

双能量 CT 80 kVp 检出肝细胞癌的 适宜碘剂量研究

赵林伟¹,董国礼²,杨国庆¹,赵秀华¹,冯 敏¹

(1 遂宁市中心医院放射影像科,四川 遂宁 629000;2 川北医学院附属医院放射科,四川 南充 637000)

摘要:目的 探讨双能量 CT(DECT)80 kVp 检出富血供肝细胞癌时,单位去脂体质量(LBW)的适宜碘剂量。方法 76 例富血供肝细胞癌(HCC)患者行 DECT 增强扫描。在 80 kVp 肝动脉期图像中采用定性的肿瘤-肝脏对比(QL-TLC)和定量的肿瘤-肝脏对比噪声比(QT-TLCNR)评估肿瘤的醒目度。定性评估为“良好”组中 QT-TLCNR 值的中位数和 75%分位数分别作为强化效果满足准确诊断的最小和充分 QT-TLCNR。根据碘剂量(mg I/kg LBW)与 QT-TLCNR 的关系估计合理的碘剂量。结果 QL-TLC 与 QT-TLCNR 之间具有良好的相关性。在最小(3.43)和充分(4.04)的 QT-TLCNR 基础上,动脉期图像合理的碘剂量为 546~584 mg I/kg LBW。门静脉期图像中,肝脏强化达到 50 HU 的对比剂碘剂量为 449 mg I/kg LBW。结论 DECT 80 kVp 图像检出富血供 HCC 时,适宜的碘剂量可能为 546~584 mg I/kg LBW。

关键词:对比剂;计算机体层成像;肝细胞癌;肝脏

DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2019.02.030

中图分类号:R814.42;R735.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1671(2019)02-0286-04

Optimal iodine dose for detection of hepatocellular carcinoma on 80 kVp of dual-energy CT

ZHAO Linwei¹, DONG Guoli², YANG Guoqing¹, ZHAO Xiuhua¹, FENG Min¹

(1 Department of Radiology, Suining Central Hospital, Suining, Sichuan Province 629000, China;

2 Department of Radiology, the Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, China)

Abstract: Objective To explore the optimal iodine dose per unit of lean body weight (LBW) for detecting hypervascular hepatocellular carcinoma (HCC) on 80 kVp of dual-energy CT (DECT). **Methods** 76 patients with hypervascular HCC were underwent liver contrast-enhanced DECT. The tumor conspicuity of hepatic arterial phase (HAP) images on 80 kVp dataset was assessed by qualitative tumor-to-liver contrast (QL-TLC) and quantitative tumor-to-liver contrast-to-noise ratio (QT-TLCNR). Minimal QT-TLCNR and sufficient QT-TLCNR that kept the contrast effect to be diagnosed accurately were defined as the median and 75% of QT-TLCNR assigned with “good”, respectively. The optimal iodine dose was estimated by the relationship between iodine dose (mgI/kg LBW) and QT-TLCNR. **Results** There was a good correlation between QL-TLC and QT-TLCNR. The optimal iodine dose in the HAP was considered to be in the range of 546–584 mgI/kg LBW, based on minimal (3.43) and sufficient QT-TLCNR (4.04). The iodine dose to achieve 50 HU hepatic enhancement was 449 mgI/kg LBW in the portal venous phase. **Conclusion** The optimal iodine dose required to detect hypervascular HCC on 80 kVp of DECT may be 546–584 mgI/kg LBW.

Key words: contrast media; computed tomography; hepatocellular carcinoma; liver

低管电压时碘的 CT 值增加可以选择性地应用于减少达到同样强化程度所需的对比剂碘剂量。近来的文献^[1]报道 80 kVp CT 检出富血供肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)时,所需的最小碘剂量为 0.3 g I/kg 体质量或 11.0 g I/m² 体表面积(body surface area, BSA)。然而,80 kVp CT 检出 HCC 所需碘剂量的上限仍不清楚,并且肝脏 CT 增强扫描时应当根据患者的

BSA 或去脂体质量(lean body weight, LBW)等体型参数调整对比剂剂量^[2-4]。目前尚未见以 LBW 作为体型参数时,80 kVp CT 检出 HCC 所需的适宜碘剂量报道。本研究的目的是确定双能量 CT(dual-energy CT, DECT)80 kVp 图像检出富血供 HCC 时,以 LBW 作为体型参数,所需的最小和充分的碘剂量(mg I/kg LBW),以期为临床对比剂应用提供适宜方案。

作者简介:赵林伟(1974-),男,四川省安岳县人,硕士,副主任医师。研究方向:腹部 CT 与 MRI 诊断。

通信作者:杨国庆, E-mail: snygq@163.com

基金项目:四川省卫生和计划生育委员会科研课题(140107)。

1 资料与方法

1.1 一般资料 纳入 2014 年 4 月至 2017 年 2 月遂宁市中心医院行双源 CT 双能量扫描的孤立或多发富血

供 HCC 患者 76 例,男 67 例,女 9 例,年龄 28~75 岁,平均(55.9±10.6)岁,身高(162.0±5.8) cm,体质量(55.9±7.9) kg, BMI (22.7±2.6) kg/m², LBW (47.8±5.3) kg, BSA (1.6±0.1) m², 碘剂量(558.2±23.5) mg I/kg LBW。76 例 HCC 均经外科手术或穿刺活检后组织病理学证实。所有病例均无检查禁忌证且签署知情同意书。

1.2 检查方法 CT 扫描采用西门子双源 CT(Somatom Definition Flash, Siemens, Germany)并开启自动曝光控制系统(Care Dose 4D)。肝脏扫描包括平扫、肝动脉晚期、门静脉期。增强扫描采用双能量扫描模式:A 管 80 kVp,参考管电流 461 mAs,FOV 50 cm×50 cm;B 管 Sn140 kVp,参考管电流 178 mAs,FOV 33 cm×33 cm;扫描层厚 6 mm,重建层间距和层厚为 1.5 mm。采用 bolus-tracking 技术,经肘前静脉注射对比剂后,监测主动脉膈顶平面达 100 HU 后 12 s 开始启动肝动脉晚期扫描,动脉期结束后 30 s 开始门静脉期扫描。对比剂浓度为 300 mg I/mL 或 370 mg I/mL;在以前研究结果^[5]的基础上,对比剂碘剂量为 17.1 g I/m² BSA;对比剂注射时间固定为 25 s,对比剂注射结束后,随即以相同速度注射生理盐水 30 mL。

1.3 体型参数 $BSA = 0.016 \times \sqrt{TBW \times H}$ ^[6]; 男性 $LBW = (1.10 \times TBW) - 128(TBW/H)^2$; 女性 $LBW = (1.07 \times TBW) - 148(TBW/H)^2$ (TBW 为体质量,单位:kg;H 为身高,单位:cm;BSA 单位:m²;LBW 单位:kg)。

1.4 图像分析

1.4.1 定性评估 3 位经验丰富的独立观察者在动脉期图像中,根据肿瘤实质、肝实质及肿瘤供血动脉或其邻近的肝动脉分支的强化情况,将肉眼评估的肿瘤醒目度即定性的肿瘤-肝脏对比(qualitative tumor-to-liver contrast, QL-TLC)分为 4 级^[7]:优秀, HCC≥动脉;良好, 动脉>HCC>>肝实质;一般, 动脉>>HCC>肝实质;较差, 肝实质≥HCC(图 1)。当 2 位观察者分级一致时,评估结果被采纳;当 3 位观察者分级完全不一致时,最终由达成共识来确定。

1.4.2 定量评估 图像定量评估时每个 ROI 的设置由 2 位经验丰富的放射科医师协商完成,如果二者意见不能统一则由另 1 位高年资主任医师最终决定 ROI 设置区域。动脉期定量的肿瘤-肝脏对比噪声比(quantitative tumor-to-liver contrast-to-noise ratio, QT-TLCNR)计算公式为: $QT-TLCNR = (ROI_{\text{肿瘤}} - ROI_{\text{肝脏}}) / SD_{\text{噪声}}$ 。ROI_{肿瘤} 为病灶的平均 CT 值,ROI 放置在病灶强化最明显的部分,其大小根据病灶而定(图 1);ROI_{肝脏} 为邻近正常肝实质的平均 CT 值;SD_{噪声} 为平均噪声,由前腹壁皮下脂肪均匀区域圆形或卵圆形 ROI 内 CT 值的标准差确定。

门静脉期在肝左外叶、右叶上段和右叶下段 3 个区域放置 ROI(肿瘤超过 1 个肝段时则在其他肝段测量)并取其 CT 值均值作为门静脉期肝实质的 CT 值;ROI 大小约为 2.0 cm², 仔细避开肉眼可见的门静脉分支、胆管或肝静脉;肝实质强化程度(ΔHU)的计算公式为: $\Delta HU = \text{增强图像 CT 值} - \text{平扫图像 CT 值}$ 。

1.5 辐射剂量 容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDI_{vol})、剂量长度乘积(dose-length product, DLP)从 CT 剂量报告卡中获得。有效辐射剂量(effective dose, ED)计算公式: $ED = DLP \times k$ ($k = 0.015 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)。

1.6 统计学分析 动脉期合理碘剂量的估计,参考 Ichikawa 等^[8]的方法,以 QL-TLC="良好"作为满足准确诊断的强化效果。在 QL-TLC="良好"的病例组中,以 QT-TLCNR 值的中位数作为最小的 QT-TLCNR,并将其设定为计算合理碘剂量的下限值;以 75%分位数作为充分的 QT-TLCNR,并将其设定为计算合理碘剂量的上限值。QL-TLC 与 QT-TLCNR 值相关性采用 Spearman 相关分析。碘剂量(单位:mg I/kg LBW)与 QT-TLCNR 的关系以散点图显示。合理碘剂量根据最小和充分的 QT-TLCNR 及回归方程估计。

门静脉期采用散点图显示碘剂量与肝脏强化程度之间的关系。以肝实质强化≥50 HU 作为能够保证肝脏充分强化的 CT 值^[9]。辐射剂量采用单因素方差分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 动脉期 QL-TLC 与 QT-TLCNR 之间的关系 Spearman 相关分析表明,76 例患者中 95 个 HCC 病灶 QL-TLC 分级与 QT-TLCNR 值相关性良好(表 1)。QL-TLC="良好"的病例中,QT-TLCNR 值中位数和 75%分位数分别为 3.43 和 4.04;3.43 和 4.04 分别被确定为最小和充分的 QT-TLCNR 值。

2.2 动脉期合理碘剂量估计 碘剂量与 QT-TLCNR 的关系见图 2,回归方程为: $Y = -5.31 + 0.016X$ ($F = 18.81, P < 0.05$)。将最小和充分的 QT-TLCNR 代入方程,获得动脉期合理碘剂量为 546~584 mg I/kg LBW。

2.3 门静脉期碘剂量估计 门静脉期碘剂量与肝脏强化程度的关系见图 3,回归方程为: $Y = -48.38 + 0.219X$ ($F = 11.34, P < 0.05$)。相应地,以 50 HU 作为标准 CT 值代入方程,获得门静脉期肝实质充分强化所需的最小碘剂量为 449 mg I/kg LBW。

2.4 辐射剂量 整个肝脏扫描的平均 ED 为(7.37±1.61) mSv,各期辐射剂量见表 2。辐射剂量分析提示动脉期及门静脉期较常规 120 kVp 的平均 ED 差异有统计学

意义($P < 0.05$), 平均 ED 分别增加(0.21 ± 0.08) mSv、(0.20 ± 0.08) mSv。

3 讨论

CT 在 80 kVp 管电压产生的 X 线平均能量较 120 kVp 更接近碘 K-层(33.2 keV), 碘对比剂表现为更高的 CT 值, 进而允许降低对比剂剂量。文献报道^[10] 80 kVp 的对比剂碘剂量较 120 kVp 可以减少 40%。另一方面, 在恰当的扫描时间所获得的对比增强图像中进行定性和定量分析对于多排螺旋 CT 各期对比剂剂量的优化是比较重要的。目前已经认识到为了使肝脏每一期的扫描时间更加统一, 在根据体型参数调整对比剂剂量时, 固定对比剂注射时间将会是最基本、最重要的技术因素^[7, 11]。然而, 固定对比剂注射时间在临床检查中常规应用存在困难; 特别是对于重体质量患者, 会导致对比剂注射速率很快。相对于体质量, 以 LBW 作为调整碘剂量的体型参数, 有利于减少对比剂超量以及个体间肝脏强化的变异性^[12-13]。因此, 减少对比剂剂量的另一个可能的方法就是基于患者 LBW 的对比剂碘剂量调整方案。

本研究结果表明, 80 kVp 动脉期合理的碘剂量为 546~584 mg I/kg LBW。对于这个结果, 目前虽然没有直接的文献数据可供参照, 但是本研究中以 QL-TLC=“良

好”的病例的 QT-TLCNR 值中位数和 75%分位数分别作为回归方程中估计合理碘剂量的下限及上限值, 所估计的合理碘剂量具有临床实用性, 因为设定有代表性的值和计算方程, 应当考虑到临床实践的多样性。本研究参考 Ichikawa 等^[8]的方法, 是因为对于目前的研究, 未见其他合适方法的报道。最近 Goshima 等^[1]报道 0.3 g I/kg 体质量或 11.0 g I/m² BSA 能够使 HCC 患者的 80 kVp 动脉期获得可接受的 QT-TLCNR。但其检出 HCC 所需碘剂量的上限仍不清楚。与 Goshima 等不同的是, 本研究设计为 80 kVp 图像中, 基于对肿瘤醒目度的定性和定量评估, 在确保准确诊断的强化效果范围内, 确定检出 HCC 所需最小及充分的碘剂量。

门静脉期肝脏期望达到的强化目标为 ≥ 50 HU, 120 kVp CT 肝脏强化达到 50 HU 所需的碘剂量为 701.5~712 mg I/kg LBW^[2, 4]。根据笔者的结果中, 80 kVp CT 肝脏强化达到 50 HU 时, 碘剂量(449 mg I/kg LBW)较 120 kVp CT 可以降低约 36%。HCC-肝脏对比通常在肝动脉晚期最明显, 当给予的碘剂量优先满足肝动脉晚期 HCC 的检出时, 将碘剂量(546~584 mg I/kg LBW)代入笔者的方程, 门静脉期肝实质强化程度可达到 71~80 HU, 足以确保肝脏的充分强化。

本研究存在一些不足: 首先, 笔者未在以往脂质体质量调整碘剂量的对比剂应用方案中直接比较 QT-TLCNR

表 1 动脉期 HCC 病灶 QL-TLC 分级与 QT-TLCNR 值

HCC	QL-TLC 分级				r	P
	较差 (n=5)	一般 (n=15)	良好 (n=52)	优秀 (n=23)		
QT-TLCNR	2.20±0.34	2.89±0.67	3.57±0.63	4.65±0.66	0.72	<0.05

表 2 肝脏扫描各期 CTDIvol、DLP 及 ED 值

	平扫	动脉期	门静脉期
CTDIvol (mGy)	6.06±1.01	6.80±1.20	6.78±1.19
DLP (mGy·cm)	148±32	161±37	161±37
ED (mSv)	2.22±0.48(30%)	2.43±0.57(33%)	2.42±0.56(33%)

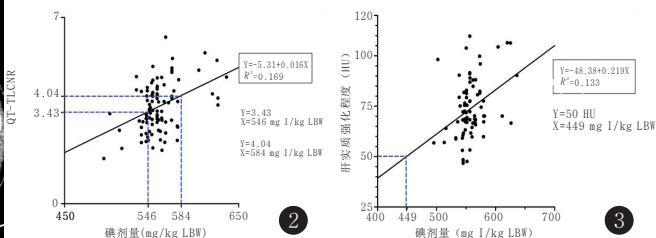
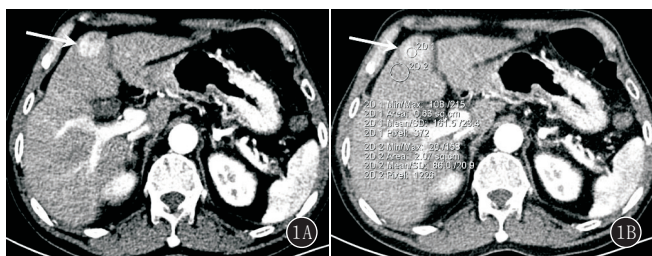


图 1A, B 男, 65 岁, 肝左内叶高分化 HCC(箭), 碘剂量 556 mg I/kg LBW。A. 肝动脉晚期 QL-TLC=良好(窗位=85 HU, 窗宽=250 HU); B. 相应的 QT-TLCNR=3.72 图 2 肝动脉期碘剂量与 QT-TLCNR 之间的散点图, 回归直线方程为: $Y(\text{HU}) = -5.31 + 0.016X(\text{mg I/kg LBW})$ 图 3 门静脉期碘剂量与肝实质强化程度之间的散点图, 回归直线方程为 $Y(\text{HU}) = -48.38 + 0.219X(\text{mg I/kg LBW})$

和肝脏强化,虽然采用不同的对比强化方案的随机研究是有价值的,但这样的研究需要许多方案组,并且短期内需要大量的病例。其次,笔者未评估双能量成像的衍生图像如碘图和虚拟单能量图像,后续工作中需要更多的研究去评估 DECT 各系列图像检出 HCC 时所需的碘剂量及其相互关系。第三,双能量扫描的辐射剂量较常规 120 kVp 有轻度增加。但本研究整个肝脏扫描的平均 ED 仅为 (7.37 ± 1.61) mSv;随着对虚拟平扫认识的深入,如果以虚拟平扫取代常规平扫,可以节省常规平扫的辐射剂量^[14-15]。

总之,80 kVp 图像检出富血供 HCC 时,适宜的碘剂量可能为 546~584 mg I/kg LBW。

参考文献:

- [1] GOSHIMA S, KANEMATSU M, NODA Y, et al. Minimally require diiodine dose for the detection of hypervascular hepatocellular carcinoma on 80 kVp CT[J]. AJR, 2016, 206(3): 518-525. DOI: 10.2214/AJR.15.15138.
- [2] KONDO H, KANEMATSU M, GOSHIMA S, et al. Body size indices to determine iodine mass with contrast-enhanced multi-detector computed tomography of the upper abdomen: does body surface area outperform total body weight or lean body weight? [J]. Eur Radiol, 2013, 23(7): 1855-1861. DOI: 10.1007/s00330-013-2808-z.
- [3] KIDOH M, NAKAURA T, ODA S, et al. Contrast enhancement during hepatic computed tomography: effect of total body weight, height, body mass index, blood volume, lean body weight, and body surface area[J]. J Comput Assist Tomogr, 2013, 37(2): 159-164. DOI: 10.1097/RCT.0b013e31827dbc08.
- [4] AWAI K, KANEMATSU M, KIM T, et al. The optimal body size index with which to determine iodine dose for hepatic dynamic CT: a prospective multicenter study[J]. Radiology, 2016, 278(3): 773-781. DOI: 10.1148/radiol.2015142941.
- [5] ONISHI H, MURAKAMI T, KIM T, et al. Abdominal multi-detector row CT: effectiveness of determining contrast medium dose on basis of body surface area[J]. Eur J Radiol, 2011, 80(3): 643-647. DOI: 10.1016/j.ejrad.2010.08.037.
- [6] 宇传华,徐勇勇,夏结来,等.人体表面积的计算公式[J].中华预防

医学杂志, 1999, 33(2): 123-124. DOI: 10.3760/j.issn:0253-9624.1999.02.021.

- [7] OKADA M, KONDO H, SOU H, et al. The efficacy of contrast protocol in hepatic dynamic computed tomography: multicenter prospective study in community hospitals[J]. Springerplus, 2013, 2: 367. DOI: 10.1186/2193-1801-2-367.
- [8] ICHIKAWA T, OKADA M, KONDO H, et al. Recommended iodine dose for multiphase contrast-enhanced multidetector-row computed tomography imaging of liver for assessing hypervascular hepatocellular carcinoma: multicenter prospective study in 77 general hospitals in Japan [J]. Acad Radiol, 2013, 20(9): 1130-1136. DOI: 10.1016/j.acra.2013.05.003.
- [9] YAMASHITA Y, KOMOHARA Y, TAKAHASHI M, et al. Abdominal helical CT: evaluation of optimal doses of intravenous contrast material-a prospective randomized study[J]. Radiology, 2000, 216(3): 718-723. DOI: 10.1148/radiology.216.3.r00se26718.
- [10] 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 [J]. Radiology, 2011, 261(2): 467-476. DOI: 10.1148/radiol.11110021.
- [11] BAE K T. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches[J]. Radiology, 2010, 256(1): 32-61. DOI: 10.1148/radiol.10090908.
- [12] KONDO H, KANEMATSU M, GOSHIMA S, et al. Aortic and hepatic enhancement at multidetector CT: evaluation of optimal iodine dose determined by lean body weight[J]. Eur J Radiol, 2011, 80(3): e273-e277. DOI: 10.1016/j.ejrad.2010.12.009.
- [13] 郭沐洁,吴玉芬,张晴.腹部脂肪比率与肝脏 CT 强化程度的相关性研究[J].实用放射学杂志, 2014, 30(7): 1147-1149. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2014.07.021.
- [14] 杨丽,时高峰,吴润泽,等.第二代双源 CT 虚拟平扫对胃癌浆膜面脂肪显示能力的评估[J].实用放射学杂志, 2014, 30(6): 947-950. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2014.06.014.
- [15] 白娇,钟慧,刘荣波.采用双源 CT 虚拟平扫技术代替常规平扫行 CT 腹膜腔成像的可行性[J].中华放射学杂志, 2017, 51(1): 33-37. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.01.008.

(收稿日期:2017-07-09;修回日期:2018-06-10)

(上接第 270 页)

- [14] ARIZA D M P, CHAMORRO E M, CASTANO D, et al. Intraluminal gas in non-perforated acute appendicitis: a predictor of gangrenous appendicitis[C]. Chicago Radiological Society of North America 2013 Scientific Assembly and Meeting, 2013. DOI: 10.1594.ecr2012/c-1978.
- [15] 张淑慧,曾庆玉,尹晓明,等.急性阑尾炎各种螺旋 CT 征象的诊断价值[J].临床放射学杂志, 2014, 33(6): 894-898. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2014.06.022.

- [16] PARK G, LEE S C, CHOI B J, et al. Stratified computed tomography findings improve diagnostic accuracy for appendicitis[J]. World J Gastroenterol, 2014, 20(38): 13942-13949. DOI: 10.3748/wjg.v20.i38.13942.
- [17] 刘新爱,王同明,任月勤.3 种病理类型急性阑尾炎患者的临床体征及多层螺旋 CT 征象特点差异性分析[J].中国 CT 和 MRI 杂志, 2017, 15(8): 124-127. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2017.08.037.

(收稿日期:2018-02-04;修回日期:2018-03-21)