

Stellar 光子探测器薄层重建对冠脉支架 CT 成像效果的影响

金士琪, 杨帆, 初金刚, 于扬, 赵宇, 戴旭

【摘要】 目的:评价 Stellar 光子探测器联合 Safire 迭代重建技术冠脉 CTA 中不同重建层厚对冠脉支架显示的影响,探讨改善 CT 冠脉支架成像效果的有效方法。方法:36 例冠状动脉支架(81 个)植入术后患者行双源 CT(采用 Stellar 光子探测器)冠状动脉血管成像,使用 Safire 迭代重建技术,并分别采用 3 种层厚(0.50、0.60 及 0.75 mm)进行图像重建获得 3 组图像。对图像质量进行主观和客观评价,并比较 3 组图像间的差异。结果:两位阅片者对三组图像质量主观评分的一致性均良好(Kappa=0.85~0.88)。三组间支架显示情况的评分差异有统计学意义($P=0.000$),以 0.50 mm 组的评分最高[(94.130 ± 0.558) 分];图像噪声的主观评分中,随着重建层厚的增加,图像的噪声降低,三组间差异有统计学意义($P=0.000$),但 0.50 mm 组与 0.60 mm 组之间的差异无统计学意义($P>0.05$)。图像质量客观分析显示,支架内管腔噪声在 3 组间的差异无统计学意义($P>0.05$)。结论:Stellar 光子探测器 0.50 mm 层重建配合 Safire 迭代重建技术获取的冠脉支架 CTA 图像质量整体最佳,尤其对于直径 <3 mm 的冠脉支架,能为临床提供高质量的图像。

【关键词】 冠状动脉支架;光子探测器;体层摄影术,X 线计算机;迭代重建技术;图像质量

【中图分类号】 R543.3; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)12-1177-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.12.016

Computed tomography coronary stent imaging using Stellar photon detector: impact of thin slice reconstruction for stent evaluation JIN Shi-qi, YANG Fan, CHU Jin-gang, et al, Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of China Medical University, Shenyang 110001, China

【Abstract】 Objective: To assess thin slice reconstruction for stent evaluation in CT coronary stent imaging using Stellar photon detector and Safire iterative reconstruction technique, to explore the effective method for improving the quality of CT coronary stent imaging. **Methods:** 36 patients with 81 coronary stents were examined using a dual-source CT with circuit Stellar photon detector. Images were reconstructed at slice thickness of 0.75, 0.60 and 0.50mm with IRIS and sharp kernel technique. Subjective and objective evaluation of image quality of the three groups were performed and compared by two experienced radiologists independently. **Results:** The subjective evaluation results of the three groups between the two radiologists showed good agreement (Kappa=0.85~0.88). Among the three groups, there were significant differences of image quality scores ($P=0.000$), images of 0.50mm group was rated best for clearly showing the details of the stents and in-stent lumen with the highest score of 94.130 ± 0.558 . Subjective image noise assessment showed that with the increasing of slice thickness, the image noise decreased with significant difference among the three groups ($P=0.000$), but the difference of image noise between 0.50mm-group and 0.60mm-group was not statistically significant ($P>0.05$). Objective evaluation of image quality showed that the noise of in-stent lumen among the three groups was not significant different ($P>0.05$). **Conclusion:** Stent visualization can be benefited from Stellar photon detector CTA using 0.5mm slice thickness for more accurate assessment of lumen narrowing and lower image noise, especially can afford high quality images for <3 mm stent.

【Key words】 Coronary artery stent; Stellar photon detector; Tomography, X-ray computed; Iterative reconstruction technique; Image quality

经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)是治疗冠心病的主要手段之一,现已在临床普遍应用,甚至超越冠状动脉搭桥术成为血管再灌注的主导治疗方法^[1-2]。但需要关注的是,支架植入术后出现再狭窄、支架断裂以及支架内血栓形成等并发症的发生率高达 10%~46%^[2-3]。因此对支架

植入术后进行无创、精确的随访观察成为临床工作中越来越重要的环节。

多层 CT 检查已成为临床支架术后复查的首选^[4-7],但 PCI 术后冠状动脉 CTA 不仅要能清晰显示冠状动脉血管,还要能显示支架壁结构及支架内管腔。目前研究表明,高密度金属支架所产生的容积重叠伪影、线束硬化伪影等主要影响了对支架的显示,显著降低了图像质量,尤其是对内径小于 3 mm 支架的显示。探究其原因,主要是由于图像的空间分辨率不足影响了对支架结构的观察。Stellar 光子探测器可通过

作者单位:110001 沈阳,中国医科大学附属第一医院放射科(金士琪、杨帆、初金刚、赵宇、戴旭);110001 沈阳,西门子医疗 CT 事业部(于扬)

作者简介:金士琪(1990-),女,辽宁鞍山人,硕士,住院医师,主要从事心血管影像学诊断工作。

通讯作者:戴旭, E-mail: daixudx@vip.sina.com

0.5 mm 层厚薄层重建来提高图像的空间分辨率^[8], 同时可以降低晕状伪影。Safire 迭代重建(iterative reconstruction, IR)技术可有效降低图像噪声, 并减少图像的线束硬化伪影(即金属伪影)^[9-10], 改善图像质量。以往有研究表明, 0.6 mm 重建层厚结合迭代重建技术能清晰显示冠脉支架^[11], 但对于新型 Stellar 探测器, 0.5 mm 层厚结合迭代重建技术对冠脉支架的显示效果目前尚未有相关研究。因此, 本实验旨在探讨 Stellar 探测器 0.5 mm 重建配合 Safire 迭代重建技术在冠脉支架成像中的价值。

材料与方 法

1. 研究对象

2014 年 11 月—2015 年 4 月对本院 36 例冠状动脉疾病 PCI 术后患者行冠状动脉 CTA 检查, 支架植入时间为 1 个月~10 年。其中男 28 例, 女 8 例; 年龄 39~79 岁, 平均 58.7 岁; 其中 30~39 岁 1 例, 40~59 岁 19 例, 60~79 岁 16 例; 平均心率(64.4±10.1)次/分, 身体质量指数(body mass index, BMI)为(25.5±3.0) kg/m², 病例排除标准: 碘对比剂过敏、严重肾功能不全(血清肌酐≥1.5 mg/dl)、失代偿性心功能不全及屏气不佳。

2. 扫描设备及参数

使用 Siemens Definition Flash 炫速双源 CT 机, 扫描参数: 前瞻式心电门控, 准直器宽度 2×64i×0.6 mm, 扫描层厚 0.5 mm, 采集带宽 35%~70%, 计算机自动选取最佳舒张期及收缩期, 扫描范围为气管隆突至膈下 2 cm; 根据患者身体质量指数(body mass index, BMI)选取合适管电压(BMI<22 kg/m² 时为 80 kV, 2 例; 22 kg/m²≤BMI≤26 kg/m² 时为 100 kV, 19 例; BMI>26 kg/m² 时为 120 kV, 15 例); 启动 CARE Dose4D 智能管电流调节技术, 质量参考电流为 400 mAs/rot。采用双筒高压注射器注射对比剂碘海醇(350 mg I/mL), 注射方案: 当管电压为 80 kV, 对比剂总量为 65 mL; 管电压为 100 kV, 总量为 70 mL; 当管电压为 120 kV, 总量为 75 mL; 对应注射流率分别为 4.0、4.5 和 5.0 mL/s, 随后注射 30 mL 生理盐水冲管。

3. CT 图像后处理

选择最佳时相, 将扫描所得原始数据根据不同层厚(0.50、0.60 和 0.75 mm)配合迭代重建算法进行图像重建。根据前期研究结果, Safire 迭代强度取值为 2^[12], 卷积核(Kernel)均为 I46f。所有 CT 数据传输至后处理工作站(Syngo MultiModality Workplace Siemens Healthcare)进行后处理, 常规行多平面重组(multi-planar reformation, MPR)、曲面重组(curved

planar reformation, CPR)等进行图像分析。

4. 图像分析和评估

分别从主观和客观两方面评价比较 3 组图像在图像噪声及支架显示方面的差异。

支架图像质量的主观评分: 由两位有经验的放射科医师对每帧支架图像进行分析, 对支架管腔内以及支架结构的显示情况进行综合双盲评估。图像均在窗宽 1500 HU 和窗位 300 HU 下显示^[13], 采用 Likert 五分制评分标准^[12]。1 分: 图像质量非常差, 管腔内受伪影的影响无法观察到内部情况, 支架结构模糊不清; 2 分: 图像质量差, 虽能看到管腔但清晰度很低, 受放大伪影影响严重, 支架模糊, 不能够诊断; 3 分: 图像质量中等, 可以观察到管腔内部, 但受图像噪声和伪影影响边界不清; 4 分: 图像质量好, 腔内的 CT 值略高于正常水平, 但对管腔内评价无影响, 腔内虽有些许模糊但可观察到支架的细小结构; 5 分: 图像质量优秀, 腔内 CT 值在正常水平, 边界清晰, 支架细小结构锐利分辨清楚。

图像噪声的主观评分: 根据欧洲 CT 图像质量标准指南^[14], 图像噪声评分采用三分法进行评价: 1 分表示噪声过多, 影响结构显示及图像识别; 2 分表示平均噪声, 可满足诊断需要; 3 分表示噪声小于一般噪声, 或者噪声非常小。

由于在支架直径测量中, 支架外径测量的准确性要高于支架内径^[15], 本研究采取测量支架外径作为支架直径, 根据支架直径分组讨论不同重建层厚对 CT 支架成像的影响。

图像质量客观分析主要包括对主动脉根部 CT 值和支架内管腔噪声(SD)进行测量。测量主动脉根部 CT 值时, 确定 3 组图像位于同一层面, 同时选中三帧图像(图 1), 在主动脉根部圆形区域, 作为感兴趣区(region of interest, ROI), 连续测量 3 次, 计算其平均值, 测量的 ROI 尽可能接近血管管腔面积, 注意避开斑块、钙化和血管壁; 测量支架内管腔噪声时, 选取显示支架内管腔的最佳层面, 确定 3 组图像选取在同一层面, 注意避开支架壁及钙化斑块, 以防止线束硬化伪影的干扰。记录测量所得 CT 值的标准差作为支架内管腔噪声。

计算冠状动脉 CTA 检查的辐射剂量, 计算公式如下^[15]:

$$\text{辐射剂量} = \text{剂量长度乘积}(\text{mGy} \cdot \text{cm}) \times k \quad (1)$$

其中, k 的取值为 0.014 mSv/(mGy·cm)

5. 统计学分析

采用 SPSS 16.0 软件进行统计学分析。所有计量资料均采用 $\bar{x} \pm s$ 的形式来表示。比较两位放射科医师对图像质量评分的一致性时, 使用 Kappa 检验; 主



图1 主动脉根部CT值测量。三帧图像上主动脉根部的CT值分别为390.2、390.6和390.9HU。a) 0.50mm图像；b) 0.60mm图像；c) 0.75mm图像。

观评分数据使用Friedman分析及Wilcoxon符号秩和检验,三组连续变量的客观分析采用方差分析。以 $P < 0.05$ 为有差异有统计学意义。

结果

1. 一般情况

36例患者均正常吸气后一次屏气完成检查,未发现严重对比剂不良反应,且图像质量均满足诊断需求。本研究中共成功显示81枚支架,其中2枚位于左冠状动脉主干,35枚位于右冠状动脉,38枚位于左冠状动脉前降支,4枚位于左旋支,1枚位于对角支,1枚位于中间支。

2. 主观评价

在重建层厚0.50、0.60及0.75mm组中,两位阅片医师对图像质量评估的一致性均较好,Kappa值分别为0.88、0.86及0.85。

对支架图像质量和图像噪声的主观评分结果见表1。各组支架图像质量评分中(图2~4),以0.50mm层厚组的评分最高,0.75mm层厚组的评分最低,三组间差异有统计学意义($P < 0.01$)。三组图像噪声评分的差异有统计学意义($P < 0.01$),两两比较结果显示,仅0.50mm组与0.60mm组图像噪声的差异无统计学意义($Z = -0.447, P = 0.655$)。

表1 支架图像质量评分及图像噪声评分

评分指标	0.50mm组	0.60mm组	0.75mm组	P值
支架图像质量	4.13±0.56	3.94±0.65	3.49±0.65	0.000
图像噪声	2.06±0.41	2.08±0.37	2.56±0.50	0.000

不同支架直径的支架图像质量评分结果见表2。随支架直径增大,支架图像质量评分增高,同一直径范围内以0.50mm组图像的支架评分最高,且此组内但即使是支架直径 < 3 mm,支架的图像质量评分也在3分以上,故认为0.50mm层厚的图像能获得满意的支架显示效果。

表2 不同支架直径各层厚组中支架图像质量评分

支架直径D (mm)	数量	0.50mm组	0.60mm组	0.75mm组
< 3.0	14	3.43±0.48	2.89±0.35	2.54±0.50
$3.0 \leq D < 4.0$	36	4.01±0.19	3.94±0.31	3.56±0.49
≥ 4.0	31	4.58±0.49	4.40±0.49	3.84±0.42

4. 客观评价

主动脉根部CT值和支架内管腔噪声测量结果见表3。不同层厚组见主动脉根部CT值的差异无统计学意义($P > 0.05$)。三组间支架内管腔噪声的差异亦无统计学意义($P > 0.05$)。

讨论

1. Stellar光子探测器的应用可以提高冠脉支架的可视化

目前,冠状动脉CTA作为一种非侵入性的检查方法,已广泛应用于冠状动脉支架植入术后患者的随访中^[1,9]。但与常规冠脉CTA不同的是,支架成像不仅要显示血管的走行状态,还需达到对支架内腔的可视化。Stellar光子探测器的产生解决了这一难题,这是由于它独特的Edge光栅技术的设计,排除了元器件间的串扰,从而可以采用0.50mm层厚在Z轴方向上进行重建,提高了图像的空间分辨率^[3],从而可降低

表3 三组中图像质量客观指标测量结果 (HU)

指标	0.50mm组	0.60mm组	0.75mm组	F值	P值
主动脉根部CT值	465.64±121.04	467.26±118.83	465.68±119.68	0.44	0.648
支架内噪声	29.53±21.53	30.38±20.49	27.85±21.54	0.96	0.383

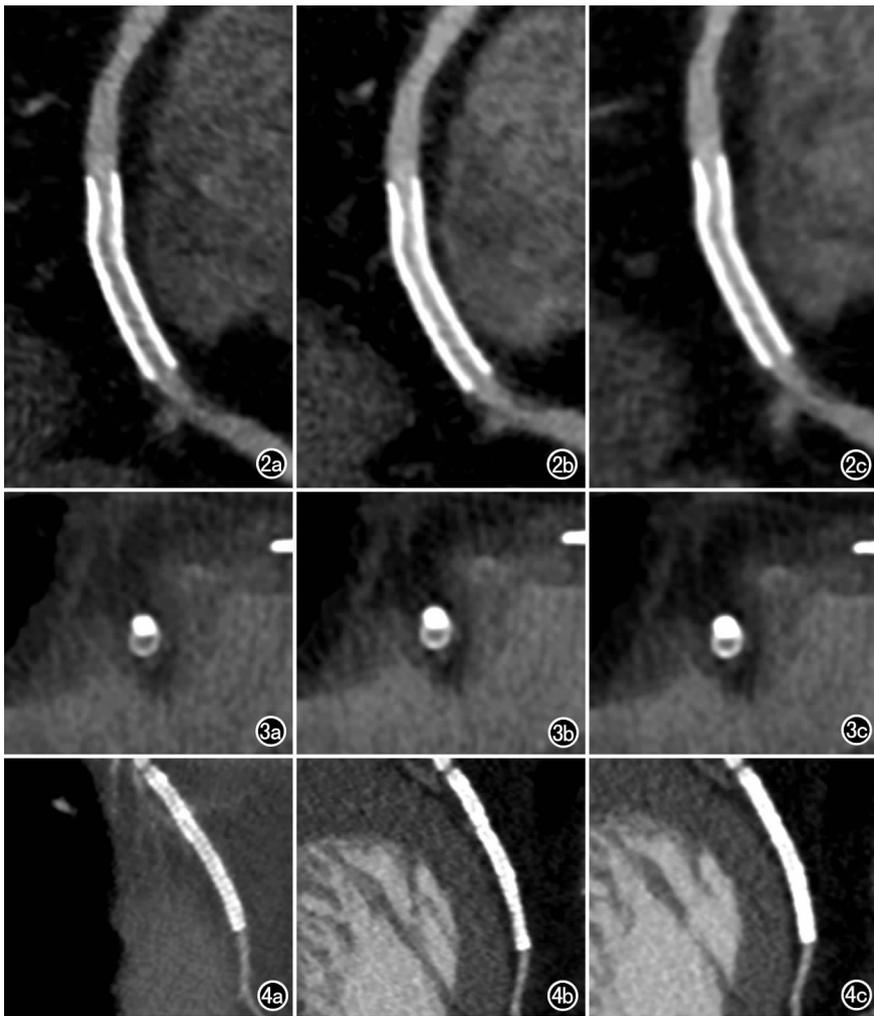


图2 冠脉支架MPR图像,显示支架直径 $>3\text{mm}$,0.50mm组图像对支架壁及内腔的显示效果优于0.60mm及0.75mm组。a) 0.50mm组; b) 0.60mm组; c) 0.75mm组。图3 冠脉支架横轴面图像,0.50mm组图像上支架管壁钙化显示更清晰,晕状伪影更小,图像质量明显提高。a) 0.50mm组; b) 0.60mm组; c) 0.75mm组。图4 冠脉支架MPR图像,支架直径 $<3\text{mm}$,0.50mm组图像上支架管腔及管壁显示更佳。a) 0.50mm组; b) 0.60mm组; c) 0.75mm组。

支架图像上的晕状伪影。而传统的DC数字电路探测器技术只能达到0.60mm层厚。与此同时,Stellar光子探测器还将探测器单元的电子器件与光电二极管整合到一起,提升了对微小结构的显示效果^[4,6]。因此,使用Stellar光子探测器及0.50mm重建层厚为3mm以下支架的微细结构显示及管腔内评估提供了新的技术支持^[3,8]。本实验对比了3组重建层厚图像上的支架显示效果,结果表明采用0.60mm重建层厚虽可以满足对直径3mm以上支架的诊断要求,但对于 $<3\text{mm}$ 的支架,0.5mm的重建层厚更有助于观察支架及支架材料间缝隙处的细微结构,更有利于减少金属支架引起的线性硬化伪影及晕状伪影,对支架内管腔再狭窄程度的判断也更准确。

2. 应用迭代重建技术(Safire)可以降低图像噪声,提高支架管腔的显示度

理论上重建层厚越小,图像噪声越高,但由于本研究中采用0.50mm层厚薄层重建时使用了Safire迭代重建算法,使图像噪声得到了抑制。在图像噪声的主观评分中,0.50mm组及0.60mm组的图像噪声并无显著差异,而且在支架图像噪声的客观分析中,0.50mm组与0.60mm组支架腔内噪声差异无统计学意义,说明对于支架的显示,0.5mm组中图像噪声对图像质量的影响不大。

3. 支架直径对CT冠脉支架成像的影响

为了更好地评估薄层重建结合Safire迭代重建技术在改进CT冠脉支架成像质量中的价值,本研究按冠脉支架直径进行了分组研究。冠脉CTA检查专家共识中指出,支架管径越小,图像质量越差,而小于3mm的支架难以被评估^[17],但本研究结果显示,在显示 $<3\text{mm}$ 支架方面,0.5mm组图像质量明显提高,完全能满足对支架管腔进行评估的要求。

本研究的不足之处在于并未考虑不同支架材质、型号及植入时间对图像质量的影响。同时,并未与冠状动脉造影术进行对照,需要进行后续研究。

综上所述,对于冠脉支架尤其是小于 $<3\text{mm}$ 支架的显示,Stellar探测器结合0.5mm重建层厚及Safire迭代重建技术可以进一步提高图像的空间分辨率,降低支架图像上的晕状伪影,从而提高对支架壁的显示及支架内腔的可视化,值得推荐并应用于临床。

参考文献:

- [1] Florian A, Grigorios K, Waldemar H, et al. Performance of dual source versus 256-slice multi-slice CT in the evaluation of 16 coronary artery stents[J]. Eur J Radiol, 2013, 82(4): 601-607.
- [2] Zhou Q, Jiang B, Dong F, et al. Computed tomography coronary stent imaging with iterative reconstruction: a trade-off study between medium kernel and sharp kernel[J]. J Comput Assist Tomogr, 2014, 38(4): 604-612.
- [3] Yang WJ, Chen KM, Pang LF, et al. High-definition computed tomography for coronary artery stent imaging: a phantom study[J]. Kor J Radiol Off J Kor Radiol Soc, 2012, 13(1): 20-26.
- [4] Harald S, Murat O, Rainer R, et al. 64- Versus 16-slice CT angiog-

- raphy for coronary artery stent assessment; in vitro experience [J]. Invest Radiol, 2006, 41(1):22-27.
- [5] Ehara M, Surlmely JF, Kawai M, et al. Diagnostic accuracy of 64-Slice computed tomography for detecting angiographically significant coronary artery stenosis in an unselected consecutive patient population[J]. Circul J, 2006, 70(8):564-571.
- [6] Cademartiri F, Schuijff JD, Pugliese F, et al. Usefulness of 64-slice multislice computed tomography coronary angiography to assess in-stent restenosis[J]. J Amer Coll Cardiol, 2007, 49(22):2204-2210.
- [7] Das KM, Ayman A, El-Menyar AM, et al. Contrast-enhanced 64-section coronary multidetector CT angiography versus conventional coronary angiography for stent assessment[J]. Radiology, 2007, 245(2):424-432.
- [8] Fabian M, Lotus D, André P, et al. Stenosis quantification in coronary CT angiography: impact of an integrated circuit detector with iterative reconstruction[J]. Invest Radiol, 2013, 48(1):32-40.
- [9] Mahnken AH. CT Imaging of coronary stents: past, present, and future[J]. Isrn Cardiol, 2012, 2012(12):385-405.
- [10] Van GG, Van SK, Defrise M, et al. Iterative correction of beam hardening artifacts in CT[J]. Med Phys, 2011, 38(Suppl 1):S36-S49.
- [11] Yang X, Yang J, Zhou Y, et al. Accuracy of 128-slice dual-source CT using high-pitch spiral mode for the assessment of coronary stents: first in vivo experience[J]. Eur J Radiol, 2013, 82(4):617-622.
- [12] 王彦懿, 初金刚, 于扬, 等. 不同迭代重建强度对冠状动脉小内径支架显示影响的体外实验[J]. 中国医学影像技术, 2015, 31(8):1271-1275.
- [13] Spiczak JV, Morsbach F, Winklhofer S, et al. Coronary artery stent imaging with CT using an integrated electronics detector and iterative reconstructions: First in vitro experience[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2013, 7(4):215-222.
- [14] Bongartz G, Golding SJ, Jurik AG, et al. European guidelines on quality criteria for computed tomography[D]. <http://www.drs.dk/guidelines/ct/quality/htmlindex.htm>.
- [15] Wolf F, Leschka S, Loewe C, et al. Coronary artery stent imaging with 128-slice dual-source CT using high-pitch spiral acquisition in a cardiac phantom: comparison with the sequential and low-pitch spiral mode[J]. Eur Radiol, 2010, 20(9):2084-2091.
- [16] Hausleiter J, Martinoff S, Hadamitzky M, et al. Image quality and radiation exposure with a low tube voltage protocol for coronary CT angiography[J]. Jacc Cardiovasc Imaging, 2010, 3(11):1113-1123.
- [17] Taylor AJ, Cerqueira M, Hodgson JM, et al. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010 appropriate use criteria for cardiac computed tomography[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2010, 4(6):407-433.

(收稿日期:2016-03-28 修回日期:2016-07-28)

《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 8 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:027-83662875 15926283035