

半剂量对比剂增强双反转恢复序列臂丛成像研究

李友, 张树桐, 王艳芳, 蒋严, 黄增发, 马锋

【摘要】 目的:研究低剂量对比剂增强 3D-DIR-SPACE 序列在臂丛神经磁共振成像中的可行性。**方法:**研究分为两组,第一组建议剂量 0.2 mL/kg 行 3D-STIR-SPACE 扫描(对照组),第二组低剂量 0.1 mL/kg 行 3D-DIR-SPACE 扫描(研究组),两组均行 2D-STIR 实图重建扫描。在 2D-STIR 实图像上测量计算神经、血管、淋巴的 SI、SNR(将信号相近的淋巴与血管定义为组织 1,将信号低于淋巴的血管定义为组织 2),统计神经与组织 1/2 间的差异,比较神经在 3D-DIR/STIR-SPACE 平扫下的 CNR 且行统计学分析,比较低剂量下 3D-DIR-SPACE 与建议剂量下 3D-STIR-SPACE 在增强后的评分,行统计学分析。**结果:**神经与组织 1、组织 2 在 2D-STIR 图像上的 SI 分别为 274 ± 37.49 、 654.20 ± 145.85 、 267 ± 49.56 ,SNR 分别为 267.83 ± 65.62 、 638.17 ± 202.90 、 261.03 ± 71.83 ,神经与组织 1 在 SI、SNR 上有明显差异($P=0.00$),神经与组织 2 在 SI、SNR 上无明显差异($P=0.77/0.93$)。3D-STIR/DIR-SPACE 在臂丛平扫中的 CNR 分别为 89.85 ± 50.36 、 72.02 ± 34.63 ,没有明显差异($P=0.06$),低剂量下 3D-DIR-SPACE 与建议剂量下 3D-STIR-SPACE 在增强后的评分分别为 4.55 ± 0.50 、 4.72 ± 0.45 ,无统计学差异($P=0.10$)。**结论:**低剂量对比剂增强 3D-DIR-SPACE 扫描在降低剂量的同时能获得达到诊断效果的图像质量。

【关键词】 臂丛;注射器;低剂量对比剂;磁共振成像

【中图分类号】 R322.85;R981.1;R197.39;R445.2 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2020)06-0801-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.06.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A study of half dose contrast-enhanced with double inversion recovery sequence in the imaging of brachial plexus LI You, ZHANG Shu-tong, WANG Yan-fang, et al. Department of Radiology, the Central Hospital of Wuhan, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430014, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the feasibility of low dose contrast-enhanced three-dimensional double inversion time inversion recovery sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolution (3D-DIR-SPACE) in the MR imaging of brachial plexus. **Methods:** The patients were divided into two groups. The first group was recommended a dose of 0.2mL/kg with three-dimensional short inversion time inversion recovery sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolution (3D-STIR-SPACE) scanning (control group), and the second group, a low dose of contrast of 0.1mL/kg with 3D-DIR-SPACE (experimental group). Both groups were performed two-dimensional short inversion time inversion recovery (2D-STIR) scanning and image reconstruction. The signal intensity (SI) and signal to noise ratio (SNR) of nerves, blood vessels, lymph were measured and calculated on 2D-STIR images (the lymph and blood vessels with similar signals were defined as tissue 1, and the blood vessels with signals below lymph were defined as tissues 2). Statistical differences were analyzed between nerve, tissues 1 and 2. The contrast to noise ratio (CNR) of nerves on 3D-DIR and STIR-SPACE without contrast were also compared, as well as the enhanced scores of 3D-DIR-SPACE and 3D-STIR-SPACE at low dose. **Results:** The SI of nerve, tissue 1 and 2 on 2D-STIR images were 274 ± 37.49 , 654.20 ± 145.85 and 267 ± 49.56 , respectively, and the SNR were 267.83 ± 65.62 , 638.17 ± 202.90 and 261.03 ± 71.83 , respectively. There

作者单位:430014 武汉,华中科技大学同济医学院附属武汉中心医院影像科

作者简介:李友(1991—),男,贵州铜仁人,初级技师,主要从事神经、血管磁共振成像。

通讯作者:张树桐, E-mail:516736048@qq.com

were significant differences in SI and SNR between nerves and tissues 1 ($P=0.00$). There were no significant differences in SI and SNR between nerves and tissues 2 ($P=0.77/0.93$). The CNR of 3D-STIR/DIR-SPACE in brachial plexus without contrast were 89.85 ± 50.36 and 72.02 ± 34.63 , respectively ($P=0.06$). The enhanced scores of 3D-DIR-SPACE at low dose and 3D-STIR-SPACE at the recommended doses were 4.55 ± 0.50 and 4.72 ± 0.45 , respectively ($P=0.10$). **Conclusions:** Low dose of contrast-enhanced 3D-DIR-SPACE protocol can achieve comparable image quality with reducing contrast agents, comparing traditional 3D-STIR-SPACE with normal contrast dose of contrast.

【Key words】 Brachial plexus; Syringes; Low-dose contrast media; Magnetic resonance imaging

因具有较高的软组织对比度,磁共振成为诊断臂丛病变的首选方法。为了提高臂丛的对比度和分辨率,多采用三维单反转恢复可变翻转角快速自旋回波序列(three-dimensional short inversion time inversion recovery sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolution, 3D-STIR-SPACE)增强扫描进行臂丛磁共振成像^[1]。

3D-STIR-SPACE 目前在增强作用下所用对比剂剂量多以说明书推荐的单倍剂量为方案,利用顺磁性对比剂缩短横向弛豫(T_2)和纵向弛豫(T_1)对臂丛周围的淋巴、血管高信号进行抑制,因血管—神经屏障的存在使臂丛神经不吸收对比剂从而得到很好的对比显示^[2]。对比剂对组织弛豫的改变依托于对比剂的浓度,低浓度下以缩短纵向弛豫时间(T_1)为主,提高对比剂浓度将缩短横向弛豫(T_2)。钆对比剂经肾脏排泄,可能会增加发生肾源性系统纤维化(nephrogenic systemic fibrosis, NSF)的风险^[3]。研究表明线性和大环类含钆对比剂均会在大脑及其他组织中发生痕量钆沉积^[4]。使得对比剂的安全用量成为现在日益关注的话题,满足图像诊断需求的同时降低对比剂用量已达成共识。

满足基于对比剂的特性和组织间弛豫的差别,本研究拟采用低剂量对比剂增强三维双反转恢复可变翻转角快速自旋回波序列(three-dimensional double inversion time inversion recovery sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolution, 3D-DIR-SPACE)进行臂丛神经成像,获得了较好的图像质量,特报告如下。

材料与方法

1. 资料

搜集 2019 年 1—11 月在西门子 Skyra3.0T 磁共振上因临床疑有神经功能障碍行磁共振臂丛扫描的患者,分两组。对照组:男女各 20 例,年龄 32~76 岁(平均 53.3 ± 14.09 岁),体重 40~98 kg(平均 63.5 ± 14.39 kg)。研究组:男 21 例,女 19 例,年龄 33~85 岁

(平均 55.95 ± 13.47 岁),体重 46~90 kg(平均 64.25 ± 11.02 kg)。

2. 检查方法

两组在增强前均扫描实图重建反转恢复序列(two-dimensional short inversion time inversion recovery, 2D-STIR)、3D-DIR-SPACE、3D-STIR-SPACE,在推药 3 分钟后对照组行 3D-STIR-SPACE 扫描、研究组行 3D-DIR-SPACE 扫描。增强采用 Medtron 厂家双流高压注射器, A 管为对比剂, B 管为生理盐水,对比剂为钆贝葡胺注射液(Gd-BOPTA),浓度 0.5 mol/L。对照组程序 1 Concentration 设置 100%,程序 2 Concentration 设置 0%,剂量为建议剂量 0.2 mL/kg,流率 2.5 mL/s,跟 15 mL 生理盐水冲管;研究组程序 1 Concentration 设置 50%,程序 2 Concentration 设置 0%,剂量为低剂量 0.1 mL/kg,跟 15 mL 生理盐水冲管。扫描序列参数见表 1。

表 1 序列参数表

参数	2D-STIR	3D-DIR-SPACE	3D-STIR-SPACE
TR(ms)	7400	3000	3000
TE(ms)	37	249	249
TI(ms)	230	450/90	230
FA(°)	140	T2var	T2var
层数(ms)	36/64	48~64	48~64
层厚(ms)	2	1.6	1.6
间距(ms)	0.4	/	/

3. 图像处理与分析

搜集两组平扫数据:将 2D-STIR 上传工作站行最小 MIP 重建,重建厚度 25 mm,层间距 3 mm。利用圆形 ROI(面积:0.01 cm²、像素:5)在神经显示完整的层面,测量神经近端、中端、远端信号各 1 次,取平均值。测量神经周围的淋巴、血管信号各 3 次,取平均值(将信号相近的淋巴与血管定义为组织 1,将信号低于淋巴的血管定义为组织 2),测量背景信号 3 次。取标准差平均值,作图像背景噪声,利用公式 $SNR = SI/SD$ 计算信噪比,此次测量数字和计算结果皆取绝对值。将 3D-STIR-SPACE、3D-DIR-SPACE 上传工作站建最大 MIP 像,建厚度 25 mm,层间距 3 mm,利用 ROI(面积:0.01 cm²、像素:5)在神经显示较好的层面测量

神经近端、中端、远端信号各 3 次,取平均值。测量同层面肌肉信号 3 次,取平均值,测量同层面背景信号 3 次,取标准差的平均值作为图像噪声。利用公式 $CNR = (SI_{神经} - SI_{肌肉}) / SD_{背景}$ 计算神经对比度噪声比。

搜集两组增强数据并上传工作站行最大 MIP 处理,层厚 25 mm,层间距 3 mm,由具有 5 年以上诊断经验的医师通过主观观察进行评分。观察对象为组织 1/2 的信号改变及神经显示情况,评分标准如下:1 分,组织 1/2 高信号、神经走行显示不佳;2 分,组织 1/2 高信号、神经走行显示较清晰;3 分,组织 1/2 稍低信号、神经走行显示不清;4 分,组织 1/2 稍低信号、神经走行显示较为清晰;5 分,组织 1/2 低信号、神经走行显示清晰。

4. 统计分析

应用 IBM SPSS 23.0 统计分析软件,数据均用平均值与标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用 Kruskal-Wallis 秩和 Nemenyi 检验分析第一组在 2D-STIR 序列下神经与组织 1/2 在 SI、SNR 间的差异,利用独立样本 t 检验分析神经在 3D-STIR-SPACE、3D-DIR-SPACE 平扫下的 CNR 差异,采用曼-惠特尼 U 检验分析比较神

经在低剂量下 3D-DIR-SPACE 与建议剂量下 3D-STIR-SPACE 增强后所得评分差异。 $P < 0.05$ 有统计学意义。

结 果

神经与组织 1 在 SI、SNR 上有明显差异($P1 = 0.00$,表 2、图 1),神经与组织 2 在 SI、SNR 上无明显差异($P2 = 0.77/0.93$)。3D-STIR/DIR-SPACE 序列在臂丛扫描中的 CNR 无明显差异($P = 0.06$,表 3、图 2)。神经在低剂量下 3D-DIR-SPACE 与建议剂量下 3D-STIR-SPACE 增强后的评分无统计学差异($P = 0.10$,表 4、图 3)。

表 2 在 2D-STIR 序列下神经与组织 1/2 在 SI、SNR 间的比较

项目	SI	SNR
神经	274.09±37.49	267.83±65.62
组织 1	654.20±145.85	638.17±202.90
组织 2	267.38±49.56	261.03±71.83
χ^2_1	48.58	49.38
χ^2_2	0.53	0.15
$P1$	0.00	0.00
$P2$	0.77	0.93

注: χ^2_1 :神经与组织 1 间的比较; χ^2_2 :神经与组织 2 间的比较

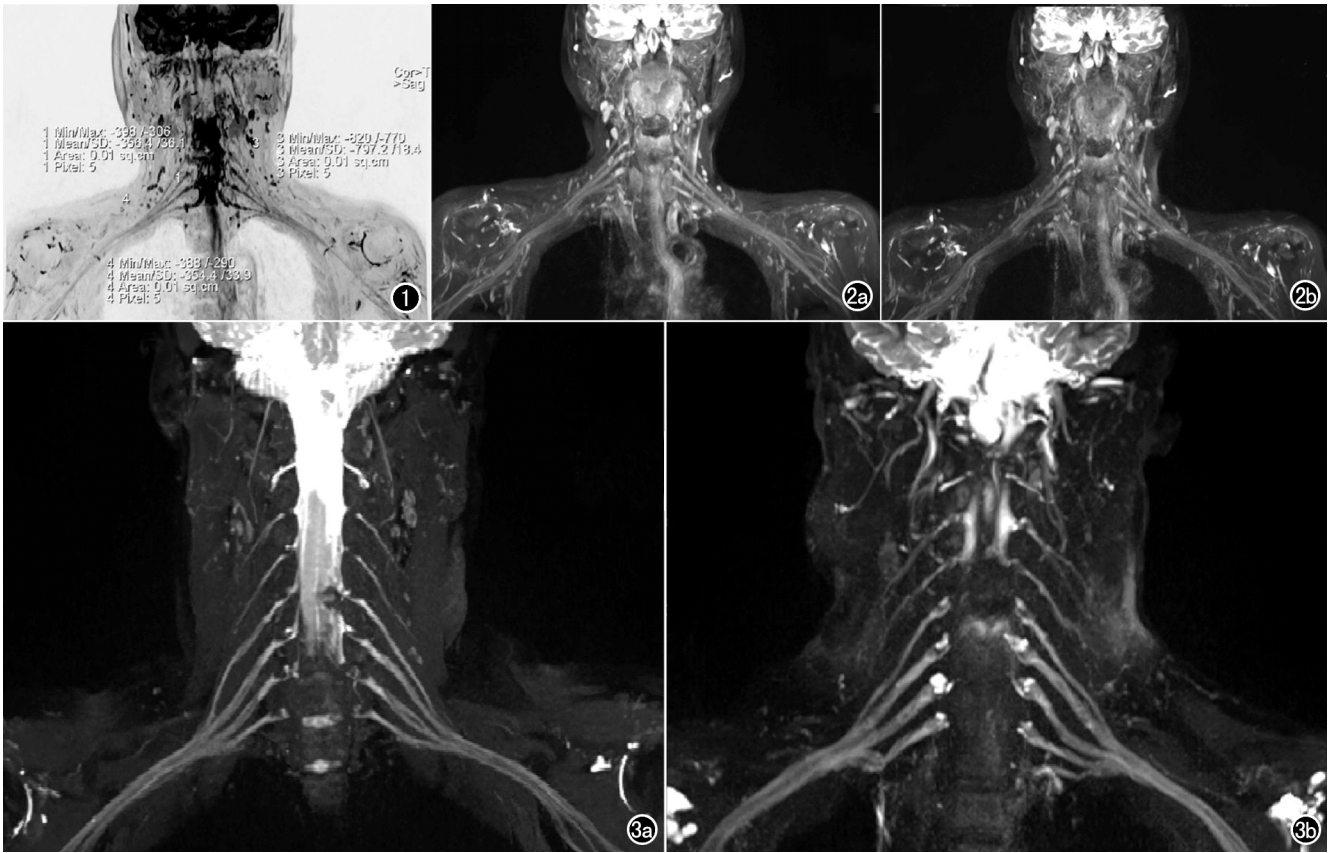


图 1 2D-STIR 序列,组织 1 信号强—797.2(3)与神经信号—355.4(1)相差较大,组织 2 信号—353.4(4)与神经信号—355.4(1)相差不大。图 2 a) 3D-STIR-SPACE 扫描 MIP 像; b) 3D-DIR-SPACE 扫描 MIP 像;两种扫描序列臂丛呈高信号,显示良好,走行完整,神经周围血管、淋巴高信号影响神经对比度。图 3 a) 单倍剂量 3D-STIR-SPACE MIP 像; b) 低剂量 3D-DIR-SPACE MIP 像;两种扫描方法血管和淋巴信号有所减低,臂丛神经显示良好,走行完整,对比度增高。

表 3 神经在 3D-STIR/DIR-SPACE 平扫下的 CNR 比较

项目	3D-STIR-SPACE	3D-DIR-SPACE
CNR	89.85 ± 50.36	72.02 ± 34.63

注: $t = -1.84, P = 0.06$

表 4 神经在 3D-DIR/STIR-SPACE 增强后的累计评分

项目	低剂量增强 3D-DIR-SPACE	建议剂量增强 3D-STIR-SPACE
评分	4.55 ± 0.50	4.72 ± 0.45

注: $U = 660, P = 0.10$

讨 论

1992 年 Filler 等^[5]报告了磁共振神经成像技术以来,根据神经组织的结构功能特性采取不同的技术进行成像已经日益完善^[6]。因臂丛神经束内膜富含液体在磁共振上为长 T_1 长 T_2 信号,目前神经成像主要是利用液体的长 T_2 特点^[7]。3D-STIR-SPACE 序列应具有很高的分辨率和采集效率而在臂丛神经扫描中被广泛应用,对于神经走行周围的淋巴、血管也呈高信号神经对比度差,对此多以增强进行对高信号的抑制^[8]。采用短时反转恢复技术(STIR)对脂肪进行抑制,技术原理为先施加一个 180° 反转脉冲把正向磁化矢量反转到与静磁场相反的负方向,脉冲停止后磁化矢量向正向恢复,变化过程为磁化矢量从负向最大减小到零,再从零变到正向最大,在过零点时施加一个 90° 脉冲,此时过零点的组织因不具有纵向磁化矢量而不产生信号。STIR 依靠组织纵向弛豫时间 T_1 值,在增强作用下组织的纵向弛豫时间(T_1)发生改变,设置合适的反转时间 TI 可抑制相应的组织信号。

组织固有弛豫的倒数我们称之为弛豫率,据顺磁性对比剂增强原理机制得知,在对比剂作用下组织弛豫随之改变且与浓度相关,在低浓度下 T_1 缩短比 T_2 缩短明显,高浓度下 T_2 缩短较为明显^[9]。因血-神经屏障,神经束不能吸收对比剂,淋巴和血管吸收对比剂后其弛豫改变。对此可有 3 种注射方案:一是提高剂量缩短 T_2 弛豫进行抑制^[10,11]。二是以建议剂量注射,此方案浓度以缩短 T_1 为主,轻微改变 T_2 值,配以单反转技术选取合适的反转时间 TI 进行抑制^[12]。三是以小剂量为注射方案,以改变 T_1 值为基础,根据组织间的弛豫差别配合双反转技术进行抑制^[13]。

MRI 数据矩阵是由实部和虚部组成的,在傅里叶变换后也是复数矩阵,往常的磁共振成像中采集的都是磁化矢量的模图,也就是磁化矢量的绝对值,信号强度为正,这样的图像背景为黑色。本研究用的是反转恢复序列(2D STIR)实图重建磁化矢量具有方向、大小,当组织的磁化矢量过零被抑制时,被抑制的组织背景为灰色,信号强度为零, T_1 值长于被抑制的组织

显示为黑色,信号强度为负值, T_1 值短于被抑制的组织显示为白色,信号强度为正值^[14]。通过本次扫描可以得出脂肪的 T_1 值短于神经与组织 1/2 的 T_1 值,组织 1 的 T_1 值长于组织 2 的 T_1 值,此重建方式可以比较各组织在反转脉冲下磁化矢量的恢复情况及各组织的纵向弛豫大小,借此可以设置合适的双反转参数对两种组织的抑制。

本研究采用 3D-DIR-SPACE 序列,利用双反转脉冲激发,选择合适的反转时间可以行臂丛神经成像。利用组织间弛豫时间的差异配合低剂量增强改变组织的纵向弛豫时间来对组织进行抑制,利用低剂量对比剂将组织 2 的 T_1 值缩短至脂肪 T_1 至附近,组织 1 的 T_1 值缩短至脂肪与神经之间,选取合适的双反转时间 TI 进行对组织 1/2 和脂肪的信号抑制从而实现低剂量对比剂在神经成像中的应用。本研究采用对比剂为钆贝葡胺注射液(Gd-BOPTA),在 3.0T 磁场下、37℃ 血浆中钆贝葡胺注射液的纵向弛豫率、横向弛豫率分别为 5.5L/mmol/s、11.0Lmmol/s,具有较高的弛豫率,为降低剂量和浓度创造了可能^[15]。双反转时间参数的设置依靠对比剂对组织 T_1 值的改变程度,因此值得注意的是在配置低浓度低剂量的情况下选择不同的对比剂应设置相应的反转参数以到达背景的抑制和神经的显示。

本研究不足:研究采用的双反转恢复序列的参数设置依靠场强大小和对比剂的性质,此次只在 3.0T 磁场下进行的单一对比剂的研究,未来应在不同场强和不同对比剂两个方面进行研究补充。此次研究采集数据的多为神经功能正常,缺少功能受损病例进行深入分层比较,未来应扩展病例进行补充研究。

综上所述,与常规扫描(对照组)相比采用低剂量增强 3D-DIR-SPACE 在臂丛神经成像中能对神经周围的淋巴、血管进行抑制,提高了神经对比度,获得较好的图像质量,达到诊断效果的同时并降低了对比剂的用量。

参考文献:

- [1] 周建波,周莉,肖香佐,等.MR3D-STIR SPACE 序列增强扫描在臂丛节后神经成像的应用[J].实用放射学杂志,2012,28(11):1763-1767.
- [2] Mizisin AP, Kalichman MW, Myers RR, et al. Role of the blood-nerve barrier in experimental nerve edema[J]. Toxicol Pathol, 1990,18(1 Pt 2):170-185.
- [3] Stacul F, Thomsen HS, van der Molen A, et al. Nephrogenic systemic fibrosis and gadolinium-based contrast media: updated ESUR contrast medium safety committee guidelines[J]. Eur Radiology, 2013,23(2):307-318.
- [4] 中华医学会放射学分会磁共振学组,中华医学会放射学分会质量控制与安全工作委员会.钆对比剂临床安全性应用中国专家建议[J].中华放射学杂志,2019,53(7):539-544.

- [5] Filler AG, Maravilla KR, Tsuruda JS. MR neurography and muscle MR imaging for image diagnosis of disorders affecting the peripheral nerves and musculature[J]. Neurol Clin, 2004, 22(3): 643-682.
- [6] Takahara T, Imai Y, Yamashita T, et al. Diffusion weighted whole body imaging with background body signal suppression (DWIBS): technical improvement using free breathing, STIR and high resolution 3D display[J]. Radiat Med, 2004, 22(4): 275-282.
- [7] 杨正汉, 冯逢, 王霄英. 磁共振成像技术指南—检查规范、临床策略及新技术应用[M]. 北京: 人民军医出版社, 2007: 253.
- [8] Viallon M, Vargas MI, Jlassi H. High-resolution and functional magnetic resonance imaging of the brachial plexus using an isotropic 3D T₂ STIR (short term inversion recovery) SPACE sequence and diffusion tensor imaging[J]. Eur Radiology, 2008, 18(5): 1018-1023.
- [9] 黄继英, 梁星原. 磁共振成像原理[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1998: 122-125.
- [10] Wang L, Niu Y, Kong X, et al. The application of paramagnetic contrast-based T₂ effect to 3D heavily T₂W high-resolution MR imaging of the brachial plexus and its branches[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(3): 578-584.
- [11] Chen WC, Tsai YH, Weng HH, et al. Value of enhancement technique in 3D-T₂-STIR images of the brachial plexus[J]. J Comput Assist Tomogr, 2014, 38(3): 335-339.
- [12] 贾佑华, 洪顺达, 王思勇, 等. 单倍剂量对比剂在臂丛神经磁共振成像中的应用[J]. 江西医药, 2017, 52(6): 477-478.
- [13] 苏文, 陈谦, 毛存南, 等. 3.0T MRI 使用双流高压注射器进行低浓度对比剂头颈部 CE-MRA 成像的应用价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2018, 24(2): 169-172.
- [14] 俎栋林, 高家红. 核磁共振成像—物理原理和方法[M]. 北京: 北京大学出版社, 2014: 115.
- [15] 许俊, 赵茜茜, 许乙凯. 高浓度磁共振对比剂钆布醇的理化性质及临床应用[J]. 放射学实践, 2016, 31(7): 666-669.

(收稿日期: 2019-11-04 修回日期: 2020-01-10)

《请您诊断》栏目征文启事

《请您诊断》是本刊 2007 年新开辟的栏目, 该栏目以临床上少见或容易误诊的病例为素材, 杂志在刊载答案的同时配发专家点评, 以帮助影像医生更好地理解相关影像知识, 提高诊断水平。栏目开办 13 年来受到广大读者欢迎。《请您诊断》栏目荣获第八届湖北精品医学期刊“特色栏目奖”。

本栏目欢迎广大读者踊跃投稿, 并积极参与《请您诊断》有奖活动, 稿件一经采用稿酬从优。

《请您诊断》来稿格式要求: ①来稿分两部分刊出, 第一部分为病例资料和图片; 第二部分为全文, 即病例完整资料(包括病例资料、影像学表现、图片及详细图片说明、讨论等); ②来稿应提供详细的病例资料, 包括病史、体检资料、影像学检查及实验室检查资料; ③来稿应提供具有典型性、代表性的图片, 包括横向图片(X 线、CT 或 MRI 等不同检查方法得到的影像资料, 或某一检查方法的详细图片, 如 CT 平扫和增强扫描图片)和纵向图片(同一患者在治疗前后的动态影像资料, 最好附上病理图片), 每帧图片均需详细的图片说明, 包括扫描参数、序列、征象等, 病变部位请用箭头标明。

具体格式要求请参见本刊(一个完整病例的第一部分请参见本刊正文首页, 第二部分请参见 2 个月后的杂志最后一页, 如第一部分问题在 1 期杂志正文首页, 第二部分答案则在 3 期杂志正文末页)

栏目主持: 石鹤 联系电话: 027-69378385 15926283035