

✧ 影像技术学

Application of automatic tube voltage selection combined with automatic tube current modulation technology in thorax and abdomen CT scanning

WU Jun¹, QI Weiwei², CHEN Lei², LU Yanli¹, YANG Yu¹, HONG Nan^{2*}

(1. Department of Radiology, Beijing Longfu Hospital, Beijing 100010, China; 2. Department of Radiology, Peking University People's Hospital, Beijing 100044, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the application value of automatic tube voltage selection (ATVS) combined with automatic tube current modulation (ATCM) technology in thorax and abdomen CT scanning. **Methods** The female thoracoabdominal phantom CDPR2 was covered by different thickness water film on the back: group A, covered with no water film; group B, covered with 1 cm thickness water film; group C, covered with 3 cm thickness water film; group D, covered with 7 cm thickness water film. Four groups were scanned by ATVS combined with ATCM under different noise indexes (NI, NI=8.0, 9.0, 10.0, 11.0, 12.0, 15.0, 17.5, 20.0, 25.0), then were scanned by 120 kV tube voltage and ATCM under NI=12.0. Standard deviation (SD) value was recorded. SNR and effective dose (ED) were calculated. The image quality was assessed by subjective scores. **Results** In the same NI value, tube voltage increased with the decreasing of water film's thickness when ATVS combined with ATCM scanning, and for the same phantom, tube voltage increased with the decreasing of NI value. When group A, B, C and D were scanned by ATVS combined with ATCM, the significantly negative correlation was found between ED, SNR and NI value ($r=-0.85, -0.87, -0.92, -0.96$ and $-0.87, -0.89, -0.91, -0.91$, all $P<0.05$), the significantly positive correlation was found between SD and NI value ($r=0.97, 0.98, 0.98, 0.98$, all $P<0.05$). When NI=12.0, subjective score of four phantoms were all ≥ 4 . ED in group A, B and C scanned by ATVS combined with ATCM decreased by 20.74% (0.45 mSv/2.17 mSv), 19.19% (0.52 mSv/2.71 mSv) and 7.38% (0.27 mSv/3.66 mSv) compared with those scanned by 120 kV tube voltage combined with ATCM and NI=12.0, respectively, and SD difference were not significant in superior mediastinum, heart and liver (all $P>0.05$); SNR both had statistical significance in superior mediastinum, heart and liver of group A and B (both $P<0.05$); SNR was not significant in superior mediastinum, heart and liver of group C ($P>0.05$); ED of group D increased by 31.05% (1.45 mSv/4.67 mSv), and SNR increased by 29.88% (1.73/5.79), 32.75% (1.67/5.10) and 22.90% (1.01/4.41) in superior mediastinum, heart and liver respectively. **Conclusion** High quality images can be obtained by ATVS combined with ATCM in thorax and abdomen CT scanning, and radiation dose can be significantly decreased.

[Key words] Tomography, X-ray computed; Automatic tube voltage selection; Automatic tube current modulation; Radiation dosage

DOI:10.13929/j.1003-3289.2016.09.031

自动管电压联合管电流自动调制技术在胸腹部 CT 扫描中的应用

吴 俊¹, 綦维维², 陈 雷², 卢艳丽¹, 杨 瑜¹, 洪 楠^{2*}

(1. 北京市隆福医院放射科, 北京 100010; 2. 北京大学人民医院放射科, 北京 100044)

[摘 要] **目的** 探讨自动管电压(ATVS)联合管电流自动调制(ATCM)技术在胸腹部 CT 扫描中的应用价值。 **方法**

[第一作者] 吴俊(1978—), 女, 广东开平人, 本科, 主治医师。研究方向: 胸腹部影像学诊断。E-mail: 13734859@qq.com

[通信作者] 洪楠, 北京大学人民医院放射科, 100044。E-mail: hongnan@bjmu.edu.cn

[收稿日期] 2015-12-30 **[修回日期]** 2016-06-29

分别于女性胸腹体模 CDPR2 背部放置不同厚度水膜,并分为 A(无水膜)、B(附加 1 cm 厚水膜)、C(附加 3 cm 厚水膜)、D(附加 7 cm 厚水膜)组。采用 ATVS 联合 ATCM 及不同噪声指数(NI=8.0、9.0、10.0、11.0、12.0、15.0、17.5、20.0、25.0)分别对 4 组体模进行扫描;再采用管电压 120 kV 联合 ATCM 及 NI=12.0 分别对 4 组体模进行扫描。记录噪声(SD),计算 SNR、有效剂量(ED),并对图像质量进行主观评分。**结果** ATVS 联合 ATCM 扫描时,对于相同 NI 值,随着水膜厚度的增加,管电压增高;对于同一体模,随着 NI 值的降低,管电压增高。ATVS 联合 ATCM 扫描 A、B、C、D 组体模时,ED 和 SNR 与 NI 值均呈高度负相关($r=-0.85$ 、 -0.87 、 -0.92 、 -0.96 , -0.87 、 -0.89 、 -0.91 、 -0.91 , P 均 <0.05),SD 与 NI 值均呈高度正相关($r=0.97$ 、 0.98 、 0.98 、 0.98 , P 均 <0.05)。NI=12.0 时,4 组体模图像的主观评分均 ≥ 4 分。ATVS 联合 ATCM 扫描 A、B、C 组的 ED 较管电压 120 kV 联合 ATCM 及 NI=12.0 扫描分别降低了 20.74% (0.45 mSv/2.17 mSv)、19.19% (0.52 mSv/2.71 mSv)、7.38% (0.27 mSv/3.66 mSv),且上纵隔、心脏和肝脏的 SD 值差异均无统计学意义($P>0.05$);A、B 组上纵隔、心脏和肝脏的 SNR 差异均有统计学意义(P 均 <0.05);C 组上纵隔、心脏和肝脏的 SNR 差异无统计学意义($P>0.05$);D 组 ED 增加了 31.05% (1.45 mSv/4.67 mSv),上纵隔、心脏和肝脏的 SNR 分别增加了 29.88% (1.73/5.79)、32.75% (1.67/5.10)、22.90% (1.01/4.41)。**结论** ATVS 联合 ATCM 在胸腹部 CT 扫描时,可获得较高质量的图像,并显著降低辐射剂量。

【关键词】 体层摄影术,X 线计算机;自动管电压;自动管电流调制;辐射剂量

【中图分类号】 R814.42 **【文献标识码】** A **【文献标识码】** 1003-3289(2016)09-1440-05

近年来,CT 辐射剂量最优化已经成为降低辐射剂量的指导性原则^[1]。外伤或肿瘤患者一般需要接受多次 CT 检查^[2],且往往需要同时进行胸腹部扫描,故降低辐射剂量以减少对患者的辐射损伤显得尤为重要。目前,管电流自动调制(automatic tube current modulation, ATCM)技术成为降低辐射剂量的研究热点。研究^[3]表明在不同部位采用 ATCM 可使辐射剂量降低 15%~50%。目前,鲜见采用自动管电压(automatic tube voltage selection, ATVS)技术降低辐射剂量的研究^[4]。本研究采用女性体模探讨 ATVS 联合 ATCM 技术在胸腹部 CT 扫描中的应用价值。

1 材料与方法

1.1 仪器与方法 采用 GE Revolution CT 机。将 CDPR2 女性胸腹体模置于俯卧位,分别于体模背部放置不同厚度水膜,模拟不同体型人群^[5],并分为 A(无水膜)、B(附加 1 cm 厚水膜)、C(附加 3 cm 厚水膜)、D(附加 7 cm 厚水膜)组。采用 ATVS 联合 ATCM 及不同噪声指数(noise index, NI;8.0、9.0、10.0、11.0、12.0、15.0、17.5、20.0、25.0)分别对 4 组进行扫描;再采用管电压 120 kV 联合 ATCM 及 NI 为 12.0 分别对 4 组进行扫描。扫描范围为第 2 后肋上缘至肾下极,扫描条件:螺距 1.375:1,探测器宽度 40 mm,旋转时间 0.35 s/rot,层厚 5 mm,共 64 层。进行 FBP 重建,层厚 1.25 mm。

1.2 图像评价

1.2.1 客观评价 将 FBP 重建图像传至 GE AW4.6 工作站,分别于相同的连续 3 个层面的第 6 胸椎上缘上纵隔手动勾画 2 个圆形 ROI,面积均为 89.80 mm²,测量 6 个 CT 值及图像噪声(standard deviation,

SD),分别计算 SNR;SNR=CT 值/SD,最终结果取中位数。以上述相同方法获得心脏和肝脏的 CT 值、SD 和 SNR。

1.2.2 主观评价 由 2 名放射科主治医师分别对 4 组 ATVS 联合 ATCM 不同 NI 值扫描图像进行独立评分。采用窗宽 400 HU、窗位 40 HU。评分标准^[6]:5 分,图像质量优,噪声轻微,无伪影,脏器轮廓边缘清晰;4 分,图像质量较好,噪声稍多,伪影轻微或不明显,脏器边缘较清晰;3 分,图像质量尚可,噪声中等,脏器或组织边缘略模糊,有伪影但不影响诊断;2 分,图像质量较差,噪声多,脏器边缘模糊,有伪影且影响诊断;1 分,图像无法诊断,噪声严重,影响观察。 ≥ 3 分的图像为满足临床诊断要求。

1.3 辐射剂量 记录各扫描条件时的剂量长度乘积(dose length product, DLP),计算有效剂量(effective dose, ED);ED=DLP $\times k$,其中 $k=0.014$ mSv/(mGy $\cdot$ cm)^[7]。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 21.0 统计分析软件,计量资料以中位数(M)表示,采用 Mann-Whitney U 秩和检验。ATVS 联合 ATCM 扫描 4 组时,ED 与 NI 值及 SNR 与 NI 值的相关性采用 Pearson 相关分析。2 名医师主观评分一致性的比较采用 Kappa 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

ATVS 联合 ATCM 及不同 NI 值对 4 组体模扫描的管电压见表 1。ATVS 联合 ATCM 扫描时,对于相同 NI 值,随着水膜厚度的增加,管电压增高;对于同一体模,随着 NI 值的降低,管电压增高。

表 1 4 组体模在 ATVS 联合 ATCM 及不同 NI 值扫描时的管电压(kV)

组别	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	15.0	17.5	20.0	25.0
A 组	140	140	120	120	100	100	100	100	100
B 组	140	140	140	120	100	100	100	100	100
C 组	140	140	140	140	120	100	100	100	100
D 组	140	140	140	140	140	120	120	120	120

ATVS 联合 ATCM 扫描 A、B、C、D 组时,ED 与 NI 值均呈高度负相关($r=-0.85$ 、 -0.87 、 -0.92 、 -0.96 , P 均 <0.05),SD 与 NI 值均呈高度正相关($r=0.97$ 、 0.98 、 0.98 、 0.98 , P 均 <0.05),SNR 与 NI 值均呈高度负相关($r=-0.87$ 、 -0.89 、 -0.91 、 -0.91 , P 均 <0.05)。

对 ATVS 联合 ATCM 不同 NI 值扫描 4 组所得图像,2 名医师的主观评分一致性较好($Kappa=0.49$ 、 0.84 、 0.69 、 0.81 , P 均 <0.05 ;表 2)。ATVS 联合 ATCM 扫描中 NI=12.0 时,对 4 组图像的主观评分均 ≥ 4 分;NI=20.0 时,A、B 组的图像质量仍可满足临床诊断要求(图 1、2);NI=17.5 时,C 组的图像质量仍可满足临床诊断要求(图 3);NI=15.0 时,D 组的图像质量仍可满足临床诊断要求(图 4)。

NI=12.0 时,ATVS 联合 ATCM 扫描 A、B、C 组的 ED 较管电压 120 kV 联合 ATCM 扫描分别降低 20.74% (0.45 mSv/2.17 mSv)、19.19% (0.52 mSv/2.71 mSv)、7.38% (0.27 mSv/3.66 mSv),且上纵隔、心脏和肝脏的 SD 值差异均无统计学意义(P 均 >0.05 ,表 3);A、B 组上纵隔、心脏和肝脏的 SNR 差

表 2 对 4 组图像在不同 NI 值时的主观评分一致性的比较(分)

组别	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	15.0	17.5	20.0	25.0
A 组									
医师 1	5	5	5	5	5	4	4	3	3
医师 2	5	5	5	5	4	4	3	3	2
B 组									
医师 1	5	5	5	5	4	4	3	3	3
医师 2	5	5	5	5	4	4	3	3	2
C 组									
医师 1	5	5	5	5	4	4	3	2	2
医师 2	5	5	5	4	4	3	3	2	2
D 组									
医师 1	4	4	4	4	4	3	3	2	2
医师 2	4	4	4	4	4	3	2	2	2

异均有统计学意义(P 均 <0.05 ,表 4),C 组上纵隔、心脏和肝脏的 SNR 差异无统计学意义($P>0.05$);D 组 ED 增加了 31.05% (1.45 mSv/4.67 mSv),上纵隔、心脏和肝脏的 SNR 分别增加了 29.88% (1.73/5.79)、32.75% (1.67/5.10)、22.90% (1.01/4.41)。

3 讨论

ATCM 是依据定位像所获数据且由既往经验或标准预定 NI 值共同调节管电流,以控制 X 线剂量。NI 值越低,图像 SD 越低,辐射剂量越高,所需管电流越高。有研究^[8]发现 NI 值每降低 5%,辐射剂量增加 10%,但图像质量有所提高。常规胸腹部图像 NI 值为 10~20^[9-10]。

表 3 NI=12.0 时 ATVS 联合 ATCM 与管电压 120 kV 联合 ATCM 扫描 4 组体模图像 SD 的比较(M)

扫描条件	A 组			B 组			C 组			D 组		
	上纵隔	心脏	肝脏	上纵隔	心脏	肝脏	上纵隔	心脏	肝脏	上纵隔	心脏	肝脏
ATVS 联合 ATCM	10.80	10.30	13.10	10.20	9.90	13.50	10.00	10.10	12.60	8.80	10.10	12.90
管电压 120 kV 联合 ATCM	10.30	10.50	13.20	9.60	10.10	12.40	9.80	9.90	12.80	10.80	11.50	15.20
Z 值	-0.75	-0.58	<0.01	-1.64	-0.44	-1.86	-0.97	-0.40	-0.40	—	—	—
P 值	0.49	0.61	1.00	0.11	0.67	0.06	0.34	0.73	0.73	—	—	—

注:D 组管电压 120 kV 联合 ATCM 扫描时,管电流超出调节范围,SD 为非真实反映,故未进行比较

表 4 NI=12.0 时 ATVS 联合 ATCM 与管电压 120 kV 联合 ATCM 扫描 4 组体模图像 SNR 的比较(M)

扫描条件	A 组			B 组			C 组			D 组		
	上纵隔	心脏	肝脏	上纵隔	心脏	肝脏	上纵隔	心脏	肝脏	上纵隔	心脏	肝脏
ATVS 联合 ATCM	4.96	4.88	4.74	5.15	5.40	4.76	5.85	5.79	5.29	7.52	6.59	5.42
管电压 120 kV 联合 ATCM	5.46	5.50	4.79	5.79	5.77	5.24	5.90	5.90	5.12	5.79	5.10	4.41
Z 值	-2.17	-2.34	-1.08	-2.74	-1.95	-1.96	-0.44	-0.88	-0.57	—	—	—
P 值	0.03	0.02	0.04	<0.01	0.04	0.04	0.67	0.39	0.61	—	—	—

注:D 组管电压 120 kV 联合 ATCM 扫描时,管电流超出调节范围,SD 为非真实反映,故未比较

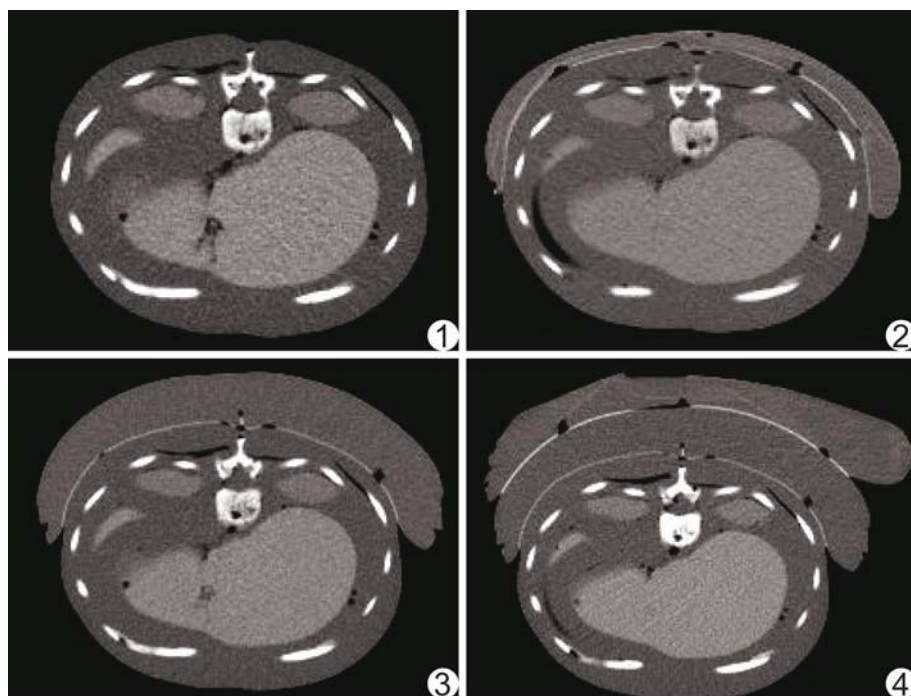


图 1 A 组 ATVS 联合 ATCM 扫描, NI=20.0 图像质量主观评分为 3 分 图 2 B 组 ATVS 联合 ATCM 扫描, NI=20.0 图像质量主观评分为 3 分 图 3 C 组 ATVS 联合 ATCM 扫描, NI=17.5 图像质量主观评分为 3 分 图 4 D 组 ATVS 联合 ATCM 扫描, NI=15.0 图像质量主观评分为 3 分

本研究中 NI 分别为 8.0、9.0、10.0、11.0、12.0、15.0、17.5、20.0、25.0, 对于相同 NI 值, 发现随着水膜厚度的增加, 管电压增高, 符合 ATVS 根据体型选择管电压的规律, 且与 Winklehner 等^[11]研究结果一致。对于同一模, 随着 NI 值的降低, 管电压增高。因为辐射剂量与管电压呈正相关, 降低管电压可有效降低辐射剂量, 因此 NI 是影响辐射剂量的重要因素。本研究 ATVS 联合 ATCM 扫描中 NI=12.0 时, 4 组图像的主观评分均 ≥ 4 分; NI=20.0 时, A、B 组的图像质量, 仍可满足临床诊断要求; NI=17.5 时, C 组的图像质量仍可满足临床诊断要求; NI=15.0, D 组的图像质量仍可满足临床诊断要求; 提示 ATVS 联合 ATCM 技术可保证图像质量, 并降低辐射剂量, 与 Winklehner 等^[11-12]研究结果相符。笔者建议 ATVS 联合 ATCM 胸腹部扫描时 NI >12.0 , 对于不同体型患者, NI 值可提高至 15.0~20.0, 旨在保证图像质量的同时进一步降低辐射剂量。

既往研究^[13]认为在成年人体厚度范围内, 其他扫描条件相同的情况下, 管电压为 120 kV 时辐射剂量较其他管电压时低, 因此本研究设定 120 kV 为对照扫描条件。NI=12.0 时, ATVS 联合 ATCM 扫描 A、

B、C 组的上纵隔、心脏和肝脏的 SD 值差异均无统计学意义 ($P>0.05$), 符合相同 NI 的 SD 一致。李锋坦等^[14]研究认为当管电压降低, 物质 X 线衰减系数发生改变, 从而导致其 CT 值发生变化。本研究中 NI=12.0 时, ATVS 联合 ATCM 扫描与管电压 120 kV 联合 ATCM 扫描 A、B 组的上纵隔、心脏和肝脏的 SNR 比较, 差异均有统计学意义 (P 均 <0.05), C 组上纵隔、心脏和肝脏的 SNR 差异无统计学意义 ($P>0.05$), 与李锋坦等^[14]研究结果相符。分析原因为 ATVS 联合 ATCM 扫描 A、B 组时的管电压低于 120 kV, CT 值改变, 而 ATVS 联合 ATCM 扫描 C 组时的管电压为 120 kV, CT 值未改变。NI=12.0 时, ATVS 联合 ATCM 扫描 D 组较管电压 120 kV 联合 ATCM 扫描的 ED

增加 31.05%, 上纵隔、心脏和肝脏的 SNR 分别增加 29.88%、32.75%、22.90%, 提示 ATVS 技术可根据受检者体型提高管电压, 增加 X 线穿透性, 以保证图像质量。

本研究 ATVS 联合 ATCM 扫描 A、B、C、D 组, SD 与 NI 值均呈高度正相关, SNR 与 NI 值均呈高度负相关, 因 NI 为 8.0 扫描 B 组, NI 分别为 8.0、9.0 扫描 C 组, NI 分别为 8.0、9.0、10.0、11.0 扫描 D 组的管电流均超出最大调节范围, SD 无法达到相应设置, 故以上数据未纳入 SD 与 NI 值及 SNR 与 NI 值的相关性分析。

综上所述, ATVS 联合 ATCM 技术在胸腹部 CT 扫描时, ATVS 可根据体型选择管电压, NI 是影响辐射剂量的重要因素, 因此可根据不同体型适当提高 NI 值。ATVS 联合 ATCM 较固定管电压联合 ATCM 技术可在保证图像质量的前提下进一步降低辐射剂量。

[参考文献]

- [1] 郑树卿, 张骏, 席仁刚, 等. CT 检查的辐射剂量及其对策. 中华放射医学与防护杂志, 2003, 23(5): 389-390.

- [2] Lumsdaine W, Enninghorst N, Hardy BM, et al. Patterns of CT use and surgical intervention in upper limb periarticular fractures at a level-1 trauma centre. *Injury*, 2013, 44(4):471-474.
- [3] Lee EJ, Lee SK, Agid R, et al. Comparison of image quality and radiation dose between fixed tube current and combined automatic tube current modulation in craniocervical CT angiography. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2009, 30(9):1754-1759.
- [4] Mayer C, Meyer M, Fink C, et al. Potential for radiation dose savings in abdominal and chest CT using automatic tube voltage selection in combination with automatic tube current modulation. *AJR Am J Roentgenol*, 2014, 203(2):292-299.
- [5] 杨冬, 孙志辉, 徐桓, 等. 基于水本底材料的 CT 性能测试体模的研制. *医疗卫生装备*, 2014, 35(2):23-25.
- [6] Gleeson TG, Byrne B, Kenny P, et al. Image quality in low-dose multidetector computed tomography: A pilot study to assess feasibility and dose optimization in whole-body bone imaging. *Can Asso Radiol J*, 2010, 61(5):258-264.
- [7] Rogers LF. Dose reduction in CT: How low can we go? *AJR Am J Roentgenol*, 2002, 179(2):299.
- [8] Kalra MK, Maher MM, Kamath RS, et al. Sixteen-detector row CT of abdomen and pelvis: Study for optimization of Z-axis modulation technique performed in 153 patients. *Radiology*, 2004, 233(1):241-249.
- [9] 冯琦, 龚红霞, 庄治国, 等. 自动毫安低剂量 CT 扫描对结肠病变的显示及其对图像质量的影响. *中华放射学杂志*, 2008, 42(10):1022-1025.
- [10] 袁知东, 刘鹏程, 王成林, 等. 噪声关联 Z 轴管电流调制技术降低多层 CT 胸部扫描辐射剂量的作用. *中华放射学杂志*, 2008, 42(11):1196-1200.
- [11] Winklehner A, Goetti R, Baumuehler S, et al. Automated attenuation-based tube potential selection for thoracoabdominal computed tomography angiography: Improved dose effectiveness. *Invest Radiol*, 2011, 46(12):767-773.
- [12] 康绍磊, 曾宪春, 谢晓洁, 等. 智能最佳管电压扫描联合自动管电流调节技术降低成人胸部 CT 扫描辐射剂量. *中国医学影像技术*, 2013, 29(4):636-640.
- [13] 彭聪, 吕发金, 勒都晓兰, 等. 自动管电流调制下不同管电压、噪声指数对体模不同体厚辐射剂量的影响. *第三军医大学学报*, 2013, 35(13):1394-1397.
- [14] 李锋坦, 李东, 张云亭. 管电压对 CT 值测量、辐射剂量及图像质量影响的模型研究. *中华放射学杂志*, 2013, 47(5):458-461.

《实用传染病影像学》已出版

《实用传染病影像学》中文、英文版, 约 215 万字, 约 3000 幅图片, 被人民卫生出版社及全球著名施普林格出版社(Springer)分别以中文和英文文字出版, 全球发行。李宏军教授遵循感染病循证医学诊疗的原则, 采取因果验证, 整合国内外 230 余位专家教授学术资源, 编纂而成, 获得国家卫生部出版基金资助及获评国家西医参考书“走出去”规划项目用书。该书在国内外率先完整系统构建了传染病(共 51 种)医学影像学的相关疾病谱系, 揭示了传染病影像学临床应用理论体系, 梳理了技术规范 and 诊断路径, 丰富和发展了医学影像学科的理论内涵, 为感染与传染病影像学的进一步发展奠定了基础。

全国各大书店有售。

