

Lean body wight dose determined contrast injection protocol in spectral CT of colorectal cancer

ZHANG Jingyi, LIU Yijun*, WANG Shigeng, TONG Xiaoyu, FAN Yong,
CHEN Anliang, HU Mengting, CHENG Qiye

(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, China)

[Abstract] **Objective** To observe the impact of lean body weight (LBW) dose determined contrast injection protocol on imaging quality of contrast enhanced spectral CT for displying colorectal cancer, and to select the optimal scanning energy level. **Methods** Totally 150 patients with suspected colorectal tumors were prospectively enrolled and randomly divided into total body weight (TBW) group (group A), 500LBW group (group B) and 400LBW group (group C) (each $n=50$). Contrast-enhanced abdominal spectral CT images were acquired with contrast medium of 500 mgI/kg (TBW), 500 mgI/kg (LBW) or 400 mgI/kg (LBW) in group A, B and C, respectively, and then 2-phase iodine-based material decomposition images were reconstructed. Images in group A and B were reconstructed at 70 keV, while in group C was reconstructed 40—70 keV (with 10 keV interval) ($C_{40-70\text{ keV}}$ subgroups). CT values of arterial phase superior mesenteric artery (SMA) and inferior mesenteric artery (IMA), as well as of liver in venous phase were measured. Then signal-to-noise ratio, contrast-to-noise ratio and liver enhanced CT value (ΔHU) were calculated, and imaging qualities were comparatively analyzed. **Results** Compared with group A, the contrast media doses of B group and C group decreased by 23.00% and 37.19%, respectively (both $P<0.05$). During arterial phase, CT values of SMA and IMA in group A, B and $C_{40-60\text{ keV}}$ subgroups images were all over 350 HU. The variation rate of CT value of SMA and IMA in group A was 9.42% and 9.32%, while in $C_{60\text{ keV}}$ was 9.82% and 10.09%, respectively, all lower than those in group A (all $P<0.05$). During venous phase, ΔHU in images of group A, B and $C_{40-60\text{ keV}}$ subgroups were all over 50 HU. The variation rate of ΔHU in group B and $C_{60\text{ keV}}$ was 8.60% and 8.67%, respectively, both lower than in group A (both $P<0.05$). No significant difference of arterial nor venous phases normalized iodine concentration was found among 3 groups (both $P>0.05$). In group C, $C_{60\text{ keV}}$ subgroup had the highest subjective scores in both arterial and venous phases, which were not significantly different with those in group A (both $P>0.05$), while subjective scores of other subgroups were lower than that in group A (all $P<0.05$). **Conclusion** Low contrast injection protocol based on LBW combined with spectral CT could provide high quality images and reducing dose of contrast media. 60 keV was the most recommended level for scanning.

[Keywords] colorectal neoplasms; tomography, X-ray computed; prospective studies; lean body weight

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2024.03.025

基于去脂体质量对比剂注射方案用于能谱 CT 检查结直肠癌

张竞颐, 刘义军*, 王诗耕, 童小雨, 范 勇, 陈安良, 胡梦婷, 程启烨

(大连医科大学附属第一医院放射科, 辽宁 大连 116011)

[摘 要] **目的** 评估基于去脂体质量(LBW)低剂量对比剂注射方案对于能谱增强 CT 显示结直肠癌图像质量的影响,并筛选最佳能级。**方法** 将 150 例疑诊结直肠肿瘤患者随机分为总体质量(TBW)组(A组)、500LBW 组(B组)及 400LBW 组(C组)各 50 例,分别以 500 mgI/kg(TBW)、500 mgI/kg(LBW)、400 mgI/kg(LBW)方案注射对比剂,行能谱 CT 全腹增强扫描。对 A、B

[第一作者] 张竞颐(1998—),女,辽宁大连人,在读硕士。研究方向:影像学技术。E-mail: 1483213207@qq.com

[通信作者] 刘义军,大连医科大学附属第一医院放射科,116011。E-mail: yijunliu1965@126.com

[收稿日期] 2023-10-26 **[修回日期]** 2023-12-21

组重建 70 keV 图像, C 组重建 40~70 keV(间隔 10 keV)图像($C_{40\sim70\text{ keV}}$ 亚组), 测量动脉期肠系膜上动脉(SMA)、肠系膜下动脉(IMA)和静脉期肝实质 CT 值, 计算信噪比、对比度噪声比和肝脏增强 CT 值(ΔHU), 比较各组图像质量。结果 相比 A 组, B、C 组对比剂剂量分别降低 23.00%及 37.19%(P 均 <0.05)。动脉期 A、B 组及 $C_{40\sim60\text{ keV}}$ 亚组 SMA 和 IMA 的 CT 值均 >350 HU。B 组 SMA 及 IMA 的 CT 值变异率分别为 9.42%和 9.32%, $C_{60\text{ keV}}$ 亚组 SMA 和 IMA 的 CT 值变异率分别为 9.82%和 10.09%, 均低于 A 组(P 均 <0.05)。静脉期中, A、B 组及 $C_{40\sim60\text{ keV}}$ 亚组的 ΔHU 均 >50 HU。B 组和 $C_{60\text{ keV}}$ 亚组 ΔHU 变异率分为 8.60%和 8.67%, 均低于 A 组(P 均 <0.05)。3 组动、静脉期结肠癌标准化碘浓度差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。C 组内 $C_{60\text{ keV}}$ 亚组动、静脉期主观评分均最高, 且与 A 组差异无统计学意义(P 均 >0.05); 其余各亚组主观评分均低于 A 组(P 均 <0.05)。结论 基于 LBW 低剂量对比剂注射方案结合能谱 CT 可利用低对比剂剂量获得高质量图像; 60 keV 为最佳扫描能级。

[关键词] 结肠直肠癌; 体层摄影术, X 线计算机; 前瞻性研究; 去脂体质量

[中图分类号] R735.3; R814.42 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2024)03-0441-05

结肠直肠癌治疗方案取决于肿瘤分期、位置及临床表现^[1], 增强 CT 是首选影像学方法^[2]。能谱 CT 单能量图及碘水图可优化碘用量获得相同或更佳强化效果^[3]。目前增强 CT 常用对比剂注射方案以患者总体质量(total body weight, TBW)为参考, 通常高估对比剂用量^[4]。近年有学者^[5-7]尝试以去脂体质量(lean body weight, LBW)估算对比剂剂量, 以缩小个体间强化差异、实现影像同质化。本研究评估基于 LBW 低剂量对比剂注射方案对能谱增强 CT 图像显示结肠癌质量的影响, 并筛选最佳扫描能级。

1 资料与方法

1.1 研究对象 前瞻性收集 2023 年 5 月—8 月 150 例于大连医科大学附属第一医院接受能谱全腹增强 CT 检查的疑似结肠肿瘤患者, 男 72 例、女 78 例, 年龄 31~88 岁、平均(64.4 ± 9.1)岁; 随机分为 A、B、C 3 组, 每组 50 例。本研究经院伦理委员会批准(PJ-KS-KY-2023-364), 检查前患者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 嘱受试者检查前禁食 8 h, 扫描前饮水 600~900 ml。采用 GE Revolution CT 仪, 以 4.0 ml/s 流率团注碘海醇(350 mgI/ml)。A 组按照 500 mgI/kg(TBW)^[8], B、C 组分别按照 500 mgI/kg(LBW)及 400 mgI/kg(LBW)计算对比剂剂量(50~100 ml)并以相同流率跟注生理盐水, 注射总时长为 30 s。LBW(男性) $=1.1 \times \text{体质量} - 128 \times \text{体质量}^2 / \text{身高}^2$, LBW(女性) $=1.07 \times \text{体质量} - 148 \times \text{体质量}^2 / \text{身高}^2$, 身高单位为 cm ^[5]。采用自动阈值触发技术, 于肠系膜上动脉(superior mesenteric artery, SMA)层面腹主动脉达 180 HU 始采集动脉期图像、延迟 28 s 采集静脉期图像。参数: 管电压 80/140 kVp 瞬时切换, 管电流选择 GSI-Assist 模式, NI 10, 前置 40%自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction Veo, ASIR-V), 扫描层厚 5 mm, 探测器宽度 80 mm, 球管转速 0.5 s/rot, 螺距 0.992:1。对 A、B 组重建 70 keV 图像, C

组间隔 10 keV 重建 40~70 keV 图像(分别记为 $C_{40\sim70\text{ keV}}$ 亚组); 重建层厚及间隔均为 1.25 mm, 均结合后置 60% ASIR-V 重建双期碘基图。将重建图像传至 GE AW4.7 后处理工作站进行数据测量, 获得重组容积再现(volume rendering, VR)和最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)图以行后续分析。见图 1。

1.3 评价图像质量

1.3.1 客观评价 基于动脉期轴位图像测量 SMA、肠系膜下动脉(inferior mesenteric artery, IMA)主干及同层竖脊肌的 CT 值及标准差(standard deviation, SD); 于门静脉期显示肝脏最大层面测量肝右叶上段、下段及肝左叶 CT 值并取平均值。以竖脊肌 SD 值作为背景, 分别计算 SMA、IMA 及肝实质的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)及对比度噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR): $\text{SNR} = \text{CT}_{\text{目标}} / \text{SD}_{\text{目标}}$, $\text{CNR} = (\text{CT}_{\text{目标}} - \text{CT}_{\text{竖脊肌}}) / \text{SD}_{\text{竖脊肌}}$ ^[9]。计算肝脏增强 CT 值(ΔHU): $\Delta\text{HU} = \text{CT}_{\text{静脉期肝实质}} - \text{CT}_{\text{平扫肝实质}}$ 。以 $\Delta\text{HU} \geq 50$ HU 为肝脏发生强化^[10]。比较各血管 CT 值及 ΔHU 变异率^[11]: 变异率 $=\text{CT 值 SD} / \text{CT 值平均值} \times 100\%$ 。

针对经病理证实的结肠癌病灶重建碘基图, 计算肿瘤标准化碘浓度(normalized iodine concentration, NIC): $\text{NIC} = \text{碘浓度}_{\text{病灶}} / \text{碘浓度}_{\text{同层腹主动脉或髂外动脉}}$ 。以上参数均测量 3 次, 取平均值。

1.3.2 主观评价 由 2 名具有 5 年以上工作经验的放射科医师采用盲法以 5 分制评估各组二维及三维图像质量、显示病灶情况及诊断信心, ≥ 3 分为符合临床诊断要求; 意见不一时协商达成一致。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 26.0 统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 表示符合正态分布的计量资料, 以中位数(上下四分位数)表示不符合者; 对 B、C 组与 A 组行独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验, C 组内行单因素方差分析或 Friedman 检验; 以频数表示计数资料, 组间比较行 χ^2 检验。采用配对 χ^2 检验比较组间变异率。以 Kappa

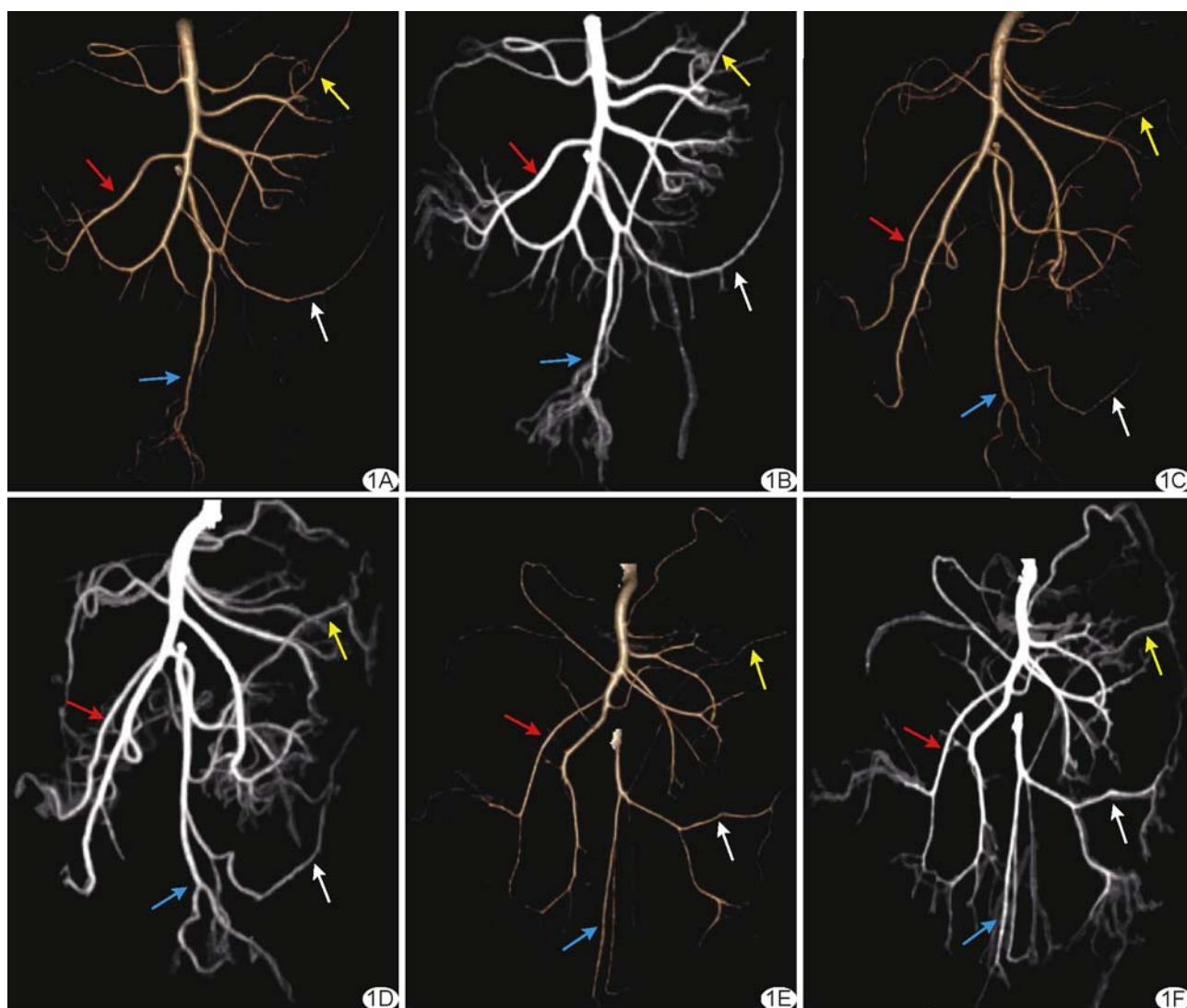


图1 结直肠肿瘤患者全腹增强CT重组图 A、B. A组男性56岁直肠癌患者全腹增强CT VR图(A)及MIP图(B), TBW为75 kg, 对比剂剂量100 ml; C、D. B组男性60岁直肠癌患者全腹增强CT VR图(C)及MIP图(D), LBW为52.79 kg, 对比剂剂量75 ml; E、F. C组男性45岁降结肠癌患者C_{60 keV}亚组全腹增强CT VR图(E)及MIP图(F), LBW为58.26 kg, 对比剂剂量为67 ml (红箭示回结肠动脉; 黄箭示左结肠动脉; 蓝箭示直肠上动脉; 白箭示乙状结肠动脉)

检验比较观察者间主观评分的一致性, Kappa > 0.75 为一致性良好。P < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

3组一般资料差异均无统计学意义(P均 > 0.05)。相比A组, B、C组对比剂用量分别降低23.00%和37.19%(P均 < 0.05)。术后病理结果证实89例为结直肠癌, 3组肿瘤位置差异无统计学意义(P > 0.05)。见表1。

2.1 客观评价

2.1.1 动脉期 A组、B组、C_{40~60 keV}亚组SMA和IMA的CT值均 > 350 HU。B组SMA和IMA的CT值变异率分别为9.42%(38.61/409.66)和9.32%(34.95/375.15), 低于A组的11.87%(46.38/390.87)

和11.28%(41.30/366.23)(P均 < 0.05)。C_{40~60 keV}亚组SMA和IMA的CT值、SD值、CNR均高于A组(P均 < 0.05), C_{40~60 keV}亚组SMA的SNR均高于A组(P均 < 0.05)。除IMA SNR外, C组内各指标均随能级升高而逐渐降低(P均 < 0.05)。C_{60 keV}亚组SMA和IMA的CT值变异率分别为9.85%(53.47/543.03)和10.09%(49.52/490.63), 低于A组(P均 < 0.05)。见表2。

2.1.2 静脉期 A、B组和C_{40~60 keV}亚组ΔHU均 > 50 HU。B组ΔHU变异率为8.60%(4.58/53.23), 低于A组的9.87%(6.30/63.84)(P < 0.05)。C组肝实质CT值、SD值及ΔHU均随能级升高而降低(P均 < 0.05), 其中C_{70 keV}亚组ΔHU < 50 HU。C_{40~70 keV}亚组肝实质SNR和CNR多低于A组(P均 < 0.05), 但

表 1 结直肠肿物患者基本资料及对比剂用量比较

组别	性别(例)		年龄(岁)	TBW(kg)	LBW(kg)	BMI(kg/m ²)	对比剂剂量 (ml)	肿瘤位置 [#] (例)	
	男	女						结肠	直肠
A 组(n=50)	24	26	65.08±8.48	65.35±9.03	49.11±6.64	23.70±3.09	91.33±10.61	11	20
B 组(n=50)	27	23	63.60±9.99	64.70±9.45	49.23±7.49	23.58±2.38	70.32±10.69 [*]	17	14
C 组(n=50)	21	29	64.50±8.96	65.17±10.96	49.27±8.14	23.29±2.91	57.36±8.12 [*]	16	11

注: * :与 A 组比较 $P<0.05$; # :A、B、C 组样本量分别为 31、31 及 27 例

C_{40~50 keV}亚组肝实质 CT 值、SD 值及 ΔHU 均大于 A 组(P 均 <0.05), C_{60 keV} 亚组 ΔHU 与 A 组相当($P>0.05$), C_{60 keV} 组 ΔHU 变异率为 8.67% (5.72/65.95), 低于 A 组($P<0.05$)。见表 3。

2.1.3 碘基图 3 组动、静脉期图像中结直肠癌 NIC 值差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。

2.2 主观评价 观察者间评估整体图像质量及显示病灶质量的一致性良好(Kappa: 0.768 ~ 0.909, P 均 <0.05), 各组全部图像评分均 ≥ 3 分, 满足临床诊断

要求。A、B 组图像主观评分相当(P 均 >0.05)。C 组内各亚组动、静脉期主观评分均以 C_{60 keV} 亚组得分最高, 且与 A 组差异无统计学意义(P 均 >0.05); 其余各亚组均低于 A 组(P 均 <0.05)。见表 4、5。

3 讨论

本研究在针对疑似结直肠癌患者的能谱 CT 检查中, 以 500 mgI/kg(LBW) 方案计算对比剂进行优化, 图像动脉期 SMA 和 IMA 的 CT 值远超过标准值 280 HU^[12], 肠系膜动脉主干及分支对比剂充盈良好, 边缘清晰锐利, 图像强化均匀, 优于常规 TBW 方案, 对比剂剂量降低 23.00%; 进一步根据 400 mgI/kg

表 2 结直肠肿物患者全腹增强 CT 动脉期血管客观参数比较

组别	SMA			
	CT 值(HU)	SD 值(HU)	SNR	CNR
A 组(n=50)	390.87±46.38	13.52±1.84	29.53±5.95	29.02±5.96
B 组(n=50)	409.66±38.61 [*]	13.59±1.80	30.69±5.12	30.06±4.16
C _{40 keV} 亚组(n=50)	183.78±146.56 [*]	32.04±5.84 [*]	37.75±6.41 [*]	44.61±7.90 [*]
C _{50 keV} 亚组(n=50)	786.94±93.12 ^{*#}	22.45±3.47 ^{*#}	35.62±5.54 ^{*#}	40.19±7.09 ^{*#}
C _{60 keV} 亚组(n=50)	543.03±53.47 ^{*#▲}	16.60±2.14 ^{*#▲}	33.13±4.56 ^{*#▲}	36.38±7.30 ^{*#▲}
C _{70 keV} 亚组(n=50)	388.34±38.11 ^{*#▲△}	13.06±1.54 ^{*#▲△}	30.07±3.97 ^{*#▲△}	29.50±4.37 ^{*#▲△}

组别	IMA			
	CT 值(HU)	SD 值(HU)	SNR	CNR
A 组(n=50)	366.23±41.30	13.38±1.60	27.82±4.99	26.91±5.29
B 组(n=50)	375.15±34.95	13.10±1.66	29.02±3.98	27.22±3.96
C _{40 keV} 亚组(n=50)	1023.38±118.24 [*]	37.36±6.74 [*]	28.27±6.33	38.19±6.57 [*]
C _{50 keV} 亚组(n=50)	692.84±76.40 ^{*#}	25.41±3.58 ^{*#}	27.73±4.62	35.00±6.01 ^{*#}
C _{60 keV} 亚组(n=50)	490.63±49.52 ^{*#▲}	17.76±1.93 ^{*#▲}	27.90±3.79	32.43±6.06 ^{*#▲}
C _{70 keV} 亚组(n=50)	361.67±35.68 ^{*#▲△}	13.17±1.29 ^{*#▲△}	27.66±3.31	27.28±4.64 ^{*#▲△}

注: * :与 A 组比较 $P<0.05$; # :与 C_{40 keV}亚组比较 $P<0.05$; ▲ :与 C_{50 keV}亚组比较 $P<0.05$; △ :与 C_{60 keV}亚组比较 $P<0.05$

(LBW)进行计算, 重建 40~70 keV 单能级图像, 发现在动脉期 60 keV 能级下, 血管对比度及边缘锐利度显示最佳, 优于 A 组, 与 LAI 等^[13]的结果相符; C 组对比剂剂量降低 37.19%, 超过以往研究^[5,7,14]。

本研究以 ΔHU 作为评价静脉期肝脏指标^[3], 发现 B 组 ΔHU >50 HU, 且 ΔHU 变异率较 A 组显著降低, 说明以 LBW 为依据计算对比剂剂量所获图像的一致性更高, 为实现影像同质化提供了依据。C 组以 60 keV 采集的静脉期图像的 ΔHU 与 A 组相当, 且变异率低于 A 组, 提示利用该方案同样有助于实现图像同质化。

表 3 结直肠肿物患者全腹增强 CT 静脉期血管客观参数比较

组别	肝实质 CT 值(HU)	肝实质 SD 值(HU)	肝实质 SNR	肝实质 CNR	ΔHU(HU)
A 组(n=50)	111.98±7.11	12.09±1.44	9.39±1.25	5.35±0.90	63.84±6.30
B 组(n=50)	101.43±6.00 [*]	12.21±1.34	8.40±0.98 [*]	4.52±0.68 [*]	53.23±4.58 [*]
C _{40 keV} 亚组(n=50)	200.63±18.62 [*]	25.84±3.45 [*]	7.87±1.13 [*]	5.11±1.17 [△]	153.24±17.70 [*]
C _{50 keV} 亚组(n=50)	147.09±11.32 ^{*#}	18.69±2.38 ^{*#}	7.98±1.05 [*]	4.80±0.99 [*]	99.70±10.33 ^{*#}
C _{60 keV} 亚组(n=50)	113.45±6.67 ^{*#▲}	14.28±1.81 ^{*#▲}	8.06±1.04 [*]	4.55±0.91 ^{*#}	65.95±5.72 ^{*#▲}
C _{70 keV} 亚组(n=50)	93.20±5.00 ^{*#▲△}	11.60±1.27 ^{*#▲△}	8.11±0.82 [*]	4.01±0.69 ^{*#▲△}	45.70±4.03 ^{*#▲△}

注: * :与 A 组比较 $P<0.05$; # :与 C_{40 keV}亚组比较 $P<0.05$; ▲ :与 C_{50 keV}亚组比较 $P<0.05$; △ :与 C_{60 keV}亚组比较 $P<0.05$

通过计算 NIC 可排除干扰^[15],更加精确地评估肿瘤碘浓度值。本研究观察不同对比剂注射方案对 NIC 的影响,发现 B、C 组动、静脉期肿瘤 NIC 与 A 组差异均无统计学意义,提示以 LBW 为基础的注射方案可在降低对比剂用量的情况下保证肿瘤强化程度。

综上,基于 LBW 低剂量对比剂方案结合能谱 CT 可在降低对比剂用量前提下获得高质量图像,以 60 keV 为最佳扫描能级。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:张竞颐研究设计、撰写文章;刘义军指导、修改和审阅文章;王诗耕研究设计;童小雨

数据分析、修改文章;范勇图像分析、修改文章;陈安良图像分析;胡梦婷数据分析、查阅文献;程启烨统计分析、查阅文献。

[参考文献]

[1] 武敬君,刘爱连,赵莹,等.能谱 CT 成像碘(水)图纹理分析预测结肠癌微卫星不稳定状态[J].中国医学影像技术,2019,35(11):1683-1688.

[2] 国家卫生健康委员会医政司,中华医学会肿瘤学分会.国家卫生健康委员会中国结肠癌诊疗规范(2023 版)[J].中华胃肠外科杂志,2023,26(6):505-528.

[3] TATSUGAMI F, HIGAKI T, NAKAMURA Y, et al. Dual-energy CT: Minimal essentials for radiologists[J]. Jpn J Radiol, 2022,40(6):547-559.

[4] 谢芹芹,阮志兵,卜碧玉,等.基于肾体积的个体化碘对比剂方案在腹部 CT 增强中的应用[J].放射学实践,2022,37(10):1273-1277.

[5] CARUSO D, ROSATI E, PANVINI N, et al. Optimization of contrast medium volume for abdominal CT in oncologic patients: prospective comparison between fixed and lean body weight-adapted dosing protocols[J]. Insights Imaging, 2021,12(1):40.

[6] de JONG D J, VELDHUIS W B, WESSELS F J, et al. Towards personalised contrast injection: Artificial-intelligence-derived body composition and liver enhancement in computed tomography[J]. J Pers Med, 2021,11(3):159.

[7] ZANCA F, BRAT H G, PUJADAS P, et al. Prospective multicenter study on personalized and optimized MDCT contrast protocols: Results on liver enhancement[J]. Eur Radiol, 2021,31

表 4 结直肠肿物患者全腹增强 CT 轴位图像主观评分比较

组别	动脉期二维	静脉期二维	动脉期三维
A 组(n=50)	5.0(5.0,5.0)	5.0(5.0,5.0)	5.0(5.0,5.0)
B 组(n=50)	5.0(5.0,5.0)	5.0(5.0,5.0)	5.0(5.0,5.0)
C ₄₀ keV 亚组(n=50)	3.0(3.0,4.0)*	3.0(3.0,4.0)*	3.0(3.0,4.0)*
C ₅₀ keV 亚组(n=50)	4.0(4.0,5.0)*#	5.0(4.0,5.0)*#	4.0(4.0,5.0)*#
C ₆₀ keV 亚组(n=50)	5.0(5.0,5.0)#▲	5.0(5.0,5.0)#	5.0(5.0,5.0)#▲
C ₇₀ keV 亚组(n=50)	5.0(4.0,5.0)*#△	4.0(3.0,5.0)*#△	5.0(4.0,5.0)*#△

注: *:与 A 组比较 $P<0.05$; #:与 C₄₀ keV 亚组比较 $P<0.05$; ▲:与 C₅₀ keV 亚组比较 $P<0.05$; △:与 C₆₀ keV 亚组比较 $P<0.05$

表 5 结直肠肿物患者全腹增强 CT 碘基图主观评分比较

组别	动脉期二维	静脉期二维	动脉期三维
A 组(n=31)	5.0(5.0,5.0)	5.0(5.0,5.0)	5.0(5.0,5.0)
B 组(n=31)	5.0(5.0,5.0)	5.0(5.0,5.0)	5.0(5.0,5.0)
C ₄₀ keV 亚组(n=27)	3.0(3.0,4.0)*	3.0(3.0,4.0)*	3.0(3.0,4.0)*
C ₅₀ keV 亚组(n=27)	4.0(3.0,5.0)*#	5.0(4.0,5.0)*#	4.0(3.0,5.0)*#
C ₆₀ keV 亚组(n=27)	5.0(5.0,5.0)#▲	5.0(5.0,5.0)#▲	5.0(5.0,5.0)#▲
C ₇₀ keV 亚组(n=27)	5.0(4.0,5.0)*#	4.0(3.0,5.0)*#△	5.0(4.0,5.0)*#△

注: *:与 A 组比较 $P<0.05$; #:与 C₄₀ keV 亚组比较 $P<0.05$; ▲:与 C₅₀ keV 亚组比较 $P<0.05$; △:与 C₆₀ keV 亚组比较 $P<0.05$

(11):8236-8245.

[8] 贾晓茜,王怡名,同维,等.LBW 指数结合能谱 CT 在合理降低肝脏增强 CT 的 CM 剂量中的应用[J].西安交通大学学报(医学版),2021,42(6):880-884.

[9] 王诗耕,刘义军,李贝贝,等.下肢能谱 CT 静脉成像最佳重建能级和自适应统计迭代重建权重[J].中国介入影像与治疗学,2023,20(10):625-629.

[10] de JONG D J, van COOTEN V V, VELDHUIS W B, et al. Individualized contrast media application based on body weight and contrast enhancement in computed tomography of livers without steatosis[J]. Diagnostics (Basel), 2022,12(7):1551.

[11] 徐军,胡孝梨,罗昆,等.“双低”扫描联合个性化对比剂注射方案在颅脑 CTA 中的应用价值[J].临床放射学杂志,2022,41(12):2301-2305.

[12] MATSUMOTO Y, MASUDA T, SATO T, et al. Contrast material injection protocol with the dose determined according to lean body weight at hepatic dynamic computed tomography: comparison among patients with different body mass indices[J]. J Comput Assist Tomogr, 2019,43(5):736-740.

[13] LAI L Y, TAN P, JIANG Y, et al. Dual-layer spectral detector CT for contrast agent concentration, dose and injection rate reduction: Utility in imaging of the superior mesenteric artery[J]. Eur J Radiol, 2022,150:110246.

[14] PEET K, CLARKE S E, COSTA A F. Hepatic enhancement differences when dosing iodinated contrast media according to total versus lean body weight[J]. Acta Radiol, 2019,60(7):807-814.

[15] LUO N, LI W, XIE J, et al. Preoperative normalized iodine concentration derived from spectral CT is correlated with early recurrence of hepatocellular carcinoma after curative resection[J]. Eur Radiol, 2021,31(4):1872-1882.