和检验分别比较MPRAGE和CE-MRV的图像质量、诊断信心的差异, 当 $P < 0.05$ 时, 认为存在显著性差异。

2 结果

所有43名患者均成功进行磁共振扫描, 无任何不良反应出现, 共获得并分析1118个静脉节段。血栓在MPRAGE图像上显示比周围肌肉组织稍高的信号(图1A), 而在CE-MRV图像上则显示为静脉管腔的充盈缺损(图1B)。MPRAGE显示的血栓大小、形态及分布范围等均与CE-MRV结果较为一致。

图1A, 1B血栓在MPRAGE图像上显示比周围肌肉组织稍高的信号(图1A), 而在CE-MRV图像上则显示为静脉管腔的充盈缺损(图1B), 两者显示的血栓大小、形态和分布范围都较为一致。

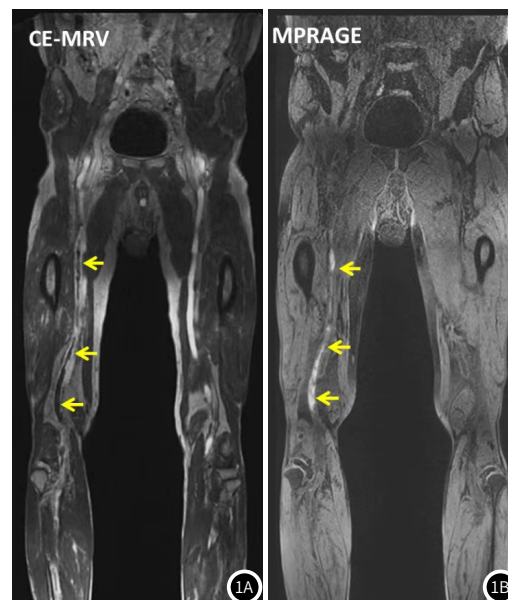
对MPRAGE和CE-MRV图像进行图像质量和诊断信心评分, 结果表明MPRAGE的图像质量评分结果比CE-MRV稍低, 但两者的诊断信心分数无统计差异(表1)。在MPRAGE和CE-MRV图像中, 分别有69.3%(775/1118)和76.5%(855/1118)的静脉节段图像质量评分为4, 分别有75.2%(840/1118)和71.8%(803/1118)的静脉节段诊断信心分数为4。

表1 MPRAGE和CE-MRV图像质量和诊断信心评分比较

检查方法	图像质量评分	诊断信心分数
MPRAGE	3.62±0.64	3.67±0.62
CE-MRV	3.72±0.51	3.68±0.54
P	0.001	0.572

3 讨论

目前临床上超声是检查DVT的常规手段和首选方法, 但超声检查不仅依赖于医师的手法和水平, 而且存在技术上的局限性, 如于盆腔内的静脉无法使用超声检查以及对小腿血管检查准确性不高等。与超声相比, 磁共振成像可以有效地克服超声检查存在的缺陷, 并已有多种技术方法应用于DVT的临床检查。这些技术方法可以分为使管腔充盈缺损的血管造影和直接观察血栓信



号的血栓成像两大类。其中, 前者包括经典的CE-MRV、时间飞跃(time of flight, TOF)和平衡稳态自由进动血管成像(balanced steady-state free precession, bSSFP)序列以及最近研究的T2加权SPACE序列等^[11], 后者则包括本研究使用的MPRAGE以及基于血流信号抑制的T1加权SPACE序列和BTI序列等^[12-13]。已有研究表明, CE-MRV诊断DVT具有很高的敏感性、特异性和准确性, 因此本研究选择CE-MRV进行比较。

本研究使用MPRAGE检测DVT, 发现在无需使用对比剂条件下可清楚显示静脉管腔中的血栓。与CE-MRV结果比较的研究结果表明, MPRAGE检查DVT的准确性和一致性都比较高。MPRAGE成像具有以下特点: ①属于T1加权成像序列。研究表明, 血栓中的氧合血红蛋白在DVT病程发展过程中逐渐被氧化成高铁血红蛋白^[14], 由于高铁血红蛋白在磁场中表现为顺磁性, 可以有效缩短组织的T1值, 使得高铁血红蛋白含量较高的血栓在T1加权磁共振图像上呈现出高信号, 而MPRAGE是一种重T1加权成像序列, 因此其扫描获得的图像正好反映这一DVT发展的病理机制, 从而能直观地诊断出血栓发生的血管位置、大小及分布范围^[15]; ②使用水激发方式进行脂肪抑制。由于脂肪在磁共振成像中呈现高信号, 而高铁血红蛋白含量较高的血栓也在图像中呈现高信号, 如果不能将脂肪信号抑制, 则有可能将脂肪误诊为血栓。研究表明, 相对于临床中常用的脂肪频率饱和抑制(fat saturation, FatSat)脉冲进行压脂的方法, 水激发的压脂方式对B0、B1不均匀性较好^[16], 这对下肢的大视野、高分辨、快速磁共振扫描尤为重要; ③设置恰当的TI值。由于血栓位于静脉管腔中, 周围存在静脉血流, 只有通过设置恰当的TI值来尽可能地抑制血流和背景组织信号, 使得血栓信号从背景中凸显出来, 从而易于诊断。MPRAGE序列的成像速度较快, 可以在10分钟左右的时间内实现全下肢三维高分辨血栓成像, 尤为重要的是, MPRAGE是磁共振成像系统中普遍存在的一个常规序列, 因此可以很方便地在各医院推广和使用。

综上所述, MPRAGE在不使用对比剂情况下, 可准确地诊断DVT患者, 其检查结果与CE-MRV一致性高, 这对于疑似有DVT而又有超声、X射线及对比剂等检查禁忌的患者, MPRAGE可以作为安全、方便的替代方法。

参考文献

- [1] Stone J, Hangge P, Albadawi H, et al. Deep vein thrombosis: pathogenesis, diagnosis, and medical management[J]. Cardiovasc Diagn Ther 2017, 7 (Suppl3): S276-S284.

静脉期。既往王丽杰等^[22]、王素雅等^[25]亦证实了这一点。

选取AUC值最高的静脉期40keVCT值及IC做联合诊断模型时,虽提高了诊断效能,但对三者诊断效能进行两两比较时,差异均无统计学意义($P<0.05$),表明三者诊断作用近似,可能是因为单能量图像及碘基图本质上都反映了病灶微血管密度及血流灌注情况有关,说明单能量图像及碘基图的诊断效能近似。

综上所述,能谱CT增强扫描定量参数对肺癌与肺结核球鉴别诊断有较高诊断价值,静脉期为诊断最佳时相,联合诊断可提高诊断效能,但各参数诊断作用近似。本研究仍有较多不足之处:一样本量少,未进行大样本研究;另外,未结合病灶的形态学特征进行分析;第三,不同研究间不同时期的病变血供可能不同,均可能使结果出现不可预测的改变,故有待进一步深入研究。

参考文献

- [1] Siegel R L, Miller K D, Fuchs H E, et al. Cancer statistics, 2021 [J]. *Cancer J Clin*, 2021, 71(1): 7-33.
- [2] Ferlay J, Colombet M, Soerjomataram I, et al. Estimating the global cancer incidence and mortality in 2018: GLOBOCAN sources and methods [J]. *Int J Cancer*, 2019, 144(8): 1941-1953.
- [3] CAO M, CHEN W. Epidemiology of lung cancer in China [J]. *Thoracic Cancer*, 2019, 10(1): 3-7.
- [4] Hamavid H, Moradi-Lakeh M, MacIntyre M F, et al. The global burden of cancer 2013 [J]. *JAMA Oncol*, 2015, 1(4): 505-527.
- [5] 吴树才, 王新举, 纪俊雨, 等. 基于深度学习卷积神经网络的肺结核CT诊断模型效能初探 [J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2021, 44(5): 450-455.
- [6] Chen M L, Li X T, Wei Y Y, et al. Can spectral computed tomography imaging improve the differentiation between malignant and benign pulmonary lesions manifesting as solitary pure ground glass, mixed ground glass, and solid nodules? [J]. *Thorac Cancer*, 2019, 10(2): 234-242.
- [7] 史志勇. 能谱CT定量分析在非小细胞肺癌术前诊断中的临床价值 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2020, 18(9): 76-78.
- [8] 王俊, 王水, 王艳, 等. 双源CT能谱参数在肠道肿瘤转移性淋巴结及反应增生性淋巴结鉴别中的应用 [J]. *放射学实践*, 2018, 33(6): 593-597.
- [9] 李戈, 叶兆祥. 双能CT在直肠癌术前分期评估中的应用进展 [J]. *国际医学放射学杂志*, 2020, 43(2): 211-218.
- [10] 常旭, 郭兴. 双能量CT碘图的临床应用 [J]. *实用放射学杂志*, 2019, 35(10): 1691-

1694.

- [11] Deniffel D, Sauter A, Dangelmaier J, et al. Differentiating intrapulmonary metastases from different primary tumors via quantitative dual-energy CT based iodine concentration and conventional CT attenuation [J]. *Eur J Radiol*, 2019, 111: 6-13.
- [12] 黄倩文, 陈应东, 钟华, 等. 肺癌能谱CT相关参数定量与临床应用 [J]. *临床放射学杂志*, 2020, 39(7): 1316-1321.
- [13] 吉玉刚, 陈光强, 范国华, 等. 双源CT能谱参数对Lauren弥漫型与肠型胃癌的鉴别诊断价值 [J]. *放射学实践*, 2020, 35(9): 1122-1126.
- [14] JIA Y L, XIAO X G, SUN Q L, et al. Gemstone spectral imaging in lung cancer: a preliminary study [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(29): e11170.
- [15] ZHANG Z T, ZOU H Y, YUAN A M, et al. A single enhanced dual-energy CT scan may distinguish lung squamous cell carcinoma from adenocarcinoma during the venous phase [J]. *Acad Radiol*, 2020, 27(5): 624-629.
- [16] 李法升, 闫瑞柯. 能谱CT成像对肺癌与炎性肿块鉴别效能的Meta分析 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2019, 27(3): 230-235.
- [17] 朱巧, 任翠, 张艳, 等. 能谱CT成像评价晚期非小细胞肺癌化疗近期疗效的价值 [J]. *放射学实践*, 2020, 35(8): 953-958.
- [18] 吴国生. 多层螺旋CT低剂量扫描对肺结节的诊断价值分析 [J]. *中国数字医学*, 2019, 14(5): 96-98.
- [19] 冯昭, 刘刚, 李小花, 等. 能谱CT低剂量扫描对于肺孤立小结节的诊断价值研究 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2021, 19(10): 39-42.
- [20] 梁智锋, 李仰康, 黄钰坚. MSCT平扫及强化对周围型肺神经内分泌瘤的诊断价值 [J]. *海南医学*, 2017, 28(13): 2134-2136.
- [21] 漆婉玲, 何玉麟, 夏青, 等. 不典型肺结核球与周围型小肺癌的MRI鉴别诊断 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2020, 28(1): 35-39.
- [22] 王丽杰, 马继文, 王永丽, 等. 能谱CT鉴别诊断孤立性肺结节或肿块的价值 [J]. *中国临床医学影像学杂志*, 2017, 24(8): 245-249.
- [23] Lin J, Zhang L, Zhang C, et al. Application of gemstone spectral computed tomography imaging in the characterization of solitary pulmonary nodules: preliminary result [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2016, 40(6): 907-911.
- [24] 郑昊, 王安武, 陈盈, 等. 动脉期 CT 能谱在不典型肺结核与肺癌鉴别诊断中的价值 [J]. *中华全科医学*, 2015, 13(11): 1838-1840.
- [25] 王素雅, 高剑波, 张芮, 等. CT能谱成像对孤立性肺结节的诊断价值. *中华医学杂志*, 2016, 96(13): 1040-1043.

(收稿日期: 2022-07-11)

(校对编辑: 姚丽娜)

(上接第 167 页)

- [2] Rabinovich A, Ducruet T, Kahn S R, et al. Development of a clinical prediction model for the postthrombotic syndrome in a prospective cohort of patients with proximal deep vein thrombosis [J]. *J Thromb Haemost* 2018, 16(2): 262-270.
- [3] 李晓强, 张福先, 王深明. 深静脉血栓形成的诊断和治疗指南 (第三版) [J]. *中国血管外科杂志 (电子版)* 2017, 9(4): 250-257.
- [4] 中国医师协会介入医师分会中华医学会放射学分会介入专业委员会, 中国静脉介入联盟. 下肢深静脉血栓形成介入治疗规范的专家共识 (第2版) [J]. *中华介入放射学电子杂志* 2018, 6(4): 283-288.
- [5] Mazzolai L, Aboyans V, Ageno W, et al. Diagnosis and management of acute deep vein thrombosis: a joint consensus document from the European society of cardiology working groups of aorta and peripheral circulation and pulmonary circulation and right ventricular function [J]. *Eur Heart J* 2018, 39(15): 1316-1316.
- [6] van der Hulle T, Dronkers C E A, Huisman M V, et al. Current standings in diagnostic management of acute venous thromboembolism: Still rough around the edges [J]. *Blood Rev* 2016, 30(1): 21-26.
- [7] Baarslag H J, van Beek E J, Tijssen J G, et al. Deep vein thrombosis of the upper extremity: intra- and interobserver study of digital subtraction venography [J]. *Eur Radiol* 2003, 13(2): 251-255.
- [8] Needleman L, Cronan J J, Lilly M P, et al. Ultrasound for lower extremity deep venous thrombosis: multidisciplinary recommendations from the society of radiologists in ultrasound consensus conference [J]. *Circulation* 2018, 137(14): 1505-1515.
- [9] Shi W Y, Wang L W, Wang S J, et al. Combined direct and indirect CT venography (Combined CTV) in detecting lower extremity deep vein thrombosis [J]. *Medicine (Baltimore)* 2016, 95(11): e3010.

- [10] Bernardi E, Camporese G. Diagnosis of deep-vein thrombosis [J]. *Thromb Res* 2018, 163: 201-206.
- [11] Wu G, Xie R, Zhang X, et al. The diagnostic value of 3-dimensional sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolutions (SPACE) MRI in evaluating lower extremity deep venous thrombus [J]. *Invest Radiol* 2017, 52(12): 734-740.
- [12] Xie G, Chen H, He X, et al. Black-blood thrombus imaging (BTI): a contrast-free cardiovascular magnetic resonance approach for the diagnosis of non-acute deep vein thrombosis [J]. *J Cardiovasc Magn Reson* 2017, 19(1): 4.
- [13] Xie G, Chen H, He X, et al. 3D MR black-blood thrombus imaging for the diagnosis of acute deep vein thrombosis at 1.5 T: a feasibility study [J]. *Proc Intl Soc Mag Reson Med* 2017.
- [14] Saha P, E. AM, Blume U, et al. In vivo correlation of T1 and methemoglobin in a mouse model of deep vein thrombosis [J]. *Proc Intl Soc Mag Reson Med* 2011, 19: 4489.
- [15] Tan M, Mol G C, van Rooden C J, et al. Magnetic resonance direct thrombus imaging differentiates acute recurrent ipsilateral deep vein thrombosis from residual thrombosis [J]. *Blood* 2014, 124(4): 623-627.
- [16] Del Grande F, Santini F, Herzka D A, et al. Fat-suppression techniques for 3-T MR imaging of the musculoskeletal system [J]. *Radiographics* 2014, 34(1): 217-233.

(收稿日期: 2020-05-02)

(校对编辑: 姚丽娜)