

读出分段 DWI 鉴别下肢静脉急性血栓与慢性血栓的价值

尹翠林, 李小明, 吴刚

【摘要】 目的:探讨读出分段磁共振扩散加权成像(DWI)鉴别急性与慢性深静脉血栓的价值。**方法:**对比前后两次超声结果以确定深静脉血栓的性质:第1次超声检查结果为阴性,第二次为阳性,且两次超声检查间隔时间小于两周,定义为急性血栓;两次超声检查均为阳性,且间隔时间大于两周,定义为慢性血栓。搜集符合要求的65例血栓患者(急性35例,慢性30例)行磁共振检查。两位医师独立测量血栓的ADC值,采用组内相关系数(ICC)评估两位医师测量血栓ADC值间的一致性。将65例患者分为急性血栓组与慢性血栓组,比较两组间的ADC值差异。采用受试者工作特征(ROC)曲线分析ADC值鉴别急性血栓与慢性血栓的能力。选取约登指数最大的阈值,以此计算其诊断敏感度和特异度。**结果:**两位医师测量ADC值的ICC值为0.85。急性血栓的ADC值($550 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$)高于慢性血栓($230 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$),差异有统计学意义($P < 0.001$)。ADC值鉴别急性血栓与慢性血栓的曲线下面积(AUC)为0.93。以 $330 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ 为阈值,ADC值的诊断敏感度、特异度分别为91.4%和90.0%。**结论:**读出分段DWI对于深静脉血栓显示良好,急性血栓与慢性血栓的ADC值差异有统计学意义。采用ADC值鉴别下肢静脉急性与慢性血栓,有助于选择正确的治疗策略。

【关键词】 深静脉血栓; 扩散加权成像; 磁共振成像; 急性血栓; 慢性血栓

【中图分类号】 R543.6; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2020)01-0081-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.01.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The application value of readout-segmented diffusion weighted imaging in the differentiation diagnosis of acute and chronic thrombosis in the deep vein of lower extremity YIN Cui-lin, LI Xiao-ming, WU Gang. Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to investigate the feasibility of value of readout-segmented diffusion weighted imaging (RS-DWI) in the differentiation diagnosis of acute and chronic thrombosis in the deep vein of lower extremity. **Methods:** 65 patients with thrombi (acute 35, chronic 30) were enrolled for magnetic resonance examinations. The selection criteria was based on comparing the results of two ultrasound exams. Definition for acute thrombosis: ultrasound exam was negative for the first time and positive for the second with the time interval less than two weeks. Chronic thrombosis: both results of ultrasound examinations were positive with the time interval longer than two weeks. Apparent diffusion coefficient (ADC) was measured by two experienced radiologists separately for each thrombus. Intra-class correlation coefficient (ICC) was calculated to determine the inter-reader viability. 65 cases were divided into two groups: acute and chronic group. Mann Whitney test was used to determine the difference of ADC between two groups. Receiver operator characteristic (ROC) was used to evaluate the ability of ADC in the differentiation of the features of thrombus. The cutoff corresponding with maximum Youden Index was selected for calculation of sensitivity and specificity. **Results:** ICC for ADC was 0.85. Mean ADC was significantly higher in acute group versus chronic group ($550 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ vs. $230 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$, $P < 0.001$). Area under curve (AUC) was 0.93 for ADC. Taken $330 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ as the cutoff, the sensitivity and specificity of ADC were 91.4% and 90.0% respectively. **Conclusions:** RS-DWI can clearly display the deep venous thrombus. Its derived ADC value can be useful in the differentiation of acute from chronic thrombosis in the lower extremity.

作者单位: 430030 武汉, 华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科

作者简介: 尹翠林(1994-), 女, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 主要从事肌骨影像诊断工作。

通讯作者: 吴刚, E-mail: 42292815@qq.com

ties and helpful in guiding correct clinical treatment approaches.

【Key words】 Deep venous thrombus; Diffusion weighted imaging; Magnetic resonance imaging; Acute thrombus; Chronic thrombus

下肢深静脉血栓是一种可导致肺栓塞的常见疾病^[1,2],区分急性血栓与慢性血栓非常重要,因为两者的治疗策略完全不同^[3]。临床上通常根据患者的症状持续时间(如下肢肿胀时间)来推测血栓的性质^[4]。相关文献报道,使用这种方法约 1/3 的血栓被错判性质^[5,6]。超声被广泛用于检测血栓,但在区分急性与慢性血栓方面存在困难^[7]。也有学者尝试使用 MR 技术来鉴别血栓性质^[8]。扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)是临床上广泛使用的功能性磁共振序列,能反映组织内自由水分子的扩散特性^[9],然而使用 DWI 鉴别急性与慢性血栓国内尚未见文献报道。本研究旨在探讨 DWI 鉴别下肢静脉急性血栓与慢性血栓的价值。

材料与方法

1. 病例资料

搜集我院前后两次行下肢静脉超声检查的患者。本研究采用的急性血栓判定标准如下:第 1 次超声检查未检测到血栓(阴性),第 2 次超声检查检测到血栓(阳性),两次超声检查间隔时间小于两周。慢性血栓判定标准如下:第 1 次超声阳性,第 2 次超声阳性,两次超声检查间隔时间大于两周。病例纳入标准:①诊断明确的急性血栓患者;②诊断明确的慢性血栓患者;③MRI 检查在第 2 次超声检查结束后 12h 内进行。病例排除标准:①有磁共振检查禁忌症(如幽闭恐惧症);②血栓附近存在金属内固定物;③MRI 检查前行血管介入导管溶栓;④合并肺栓塞,转运不安全的患者。共 65 例患者纳入本研究,被分为急性血栓组($n=35$)和慢性血栓组($n=30$)。

65 例患者中男 25 例,女 40 例,年龄 34~74 岁,平均 53.4 岁。回顾性分析所有患者的病史,导致血栓的明确原因有肿瘤($n=23$)、手术($n=17$)和肢体制动($n=7$),其他 18 例患者造成血栓的原因不明。57 例患者存在下肢肿胀,37 例患者腿痛。

2. 检查方法

MRI 检查采用 Siemens 3.0T 磁共振扫描仪(Skyra),18 通道体部线圈。首先使用可变翻转角长回波链三维自旋(sampling perfection with application optimized contrast using different flip angle evolutions, SPACE)序列对血栓进行定位。SPACE 主要扫描参数:TR 3200 ms, TE 100 ms,层厚 1.8 mm,回波链长度 100,相位方向为头足方向,过采样 50%,层数

30 或更多。使用 SPACE 成功显示全部血栓后,再使用读出分段的 DWI 序列对血栓的中央节段进行扫描,主要扫描参数:TR 3000 ms, TE 70 ms,矩阵 224,视野 224 mm×224 mm 或更大以适应腿部,层厚 4 mm,层数 12~20,读出分段 7, b 值取 0, 800 s/mm²,扩散梯度 3 个方向,扫描总时间为 3~5 min。DWI 扫描完成后,ADC 图由机器自动生成。

3. 数据分析

由两位具有 10 年以上工作经验的放射科医师在不知道血栓年龄的情况下,分别在 ADC 图的血栓上勾画圆形兴趣区(region of interest, ROI)来测量血栓的 ADC 值。在血栓的多个层面上测量 ADC 值,然后取平均值。

4. 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。采用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)评估两位医师测量血栓 ADC 值间的一致性。如 $ICC > 0.7$,则认为两位医师间的一致性良好,最终数值取两位医师测得的 ADC 值的平均值;如 $ICC < 0.4$,则认为两位医师间的一致性差。如 ICC 介于 0.4 和 0.7 之间,则最终数值不能取两者的平均值,需分别报道。首先对 ADC 值进行正态性检验,若符合正态分布,则采用独立样本 t 检验比较急性血栓组与慢性血栓组的 ADC 值差异;若不符合正态分布,则采用非参数 Mann-Whitney 检验比较两组 ADC 值的差异。两组患者年龄的比较采用独立样本 t 检验,两组患者性别分布的比较采用卡方检验。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线进一步评估 ADC 值区分急性血栓与慢性血栓的能力,对应约登指数(Youden Index)最大的阈值被选取用以计算诊断敏感度和特异度。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

65 例患者(图 1~3)被分为急性血栓组($n=35$)和慢性血栓组($n=30$)。35 例急性血栓组患者中,男 12 例,女 23 例,平均年龄为 53.3 岁;30 例慢性血栓组患者中,男 10 例,女 20 例,平均年龄为 52.4 岁。两组患者的年龄、性别分布差异无统计学意义($P > 0.05$)。两位医师测量 ADC 值的 ICC 值为 0.85(高于 0.7),因此最终数值取两位医师测得的 ADC 值的平均值。

正态性检验结果显示 ADC 值分布不符合正态分布,因此采用非参数检验比较急性血栓与慢性血栓的

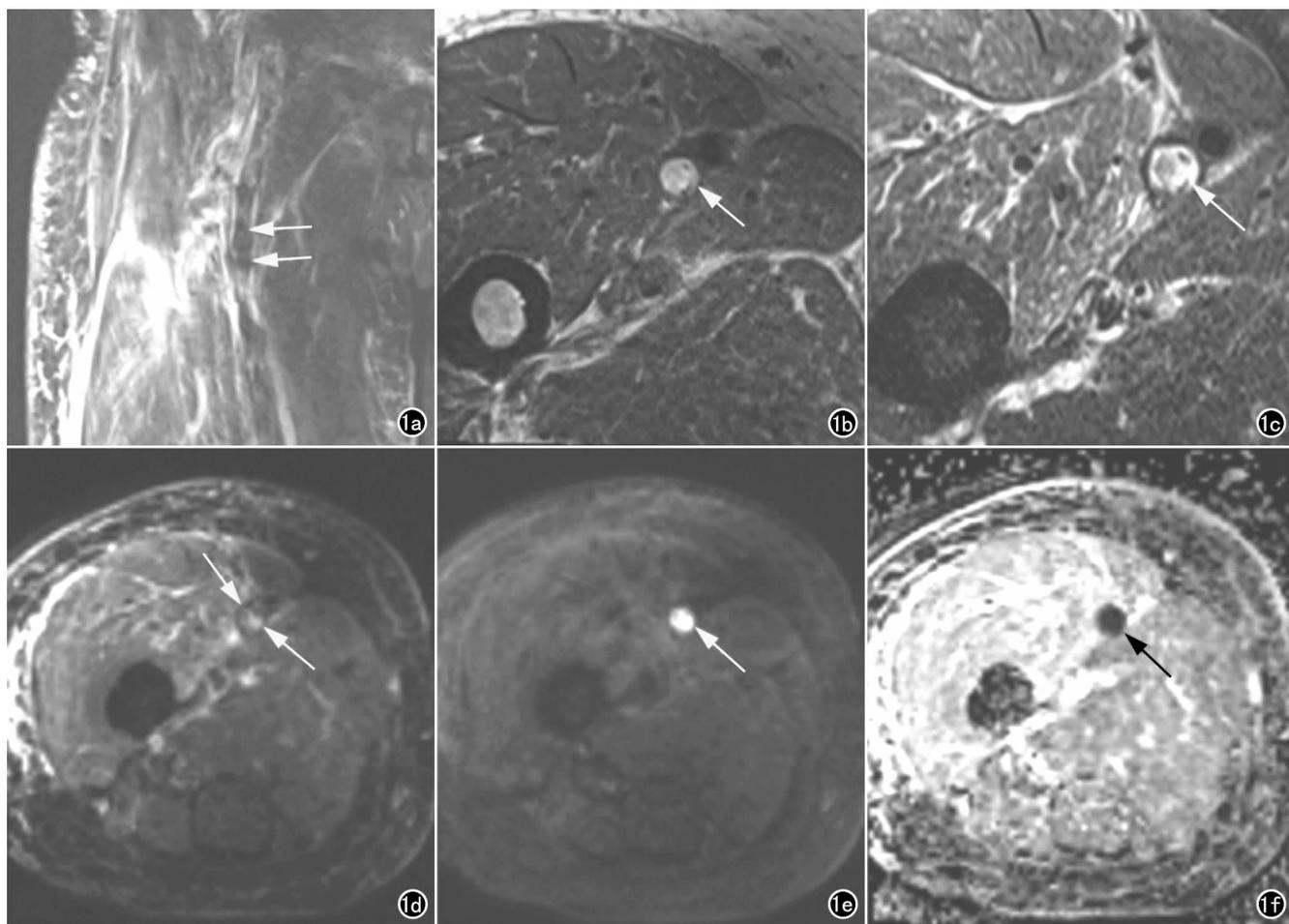


图1 患者,女,57岁,右下肢水肿一周。a) SPACE 图像示血栓呈不均匀低信号(箭); b) T₁WI 图像示血栓呈不均匀高信号(箭); c) T₂WI 图像示血栓呈不均匀高信号(箭); d) DWI 图像(b=0)示血栓信号(箭)与 T₂WI 图像上的信号类似; e) DWI 图像(b=800s/mm²)示血栓呈极高信号(箭),边界清楚; f) ADC 图(箭)示血栓(箭)的灰度显著低于背景,边界清楚。

ADC 值差异。急性血栓组的 ADC 值($550 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$)明显高于慢性血栓组($230 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$),差异有统计学意义($Z = -5.968, P < 0.001$)。

ROC 分析结果显示,ADC 值鉴别急性血栓与慢性血栓的曲线下面积(ared under curve, AUC)为0.93(图4)。阈值取 $330 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ 时约登指数最大。以 $330 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ 作为阈值,ADC 值超过此阈值诊断为急性血栓,诊断敏感度、特异度分别为 91.4%(32/35)和 90.0%(27/30)。

讨论

由于血栓的 ADC 值有可能随着血栓年龄的变化而发生变化^[10],本研究尝试使用读出分段的 DWI 来鉴别急性血栓与慢性血栓。本研究结果显示急性血栓与慢性血栓的 ADC 值差异有统计学意义,ADC 值鉴别急性血栓与慢性血栓的敏感度、特异度均超过 90%。

从 $b=0$ 到 $b=800 \text{ s}/\text{mm}^2$,血栓和背景的信号强

度均下降,但两者下降的幅度不同。与背景相比,血栓组织结构更紧密,含水量更少,自由水分子运动受限的程度更高,因此 ADC 值低于背景。在 ADC 图上,所有血栓的灰度均显著低于背景,血栓边界清楚,显示良好。

众所周知,血栓的水含量随着血栓年龄的增高而逐渐减少,而血栓的组织密度随着血栓年龄的增高而逐渐升高^[11]。慢性血栓的自由水含量及容许水分子扩散的空间必然低于急性血栓,从而导致慢性血栓的 ADC 值低于急性血栓,本研究结果也支持上述理论。本研究还发现 ADC 值鉴别急性血栓与慢性血栓的 AUC 超过 0.9,敏感度和特异度均超过 90%,说明急性血栓与慢性血栓的 ADC 值重叠较少。

血栓在横断面上的直径较小,预实验中笔者发现普通 DWI 显示血栓效果不佳,这是由于普通 DWI 的空间分辨率不够,而且易受磁敏感伪影的干扰。因此本研究采用读出分段的 DWI,在读出方向将 k 空间轨迹分成多个部分,增大了采集矩阵,与传统的单激发

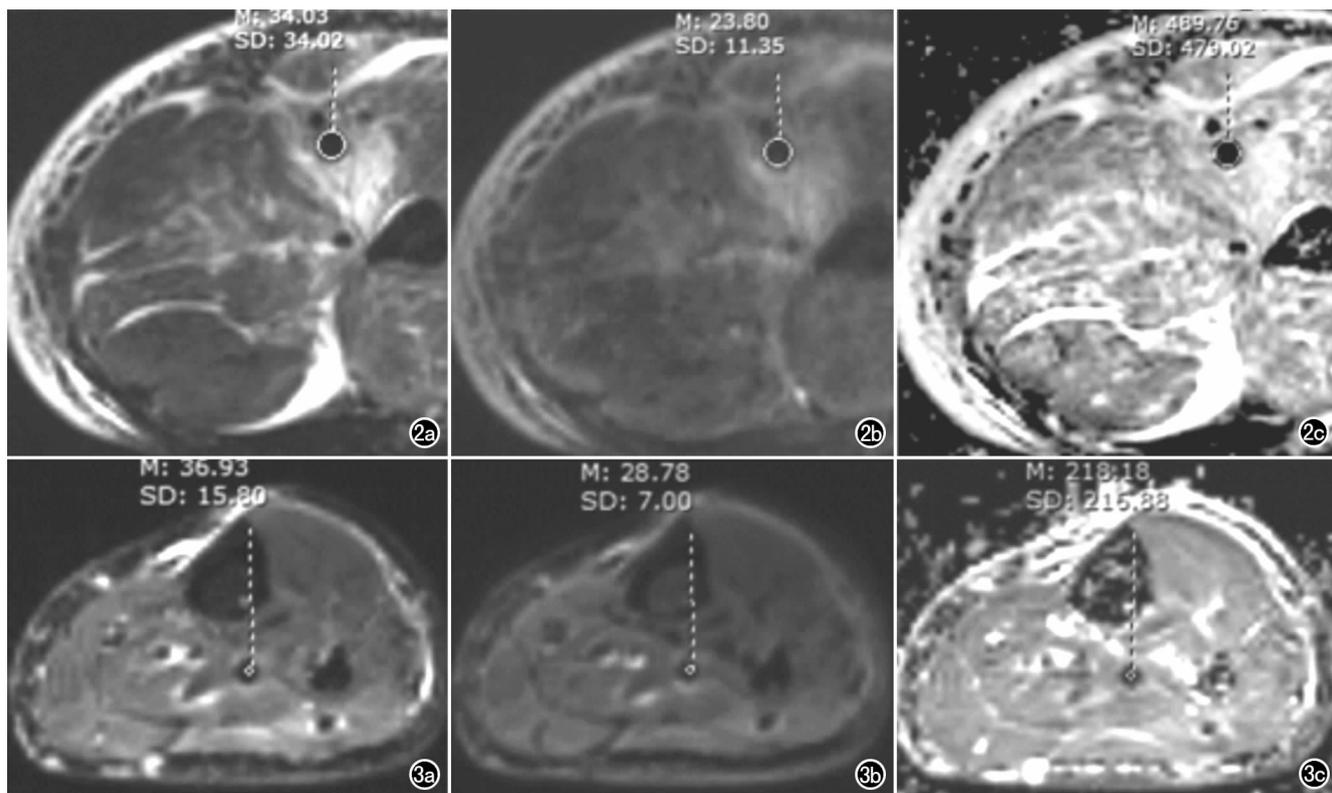


图 2 急性血栓患者。a)DWI 图像($b=0$)示急性血栓呈低信号;b)DWI 图像($b=800\text{s}/\text{mm}^2$)示急性血栓呈低信号;c)ADC 图显示急性血栓灰度显著低于背景。图 3 慢性血栓患者。a)DWI 图像($b=0$)示慢性血栓呈低信号;b)DWI 图像($b=800\text{s}/\text{mm}^2$)示慢性血栓呈低信号;c)ADC 图显示慢性血栓灰度显著低于背景。通过 ROI 分析,获取血栓的信号强度和 ADC 值。此急性血栓与慢性血栓在 $b=0$ 和 $b=800\text{s}/\text{mm}^2$ 图像上的信号强度差异不大,因此难以通过信号强度来鉴别两者。但此急性血栓(图 2 患者)与慢性血栓(图 3 患者)的 ADC 值差异较大。如果将 $330 \times 10^{-6} \text{mm}^2/\text{s}$ 作为诊断阈值,急性血栓的 ADC 值大于此阈值,而慢性血栓的 ADC 值小于此阈值。

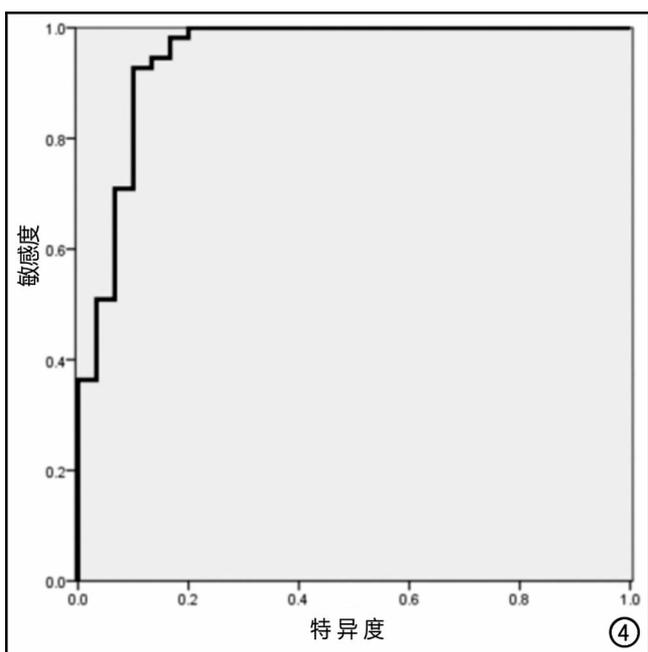


图 4 ADC 值鉴别急性血栓与慢性血栓的 ROC 曲线。

DWI 相比,读出分段的 DWI 具有更短的回波间距,可以获得更高的图像分辨率,减少磁敏感伪影^[12,13]。同时,读出分段 DWI 支持全自动校准部分并行采集技术,进一步减低了磁敏感伪影。值得一提的是,读出分段 DWI 的成像时间较常规 DWI 明显增加^[14],读出节段越多,成像时间越长;成像时间越长,越容易受到运动伪影的干扰。然而本研究中的 DWI 检查是在轴面上进行,与下肢长轴垂直,因而对运动相对不敏感。

本研究有以下局限性:①以超声作为参考标准,没有把患者的深静脉血栓取出来做病理学检查,因此无法验证血栓的真实水含量或观测血栓内部微观结构。关于血栓内部自由水分子扩散受限的机制尚停留在推测假想阶段;②本研究的血栓分期仅限于急性和慢性两个阶段,而实际上血栓至少经历了超急性、急性、亚急性和慢性四个阶段。目前人类在体的血栓分期尚无法达到这个精度,构建四种阶段的动物血栓模型进行 MRI 研究,是一种值得研究的方法;③样本量不够大,还需要多中心、大样本的研究来验证本研究结果。

综上所述,使用读出分段的 DWI 测得的血栓 ADC 值在急性血栓与慢性血栓间差异有统计学意义,急性血栓的 ADC 值高于慢性血栓。ADC 值有助于为下肢深静脉血栓患者选择正确的治疗方案。

参考文献:

- [1] 赵艳娥,唐春香,周长圣,等. 3.0T MR 动态对比增强肺动脉成像评估肾病综合征患者肺栓塞[J]. 放射学实践,2016,31(9):833-837.
- [2] 鄢明蓉,段瑞岐. 妇科术后患者发生静脉血栓的发病原因分析及防治[J]. 中华妇幼临床医学杂志(电子版),2014,10(6):723-727.
- [3] 陆慰萱,刘春萍. 深静脉血栓形成和肺血栓栓塞症的自然病程[J]. 中华医学杂志,2003,99(1):84-86.
- [4] 王兰璞,孙国臣. 螺旋 CT 在肺栓塞溶栓治疗效果评价中的价值[J]. 河南外科学杂志,2011,18(1):44-46.
- [5] 张龙江,卢光明. 积极开展肺栓塞临床影像学研究[J]. 放射学实践,2016,31(9):802-803.
- [6] 张柏根,薛冠华. 深静脉血栓形成的病因及高危因素[J]. 中国实用外科杂志,2003,23(4):197-200.
- [7] 杨扬,齐宝庆. 下肢深静脉血栓的诊治进展[J]. 内科,2009,4(5):754-757.
- [8] Catalano OA, Choy G, Zhu A, et al. Differentiation of malignant

thrombus from bland thrombus of the portal vein in patients with hepatocellular carcinoma: application of diffusion-weighted MR imaging[J]. Radiology, 2010, 254(1):154-162.

- [9] 王朝艳,程敬亮,聂云飞. ADC 联合 DWI 鉴别中枢神经细胞瘤与室管膜瘤的诊断价值[J]. 放射学实践,2015,30(10):1011-1015.
- [10] 张雪辉,王钦习,陈祥民. 急性期脑静脉窦血栓脑实质磁共振扩散加权成像[J]. 临床放射学杂志,2009,28(1):20-23.
- [11] 毕春,孟强,刘光鉴. 丙泊酚和硫喷妥钠对光化学诱导树胶性缺血性脑缺血水含量和心功能的影响[J]. 昆明医科大学学报,2010,31(2):44-48.
- [12] Xia CC, Liu X, Peng WL, et al. Readout-segmented echo-planar imaging improves the image quality of diffusion-weighted MR imaging in rectal cancer: comparison with single-shot echo-planar diffusion-weighted sequences [J]. Eur J Radiol, 2016, 85(10):1818-1823.
- [13] Porter DA, Heidemann RM. High resolution diffusion-weighted imaging using readout-segmented echo-planar imaging, parallel imaging and a two-dimensional navigator-based reacquisition[J]. Magn Reson Med, 2009, 62(2):468-475.
- [14] 闵祥德,王良,冯朝燕. RS-EPI 序列在前列腺肿瘤 DWI 中的临床应用价值[J]. 放射学实践,2014,29(5):491-495.

(收稿日期:2019-08-28 修回日期:2019-10-21)

大学教材《医学影像成像原理》出版发行

由南京医科大学康达学院医学技术学部王骏主编的大学教材《医学影像成像原理》由科学出版社出版发行。

本书采用“大影像观”概念,详细讲述了 X 射线摄影、数字减影血管造影、计算机 X 射线体层摄影、磁共振、超声、核医学、放射治疗、医学图像打印及图像存储与传输系统的相关原理,是来自全国多所高等院校及教学医院的 10 余位从事医学影像临床、教学、科研、管理的一线专家、学者集体编创的成果,是“双师型”教师“前素质教育”的具体体现,这里面不乏具有高学历的人才,是一线“摸爬滚打”的体会与结晶,努力做到教学与临床的无缝接轨。更为可贵的是,本书附有数字化教学成果,便于各大院校教学使用。

本书适用于从事医学影像技术及相关领域的学生、同仁使用。每本 50 元,免寄费,可通过微信:1145486363 联系。

当然,智者千虑、必有一失,更何况我们这些凡夫俗子在极短的时间内高浓度提炼当代医学影像学的最新成果与精华。如有不足之处,敬请广大师生、同仁百忙之中通过微信:1145486363 多提宝贵意见,以利再版。