

论著·临床研究

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2023.01.022

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20221115.1556.006.html\(2022-11-16\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20221115.1556.006.html(2022-11-16))

能谱 CT 单能量血管优化技术在腰动脉影像解剖 评估中的应用效果研究

钟丽娟¹,熊图¹,周代全²,周新杰²,傅浪舟²,余娜^{2△}[1. 乐山市人民医院放射影像科,四川乐山 614000;2. 重庆医科大学
附属第三医院(捷尔医院)放射科 401120]

[摘要] **目的** 探讨能谱 CT 单能量血管优化技术对腰动脉的显示能力及优化血管成像的价值。**方法** 回顾性分析 100 例腹部 CT 血管成像(CTA)患者的影像数据及临床资料,重建 60 keV、74 keV 的单能量图像。比较两组图像的对比噪声比(CNR)及主观评分,结合容积再现(VR)、最大密度投影(MIP)及血管分析观察腰动脉的起源、内径、与腹主动脉的夹角、变异情况及第 5 腰动脉显示率和起源情况。**结果** 腰动脉的 60 keV 单能量图像质量明显优于 74 keV 单能量图像,第 1 腰动脉左支 CT 值、同侧竖脊肌 CT 值、背景噪声、CNR 及主观评分差异均有统计学意义($P < 0.05$)。100 例患者中,第 1 腰动脉显示 197 支,右支缺失 3 例,左右共干 2 例;第 2、3 腰动脉各显示 200 支,左右共干分别为 7 例、5 例;第 4 腰动脉显示 180 支,左支缺失 9 例,右支缺失 11 例,左右共干 24 例。第 5 腰动脉显示率为 56.5%。第 1~4 腰动脉内径逐渐增粗、发出处与腹主动脉的夹角逐渐增大,但仅第 2 腰动脉内径和第 3 腰动脉发出处与腹主动脉的夹角在两侧间差异有统计学意义($P < 0.05$),其余各参数在两侧间的差异均无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 腰动脉解剖变异较大,能谱 CT 单能量血管优化技术能清晰显示腰动脉的解剖学特点及优化腰动脉成像质量,60 keV 单能量图像质量优于 74 keV 单能量图像质量。

[关键词] 能谱 CT;腰动脉;单能量成像;CT 血管成像;影像解剖学**[中图分类号]** R816.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2023)01-0108-05

Application effect of single-energy vascular optimization technique of energy spectrum CT in imaging anatomic evaluation of lumbar arteries*

ZHONG Lijuan¹, XIONG Tu¹, ZHOU Daiquan², ZHOU Xinjie², FU Langzhou², YU Na^{2△}[1. Department of Radiology, the People's Hospital of Leshan, Leshan, Sichuan 614000, China;
2. Department of Radiology, the Third Affiliated Hospital of Chongqing
Medical University (Gener Hospital), Chongqing 401120, China]

[Abstract] **Objective** To investigate the display ability of single energy vascular optimization technique of energy spectrum CT on lumbar arteries and the value of optimized angiography. **Methods** The imaging data and clinical data of 100 patients with abdominal computer tomography angiography (CTA) were analyzed retrospectively. The single-energy CT images of 60 keV and 74 keV were reconstructed. The contrast to noise ratio (CNR) and subjective scores were compared between the two groups. By combining with the volume rendering (VR), maximum intensity projection (MIP) and vessel analysis, the origin, diameter, intersection angle with abdominal aorta, variation of the lumbar arteries and the visualization rate and origin of the fifth lumbar artery were observed. **Results** The quality of 60 keV single energy images was significantly better than that of 74 keV single energy images. There were statistically significant differences in the CT value of the left branch of the first lumbar artery, CT value of the ipsilateral erector spinalis muscle, background noise, CNR and subjective score ($P < 0.05$). In 100 cases, 197 branches of the first lumbar artery were demonstrated, 3 cases had absence of the right branch, and 2 cases had a common stem originating from the right and left branches. The second and third lumbar arteries showed 200 branches respectively, the left and right common trunks had 7 cases and 5 cases respectively. A total of 180 branches of the fourth lumbar artery were shown, of which the left branch was absent in 9 cases and the right branch in 11 cases, both left and right branches were absent in 24 cases. The fifth lumbar artery was visualized in 56.5% of the patients. The inner diameter of the lumbar artery from the top down and the intersection angle between the source and the abdominal aorta

was gradually increased, but only the inner diameter of the second lumbar artery and the intersection angle between the origin of the third lumbar artery and the abdominal aorta had statistically significant difference ($P < 0.05$). There was no statistically significant difference in other parameters between the two sides ($P > 0.05$). **Conclusion** The lumbar artery anatomy has great variation. The single energy optimization technique of energy spectrum CT can clearly display the anatomical characteristics of the lumbar artery and optimize the image quality of the lumbar artery. The 60 keV single energy image is better than the 74 keV single energy image.

[Key words] energy spectrum CT; lumbar arteries; single energy imaging; computer tomography angiography; imaging anatomy

随着影像学检查技术的不断发展及外科诊疗技术的不断进步, 腰椎肿瘤供血血管介入栓塞术、前路腰椎手术及肾脏穿刺等广泛应用于临床诊疗中^[1]。腰动脉管径较小、变异较大, 术前准确了解腰动脉的解剖, 有助于避免术中腰动脉的损伤。目前采用能谱 CT 单能量血管优化技术对腰动脉的研究鲜有报道, 本文旨在探讨能谱 CT 单能量血管优化技术对腰动脉的显示能力及优化血管成像的价值, 并分析腰动脉的影像解剖学特点。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2019 年 10 月至 2020 年 1 月在重庆医科大学附属第三医院(捷尔医院)接受腹部 CT 血管成像(computer tomography angiography, CTA)的 100 例患者的影像数据和临床资料。其中男 57 例, 女 43 例, 年龄 15~81 岁, 平均(57.0 ± 15.2)岁。所有患者均无腰椎畸形、腰椎手术史及碘过敏史, 检查前均签署 CT 增强知情同意书。

1.2 仪器与方法

采用多排螺旋 CT(型号: Revolution CT, 美国 GE 公司)。患者取仰卧位, 扫描前对患者行屏气训练, 在能谱 CT 成像模式下行膈顶至耻骨联合范围的全腹 CTA 扫描。扫描参数: 管电压 80 kVp/140 kVp 自动切换, 自动管电流, 探测器宽度 80 mm, 螺距 0.992:1, 层厚及层间距 5 mm, 自适应迭代(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR)重建 50%, 重建图像层厚 0.625 mm。对比剂选用碘海醇注射液(350 mgI/mL), 采用 Ulrich 高压注射器经肘正中静脉注入, 用量 1.5 mL/kg+生理盐水 30 mL, 注射速率 4.5 mL/s。采用自动触发扫描, 感兴趣区放置于胸 10 椎体水平胸主动脉内, 触发阈值为 150 Hu。

1.3 图像处理及数据分析

既往研究^[2-4]显示, 对于小血管的显示 51~68 keV 单能量图像最佳, 70~75 keV 单能量图像则更接近于常规混合能量的图像质量, 因此本研究结合临床经验选择 60 keV、74 keV 单能量图像来对比观察。

将重建 0.625 mm 能谱 DATA 数据导入 GE AW4.7 工作站, 行容积再现(volume rendering, VR)、最大密度投影(maximum intensity projection,

MIP)等后处理技术进行图像重建, 观察记录第 1~4 腰动脉起始位置、变异情况及第 5 腰动脉显示率和起源构成比, 测量腰动脉自发出处 5 mm 范围内的内径、腰动脉发出处与腹主动脉形成的夹角。

1.4 图像质量评价

1.4.1 客观评价

进入 Reformat 软件, 能谱 CT 成像模式下在轴位图像上将单能量调整为 60 keV、74 keV, 分别测量 2 种单能量条件下第 1 腰动脉左支的 CT 值(ROI_A), 尽量把 ROI 放在血管断面内; 再用同样大小的 ROI 测量同侧竖脊肌的 CT 值(ROI_M), 并记录同侧竖脊肌 CT 值的标准差(SD), 即背景噪声; 计算两组的对比噪声比(contrast noise ratio, CNR), 计算公式: $CNR = (ROI_A - ROI_M) / SD$ 。

1.4.2 主观评价

由 2 名经验丰富的医生独立对 60 keV、74 keV 的 VR、MIP 图像进行评分, 主要参考 PAUL 等^[5]的 5 分法对血管显示情况评分。1 分: 血管边缘模糊不能分辨; 2 分: 血管边缘不锐利但尚能分辨; 3 分: 血管边缘能分辨且血管显示尚清楚; 4 分: 血管清晰且边缘基本光滑; 5 分: 血管显示清晰且边缘锐利。

1.5 统计学处理

采用 SPSS21.0 统计软件进行分析。正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用独立样本 t 检验和配对样本 t 检验; 不符合正态分布以 $M(Q)$ 表示, 采用秩和检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 60 keV、74 keV 单能量图像质量评价

客观评价: 60 keV 单能量图像的第 1 腰动脉左支 CT 值、同侧竖脊肌 CT 值、背景噪声及 CNR 均高于 74 keV 单能量图像, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。主观评分: 60 keV 单能量图像主观评分高于 74 keV 单能量图像, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 见表 1。典型病例, 男, 33 岁, 74 keV 单能量图像显示腰动脉起源及走行, 但血管局部显示欠清, 评分为 3 分(白色箭头所示); 60 keV 单能量 VR 图像、原始图像及 MIP 图像显示腰动脉起源及走行清楚, 管壁锐利清晰, 评分为 5 分(白色箭头所示), 见图 1。

2.2 腰动脉的影像解剖学特点

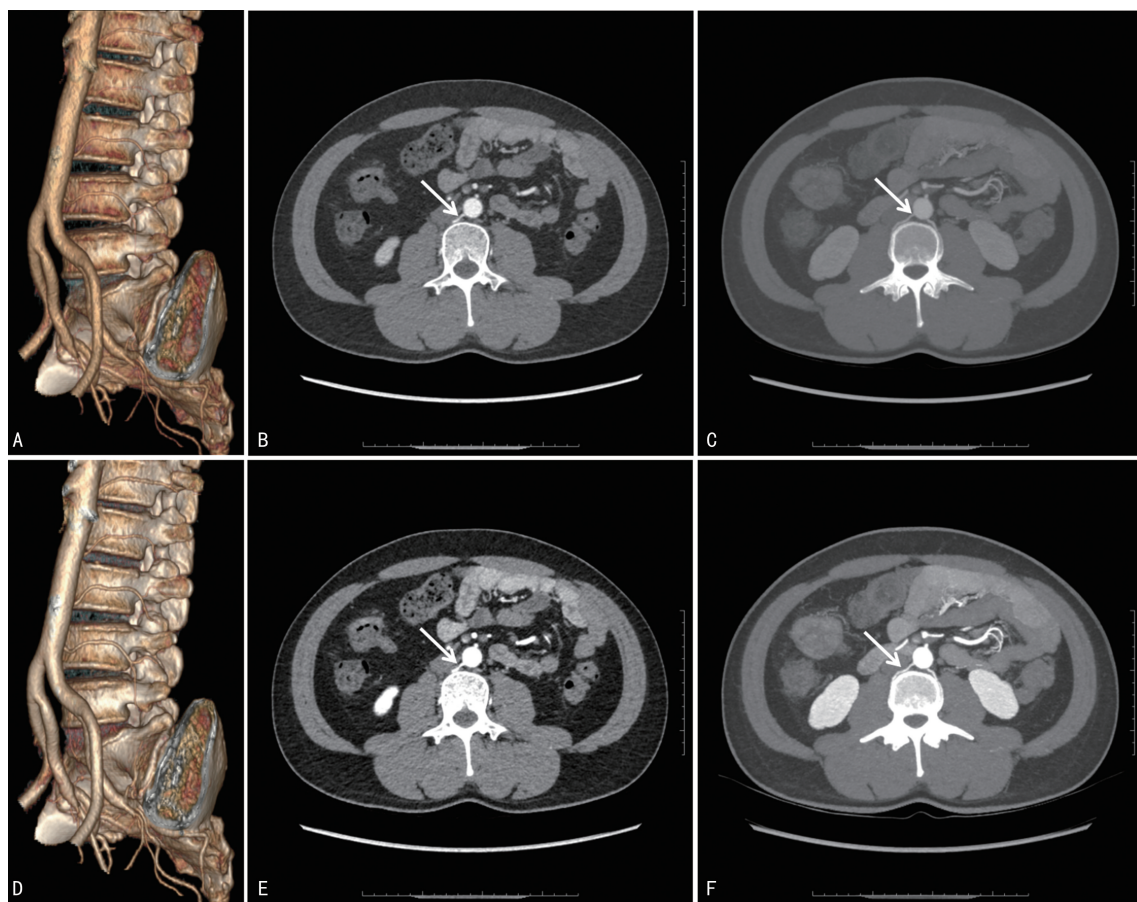
100例患者中,第1腰动脉显示197支,主要发出平面为腰1/2椎间隙水平,右支缺失3例,左右共干2例;第2腰动脉显示200支,主要于腰2/3椎间隙水平发出,左右共干7例;第3腰动脉显示200支,主要自腰3椎体下1/3水平发出,左右共干5例;第4腰动脉显示180支,多自腰4椎体中1/3水平发出,左支缺失9例,右支缺失11例,左右共干24例,见表2,图2A、B。第2腰动脉的内径在左右支之间差异有统计学意义($P<0.05$),其余腰动脉的内径在左右支之间差异均无统计学意义($P>0.05$);第3腰动脉发出处

与腹主动脉的夹角在左右支之间差异有统计学意义($P<0.05$),其余腰动脉发出处与腹主动脉形成夹角在左右支差异均无统计学意义($P>0.05$);第1~4腰动脉内径逐渐增粗,发出处与腹主动脉的夹角逐渐增大,见表3。

100例患者中共显示113支第5腰动脉(左支58支,右支55支),显示率为56.5%,双侧均多起自髂腰动脉,左支缺失42例,右支缺失45例,见表4,图2C、D。

表1 60 keV、74 keV 单能量图像质量比较

图像	第1腰动脉左支CT值 ($\bar{x}\pm s$,Hu)	同侧竖脊肌CT值 ($\bar{x}\pm s$,Hu)	背景噪声[M(Q),Hu]	CNR[M(Q)]	主观评分 ($\bar{x}\pm s$,分)
60 keV	314.58±65.97	61.70±13.28	14.49(5.71)	20.01(9.08)	4.02±0.43
74 keV	230.92±46.07	56.32±10.62	10.95(4.35)	18.31(8.41)	3.08±0.55
t/Z	39.466	13.164	-8.683	-8.661	18.743
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001



A~C:74 keV 单能量 VR 图像、原始图像及 MIP 图像;D~F:60 keV 单能量 VR 图像、原始图像及 MIP 图像。

图1 典型病例 60 keV 与 74 keV 单能量图像

表2 第1~4腰动脉起始位置及变异情况

项目	第1腰动脉(n=197)	第2腰动脉(n=200)	第3腰动脉(n=200)	第4腰动脉(n=180)
腰动脉发出平面				
椎体(支)	腰1椎体中1/3 (左支:2,右支:2)	腰2椎体上1/3 (左支:1,右支:2)	腰3椎体上1/3 (左支:3,右支:3)	腰3椎体下1/3 (左支:1,右支:1)

续表 2 第 1~4 腰动脉起始位置及变异情况

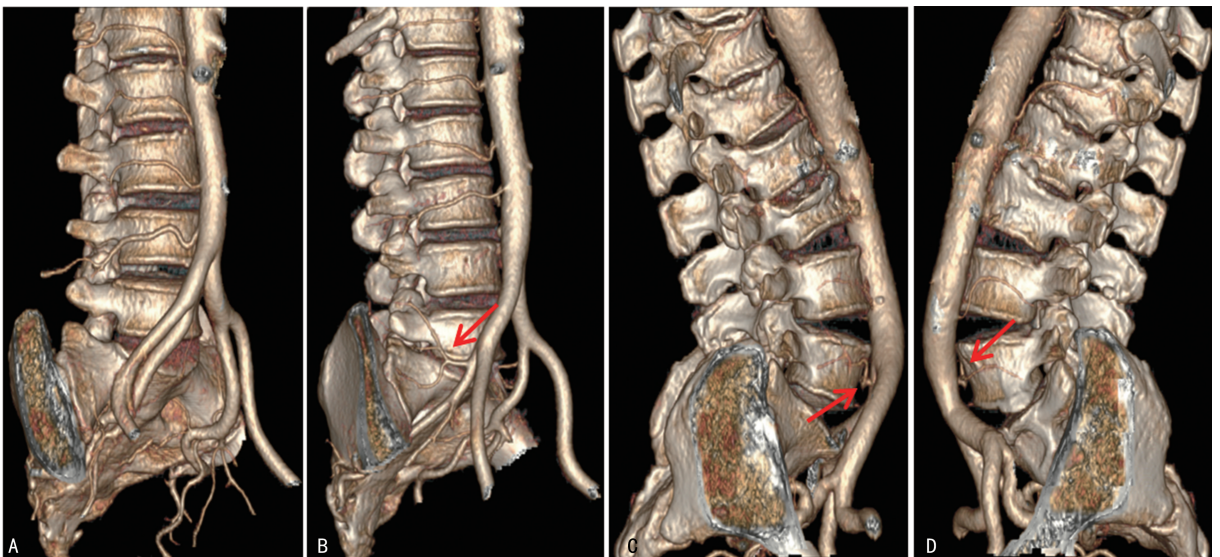
项目	第 1 腰动脉(n=197)	第 2 腰动脉(n=200)	第 3 腰动脉(n=200)	第 4 腰动脉(n=180)
	腰 1 椎体下 1/3 (左支:20,右支:13)	腰 2 椎体中 1/3 (左支:0,右支:0)	腰 3 椎体中 1/3 (左支:17,右支:17)	腰 4 椎体上 1/3 (左支:33,右支:31)
	腰 2 椎体上 1/3 (左支:30,右支:42)	腰 2 椎体下 1/3 (左支:24,右支:18)	腰 3 椎体下 1/3 (左支:41,右支:42)	腰 4 椎体中 1/3 (左支:35,右支:35)
	腰 2 椎体中 1/3 (左支:8,右支:8)	腰 3 椎体上 1/3 (左支:31,右支:32)	腰 4 椎体上 1/3 (左支:3,右支:3)	腰 4 椎体下 1/3 (左支:13,右支:14)
椎间隙(支)	腰 1/2 椎间隙 (左支:40,右支:32)	腰 2/3 椎间隙 (左支:44,右支:48)	腰 3/4 椎间隙 (左支:36,右支:35)	腰 3/4 椎间隙 (左支:9,右支:8)
变异情况(n)				
缺失	左支:0,右支:3	左支:0,右支:0	左支:0,右支:0	左支:9,右支:11
左右共干	2	7	5	24

表 3 腰动脉内径及发出处与腹主动脉的夹角比较

项目	n	指标	左支	右支	t/Z	P
第 1 腰动脉	197	内径($\bar{x} \pm s$, mm)	2.10 ± 0.47	1.99 ± 0.46	1.699	0.091
		夹角[M(Q), °]	26.87(19.33)	25.23(18.42)	-0.984	0.325
第 2 腰动脉	200	内径($\bar{x} \pm s$, mm)	2.04 ± 0.43	1.91 ± 0.42	2.308	0.022
		夹角[M(Q), °]	29.57(21.99)	31.60(19.65)	-1.472	0.141
第 3 腰动脉	200	内径(mm)	2.27 ± 0.50	2.19 ± 0.48	1.161	0.247
		夹角[M(Q), °]	41.48(28.93)	57.56(30.30)	-4.746	<0.001
第 4 腰动脉	180	内径(mm)	2.38 ± 0.47	2.39 ± 0.60	-0.386	0.700
		夹角[M(Q), °]	93.04(41.47)	101.88(37.80)	-1.465	0.143

表 4 第 5 腰动脉显示情况

发出处	左支(n=58)		右支(n=55)		合计(n=113)	
	血管数(支)	构成比(%)	血管数(支)	构成比(%)	血管数(支)	构成比(%)
髂腰动脉	33	56.90	35	63.64	68	60.18
第 4 腰动脉分支	21	36.21	15	27.27	36	31.86
骶正中动脉	4	6.89	5	9.09	9	7.96



A:男,33岁,VR显示正常腰动脉;B:男,50岁,VR显示第4腰动脉右支缺失,由右侧髂腰动脉分支供血(红色箭头所示);C、D:男,76岁,VR显示双侧第5腰动脉均由骶正中动脉发出(红色箭头所示)。

图 2 腰动脉影像解剖学特点

3 讨 论

随着 CT 技术的飞速发展,CTA 技术相较于传统数字减影血管造影技术,其无创的特点在临床上得到了普遍推广。CTA 具有扫描速度快、无创、费用低等特点,能将原始轴位图像与三维后处理结合起来,在术前对血管及周围组织结构能有良好的评估。目前,临床工作中为了获得高质量的 CTA 图像,常采用的方式主要为增加造影剂浓度或用量、加大扫描剂量及调整层厚、螺距等^[6],虽然以上方式能提高成像质量,但是常规扫描为混合能量的 X 射线,硬化效应伴随硬化伪影的产生而影响图像质量。Revolution CT 采用 80 kVp/140 kVp 瞬时切换,可同时获得两种能量的 X 射线数据,进一步得到 40~140 keV 的 101 个单能量图像并获得相对纯净的 CT 值图像,从而较常规混合能量图像有更高的 CNR^[7];通过降低能量水平,血管与周边组织的对比度增高,小动脉显示得到优化,其清晰度、锐利度及末端分支的显示都有所增加。本研究显示,74 keV 单能量图像可显示腰动脉的起源及走行,但是部分腰动脉管壁局部显示欠清,该现象在第 1、2 腰动脉上最为突出;60 keV 单能量图像中腰动脉与周边组织对比度增高,腰动脉的显示更清晰,管壁锐利度进一步增高。两组间第 1 腰动脉左支 CT 值、同侧竖脊肌 CT 值、背景噪声、CNR 及主观评分比较差异有统计学意义($P < 0.05$),虽然 60 keV 单能量图像背景噪声较 74 keV 单能量图像增高,但 CNR 高于 74 keV 单能量图像。CNR 在 CTA 中是至关重要的因素^[8],因此 60 keV 单能量图像既兼顾了背景噪声,同时也得到了腰动脉的最佳显示。

腰动脉局部解剖变异较大^[9],本研究结果显示第 1~4 腰动脉缺失共 23 例,主要以第 4 腰动脉缺失为主,部分由邻近第 3 腰动脉发出分支供血,1 例由髂腰动脉分支供血;左右共干现象达 38 例,较李守红等^[10]研究发现多,这可能与所收集病例的个体差异有关。第 5 腰动脉共显示 113 支,显示率为 56.5%。李新元等^[11]研究认为第 5 腰动脉主要起自骶正中动脉,本组资料发现双侧第 5 腰动脉多起自髂腰动脉,与孙兆忠等^[12]研究结果类似。本组资料表明第 1~4 腰动脉内径逐渐增粗,发出处与腹主动管的夹角逐渐增大,这与刘列华等^[13]报道一致。因此,腰动脉尤其是第 4、5 腰动脉解剖变异较大。其次,腰动脉内径细小,术前清晰显示对于临床治疗准备及手术方案的选择尤为重要。近年来随着诊疗水平的不断提高,腰椎手术、介入治疗、CT 引导下穿刺活检、经皮肾穿刺或活检、抗凝治疗、血液透析等临床诊疗方式均可能造成腰动脉损伤或自发性破裂,可致腹膜后血肿、腰动脉假性动脉瘤甚至死亡^[14-18]。本研究对所有患者均采用了 VR 及 MIP 成像,可多平面、多角度观察每一支腰动

脉的起源、走行方向及与椎体和周围组织的位置关系,当部分患者腰动脉较细小显示欠清时,则可通过调节适当的 keV 来使它显示得更清晰。

综上所述,腰动脉的解剖变异较大、内径细小,能谱 CT 血管成像能清晰显示腰动脉的影像解剖学特点,且 60 keV 单能量图像质量优于 74 keV 单能量图像质量。

参考文献

- [1] HAOCHEN W, JIAN W, LI S, et al. Superselective renal artery embolization for bleeding complications after percutaneous renal biopsy: a single-center experience [J]. *J Int Med Res*, 2019, 47(4): 1649-1659.
- [2] 田士峰, 刘爱连, 刘静红, 等. 能谱 CT 低浓度对比剂最佳单能量成像显示胃肠道恶性肿瘤供血动脉的研究 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2015, 23(7): 517-522.
- [3] 周新杰, 周代全, 钟丽娟, 等. 能谱 CT 血管成像显示甲状腺供血动脉 [J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(10): 1565-1568.
- [4] WANG X P, WANG B, HOU P, et al. Screening and comparison of polychromatic and monochromatic image reconstruction of abdominal arterial energy spectrum CT [J]. *J Biol Regul Homeost Agents*, 2017, 31(1): 189-194.
- [5] PAUL J, BAUER R W, MAENTELE W, et al. Image fusion in dual energy computed tomography for detection of various anatomic structures-effect on contrast enhancement, contrast-to-noise ratio, signal-to-noise ratio and image quality [J]. *Eur J Radiol*, 2011, 80(2): 612-619.
- [6] COURSEY C A, NELSON R C, BOLL D T, et al. Dual-energy multidetector CT: how does it work, what can it tell us, and when can we use it in abdominopelvic imaging [J]. *Radiographics*, 2010, 30(4): 1037-1055.
- [7] 杨林林, 侯阳. 能谱 CT 在冠状动脉成像中的应用进展 [J]. *中国介入影像与治疗学*, 2018, 15(7): 439-442.
- [8] 殷小平, 刘笑非, 黄桦, 等. 能谱 CT 最佳单能量技术优化腹腔干动脉成像质量的研究 [J]. *临床放射学杂志*, 2015, 34(5): 808-811.
- [9] ORITA S, INAGE K, SAINOH T, et al. Lower lumbar segmental arteries can intersect over the intervertebral disc in the oblique (下转第 117 页)