

• 腹部影像学 •

正常肝脏低剂量 CT 灌注研究

王文晶, 钟晓, 华小兰, 范瑜, 李岚, 许建荣

【摘要】 目的:通过比较不同管电流扫描情况下正常肝脏的灌注参数,评价低剂量肝脏 CT 灌注成像(CTPI)的可行性。**方法:**确诊无肝脏疾病的健康志愿者 32 例,随机分为 3 组,常规剂量组(140 mA)、中等剂量组(90 mA)和低剂量组(50 mA)。比较两种兴趣区选择方式下各组所测量的肝脏灌注参数(HBF、HBV、HPI、MTT、PS、HAP 及 PVP)间的差异。**结果:**不同管电流扫描条件下肝脏 CTPI 均获得了较满意的图像质量及灌注参数,不同兴趣区选择方式下各灌注参数值间的差异无显著性意义($P>0.05$)。常规剂量组测量的 HPI 值($t=-2.23, P=0.034$)和低剂量组测量的 MTT 值($t=-2.25, P=0.042$)在不同感兴趣区选择方式间略有差异。常规剂量、中等剂量和低剂量肝脏 CTPI 的有效剂量分别为 19.62 mSv、12.61 mSv 和 7.01 mSv,低剂量 CTPI 较常规剂量减少约 64.27% 的辐射剂量。**结论:**低剂量肝脏 CTPI 可以较常规剂量减少约 2/3 的辐射剂量,同时获得与常规剂量 CTPI 相当的灌注参数结果。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 低剂量; 肝脏; 灌注成像

【中图分类号】 R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2010)03-0316-04

Low Dose CT Perfusion Imaging of Normal Liver WANG Wen-Jing, ZHONG Liang, HUA Xiao-lan, et al. Department of Radiology, Renji Hospital, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200001, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the feasibility of low dose CT perfusion imaging (CTPI) of liver by comparing the normal liver perfusion parameters acquired with different tube currents. **Methods:** The CT perfusion of liver was performed in 32 normal volunteers, which were randomly divided into three groups with different tube currents applied, including conventional dose group (140mA), median dose group (90mA) and low-dose group (50mA). Perfusion parameters including hepatic blood flow (HBF), hepatic blood volume (HBV), hepatic perfusion index (HPI), mean transit time (MTT), permeability surface (PS), hepatic arterial perfusion (HAP) and portal vein perfusion (PVP) with two selected methods of regions of interest (ROI) were compared. **Results:** Relatively satisfied image quality and perfusion parameters of liver CTPI could be acquired with different tube currents. There were no significant differences between the parameters acquired at different corresponding ROI ($P>0.05$). Slight differences were existed between different selected ROIs in HPI of conventional dose group ($t=2.23, P=0.034$) and MTT of low-dose group ($t=-2.25, P=0.042$). The effective dosage of conventional, median and low dose liver CTPI were 19.62mSv, 12.61mSv and 7.01mSv, respectively. The radiation dosage of low dose CTPI reduced for 64.27% as compared with that of conventional group. **Conclusion:** The radiation dosage of low-dose CTPI could be reduced by 2/3 when compared with that of conventional group and the results of perfusion parameters were about the same.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Low-dose; Liver; Perfusion imaging

CT 灌注成像能反映组织器官微循环内的血流动力学变化,是一种快速、准确、无创的功能成像方法。在肝脏方面的应用主要是探讨对肝硬化、肝细胞癌和肝脏转移性肿瘤等疾病的检测及治疗前后的评估^[1]。从单层 CT 到多层 CT,肝脏 CT 灌注成像可覆盖的范围进一步增大,甚至可行全肝灌注成像,但较大的辐射剂量是其最大的缺点,限制了其在临床的广泛应用。本研究旨在通过比较不同管电流扫描情况下正常肝脏的灌注参数,评价低剂量肝脏 CT 灌注成像的可行性。

材料与方法

本院 2008 年 2 月~2008 年 12 月经多层 CT、实验室检查及临床确诊无肝脏疾病的健康成愿者 32 例,男 23 例,女 9 例,年龄 25~65 岁,平均(38.9±11.1)岁。

受检者均空腹禁食水,检查时以腹带固定腹部。使用 GE Brightspeed 16 层螺旋 CT 机,首先行肝脏常规平扫,在平扫图像上选择门静脉主干显示清晰的层面,屏气状态下进行电影模式动态灌注扫描,扫描参数:0.5 s/r, 16i×1.25 mm,层厚 5.0 mm,4 层,120 kV。管电流选择分为 3 组:常规剂量组(140 mA, n=15),中等剂量组(90 mA, n=10)及低剂量组(50 mA, n=7)。对比剂为典必乐(300mgI/ml),总

作者单位:200001 上海,上海交通大学医学院附属仁济医院放射科

作者简介:王文晶(1983-),男,浙江人,硕士,住院医师,主要从事肝脏影像学诊断工作。

通讯作者:钟晓, E-mail: zhong-liang@online.sh.cn

基金项目:上海交通大学医学院重点学科项目资助;上海市重点学科建设项目资助(S30203)

量 50 ml,注射流率 4.0 ml/s,延时 5 s 开始动态扫描,共扫描 50 s,间隔 0.5 s。

获得的图像重建为 10 mm 层厚 2 层图像,传送至 GE AW 4.3 工作站,应用 perfusion3 软件进行分析。获得的肝脏灌注参数包括肝血流量 (hepatic blood flow, HBF)、肝血容量 (hepatic blood value, HBV)、肝动脉灌注指数 (hepatic perfusion index, HPI)、平均通过时间 (mean transit time, MTT) 以及表面通透性 (permeability surface, PS)。同时依据以下 2 个公式:

$$HPI = \frac{HAP}{(HAP + PVP)} \times 100\%$$
 (1)

$$TLP = HAP + PVP$$
 (2)

模拟计算出肝动脉灌注量 (hepatic arterial perfusion, HAP) 及门静脉灌注量 (portal vein perfusion, PVP),其中 TLP 为肝总灌注量 (total liver perfusion, TLP)。

共选取 12 个兴趣区 (图 1):选取门静脉显示最清晰层面,分别在门静脉和腹主动脉设置测量兴趣区 (2~6 个像素);每个层面选取肝脏外缘包膜下 1/3~1/2 肝脏面积的 ROI (记为 ROI_L);在 ROI_L 内沿肝脏外缘水平方向四等分,选取 4 个较小面积类圆形 ROI (记为 ROI_S)。选取 ROI 时,避开肉眼可见的血管。

同时通过 CT 机自带的辐射剂量评估软件,记录不同剂量组扫描时受检者接受的辐射剂量,参数包括容积 CT 剂量指数 (CTDI_{vol}, 单位 mGy) 和剂量长度乘积 (dose length product, DLP, 单位为 mGy·cm)。并利用公式 (3) 计算有效剂量 (E):

$$E = k \times DLP$$
 (3)

其中 E 为有效剂量 (effective dose, E), k 为转换系数,在腹部扫描时为 0.015 mSv/(mGy·cm)。

统计软件使用 SPSS 11.5,单因素方差分析比较不同剂量组间测量的灌注参数有无统计学差异;采用配对 t 检验分析 3 组各自组内不同兴趣区选择方式获得的灌注参数值的差异。P<0.05 为差异有显著性意义, P<0.01 为差异有极显著性意义。

结 果

各剂量组获得的肝脏灌注参数测量结果见图 2、3,表 1、2。

表 1 不同剂量组 ROI_L 肝脏灌注参数测量结果

灌注参数 (ROI _L)	常规剂量	中等剂量	低剂量
HBF[ml/(min·100g)]	100.14±45.09	118.66±96.65	122.37±71.83
HBV(ml/100g)	7.75±2.91	8.45±5.21	9.35±7.72
MTT(s)	7.91±2.32	7.62±2.80	7.17±1.54
HPI(%)	12.15±6.20	16.83±13.31	17.41±9.06
PS[ml/(min·100g)]	23.07±10.59	21.36±20.29	14.22±8.31
HAP[ml/(min·ml)]	0.13±0.10	0.29±0.43	0.25±0.28
PVP[ml/(min·ml)]	0.87±0.37	0.89±0.56	0.97±0.46

表 2 不同剂量组 ROI_S 肝脏灌注参数测量结果

灌注参数 (ROI _S)	常规剂量	中等剂量	低剂量
HBF[ml/(min·100g)]	101.83±42.38	119.63±92.10	121.86±72.03
HBV(ml/100g)	7.79±2.85	8.58±4.78	9.40±7.57
MTT(s)	7.85±2.24	7.60±2.81	7.37±1.60*
HPI(%)	12.84±6.09*	17.35±14.18	17.51±7.66
PS[ml/(min·100g)]	22.85±10.31*	21.27±19.80	13.98±8.04*
HAP[ml/(min·ml)]	0.14±0.10	0.30±0.44	0.25±0.26
PVP[ml/(min·ml)]	0.88±0.34	0.89±0.50	0.97±0.48

注: * P<0.05,差异有统计学意义。

各项灌注参数在 3 组间比较差异无显著性意义 (P>0.05)。而 3 组间两两比较结果显示,ROI_S 的 PS 均值在 140 mA 组与 50 mA 组间差异有统计学意义 (P=0.049),其余各组的灌注参数均值间差异均无显著性意义 (P>0.05)。140 mA 组内 ROI_L 测得的 HPI 较 ROI_S 测得的 HPI 均值略低,差异有显著性意

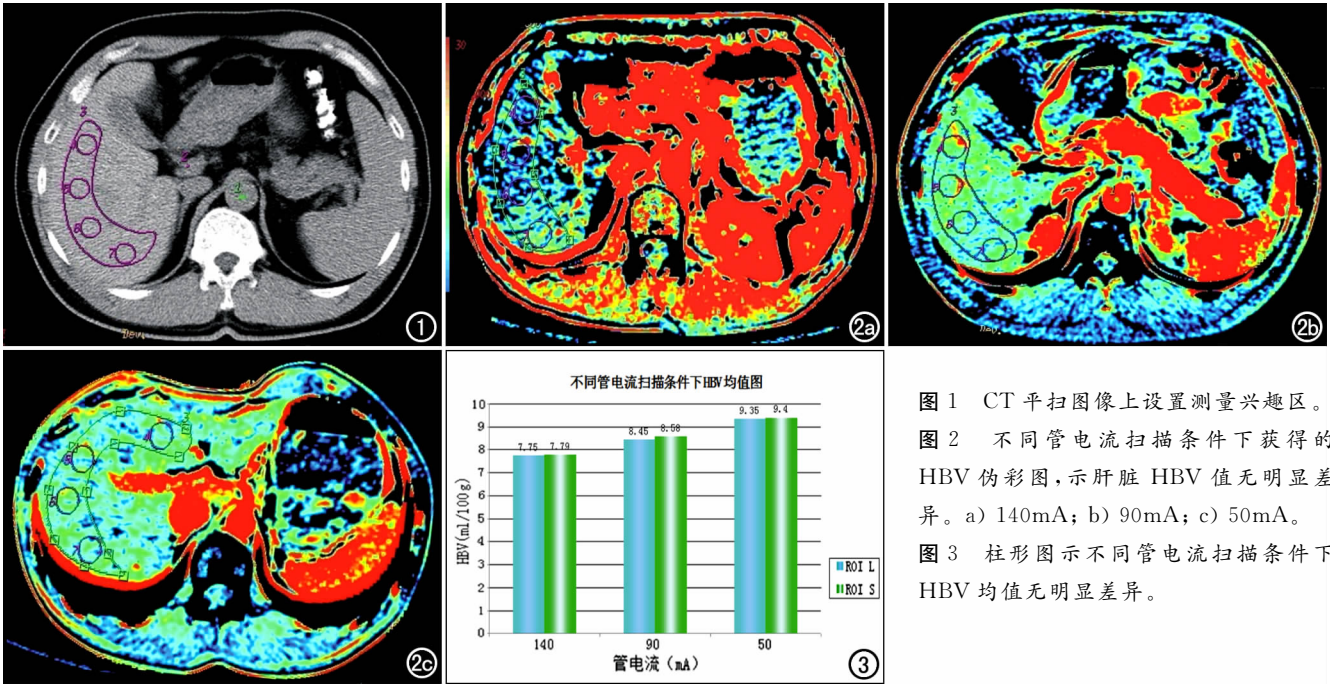


图 1 CT 平扫图像上设置测量兴趣区。图 2 不同管电流扫描条件下获得的 HBV 伪彩图,示肝脏 HBV 值无明显差异。a) 140mA; b) 90mA; c) 50mA。图 3 柱形图示不同管电流扫描条件下 HBV 均值无明显差异。

义($t = -2.23, P = 0.034$), 50 mA 组内 ROIL 测得的 MTT 较 ROI_s 测得的 MTT 均值略小, 差异有显著性意义($t = -2.25, P = 0.042$), 其余各剂量组内不同兴趣区选择方式测得的灌注参数值差异无显著性意义($P > 0.05$)。

不同剂量组患者接受的辐射剂量见表 3。低剂量 CT 灌注成像较常规剂量组减少了 64.27% 的辐射剂量。

表 3 不同管电流肝脏 CTPI 的辐射剂量

组别	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy·cm)	E (mSv)
常规剂量(140mA)	654.03	1308.05	19.62
中等剂量(90mA)	420.45	840.89	12.61
低剂量(50mA)	233.58	467.16	7.01

讨 论

1991 年 Miles 等^[2]结合快速 CT 扫描及计算机图像处理系统, 获得评价血流灌注情况的伪彩图, 首次提出了 CT 灌注的概念, 肝脏的肝动脉和门脉双重血供使其灌注计算较其它脏器复杂, 可获得的参数多于其它器官, 包括 HBF、HBV、HPI、MTT、PS、HAP 及 PVP。肝脏 CTPI 的数学计算模型可分为两大类: 非去卷积模型(non-deconvolution)和去卷积模型(deconvolution)。本研究应用的 perfusion3 软件采用去卷积模型。

各文献报道的正常肝脏灌注参数的差异较大, 可能与其所选择的人群、病例数以及数学计算模型选择的不同有关。Blomley 等^[3]和 Weidekamm 等^[4]应用了改进后的 PVP 计算方法, 去除了其时间-密度曲线中的动脉部分。Tsushima 等^[5-7]在 3 次研究中分别应用了改进前后两种非去卷积计算方法。改进后计算所得的 PVP 值较改进前更接近生理范围。周作福等^[8]和 Hashimoto 等^[9]应用去卷积模型计算肝脏灌注参数, 获得的参数比较接近。同时, 周作福等^[8]获得的肝动脉与门静脉供血比, 较之非去卷积法模型计算所得更接近 1/4 的生理范围。

本研究选取不同管电流进行肝脏 CTPI, 常规肝脏扫描时管电流多选择 120~240 mA, 故本研究中常规剂量组选择 140 mA, 尽可能减少受检者的辐射剂量。低剂量腹部 CT 扫描的较低管电流参数可以达到 30 mA^[10], 用于怀疑泌尿系统结石患者的检查。在低剂量 CT 结肠镜检查中, 应用 25~75 mA 的管电流^[11], 本研究取其均值, 即 50 mA 为低剂量组管电流参数。而中等剂量组取 90 mA。

应用不同的管电流条件测定正常肝脏灌注参数, 结合不同的兴趣区选取方法, 获得的 3 组肝脏灌注参数间差异无显著性意义($P > 0.05$)。HBF、HPI、HAP

及 PVP 测量结果均与周作福等^[8]和 Hashimoto 等^[9]的实验结果相近, 而 HBV 及 MTT 则较低, 考虑可能与例数、不同人群的代谢率相关。

三组间相应灌注参数(HBF、HBV、MTT、HPI、HAP 及 PVP)均值间两两比较, 差异无显著性意义(P 值均 > 0.05)。而常规剂量组的 ROIS 测得的 PS 均值高于低剂量组($P = 0.049$), 但常规剂量组与中等剂量组、中等剂量组与低剂量组 ROIS 测得的 PS 均值间无显著差异, 且 3 组 ROI_L 获得的 PS 均值间两两比较无明显差异。可能因为 ROI_s 相对于 ROI_L 较小, 包含过少的信息量, 使某些测量结果有一定误差, 导致了常规剂量组与低剂量组间 ROI_s 测得 PS 均值间的差异。同时, Miles^[12,13]指出对比剂注射约 2min 后在血管内外达成平衡, 此时用慢速扫描获得的图像来评定表面通透性较准确。但如果将扫描总时间延长至 2 分钟, 意味着要大大增加对比剂用量及辐射剂量, 且如此长时间的屏气也较困难, 难以实际运用。

常规剂量组内的 HPI 和低剂量组内的 MTT 在两种兴趣区选取方法下测量结果存在一定差异。考虑兴趣区选取时不可避免的人为主观因素及随机性可能对结果造成影响。虽然避开了肉眼可见的血管, 但局部组织内微血管分布情况会导致灌注参数的差异。另外, 由于屏气时间较长, 患者的不自主呼吸导致的不同层面内图像飘移也可能是影响软件计算结果的原因之一。因此, 在避开肉眼可见的血管同时, 尽可能选取较大面积的感兴趣区, 可以获得组织的平均灌注情况。

CT 灌注成像的辐射剂量始终是限制其发展的一大问题, 随着 CT 机型的发展, CT 灌注成像的覆盖范围增大进一步增加了患者接受的辐射剂量。CT 扫描条件中, 决定剂量的两个重要条件是管电压和管电流。Schindera 等^[14]应用减低管电压并升高管电流的方式, 可以在减少辐射剂量的同时, 获得较高质量的图像。但由于管电压的降低会导致组织器官 CT 值的改变^[15,16], 从而影响灌注参数计算的准确性。而管电流的变化不会影响 CT 值, 所以本研究采用降低管电流的方法来减少辐射剂量。

CT 剂量指数(computed tomography dose index, CTDI)是 CT 设备辐射剂量特性的实用表征量^[17]。随着多层螺旋 CT 的普及, 现在较多应用的是容积 CT 剂量指数(CTDI_{vol}), 描述其在整个扫描容积范围内的平均辐射剂量, 与吸收剂量有相同的量纲, 通常以毫戈瑞(mGy)为单位。而 CT 扫描的长度影响其所致受检者辐射剂量, 剂量长度乘积(dose length product, DLP)能够更好地评价 CT 扫描的电离辐射风险。

当需要比较不同类型放射学检查所致受检者的相对电离辐射风险, 并且考虑到身体不同组织或器官的

不同辐射敏感性时,需采用以希沃特(sivert, Sv)为单位的有效剂量(effective dose, E)来表征。评估有效剂量一种比较简单的方法是利用公式(3):

$$E = k \cdot DLP \quad (3)$$

式中转换系数 k 与受检者身体的不同部位有关,参考欧盟委员会 CT 质量标准指南,腹部扫描时 $k = 0.015 \text{ mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})$ 。

本研究应用不同管电流行肝脏 CT 灌注成像,中等剂量组和低剂量组的有效剂量分别比常规剂量组减少了 35.72% 和 64.27%。与同类型 CT 行常规上腹部平扫时如扫描参数为 0.8 s/r,准直 16 排 $\times 1.25$,层厚 10 mm $\times 25$ 层,管电压 120 kV,管电流 250 mA,床速 27.5 mm/r,螺距为 1.375, $E = 5.72 \text{ mSv}$,低剂量组的有效辐射剂量已相当接近常规上腹部平扫,显著减少了患者所接受的辐射剂量。

本研究尚有一定局限性,16 层螺旋 CT 的灌注成像时覆盖范围仅 2 cm,无法对全肝灌注情况进行评估,尚需 64 层或 128 层等更大覆盖范围的螺旋 CT 作进一步研究。

低剂量肝脏灌注成像可以较常规剂量减少约 2/3 的辐射剂量,同时获得与常规剂量 CTPI 相同的灌注参数结果。不同的兴趣区选择方式会影响灌注参数结果,需要在避开肉眼可见血管的情况下尽可能选取较大面积的兴趣区。随着多层螺旋 CT 的不断开发应用,已经能够实现全肝 CT 灌注成像,在解决了辐射剂量问题后,CT 灌注成像的发展将得到进一步提高。

参考文献:

- [1] Pandharipande PV, Krinsky GA, Rusinek H, et al. Perfusion imaging of the liver: current challenges and future goals[J]. Radiology, 2005, 234(3): 661-673.
- [2] Miles KA, Hayball MP, Dixon AK. Colour perfusion imaging: a new application of computed tomography[J]. Lancet, 1991, 337(8742): 643-645.
- [3] Blomley MJ, Coulden R, Dawson P, et al. Liver perfusion studied with ultrafast CT[J]. J Comput Assist Tomogr, 1995, 19(3): 424-433.
- [4] Weidekamm C, Cejna M, Kramer L, et al. Effects of TIPS on liver perfusion measured by dynamic CT[J]. AJR, 2005, 184(2): 505-

510.

- [5] Tsushima Y, Unno Y, Koizumi J, et al. Measurement of human hepatic and splenic perfusion using dynamic computed tomography: A preliminary report [J]. Comput Meth Prog Biomed, 1998, 57(1): 143-146.
- [6] Tsushima Y, Blomley MJ, Yokotama H, et al. Does the presence of distant and local malignancy alter parenchymal perfusion in apparently disease-free areas of the liver? [J]. Dig Dis Sci, 2001, 46(10): 2113-2119.
- [7] Tsushima Y, Blomley JK, Kusano S, et al. The portal component of hepatic perfusion measured by dynamic CT: an indicator of hepatic parenchymal damage [J]. Dig Dis Sci, 1999, 44(8): 1632-1638.
- [8] 周作福, 黄洪磊, 徐彪, 等. CT 灌注扫描在肝肿瘤的临床应用[J]. 临床放射学杂志, 2006, 25(3): 233-237.
- [9] Hashimoto K, Murakami T, Dono K, et al. Assessment of the severity of liver disease and fibrotic change: the usefulness of hepatic CT perfusion imaging[J]. Oncol Rep, 2006, 16(4): 677-683.
- [10] Poletti PA, Platon A, Rutschmann OT, et al. Low-dose versus standard-dose CT protocol in patients with clinically suspected renal colic[J]. AJR, 2007, 188(4): 927-933.
- [11] Kim HD, Pickhardt PJ, Taylor AJ, et al. CT colonography versus colonoscopy for the detection of advanced noplusia[J]. N Engl J Med, 2007, 357(14): 1403-1412.
- [12] Miles KA. Perfusion CT for the assessment of tumour vascularity: which protocol? [J]. Br J Radiol, 2003, 76(suppl 1): S36-S42.
- [13] Miles KA. Functional computed tomography in oncology[J]. Eur J Cancer, 2002, 38(16): 2079-2084.
- [14] Schindera ST, Nelson RC, Mukundan S, Jr, et al. Hypervascular liver tumors: low tube voltage, high tube current multi-detector row CT for enhanced detection-phantom study[J]. Radiology, 2007, 246(1): 125-132.
- [15] 彭永伦, 郭洪涛, 张莹, 等. CT 扫描条件对 CT 值和辐射剂量指数的影响[J]. 中国计量, 2007, 5(1): 62-63.
- [16] Nakayama Y, Awai K, Funama Y, et al. Abdominal CT with low tube voltage: preliminary observations about radiation dose, contrast enhancement, image quality, and noise[J]. Radiology, 2005, 237(3): 945-951.
- [17] 郑钧正. X 射线 CT 的辐射剂量表达述评[J]. 世界医疗器械, 2007, 13(11): 53-56.

(收稿日期: 2009-05-19)