

• 胸部影像学 •

大螺距联合自适应迭代重建技术对胸部能谱成像影响的体模研究

艾娜娜, 宋振, 翟艳慧, 杨晨晓, 耿华, 贾守强

【摘要】 目的:通过胸部模型研究,探讨在能谱 CT 智能匹配技术下大螺距能谱扫描结合自适应迭代重建(ASIR-V)后重建技术对图像质量与辐射剂量的影响。**方法:**使用 GE Revolution CT 对仿真胸部体模进行能谱扫描,开启 GSI assist,试验组采用大螺距 1.531,采用 ASIR-V 后重建技术(0%~100%,间隔 10%)重建 5 mm 层厚的 70 keV 能谱单能量图像,获得 A 组图像;对照组采用常规螺距 0.992,采用滤波反投影法(FBP,即 0%ASIR-V)重建 5 mm 层厚的 70 keV 能谱单能量图像,得到 B 组图像。肺窗图像采用骨算法、纵隔窗图像采用标准算法重建。对两组图像进行客观评价(肺窗肺组织、纵隔窗心脏噪声)及主观评分(5 分制,1 分最低、5 分最高)。记录并比较两组的有效辐射剂量(ED)。**结果:**A、B 两组图像中肺窗肺组织噪声两两比较差异均无统计学意义(P 值均 >0.05)。A 组纵隔窗心脏噪声分别为 (7.33 ± 0.31) 、 (6.72 ± 0.28) 、 (6.10 ± 0.24) 、 (5.63 ± 0.19) 、 (4.98 ± 0.19) 、 (4.53 ± 0.20) 、 (3.73 ± 0.10) 、 (3.08 ± 0.04) 、 (2.85 ± 0.08) 、 (2.35 ± 0.08) 、 (2.03 ± 0.12) HU, B 组纵隔窗心脏噪声为 (6.75 ± 0.26) HU。A 组纵隔窗心脏噪声随 ASIR-V 升高而降低,两两比较差异均有统计学意义(P 值均 <0.05)。B 组纵隔窗心脏噪声低于 A 组 0%ASIR-V,高于 A 组 20%~100%ASIR-V,差异均有统计学意义(P 值均 <0.05);B 组纵隔窗心脏噪声与 A 组 10%ASIR-V 差异无统计学意义($P > 0.05$)。A 组 10%~60%ASIR-V 和 B 组肺窗、纵隔窗图像的主观评分最高(5 分),综合主客观评价,60%为大螺距能谱单能量成像的最佳 ASIR-V 权重。大螺距 A 组 ED 值为 5.31 mSv,较常规螺距 B 组 ED 值(6.84 mSv)降低 22.37%。**结论:**能谱 CT 智能匹配技术下,大螺距能谱成像较常规螺距能谱成像的辐射剂量降低;结合 10%~60%ASIR-V 后重建技术,可降低大螺距能谱单能量图像的噪声,提高综合成像质量,60%为最佳 ASIR-V 权重。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 能谱成像; 大螺距; 自适应统计迭代重建; 图像质量; 辐射剂量

【中图分类号】 R56; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2020)05-0619-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.05.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The effect of high-pitch combined adaptive iterative reconstruction on chest energy spectrum imaging: a phantom study AI Na-na, SONG Zhen, ZHAI Yan-hui, et al. department of radiology, jinan people's hospital, jinan 250000, China

【Abstract】 Objective: To explore the effect of high-pitch spectral CT scanning combined with adaptive iterative reconstruction-V (ASIR-V) using the intelligent matching technology on the image quality and radiation dose based on a chest phantom. **Methods:** A chest phantom was scanned on a revolution energy spectrum CT scanner using automatic spectral imaging mode selection. In the study group (group A), 1.531 helical pitch was used and monochromatic 70KeV images were reconstructed using different levels of pro-ASIR-V (from 0% to 100%, step by 10%) with a slice thickness of 5mm. In the control group (group B), 0.992 helical pitch was used and monochromatic 70KeV images were reconstructed using FBP(0% ASIR-V) with a slice thickness of 5mm. Images of lung window and mediastinal window were separately reconstructed by bone algorithm and standard algorithm. The image noise of lung tissue on lung window, heart on mediastinal window were objectively evaluated and the image quality was subjectively scored (5-point system, 1 point is the lowest, 5 points is the highest).

作者单位: 250000 济南, 济南市人民医院影像科(艾娜娜, 宋振, 翟艳慧, 杨晨晓, 贾守强); 201203 上海, GE 中国 CT 影像研究中心(耿华)

作者简介: 艾娜娜(1987-), 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主治医师, 主要从事胸部能谱 CT 成像及乳腺 MR 影像诊断工作。

通讯作者: 贾守强, E-mail: jshqlw@163.com

Effective radiation doses in two groups were recorded. **Results:** No significant difference in image noise of lung tissue on lung window was found between group A and group B ($P>0.05$). The image noise of heart on mediastinal window were (7.33 ± 0.31) HU, (6.72 ± 0.28) HU, (6.10 ± 0.24) HU, (5.63 ± 0.19) HU, (4.98 ± 0.19) HU, (4.53 ± 0.20) HU, (3.73 ± 0.10) HU, (3.08 ± 0.04) HU, (2.85 ± 0.08) HU, (2.35 ± 0.08) HU and (2.03 ± 0.12) HU in group A, respectively. The image noise of heart on mediastinal window was (6.75 ± 0.26) HU in group B. The image noise of heart on mediastinal window decreased with the increase of ASIR-V in group A, and the difference between the two groups was statistically significant ($P<0.05$). The image noise of heart on mediastinal window of group B was significantly lower than that of group A (0% ASIR-V) and significantly higher than that of group A (from 20% to 100% ASIR-V) (all $P<0.05$). There was no significant difference in image noise of heart on mediastinal window between group B and group A (10% ASIR-V) ($P>0.05$). The mean subjective scores of images in group B and group A (from 10% to 60% ASIR-V) were all 5 points. The optimal image quality was obtained with 60% pro-ASIR-V. The effective dose (ED) value of the high-pitch in group A is 5.31 mSv, which was 22.37% lower than that of the routine-pitch in group B. **Conclusion:** The radiation dose of high-pitch is lower than that of routine-pitch spectral CT monochromatic imaging based on intelligent matching technology. The use of pro-ASIR-V (from 10% to 60%) results in improving image quality of high-pitch spectral CT monochromatic image by reducing image noises, and 60% Pro-ASIR-V could obtain optimal image quality.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Spectral imaging; High-pitch Spiral; Adaptive statistical iterative reconstruction; Image quality; Radiation dose

能谱 CT 因其多功能、多参数成像,在临床中应用广泛。以往能谱 CT 的辐射剂量较常规 CT 略高^[1],如何在满足临床诊断需求的同时尽量降低辐射剂量是目前的研究热点之一。CT 能谱智能匹配技术(GSI assist)可智能匹配患者扫描的最佳参数,产生与常规扫描相当的辐射剂量,避免了一部分患者接受过量辐射,实现了个体化能谱成像^[2,3]。大螺距扫描是降低辐射剂量的有效途径,还可缩短扫描时间,但不可避免地会造成一定程度的图像质量的降低^[4-6]。应用多模型自适应迭代重建技术(adaptive statistical iterative reconstruction Veo, ASIR-V)可以弥补噪声升高导致的图像质量下降^[7-9]。本研究基于能谱智能匹配技术,将大螺距结合不同权重 ASIR-V 技术与常规螺距结合滤波反投影(filtered back projection, FBP)法进行比较,旨在探讨在胸部能谱扫描中进一步降低辐射剂量的可行性,同时探求大螺距能谱单能量成像的最佳 ASIR-V 权重。

材料与方法

1. 检查方法

采用 Revolution CT (Revolution CT, GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA)对仿真成年男性胸部体模(Multipurpose Chest Phantom N1 "LUNGMAN")进行扫描,该体模由胸壁、纵隔、肺和椎体组成,以组织等效材料制成,各部位几何尺寸及 X 线衰减性能与人体

组织等效(图 1)。扫描参数:80 kVp 和 140 kVp 瞬时切换,探测器宽度 8 cm,机架旋转时间 0.5 s,噪声指数(noise index, NI)12,层厚 5 mm,扫描视野 40 cm × 40 cm,扫描范围自胸廓入口至双侧肋膈角下缘,开启 GSI assist。试验组(A 组):采用大螺距 1.531,扫描完成后采用 ASIR-V 技术(0%~100%,间隔 10%)重建 70 keV 能谱单能量图像;对照组(B 组):采用常规螺距 0.992,扫描完成后采用 FBP 方法(即 0% ASIR-V)重建 70 keV 能谱单能量图像。肺窗图像采用骨算法进行重建,纵隔窗图像采用标准算法进行重建,重建层厚均为 5 mm。每组各重复扫描三次。

2. 图像分析

客观评价:采用 Advanced Workstation 4.6 GE Healthcare 工作站,分别在肺窗肺组织^[10]及纵隔窗心脏^[11]设置圆形兴趣区(region of interest, ROI),面积为 40 mm²,在上下 6 个层面各勾画一个 ROI(各组图像的 ROI 位置、大小、形状完全一致),测量其 SD 值并求得平均值,分别以此值作为肺窗及纵隔窗图像的背景噪声值。

主观评分:不显示扫描参数,由两位工作年限超过 6 年的影像诊断医师分别对 A、B 两组的肺窗及纵隔窗图像进行评分,总体图像质量评分采用 5 分制法,肺窗图像评分标准如下:肺纹理及支气管等解剖细节显示清晰,无明显噪声和伪影为 5 分(优异);肺纹理及支气管等解剖细节显示较清晰,噪声和伪影稍增加为 4 分

(良好);肺纹理及支气管等解剖细节欠清晰,噪声和伪影较明显但可接受为 3 分(中等);肺纹理及支气管等解剖细节辨识困难,噪声和伪影很明显为 2 分(较差);肺纹理及支气管等解剖细节无法辨识,噪声和伪影极为明显为 1 分(极差)。纵隔窗图像评分标准如下:图像解剖细节清晰,边缘锐利,无明显噪声和伪影为 5 分(优异);图像解剖细节显示尚清晰,噪声和伪影稍增加为 4 分(良好);图像大部分解剖细节可满足诊断要求,噪声和伪影较明显但可接受为 3 分(中等);图像解剖细节模糊,辨识困难,噪声和伪影明显为 2 分(较差);图像不能诊断,噪声和伪影极为明显为 1 分(极差)。3 分及以上评分可满足临床诊断需求。

3. 扫描剂量

记录试验组和对照组能谱扫描的 CT 容积剂量指数(CT dose index volume,CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product,DLP),并计算有效辐射剂量(effective dose,ED),计算公式为 $ED(mSv) = DLP(mGy \cdot cm) \times k$,k 为转换系数,胸部扫描时 $k = 0.014 mSv/(mGy \cdot cm)$ 。

4. 统计学处理

采用 SPSS 19.0 软件进行统计学分析。噪声以均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。客观评价指标的组间比较采用方差分析。两位医师主观评分的一致性分析采用 Kappa 检验, $K < 0.4$ 认为一致性较差, $0.4 \leq K < 0.75$ 认为一致性适中, $K > 0.75$ 认为一致性良好。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 图像质量评价

A、B 两组图像中,肺窗肺组织噪声两两间差异均无统计学意义(P 值均 > 0.05)。A 组中纵隔窗心脏噪声两两间差异均有统计学意义(P 值均 < 0.05),噪声随 ASIR-V 升高而降低;B 组纵隔窗心脏噪声低于 A 组 0%ASIR-V,差异有统计学意义($P < 0.05$);B 组纵隔窗心脏噪声高于 A 组 20%~100% ASIR-V,差异均有统计学意义(P 值均 < 0.05 ,表 1、图 2、3);B 组纵隔窗心脏噪声与 A 组 10%ASIR-V 差异无统计学意



图 1 成年男性仿真胸部体模。

义($P > 0.05$)。

两位医师间的主观评分一致性适中($K = 0.747$),A、B 两组的主观评分见表 2。A、B 两组肺窗图像主观评分均为 5 分。A 组 10%~60%ASIR-V 与 B 组的纵隔窗图像主观评分均为 5 分,A 组图像中 ASIR-V 权重超过 60%后,随 ASIR-V 权重升高纵隔窗图像的主观评分逐渐降低。综合主客观评价,60%为大螺距 70 keV 能谱单能量成像(A 组)的最佳 ASIR-V 权重。

2. 辐射剂量

大螺距 A 组 CTDIvol 值为 $379.29 mGy \cdot cm$,ED 值为 $5.31 mSv$;常规螺距 B 组 CTDIvol 值为 $488.57 mGy \cdot cm$,ED 值为 $6.84 mSv$,大螺距 A 组与常规螺距 B 组比较,ED 值降低了 22.37%。

讨 论

能谱 CT 代表了目前 CT 发展的趋势,可以提供

表 1 大螺距 A 组不同 ASIR-V 比例与常规螺距 B 组 FBP 法重建图像的噪声比较 (HU)

指标	大螺距 A 组										常规螺距 B 组 FBP	F 值	P 值	
	0% ASIR-V	10% ASIR-V	20% ASIR-V	30% ASIR-V	40% ASIR-V	50% ASIR-V	60% ASIR-V	70% ASIR-V	80% ASIR-V	90% ASIR-V				100% ASIR-V
肺窗肺组织	13.00±2.74	12.75±2.71	12.47±2.52	12.15±2.49	11.90±2.5	11.63±2.36	11.28±2.41	10.88±2.43	10.73±2.4	10.48±2.24	10.38±2.19	12.57±2.76	0.827	0.614
纵隔窗心脏	7.33±0.31	6.72±0.28	6.10±0.24	5.63±0.19	4.98±0.19	4.53±0.2	3.73±0.1	3.08±0.04	2.85±0.08	2.35±0.08	2.03±0.12	6.75±0.26	547.32	0.000

表 2 大螺距 A 组不同 ASIR-V 比例与常规螺距 B 组 FBP 法重建图像的主观评分 (分)

肺窗/ 纵隔窗	大螺距 A 组											常规螺 距 B 组 FBP
	0% ASIR-V	10% ASIR-V	20% ASIR-V	30% ASIR-V	40% ASIR-V	50% ASIR-V	60% ASIR-V	70% ASIR-V	80% ASIR-V	90% ASIR-V	100% ASIR-V	
肺窗	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
纵隔窗	4.5	5	5	5	5	5	5	4	3	2.5	2	5

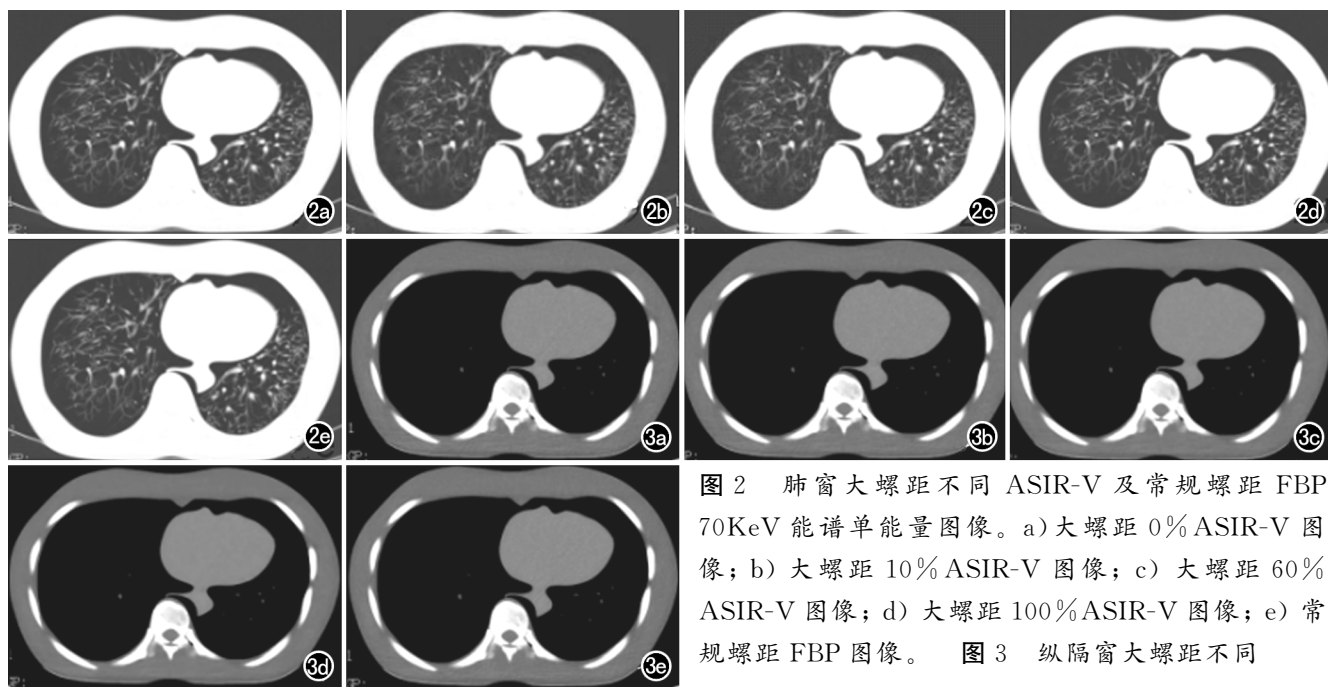


图2 肺窗大螺距不同 ASIR-V 及常规螺距 FBP 70KeV 能谱单能量图像。a)大螺距 0% ASIR-V 图像; b) 大螺距 10% ASIR-V 图像; c) 大螺距 60% ASIR-V 图像; d) 大螺距 100% ASIR-V 图像; e) 常规螺距 FBP 图像。 图3 纵隔窗大螺距不同

ASIR-V 及常规螺距 FBP 70KeV 能谱单能量图像。a)大螺距 0% ASIR-V 图像; b) 大螺距 10% ASIR-V 图像; c) 大螺距 60% ASIR-V 图像; d) 大螺距 100% ASIR-V 图像; e) 常规螺距 FBP 图像。

多种定量分析方法、多参数成像,如基物质图像、单能量图像、能谱曲线等,为影像诊断提供多重助力,为疾病的早期发现及诊断、定量及定性评估提供可靠依据,有很高的临床应用价值^[12],已经在全身各系统病变的诊断中得到了广泛应用。能谱 CT 目前在胸部中的应用主要包括:胸部肿瘤的诊断及鉴别诊断、慢阻肺或肺移植疾病的肺功能评价、心脏及大血管成像、肺动脉栓塞的检出和肺实质血流灌注的评估、脊椎及小血管成像、肺癌治疗后疗效评价、食管癌或乳腺癌的诊断及分期评估等。

如何在保证图像质量的同时尽量降低 CT 扫描的辐射剂量是目前关注热点。CT 辐射剂量主要与管电压、管电流、管球旋转或曝光时间、扫描层厚和螺距等扫描参数有关,CT 图像噪声与扫描参数和重建算法都有密切关系。能谱 CT 所具备的能谱智能匹配技术参考常规扫描的噪声指数,基于患者体型及所设定的扫描参数,智能匹配最佳扫描参数,获得与常规扫描相当的辐射剂量,使得能谱扫描可以常规化、个体化应用,避免了部分患者接受过多辐射剂量^[1,2]。此外,能谱 CT 扫描可以通过适当加大 NI 指数设定或适当增加螺距,同时选择合适权重的 ASIR-V 后重建技术来达到保持一定图像质量的前提下降低辐射剂量的目的,这也是目前的研究热点之一。

本研究结果显示,当 NI 固定为 12,在能谱智能匹配技术下,螺距由 0.992 增加到 1.531,辐射剂量 ED 值降低了 22.37%,其对肺窗图像质量无显著影响,分

析原因可能是由于肺组织主要由大量气体组成,对 X 线吸收非常少,一定范围内扫描参数的调整导致的肺组织噪声值变化不明显;ASIR-V 后重建技术对肺窗肺组织图像质量也无显著影响。螺距由 0.992 增加到 1.531,纵隔窗图像噪声略有升高,主观评分仍较高,没有明显影响图像质量的伪影存在,可满足诊断要求;大螺距组纵隔窗图像噪声随 ASIR-V 权重升高逐渐降低,当 ASIR-V 权重过高(超过 60%)时,纵隔窗图像开始出现蜡像样伪影,且随 ASIR-V 权重增加,蜡像样伪影逐渐加重,主观评分逐渐降低,这与张卓璐等^[13]及 Ren 等^[14]的研究结果基本相符。综合评估结果显示,在能谱智能匹配技术下,大螺距组 70keV 单能量成像无论采用 FBP(即 0% ASIR-V)算法还是 10%~60% ASIR-V 后重建技术,图像质量都很好,都能满足临床诊断需求;采用 ASIR-V 后重建技术可进一步提高图像质量,60% ASIR-V 效果最佳。

本研究全部数据来自胸部模型,性能模型不能完全模拟人体的多样性和复杂性,需要进一步进行临床研究。

综上所述,在能谱 CT 智能匹配技术下,大螺距能谱成像较常规螺距能谱成像的辐射剂量降低;联合 10%~60% ASIR-V 后重建技术,可以降低大螺距能谱单能量图像的噪声,提高综合成像质量,获得与常规螺距 FBP 相当或更优的图像;60%为大螺距能谱单能量成像的最佳 ASIR-V 权重。

参考文献:

- [1] Li B, Yadava G, Hsieh J. Quantification of head and body CTDIvol of dual-energy X-ray CT with fast-kVp switching[J]. Med Phys, 2011, 38(5): 2595-2601.
- [2] Lv P, Liu J, Chai Y, et al. Automatic spectral imaging protocol selection and iterative reconstruction in abdominal CT with reduced contrast agent dose: initial experience[J]. Eur Radiol, 2017, 27(1): 374-383.
- [3] 吕培杰, 柴亚如, 阎晓朋, 等. CT 能谱智能匹配技术联合自适应统计迭代重组技术对腹部低对比剂量扫描图像质量和辐射剂量的影响[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50(2): 122-127.
- [4] 王辛华, 周艳丽, 刘晓林, 等. 第三代双源 C 低辐射剂量扫描对肺结节的诊断价值[J]. 中华诊断学电子杂志, 2018, 6(4): 222-225.
- [5] 袁颖, 吴天琪, 钟朝辉, 等. 胸部低剂量 CT 应用大螺距及高机架转速扫描对图像质量的影响[J]. 临床和实验医学杂志, 2018, 17(5): 541-545.
- [6] 陈月芹, 孙占国, 黄书然, 等. 双源 CT 前门控大螺距扫描在小儿先天性心脏病诊断中的应用[J]. 放射学实践, 2017, 32(3): 253-257.
- [7] Ozdoba C, Slotboom J, Schroth G, et al. Dose reduction in standard head CT: first results from a new scanner using iterative reconstruction and a new detector type in comparison with two previous generations of multi-slice CT[J]. Clin Neuroradiol, 2014, 24(1): 23-28.
- [8] Wenz H, Maros ME, Meyer M, et al. Intra-individual diagnostic image quality and organ-specific-radiation dose comparison between spiral cCT with iterative image reconstruction and z-axis automated tube current modulation and sequential cCT [J]. Eur J Radiol Open, 2016, 26(3): 182-190.
- [9] 张欣贤, 李成龙, 辛涛, 等. 迭代算法 (ASIR-V) 在儿童腹部低剂量扫描中的应用研究[J]. 影像诊断与介入放射学, 2017, 26(2): 112-115.
- [10] 何长久, 周鹏, 胡仕北, 等. 迭代算法对超低剂量 CT 肺部扫描图像质量影响的体模研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2019, 39(2): 145-149.
- [11] 杨斌, 赵卫, 雷静, 等. 智能最佳 KV 技术联合 SAFIRE 迭代重建在体检人群胸部 CT 检查中的图像质量评估[J]. 实用放射学杂志, 2014, 30(1): 138-142.
- [12] 刘金有, 郝丽丽, 蒋琅琅, 等. 宝石能谱 CT 技术特点及临床应用价值[J]. 实用医技杂志, 2015, 22(7): 735-737.
- [13] 张卓璐, 刘卓, 綦维维, 等. 基于多模型的迭代重建算法在胸部低剂量 CT 中的应用[J]. 中国介入影像与治疗学, 2015, 12(11): 691-695.
- [14] Ren Q, Dewan SK, Li M, et al. Comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques in brain CT[J]. Eur J Radiol, 2012, 11(9): 5842-5847.

(收稿日期: 2019-04-16 修回日期: 2019-07-23)

《临床 MR 成像原理图解》译著出版发行

由王骏、张治平、陈峰主译的《临床 MR 成像原理图解》由天津科技翻译出版有限公司出版发行, 全书 39 万字, 108 元。

MRI 原理错综复杂, 晦涩难懂, 而国际顶级专家、出版过 14 部 MRI 专著的朗格教授采用简易教学法, 使得 MRI 原理通俗易懂。本书为第 3 版, 在上一版的基础上进行了改编和修订, 增加了可以提高图像诊断的关键信息。主要介绍了 MRI 的物理基础, 强调了获取高质量图像的重要基础知识, 具体介绍了 MR 扫描仪组成、MR 扫描磁场 (静磁场、梯度磁场和射频磁场) 和线圈、运动伪影、图像分辨率、成像序列、时间飞跃法 MRA、对比增强 MRA、脂肪抑制、灌注成像、滤过成像、几何失真、MR 乳腺成像和化学位移等, 最后介绍了 MR 系统的新进展。各章都有病例介绍, 超过 600 幅高清临床图像有助于加深对文中概念的理解。

欲购此书者, 敬请百忙之中以实名制+单位加主译王骏的微信 1145486363, 谨以此书献给为我国医学影像技术事业发展而不断拼搏的同行!

(王骏)