

Feasibility of iterative model reconstruction technique in low dose dual phase contrast-enhanced chest CT

ZHOU Danjing¹, XU Jianming^{1*}, JIANG Yan², QIAN Weiliang¹,
FENG Chuan¹, ZHANG Jibin¹, WANG Hong¹

(1. Department of Radiology, Nanjing Medical University Affiliated Suzhou Hospital, Suzhou 215002, China;

2. Clinical Science Philips Healthcare, Shanghai 201100, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the feasibility of low dose dual phase contrast-enhanced chest CT with iterative model reconstruction (IMR) technique. **Methods** Totally 130 patients with suspected pulmonary occupying lesions underwent dual phase contrast-enhanced chest CT, who were randomly assigned into 2 groups (group A and group B, each $n=65$). Patients in group A were scanned with 100 kV, DoseRight technique with dose right index 10, and images were reconstructed with the hybrid iterative reconstruction (iDose⁴). While patients in group B were scanned with 80 kV, DoseRight technique with dose right index 8, and images were reconstructed with iterative model reconstruction (IMR). The objective image quality, subjective image scores and the excellence rate of vascular visualization were compared in both pulmonary artery (PA) and bronchial artery (BA) phases. The radiation dose was also calculated. **Results** The effective dose was (3.30 ± 0.89) mSv in group A and (1.27 ± 0.19) mSv in group B. Compared to group A, the effective dose reduced 61.52% in group B ($P<0.001$). Lower image noise and greater CNR were obtained in group B compared to group A in both PA and BA phases (all $P<0.001$). No significant difference was found in subjective image scores of lung and mediastinal setting and the excellence rate of vascular visualization in both groups (all $P>0.05$). **Conclusion** Using IMR, dual phase contrast-enhanced chest CT allows for a radiation dose reduction up to 61.52%, meanwhile, ensures the image quality and meets the diagnostic requirements.

[Key words] Radiation dosage; Iterative model reconstruction; Chest; Tomography, X-ray computed

DOI:10.13929/j.1003-3289.201609137

迭代模型重建技术在低剂量胸部 CT 双期增强扫描中的可行性

周丹静¹, 许建铭^{1*}, 姜彦², 钱伟亮¹, 丰川¹, 张继斌¹, 王宏¹

(1. 南京医科大学附属苏州医院影像科, 江苏 苏州 215002; 2. 飞利浦医疗保健临床科研部, 上海 201100)

[摘要] **目的** 探讨低剂量扫描联合迭代模型重建技术在胸部 CT 双期增强检查中的可行性。 **方法** 130 例拟诊为肺部占位的患者接受胸部双期增强扫描, 随机分为 A 组和 B 组, 每组 65 例。A 组扫描采用管电压 100 kV, 自动管电流调制技术, 图像质量指数 10; B 组管电压 80 kV, 自动管电流调制技术, 图像质量指数 8。A 组图像采用混合迭代重建技术 (iDose⁴) 重建, B 组图像采用迭代模型重建技术 (IMR) 重建。比较两组图像肺动脉 (PA) 期及支气管动脉 (BA) 期的客观图像质量、主观图像质量和血管显示优良率并计算辐射剂量。 **结果** A 组有效辐射剂量为 (3.30 ± 0.89) mSv, B 组为 (1.27 ± 0.19) mSv, B 组较 A 组下降 61.52% ($P<0.001$)。PA 期和 BA 期, B 组图像噪声显著低于 A 组, CNR 显著高于 A 组 (P 均 <0.001); 两组肺窗和纵隔窗主观图像质量均达到较高评分, 双期血管显示优良率均较高, 差异无统计学意义

[第一作者] 周丹静 (1991—), 女, 江苏昆山人, 在读硕士。研究方向: 胸部疾病的影像诊断。E-mail: 980162616@qq.com

[通信作者] 许建铭, 南京医科大学附属苏州医院影像科, 215002。E-mail: jmxu86@163.com

[收稿日期] 2016-09-28 **[修回日期]** 2017-02-12

(P 均 >0.05)。**结论** 采用迭代模型重建技术,低剂量胸部双期增强扫描可在较常规剂量降低 61.52%的条件下,保证图像质量并满足诊断要求。

[关键词] 辐射剂量;迭代模型重建;胸部;体层摄影术,X线计算机

[中图分类号] R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2017)05-0768-05

胸部 CT 是诊断肺部疾病的重要影像学方法,胸部双期增强扫描对鉴别诊断肺部良恶性病变及评估疗效具有重要的价值^[1-2]。但双期扫描的辐射剂量和对比剂用量均较大,使其临床推广受限。优化扫描方案如降低管电压、管电流可降低辐射剂量,且有助于提高血管对比度从而降低对比剂用量^[3]。但受限于 CT 传统的 FBP 技术,单纯优化扫描方案导致图像噪声增加,进而影响图像质量。研究^[4]报道,采用迭代重建(iterative reconstruction, IR)技术可在低辐射剂量条件下保证图像质量,但目前多数 IR 技术属于混合迭代重建(hybrid iterative reconstruction, HIR),噪声降低程度有限^[5]。而迭代模型重建(iterative model reconstruction, IMR)技术是一种全迭代重建技术,相较于 HIR,可进一步降低图像噪声并提高图像质量^[6],有助于低管电压方案的实施。本研究采用低剂量方案联合 IMR 技术进行胸部双期增强扫描,并探讨该方案的可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2015 年 8 月—2016 年 3 月于我院就诊的疑似肺部占位的患者 130 例,均行胸部 CT 双期增强扫描。随机分为 A 组和 B 组,每组 65 例。A 组男 29 例,女 36 例,年龄 32~83 岁,平均 (60.0 ± 14.0) 岁,体质量指数(body mass index, BMI)为 $21.5 \sim 24.7 \text{ kg/m}^2$,平均 $(23.07 \pm 1.13) \text{ kg/m}^2$ 。B 组男 31 例,女 34 例,年龄 28~82 岁,平均 (58.9 ± 12.2) 岁, BMI 为 $21.6 \sim 24.9 \text{ kg/m}^2$,平均 $(23.24 \pm 0.97) \text{ kg/m}^2$ 。排除严重肾功能不全、妊娠或哺乳期妇女、碘对比剂过敏、有明显运动伪影者。本研究经医院伦理委员会审核批准,所有患者签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Philips Brilliance iCT 256 层 CT 机,患者取仰卧位,屏气状态扫描,扫描范围自肺尖至侧肋膈角。平扫后采用高压注射器经肘正中静脉注入碘普胺(优维显, 370 mgI/ml) 40 ml,注射速率 5 ml/s ,再以相同速率注射 50 ml 生理盐水。采用对比剂示踪技术(Bolus Tracking)启动增强扫描,触发监测点为肺动脉主干,阈值设定为 60 HU,触发后延迟 5、12 s 分别进行肺动脉(pulmonary arterial, PA)期及支气管动脉(bronchial artery, BA)期扫描。扫描

方案:A 组管电压 100 kV,自动管电流调制技术(DoseRight, Philips Healthcare),图像质量指数设为 10; B 组管电压 80 kV,自动管电流调制技术,图像质量指数 8。余扫描参数两组一致:准直器 $128 \times 0.625 \text{ mm}$,球管旋转 1 周时间 0.5 s,螺距 0.992,矩阵 512×512 , FOV 350 mm,重建层厚 1.0 mm,增量 0.5 mm。

1.3 图像处理 A 组采用混合迭代重建技术(iDose⁴, Philips Healthcare)重建, B 组采用迭代模型重建技术(IMR, Philips Healthcare)重建。将所得轴位图像传入 Philips IntelliSpace 工作站,采用 MIP、曲面重建(curved planar reformations, CPR)和 VR 技术进行图像后处理。

1.4 图像评价

1.4.1 客观评价 由 1 名放射科主治医师于标准纵隔窗(窗宽 350 HU,窗位 40 HU)进行测量。分别在双期肺动脉主干及其同层面降主动脉放置 ROI(约 100 mm^2),测量 3 个连续层面的 CT 值及其标准差(SD),取其平均值。以主动脉 SD 值为噪声值,计算 CNR, $\text{CNR} = |\text{肺动脉干 CT 值} - \text{主动脉 CT 值}| / \text{图像噪声}$ 。

1.4.2 主观评价 由 2 名放射科副主任医师采用盲法独立对图像评分。采用 4 分法对肺窗和纵隔窗图像质量分别进行评定^[7]:1 分,不可接受;2 分,较差,解剖结构轮廓及分界显示欠清,较多伪影和噪声干扰;3 分,一般,解剖结构轮廓分界显示尚清,伪影和噪声存在但不影响主要结构显示;4 分,优良,解剖结构轮廓分界清晰,伪影和噪声轻微或不存在。

1.4.3 血管图像质量评价 PA 期评价标准^[8]:1 级(优),肺动脉干 CT 值 $>300 \text{ HU}$,肺动脉与主动脉 CT 值绝对差值 $>150 \text{ HU}$,肺动脉显示达亚段水平;2 级(良),肺动脉干 CT 值 $>300 \text{ HU}$,肺动脉与主动脉 CT 值绝对差值为 $100 \sim 150 \text{ HU}$,肺动脉显示达亚段水平;3 级(中),肺动脉干 CT 值 $150 \sim 300 \text{ HU}$,或肺动脉与主动脉 CT 值绝对差值 $<100 \text{ HU}$;4 级(差),肺动脉干 CT 值 $<150 \text{ HU}$,不能用于诊断。

BA 期评价标准^[9]:1 级(优),支气管动脉显示非常清晰,周围血管(肺动脉、上腔静脉)显影淡,对支气管动脉无影响;2 级(良),支气管动脉显影清晰,周围血管显

影,对支气管动脉显示影响小;3级(中),支气管动脉显示,周围血管显影,对其显示有影响;4级(差),支气管动脉未见显示或显示不清,周围血管影响重。

1.5 辐射剂量 记录双期增强扫描的总剂量长度乘积(dose length product, DLP),并计算有效辐射剂量(effective dose, ED): $ED=DLP \times k$, $k=0.014 \text{ mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})^{[10]}$ 。

1.6 统计学分析 采用 SPSS 20.0 统计分析软件,2组年龄、客观图像质量和辐射剂量等计量资料的比较采用两独立样本 t 检验,主观图像质量比较采用 Mann-Whitney U 检验,性别、血管优良率比较采用 χ^2 检验。2名医师对图像质量的评分一致性采用 Kappa 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2组年龄($t=0.19$, $P>0.05$)、性别($\chi^2=0.12$, $P>0.05$)及 BMI($t=0.67$, $P>0.05$)差异均无统计学意义。A组 ED 为 $(3.30 \pm 0.89) \text{ mSv}$, B组为 $(1.27 \pm 0.19) \text{ mSv}$, B组显著低于 A组($t=13.90$, $P<0.001$),降幅为 61.52%。

2.1 客观评价 PA期肺动脉干 CT值、BA期主动脉 CT值 B组均高于 A组,差异有统计学意义(P 均<

0.001),而 PA期主动脉 CT值、BA期肺动脉干 CT值 2组差异无统计学意义(P 均>0.05)。PA期及 BA期 B组图像噪声显著低于 A组, CNR 显著高于 A组,差异均有统计学意义(P 均<0.001),见表 1 和图 1、2。

2.2 主观评价 2名医师间图像评分一致性较好($Kappa=0.65 \sim 0.89$, P 均<0.05)。2组图像在肺窗和纵隔窗均获得较高评分,差异无统计学意义(P 均>0.05),见表 2。

2.3 血管图像质量评价 PA期 A组血管质量达到优良等级(1级和2级)63例, B组 65例,差异无统计学意义($\chi^2=2.031$, $P=0.248$); BA期 A组 62例达优良等级, B组 65例,差异无统计学意义($\chi^2=3.071$, $P=0.122$),见表 3。

3 讨论

IMR 技术是一种基于完整模型的 IR 技术,通过前向后向重建在投影数据域及图像数据域进行迭代运算,并采用统计学模型及 CT 系统模型进行对比校正,最终获得低噪声高分辨力的 CT 图像^[6]。有研究^[11]报道相较于 HIR 技术, IMR 可进一步降低图像噪声及伪影,并提高图像低对比分辨力,有助于胸部 CT 扫描。

表 1 2组图像质量客观评价($\bar{x} \pm s$)

组别	PA 期				BA 期			
	肺动脉干 CT 值 (HU)	主动脉 CT 值 (HU)	图像噪声 (HU)	CNR	肺动脉干 CT 值 (HU)	主动脉 CT 值 (HU)	图像噪声 (HU)	CNR
A 组	538.97±126.94	124.83±69.69	39.15±9.48	11.39±5.69	127.62±49.02	426.63±84.96	35.66±7.24	8.81±3.45
B 组	778.21±48.80	116.39±61.54	16.90±4.40	40.87±8.99	114.91±25.28	659.54±54.23	13.84±1.81	40.01±7.00
t 值	-6.842	0.402	8.428	-14.231	0.924	-9.565	11.09	-21.829
P 值	<0.001	0.690	<0.001	<0.001	0.360	<0.001	<0.001	<0.001

表 2 2组图像质量主观评分结果(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	PA 期		BA 期	
	肺窗	纵隔窗	肺窗	纵隔窗
A 组	3.90±0.30	3.53±0.55	3.93±0.27	3.53±0.51
B 组	3.93±0.26	3.71±0.47	3.93±0.27	3.79±0.43
Z 值	-0.314	-1.106	-0.44	-1.693
P 值	0.753	0.269	0.965	0.090

表 3 2组血管图像质量比较[例(%)]

组别	PA 期				BA 期			
	1 级	2 级	3 级	4 级	1 级	2 级	3 级	4 级
A 组	45(69.23)	18(27.69)	2(3.08)	0	45(69.23)	17(26.15)	3(4.62)	0
B 组	46(70.77)	19(29.23)	0	0	46(70.77)	19(29.23)	0	0

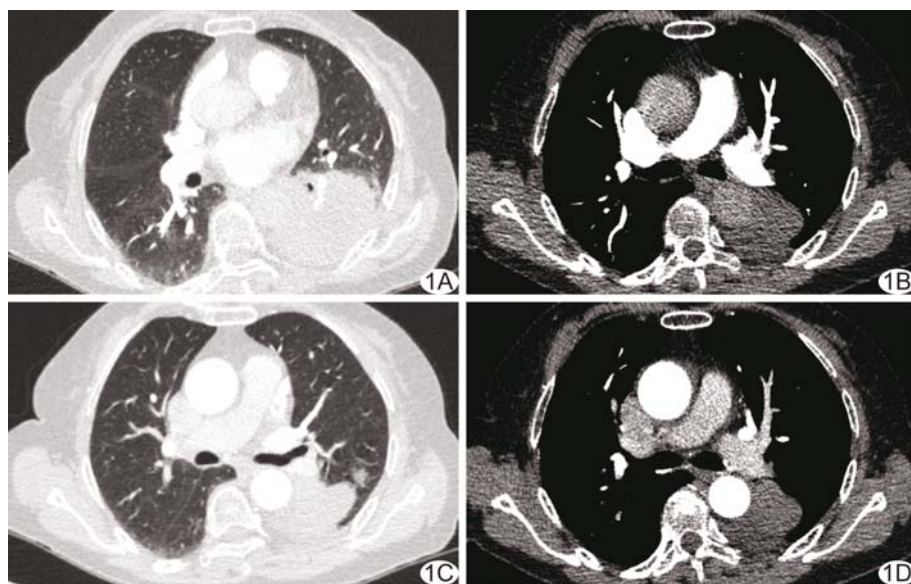


图 1 A 组病例,女,61 岁,左肺下叶后基底段占位 A. PA 期肺窗图像,图像质量 4 分; B. PA 期纵隔窗图像,肺动脉主干 CT 值为 577.9 HU,主动脉 CT 值 83.1 HU,图像质量 4 分,血管显示优良率 1 级; C. BA 期肺窗图像,图像质量 4 分; D. BA 期纵隔窗图像,肺动脉主干 CT 值为 140.7 HU,主动脉 CT 值 449.2 HU,图像质量 3 分,血管显示优良率 1 级

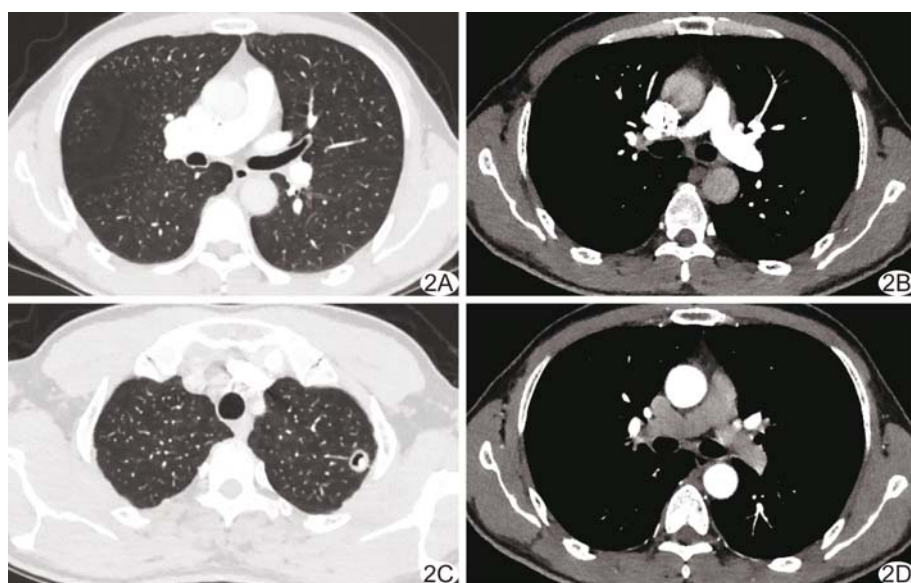


图 2 B 组病例,男,57 岁,左肺上叶胸膜下结节灶 A. PA 期肺窗图像,图像质量 4 分; B. PA 期纵隔窗图像,肺动脉主干 CT 值为 814.6 HU,主动脉 CT 值为 80.5 HU,图像质量 4 分,血管显示优良率 1 级; C. BA 期肺窗图像,图像质量 4 分; D. BA 期纵隔窗图像,肺动脉主干 CT 值为 102.6 HU,主动脉 CT 值为 669.6 HU,图像质量 4 分,血管显示优良率 1 级

对于胸部双期增强扫描,80 kV 相较于 100 kV、100 kV 相较于 120 kV 直接降低了辐射剂量,又因其发射的 X 线平均能量更接近于碘物质 K 峰,提高了血管内碘对比剂的增强效应,从而提高血管对比度^[12-13],因此,本研究 2 组均采用低管电压方案。由于 HIR 临床应用较为成熟,既往较多研究^[11,14-15]表明

100 kV 联合 HIR 可获得较 120 kV 联合 FBP 更高质的图像质量,因此,本研究 A 组采用 100 kV 联合 HIR 重建技术,可保证不低于甚至高于常规扫描方案的图像质量;B 组采用 80 kV 联合 IMR 重建技术,同时辅以低管电流,以期尽可能降低辐射剂量;结果表明 B 组辐射剂量仅为 (1.27 ± 0.19) mSv,较 A 组降低 61.52%,与低剂量常规单期增强扫描相当^[14]。此外,本研究 2 组采用相同的对比剂注射方案,对比剂总量仅 40 ml,远低于同类扫描方案,而生理盐水用量 50 ml,相对同类扫描方案较高^[1-2],即受试者血管内对比剂浓度相对较低,但受益于低管电压方案的实施,2 组均取得满意的图像质量及较高的血管显示优良率。

本研究中客观图像质量 B 组显著优于 A 组,具有更低的图像噪声和更高的 CNR,与 IMR 显著的降噪能力相关。此外,PA 期肺动脉干 CT 值 B 组高于 A 组,但 2 组主动脉 CT 值无差异,而 BA 期主动脉 CT 值 B 组高于 A 组,而 2 组肺动脉干 CT 值无差异,提示双期扫描 B 组肺动脉干和主动脉 CT 值之差较大,且在 B 组的扫描条件下,对比剂用量有进一步降低的潜力。

2 组肺窗和纵隔窗主观图像质量均达较高评分且组间无明显差异,而 B 组在低剂量条件下可保持较高的主观图像质量,尤其是

纵隔窗图像质量,有赖于 IMR 对噪音伪影的抑制以及低对比分辨力的提高。同时,2 组血管显示优良率均较高,B 组在双期均达 100%,组间差异无统计学意义(P 均 > 0.05)。由于胸部双期增强扫描较常规增强扫描可提供更多的诊断信息,通过观察病灶不同期相的强化特征,进而分析病灶血供特点,因此保证扫描期

相的准确是后续病灶分析的重要前提。

本研究的局限性:①B 组未进行进一步对比剂方案优化;②因病灶阳性率较低,本研究未对病灶的双期强化方式及特点行对照研究。

综上所述,联合 IMR 技术,低剂量胸部双期增强扫描可在低对比剂用量的条件下取得满意的图像质量和血管显示优良率,可用于肺部病灶血供分析,值得进一步研究与推广。

[参考文献]

- [1] Iwano S, Koike W, Matsuo K, et al. Correlation between dual-phase dynamic multi-detector CT findings and fibrosis within lung adenocarcinoma tumors. *Eur J Radiol*, 2011, 80(3):e470-e475.
- [2] Hwang SH, Yoo MR, Park CH, et al. Dynamic contrast-enhanced CT to assess metabolic response in patients with advanced non-small cell lung cancer and stable disease after chemotherapy or chemoradiotherapy. *Eur Radiol*, 2013, 23(6):1573-1581.
- [3] 申艳光, 范占明, 李宇. 多层螺旋 CT 主动脉血管成像技术的应用进展. *中国医学影像技术*, 2014, 30(8):1268-1271.
- [4] Hara AK, Paden RG, Silva AC, et al. Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: Feasibility study. *AJR Am J Roentgenol*, 2009, 193(3):764-771.
- [5] 潘丹, 陈鑫, 姜彦, 等. 迭代模型重组设置对不同辐射剂量下肝脏增强 CT 图像噪声及质量的影响. *中华放射学杂志*, 2015, 49(4):173-178.
- [6] Suzuki S, Haruyama T, Morita H, et al. Initial performance evaluation of iterative model reconstruction in abdominal computed tomography. *J Comput Assist Tomogr*, 2014, 38(3):408-414.
- [7] Li T, Zhang Y, Wang Y, et al. Chest CT with iterative reconstruction algorithms for airway stent evaluation in patients with malignant obstructive tracheobronchial diseases. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(39):e4873.
- [8] 蔡长寿, 刘年元, 于大飞, 等. 128 层 CT 肺动脉造影+主动脉造影技术对周围型肺癌血供的研究价值. *中国中西医结合影像学杂志*, 2015, 13(3):244-247.
- [9] 殷允娟, 姜建威, 侯海燕, 等. 256 层 MSCT 支气管动脉 CTA 的扫描技术探讨. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2011, 31(7):1067-1070.
- [10] McCollough C, Cody D, Edyvean S, et al. The measurement, reporting, and management of radiation dose in CT. [2017-01-10] http://www.aapm.org/pubs/reports/RPT_96.pdf.
- [11] Khawaja RD, Singh S, Gilman M, et al. Computed tomography (CT) of the chest at less than 1 mSv: An ongoing prospective clinical trial of chest CT at submillisievert radiation doses with iterative model image reconstruction and iDose4 technique. *J Comput Assist Tomogr*, 2014, 38(4):613-619.
- [12] Bae KT. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: Considerations and approaches. *Radiology*, 2010, 256(1):32-61.
- [13] Nakaura T, Awai K, Maruyama N, et al. Abdominal dynamic CT in patients with renal dysfunction: Contrast agent dose reduction with low tube voltage and high tube current-time product settings at 256-detector row CT. *Radiology*, 2011, 261(2):467-476.
- [14] 李琼, 于红, 张丽, 等. 迭代重建技术对低管电压胸部 CT 增强扫描图像质量的影响. *实用放射学杂志*, 2012, 28(10):1615-1618.
- [15] 王芳, 高剑波, 刘杰, 等. 正弦图确定迭代重建技术在降低胸部扫描剂量中的应用. *中国医学影像技术*, 2012, 28(11):2087-2089.

《CT/MR/DSA/乳腺技师业务能力考评核心考点与精选习题》出版发行

由南京军区南京总医院王骏主编的《CT/MR/DSA/乳腺技师业务能力考评核心考点与精选习题》一书出版发行。本书针对全国医用设备使用人员(CT/MR/DSA/乳腺技师)业务能力考评专门编写了核心考点,旨在通过关键性的理论和知识点的学习,在极短的时间内掌握医用设备的重点内容。再通过精选的习题,巩固和查找使用人员对本专业知识的掌握程度和薄弱环节。该书不仅仅是全国医用设备使用人员(CT/MR/DSA/乳腺技师)业务能力考评的专用书,同时也是职称考试、入院前准入制考试、三基考试及在校学生考试的必备考试类用书。

欲购此书者,敬请将 65 元(普通寄免邮费,需特快者加 20 元)寄至:南京三牌楼新门口 4 号 7 幢 402 室 王骏,邮编:210003,敬请在留言栏中注明书名和您的手机号便于联系。