

# 肝脏脂肪变性对瞬时管电压切换单源双能CT物质分离技术量化评估肝脏铁过载的影响

谢婷婷 何冠勇 张珍 石桥 黄嵘 成官迅

北京大学深圳医院医学影像中心 518036

通信作者:成官迅,Email:chengguanxun@hotmail.com

**【摘要】目的** 探讨肝脏脂肪变性对瞬时管电压切换单源双能CT物质分离技术量化评估肝脏铁过载的影响。**方法** 取20只健康SD大鼠,将新鲜肝组织全部制成匀浆液。将右旋糖酐铁配制为铁浓度分别为50、40、30、20、10和0 mg/ml溶液,分别与3种不同浓度(体积百分比分别为60%、30%、10%,模拟重度、中度、轻度脂肪肝)的甘油三酯大鼠肝组织匀浆液混合,制成肝脏铁沉积伴轻、中、重度脂肪变性的模型(共18个PVC管)。应用美国GE Revolution 256 CT扫描仪,选择能谱成像模式,按照铁浓度从高到低的顺序依次将混合液置于标准体模中扫描。管电压80、140 kVp瞬时切换,管电流分别为200、320、485 mA。重建铁(脂肪)为基物质对图像,记录虚拟铁浓度值(VIC)。对3组管电流(200、320、485 mA)下相应VIC与肝实际铁浓度(LIC)的相关性行Spearman分析,并拟合线性方程。**结果** 不同管电流下伴脂肪变性肝脏铁沉积模型LIC与VIC均呈高度正相关( $r$ 值为0.900~1.000,  $P < 0.05$ )。脂肪导致VIC低估肝铁浓度,在一定X线能量范围内,脂肪含量越高、VIC对肝铁浓度的低估程度越重。200、320、485 mA下,30%、10%脂肪变性肝铁沉积模型的线性方程交叉点分别位于VIC=12.682、12.470和13.447 mg/cm<sup>3</sup>处。**结论** 瞬时管电压切换单源双能CT物质分离功能可用于合并肝脏脂肪变性的肝铁定量测定,脂肪的存在将导致VIC测值降低。

**【关键词】** 体层摄影术, X线计算机; 物质分离; 肝; 铁; 脂肪

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.03.013

## The influence of liver fat deposition on liver iron overload quantitative assessment by fast-kilovolt-peak switching dual-energy CT imaging and material decomposition technique: a vitro experiment study

Xie Tingting, He Guanyong, Zhang Zhen, Shi Qiao, Huang Rong, Cheng Guanxun

Department of Radiology, Peking University Shenzhen Hospital, Shenzhen 518036, China

Corresponding author: Cheng Guanxun, Email: chengguanxun@hotmail.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the influence of liver fat deposition on the quantification of the liver iron overload using fast-kilovolt-peak switching dual-energy CT imaging and material decomposition technique. **Methods** A total of 20 healthy SD rats were taken to make 18 PVC tube of homogenate of fresh liver tissue. The dextran with concentration of 50, 40, 30, 20, 10 and 0 mg/ml were mixed with rat liver homogenate and triglyceride with three different concentrations (add fat with volume percentage of 60%, 30%, 10% and to simulate severe, moderate and mild fatty liver respectively). All samples were placed in standard phantom according to the order of iron concentration from high to low and scanned by GE Revolution CT 256 slices scanner in GSI mode with rapid tube voltage switching between 80 and 140 kVp and with tube current 200 mA, 320 mA, 485 mA respectively. The images of iron (fat)-based substance pair were reconstructed and the virtual iron concentration (VIC) value were recorded. The correlation between VIC and the actual liver concentration (LIC) of the three sets of tube currents (200, 320, 485 mA) was analyzed by Spearman correlation analysis and linear regression. **Results** LIC and VIC were highly positively correlated with the liver iron deposition model under different tube currents ( $r$  value was 0.900 to 1.000,  $P < 0.05$ ). The presence of fat will result in the decrease of VIC value. In a certain X-ray energy range and certain liver iron concentration, the higher the fat content, the more liver iron concentration underestimation were happened in VIC. At 200, 320 and 485 mA, the crossing points of linear equations for

30% and 10% fatty liver iron deposition models were located at VIC=12.682, 12.470 and 13.447 mg/cm<sup>3</sup>, respectively. **Conclusions** The fast-kilovolt-peak switching dual-energy CT imaging and material decomposition techniques can be used for quantitative evaluation of liver iron with hepatic steatosis. The presence of fat will lead to a decrease in VIC measurement.

**【Key words】** Tomography, X-ray computed; Substances separation; Liver; Iron; Fat  
DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.03.013

肝脏铁过载导致肝实质CT值升高,当CT平扫肝脏CT值>72 HU时应怀疑存在铁过载<sup>[1]</sup>,但CT值增加并不是铁过载的特异性表现,且通过CT值增加来反映铁沉积不准确,易受脂肪变性、糖原沉积、贫血等因素的影响而低估铁过载程度<sup>[2]</sup>。双能CT物质分离技术是无创反映肝铁含量的影像方法之一,可用于评估铁沉积的严重程度、诊断长期输血患者的铁过载、指导去铁治疗及评价疗效<sup>[3-4]</sup>。有研究结果显示,脂肪不影响双能CT的肝铁定量,但研究结果是基于双源双能CT三物质分离法得出的<sup>[4-5]</sup>,基于瞬时管电压切换单源双能CT物质分离法研究脂肪对肝脏铁定量影响的报道不多。瞬时管电压切换单源双能CT利用高压发生器在单圈旋转内快速和频繁地切换管电压,并分别在瞬时的高管电压(140 kVp)和低管电压(80 kVp)下采集数据,提供均为500 mm视野的双能图像。行双能扫描时(能谱成像扫描模式),管电流都保持在一个固定值,不随管电压的变化而变化。笔者通过制作合并肝脏脂肪变性的肝铁沉积模型,采用瞬时管电压切换单源双能CT物质分离法探讨脂肪对铁定量评估的影响。

## 资料与方法

### 一、体外模型的制作

取20只健康SD大鼠,由广东省医学实验动物中心提供,20周龄,体重200~225 g,均为雌性。解剖并分离大鼠肝脏,冲洗后剪碎、分装,置于4 ml聚氯乙烯(polyvinylchlorid, PVC)管中(内径为10 mm),在匀浆机中匀浆。重复匀浆操作,直至新鲜肝组织全部制成匀浆液,备用。将右旋糖酐铁(丹麦Pharmacosmos A/S公司)配制为铁浓度分别为50、40、30、20、10和0 mg/ml溶液,分别与3种不同浓度(体积百分比分别为60%、30%、10%,模拟重度、中度、轻度脂肪肝)的甘油三酯大鼠肝脏匀浆液混合,保持每管总体积为4 ml,制成肝脏铁沉积伴轻、中、重度脂肪变性的模型(共18个PVC管)<sup>[5]</sup>。用悬浮震荡仪充分震荡,使样本呈均匀外

观,上述样本静置6 h以上不分层则认为模型制作成功。

### 二、扫描方法

应用美国GE Revolution 256 CT扫描仪。按照铁浓度从高到低的顺序依次将混合液置于标准体模中,即4 ml的PVC管置入体模的圆柱体凹槽内,体模为直径20 cm的圆柱体,内有9个圆柱体凹槽,每个PVC管置入后都位于凹槽的最上方,扫描时各PVC管保持同一水平。管电压80、140 kVp瞬时切换,管电流分别为200、320、485 mA,转速为2 s/周,显示野(display field-of-view, DFOV)25 mm×25 mm,重建层厚、间距均为1.25 mm,螺距0.984,标准算法重建,全模型迭代重建算法-V为50%。

### 三、数据测量

所有原始数据传至ADW 4.6工作站,利用GSI General MD分析软件进行后处理,重建铁(脂肪)为基物质对图像。于体模中心区勾画与标准水模同心圆的ROI,各放置3个直径为6 mm、面积为28.26 mm<sup>2</sup>的圆形ROI,记录后取其平均值为虚拟铁浓度值(virtual iron concentration, VIC),纳入数据库。

### 四、统计学方法

采用SPSS 20.0软件进行数据分析。对3组管电流(200、320、485 mA)下具有方差齐性的相应VIC与肝实际铁浓度(liver iron content, LIC)的相关性行Spearman分析,并拟合线性方程。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 结 果

不同管电流下伴脂肪变性肝脏铁沉积模型LIC与VIC均呈高度正相关(表1)。伴10%、30%、60%脂肪变性肝铁沉积模型VIC与LIC线性关系的斜率不同,提示脂肪的存在影响铁定量评估,具体表现为脂肪导致VIC低估肝铁浓度,在一定X线能量范围内,脂肪含量越高、VIC对肝铁浓度的低估程度越重。200、320、485 mA下,30%、10%脂肪变性肝铁沉积模型的线性方程交叉点分别位于VIC=12.682、12.470和13.447 mg/cm<sup>3</sup>处。

**表1** 不同管电流下伴脂肪变性肝脏铁沉积模型LIC与VIC相关性分析结果( $n=18$ )

LIC和管电流	VIC(mg/cm <sup>3</sup> )	r值	P值	线性方程
10%				
200 mA	12.283 4(8.330 0~14.850 0)	1.000	0.000	$y=7.493x-64.865$
320 mA	12.420 0(8.026 7~15.520 0)	1.000	0.000	$y=7.980x-67.089$
485 mA	11.621 3(8.623 3~14.785 0)	1.000	0.000	$y=8.295x-73.697$
30%				
200 mA	11.798 4(5.196 7~14.183 3)	1.000	0.000	$y=4.835x-31.156$
320 mA	11.746 7(5.930 0~14.866 7)	1.000	0.000	$y=5.744x-39.206$
485 mA	10.573 8(5.876 7~13.622 5)	1.000	0.000	$y=5.719x-39.057$
60%				
200 mA	12.081 7(1.440 0~14.306 7)	0.900	0.005	$y=3.503x-11.097$
320 mA	11.783 3(1.370 0~14.726 7)	1.000	0.000	$y=3.909x-11.871$
485 mA	10.995 0(0.573 3~14.035 0)	1.000	0.000	$y=3.466x-8.410$

注: LIC:肝实际铁浓度; VIC:虚拟铁浓度值。线性方程中 $y$ 为LIC,  $x$ 为VIC

## 讨 论

在慢性肝脏疾病(如病毒性肝炎、酒精性脂肪肝、非酒精性脂肪肝)及肝含铁血黄素沉着症中,肝脏铁沉积及脂肪沉积常常同时存在<sup>[6]</sup>。传统混合能量CT平扫通过测定肝实质CT值可提示肝铁沉积,但脂肪将导致肝实质CT值减低<sup>[5]</sup>,可能会导致铁沉积漏诊。瞬时管电压切换单源双能CT的物质分离技术为基本物质分解(basis material decomposition)技术,模拟在单色谱能量下投影出来的数据并依靠计算出来的基本物质对(如水和碘)密度图合成出单色谱能量下的影像。由于纯单色谱的能量不包含除本身以外的其他能量,如果连续以单色谱能量的小间隔(如0.5~1.0 keV)为单位来合成一系列的单色谱图,就能获得多能级(100级甚至更高)的能谱图像,在这一系列能谱图像的不同区域选择ROI并测量其CT值,就可以把这些通过曲线连接起来并描绘成“能谱曲线”<sup>[7]</sup>。因不同物质各自独特的衰减系数和能谱曲线,故能对不同物质起到区分作用<sup>[8]</sup>。

本研究中,选取铁(脂肪)为基物质对,理论基础就是ROI内物质(合并不同程度脂肪的肝脏铁沉积模型)的衰减曲线可用铁、脂肪这两种物质的衰减来表达,通过铁-脂肪两种物质的组合来产生与ROI内物质相同的衰减效应,故能对ROI内所需检查物质成分,即对铁作出相对的定量表达,从而分离不同的物质,而不是确定某种物质。本研究结果

显示,在3种管电流(200、320、485 mA)下,伴10%、30%、60%脂肪变性肝脏铁沉积模型LIC与VIC均呈高度正相关,且得出相应LIC线性方程,验证了瞬时管电压切换单源双能CT的物质分离法具有定量反映合并脂肪沉积的肝铁浓度的能力,并有对其进行分级的潜能。伴10%、30%、60%脂肪变性肝铁沉积模型线性方程斜率不同,提示脂肪的存在将影响铁的定量评估,具体表现为脂肪导致VIC测值降低,且在相同铁沉积条件下,伴60%脂肪变性肝铁沉积模型中VIC测值在各管电流下均比30%、10%脂肪变性肝铁沉积模型VIC测值低。这是因为在本研究中,瞬时管电压切换单源双能CT物质分离法反映物质定量的核心思路是将所研究物质衰减曲线用铁、脂肪这两种物质的组合来产生与其相同的衰减效应,继而达到定量反映所研究物质的目的;伴60%脂肪变性肝铁沉积模型内铁浓度梯度与伴30%、10%脂肪变性肝铁沉积模型内的铁浓度梯度是相同的,区别在于伴60%脂肪变性肝铁沉积模型内各PVC管内脂肪含量更高,体积比为60%,脂肪在铁(脂肪)基物质图上的测值为负值,铁在铁(脂肪)基物质图上的测值为正值,脂肪含量越高,对VIC测值的抵消作用更大,故60%脂肪变性肝铁沉积模型VIC测值比30%、10%脂肪变性肝铁沉积模型更低。

理论上,在相同肝铁沉积条件下,脂肪含量越高, VIC测值越低;但在30%、10%脂肪变性肝铁沉积模型的线性方程却存在交叉,200、320、485 mA下,30%、10%脂肪变性肝铁沉积模型的线性方程交叉点分别位于VIC为12.682、12.470和13.447 mg/cm<sup>3</sup>处。以200 mA为例,当VIC≤12.682 mg/cm<sup>3</sup>时,符合相同肝铁沉积条件下脂肪含量越高、VIC测值越低的规律;但VIC≥12.682 mg/cm<sup>3</sup>时,10%脂肪沉积肝铁模型VIC测值比30%更低。VIC本质上为混合物密度值,是根据基物质对的分离密度值而求得,不同管电流作用下混合物的密度有明显差异性,随着管电流增加,混合物的密度逐渐增加<sup>[9]</sup>。故同一物质,200 mA下VIC测值将低于320 mA下VIC测值,即低管电流起到使VIC测值降低的效应(在管电压一致的情况下,低管电流即等同于低X线能量,铁元素在低能X线能量下衰减较高能量明显)<sup>[5]</sup>;而脂肪的衰减在铁(脂肪)基物质图像上VIC值为负值,也使VIC测值降低;200 mA下10%脂肪沉积肝铁模型,当VIC≥12.682 mg/cm<sup>3</sup>时,考虑可能原因为相对低管电流带来的VIC测值降低比



此时所含的脂肪使VIC测值降低的效应更大,故表现为相同肝铁沉积条件下,10%脂肪沉积肝铁模型VIC测值比30%更低。管电流为485 mA时,相较于200 mA,提高了管电流,在管电压固定条件下即提高了X线能量,低能量X线使VIC测值降低的效应被减弱,故直到VIC超过13.447 mg/cm<sup>3</sup>才出现10%脂肪沉积肝铁模型VIC低估肝铁浓度程度比30%更重的情况。

综上所述,单源双能CT物质分离功能可用于合并肝脏脂肪变性的肝铁定量测定;脂肪的存在将导致VIC测值降低,在一定X线能量、一定肝铁浓度范围内,呈脂肪含量越高、VIC测值越低的规律,提示在合并中-重度脂肪变性情况下,VIC对肝铁浓度低估程度较重。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] 王凯旋,崔诗爽,靳云鹏. CT测定肝脏铁含量的研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2014,37(5):434-437. DOI:10.3874/j.issn.1674-1897.2014.05.Z0506.
- [2] Boll DT, Merkle EM. Diffuse liver disease: strategies for hepatic CT and MR imaging. Radiographics, 2009, 29(6): 1591-1614. DOI: 10.1148/rg.296095513.
- [3] 罗先富. 双能CT物质分离技术及MR弛豫定量对肝铁过量的量化评估[D]. 上海:上海交通大学,2015.
- [4] Fischer MA, Reiner CS, Raptis D, et al. Quantification of liver iron content with CT-added value of dual energy[J]. Eur Radiol, 2011,21(8):1727-1732. DOI: 10.1007/s00330-011-2119-1.
- [5] 马静,董海鹏,宋琼,等. 双能CT扫描参数和算法对定量检测伴脂肪沉积肝铁含量影响的实验研究[J]. 中华放射学杂志, 2014,48(4):333-336. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2014.04.016.
- [6] Hyodo T, Hori M, Lamb P, et al. Multicomponent decomposition algorithm for the quantification of liver fat content by using fast-kilovolt-peak switching dual-energy CT: experimental validation[J]. Radiology, 2017,282(2):381-389. DOI: 10.1148/radiol.2016160129.
- [7] 张唯唯,张华. 双能成像技术的最新进展[J]. 中国医疗设备, 2012,27(9):8-12. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2012.09.002.
- [8] 严福华. 重视腹部CT和MR新技术的量化研究和临床应用[J]. 中华放射学杂志, 2013,47(2):101-103. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.02.001.
- [9] 盖立平,刘爱莲,孙美玉,等. 管电流对能谱CT成像的影响[J]. 实用放射学杂志, 2015, 31(11):1860-1864. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.02.001.

(收稿日期:2018-05-23)

(本文编辑:张晓冬)

## 《中华放射学杂志》-拜耳肝脏疾病MRI影像学评价 征文通知

影像检查在肝脏疾病的诊断、治疗后随访、疗效评估中发挥着越来越重要的作用,由于其方便易行且具有无创伤性而得到广泛应用。目前,在肝脏疾病诊断中主要应用的影像学检查手段包括X线、B超、CT扫描、MRI等,尤其是近年随着肝脏特异性MRI对比剂的出现,影像检查的作用更加凸显。为进一步规范肝脏疾病的影像检查方法、提高影像诊断水平,《中华放射学杂志》特联合拜耳医药保健有限公司举办肝脏疾病影像征文活动,诚邀您的参与。

### 一、征文内容

涉及肝脏疾病影像诊断、治疗后影像随访、疗效影像评估的新方法、新发现和新理论以及优化检查新方案的磁共振临床和实验研究、病例总结、综述和专论。征文内容注意以下几方面:遵循医学伦理学要求;根据临床实际情况减少过度检查,寻找临床切实可行的、具有创新性提高肝脏疾病影像诊断水平的方法。本次征文活动具有开放性,容纳各种设备所做的高质量实验研究、临床研究和应用进展方面的论文。

### 二、征文要求

首先应当把实用性和科学性放在首位,保证研究的方法能在临床推广使用。其次要有先进性和新颖性,不要进行重复性研究。论文撰写要遵循临床研究设计的基本要求,写作规范参见《中华放射学杂志》论著格式。论文应在国内外杂志上公开发表。

### 三、投稿方式

通过《中华放射学杂志》投稿系统网上投稿,网址为<http://www.cma.org.cn/ywzx/index.html>。注意:网上投稿过程中,在稿件的学科分组一栏选择“肝脏疾病磁共振征文”,以免与其他分组稿件混淆。

### 四、征文时间

2018年6月1日至2019年6月30日。优秀论文符合《中华放射学杂志》录用标准的优先在《中华放射学杂志》上发表。

### 五、联系人

中华放射学杂志编辑部张晓冬,电话:010-85158292; Email: cjr.zhangxd@vip.163.com, zhangxd@cma.org.cn.

(本刊编辑部)