论著

文章编号:1000-5404(2013)08-0796-05

320排CT上腹部一站式检查在肝癌TACE治疗中的价值

张晓宇,罗小平,罗银灯,倪卫国,彭 睿 (400010 重庆,重庆医科大学附属第二医院放射科)

[摘要] **目的** 探寻320排CT上腹部一站式检查在肝癌经动脉插管化疗栓塞(transcatheter arterial chemoembolization,TACE)治疗中的临床应用价值。**方法** 收集30例肝癌患者TACE术前行320排CT上腹部灌注扫描病例,分析全肝灌注情况,与TACE术中数字减影血管造影(digital subtraction angiography,DSA)图像对比了解其血管成像能力,术后随访病灶灌注情况并与术前对比分析。对320排灌注容积扫描行辐射剂量分析。**结果** TACE术前肝癌组织肝动脉灌注量(hepatic arterial perfusion,HAP)、门静脉灌注量(portal vein perfusion,PVP)及肝动脉灌注指数(hepatic arterial perfusion index,HAPI)与非癌组织相比,差异有统计学意义($P<0.05$);术后肿瘤坏死组织无血流灌注;肿瘤活性组织的HAP、PVP较术前升高,HAPI则下降,较术后非癌组织其HAP及HAPI升高,而PVP则明显降低,差异有统计学意义($P<0.05$)。30次扫描中均能获得满意上腹部CT血管成像(computer tomography angiography,CTA)图像;对1~4级肝动脉CTA与DSA对比显示,差异无统计学意义($P>0.05$),5级及以上肝动脉CTA与DSA比较,差异有统计学意义($P<0.01$)。剂量对比发现低参数(100 kV、100 mA)灌注扫描较常规上腹部增强扫描辐射剂量低,稍高参数灌注扫描方案(100 kV、200 mA)辐射剂量仅轻度增高。**结论** 320排CT上腹部一站式检查能很好地显示全肝灌注情况,尤其是肝癌组织的异常灌注情况及术后活性灶,血管成像能够从三维角度显示肝动脉及肿瘤滋养动脉,对TACE术前评估、术中操作及术后随访都具有重要的指导意义。

[关键词] 肝细胞癌;CT灌注;数字减影血管造影;栓塞;血管成像

[中图法分类号] R730.53;R735.7;R814.42 [文献标志码] A

Value of 320-row CT upper abdominal one-stop examination in transcatheter arterial chemoembolization treatment for hepatocellular carcinoma

Zhang Xiaoyu, Luo Xiaoping, Luo Yindeng, Ni Weiguo, Peng Rui (Department of Radiology, Second Affiliated Hospital, Chongqing Medical University, Chongqing, 400010, China)

[**Abstract**] **Objective** To explore the clinical value of 320-row CT upper abdominal one-stop examination in transcatheter arterial chemoembolization (TACE) treatment for hepatocellular carcinoma (HCC). **Methods** Totally 30 patients with HCC underwent upper abdominal perfusion scanning with 320-row CT before TACE. The whole liver perfusion was analyzed, and the angiography capability of 320-row CT scan was compared with that of digital subtraction angiography (DSA) in TACE. Cancer tissue perfusion was followed up after operation and was compared with that before operation. The radiation doses of 320-row CT perfusion scan were also analyzed. **Results** There were significant differences in hepatic arterial perfusion (HAP), portal vein perfusion (PVP) and hepatic arterial perfusion index (HAPI) between cancer tissues and non-cancerous tissues before TACE ($P<0.05$). Cancer necrotic tissues had no blood perfusion after TACE. Higher HAP and PVP and lower HAPI were observed in active cancer tissues after operation as compared with those before operation, while higher HAP and HAPI and lower PVP were observed in active cancer tissues as compared with the non-cancerous tissues after operation. Those differences were statistically significant. Satisfactory upper abdominal computer tomography angiography (CTA) images were obtained in all the 30 scans. The comparison between 1 – 4 grade hepatic artery CTA and DSA had no significant difference

[通信作者] 罗小平,E-mail:luoxiaoping123@126.com

[优先出版] http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1095.R.20130305.1420.011.html(2013-03-05)

($P>0.05$), while the comparison between 5 or more than 5 grade CTA and DSA confirmed significant difference ($P<0.01$). Perfusion scan with lower parameter (100 kV, 100 mA) had lower radiation dose than the conventional upper abdomen enhanced scan did, while that with higher parameter (100 kV, 200 mA) only had slightly higher radiation dose. **Conclusion** 320-row CT upper abdominal one-stop examination can display the whole liver perfusion well, especially the abnormal perfusion of hepatocellular carcinoma tissues and postoperative active tissues. Angiography can display the hepatic arteries and nutrient arteries of tumors from three dimensions, and has important guiding significance in preoperative evaluation, surgery operation and postoperative follow up of TACE.

[**Key words**] hepatocellular carcinoma; CT perfusion; digital subtraction angiography; embolization; angiography

Corresponding author: Luo Xiaoping, E-mail: luoxiaoping123@126.com

肝癌经动脉插管化疗栓塞(transcatheter arterial chemoembolization,TACE)作为不能切除的原发性肝癌首选治疗方式[1-2],其疗效如何得到进一步提高是当下研究的热点。其中术前对病灶的评估、术后随访显得尤为重要。320排CT独有的容积灌注扫描方式不仅能分析整个肝脏的灌注情况,还能获得上腹部血管三维图像,结合容积再现(volume rendering,VR)、最大密度投影(maximum intensity projection,MIP)及多平面重建(multiplanar reformation ,MPR)后处理技术能更进一步对上腹部血管乃至肝癌滋养血管进行分析,故一次扫描能够真正实现对上腹部的"一站式"检查[3]。现将30例上腹部"一站式"检查中全肝灌注及血管成像情况与TACE术中DSA图像对比,分析前者临床应用价值,具体报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集2012年4-10月30例拟行TACE治疗的原发性肝癌患者行上腹部灌注扫描,并于术后6周左右再行灌注扫描分析。其中男性24例,女性6例,年龄36~58岁,平均48.6岁。纳入标准为:年龄<70岁,生命体征平稳;根据临床表现及辅助检查诊断为原发性肝癌;肝功能Child-Pugh分级A级或B级;无肝动脉-门静脉瘘形成;无其他合并症;无对比剂过敏史。所有患者均获得知情同意。

1.2 方法

1.2.1 上腹部灌注扫描 使用320排CT灌注扫描方式。行碘过敏实验,扫描前禁食4~6 h。于肘前静脉内置18 G留置针管,采用双筒高压注射器依次静脉注射非离子型对比剂(碘普罗胺,50~70 mL,6~8 mL/s)和生理盐水(20 mL,6~8 mL/s)。时间序列为:10~30 s间隔2 s扫描,曝光11次;33~51 s间隔3 s扫描,曝光7次;56~76 s间隔5 s扫描,曝光5次。所有图像为容积扫描,扫描参数100 kV,100 mA(200 mA),球管旋转1周0.5 s,层厚0.5 mm,扫描覆盖范围16 cm。共扫描23次,产生23个动态容积数据,每个容积数据产生320幅图像,每次上腹部灌注检查共获得7 360幅图像。

1.2.2 介入方案 采用seldinger技术穿刺股动脉,以5 F RH导管选择性插管至腹腔干动脉、肝总动脉及膈下动脉等行DSA检查,再以2.7 F SP微导管超选择性插管至可疑肿瘤滋养动脉,依据DSA检查结果判定肿瘤血管及肿瘤染色。对比剂(碘帕醇,370 mg/mL)以高压注射器注入,注入对比剂总量及速度依据目标血管大小确定:注射量2~24 mL、流速0.5~6 mL/s。DSA检查均在肝脏灌注扫描后1周内进行。

1.2.3 数据处理分析

1.2.3.1 体部灌注分析 将23个容积数据导入体部灌注分析程序,标记腹主动脉、门静脉主干、肝脏实质和脾脏实质,生成相应的时间密度曲线(time-density curve,TDC)。通过灌注分析生成全肝灌注三维伪彩图。避开大血管及脏器边缘,TACE术前选取非癌组织(距离病灶2~5 cm)、肝癌组织为感兴趣区(regions of interest,ROI),TACE术后根据碘油沉积情况分别选取病灶碘油沉积密实区、碘油沉积缺损或稀疏区及非癌组织(距离病灶2~5 cm)为感兴趣区,测量相应HAP、PVP及HAPI值,ROI应尽可能大。为减少误差,对于每个感兴趣区分别选取3个不同点(包括轴位、矢状位及冠状位)进行测量,平均值为最终测量结果。

1.2.3.2 重建横断图像 通过软件后处理重建所需期相横断位图像,层厚5 mm,间距5 mm。

1.2.3.3 CTA图像重建 选取肝动脉、门静脉最佳时期容积数据进行图像重组。通过工作站自带后处理软件利用VR、MIP及MPR进行图像后处理。

1.2.3.4 辐射剂量分析 选取16例常规上腹部CT平扫+增强病例,统计其辐射剂量并于灌注扫描方式辐射剂量对比分析。

1.2.4 资料分析和处理 由1名副主任医师、2名主治医师评价重建轴位图像质量、肿瘤灌注异常及灌注扫描三维血管成像能力,并与TACE术中DSA造影结果对比分析、评价;对比分析320排CT灌注扫描辐射剂量。

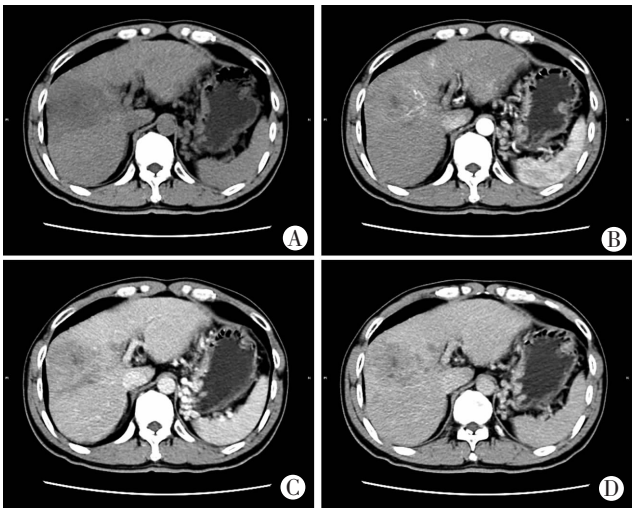
1.3 统计学处理

数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示，采用 SPSS 19.0 软件分析数据。分别对术前、术后肝癌组织灌注值，介入术前肝癌及非癌组织灌注值，介入术后肝癌及非癌组织灌注值对比进行配对 t 检验，灌注扫描及常规上腹部 CT 平扫+增强扫描辐射剂量对比行 U 检验。采用确切概率法比较 CTA 与 DSA 对上腹部三维血管的显示情况。

2 结果

2.1 CT 灌注成像(CT perfusion imaging，CTPI)重建轴位图像质量分析

30 例患者行上腹部灌注扫描，通过后处理重建技术均能够获得满意轴位图像。采用视觉分析方法将其与常规上腹部平扫+增强图像质量对比，结果 CTPI 重建轴位图像的图像均匀度、空间分辨率显示较好，对比度分辨率稍降低，图像噪声稍增大，但仍能够满足日常诊断要求。见图 1。



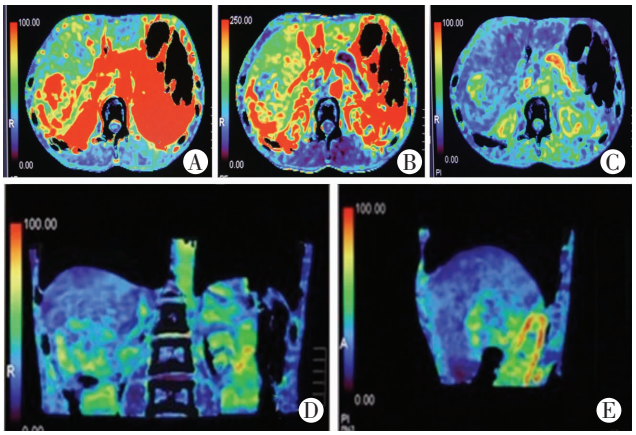
A：重建平扫轴位图像；B：重建动脉期图像；C：重建门脉期图像；D：重建延迟期图像

图 1 320 排 CT 灌注扫描病灶所在层面重建轴位平扫+增强 3 期表现

2.2 肿瘤灌注情况

2.2.1 介入术前肿瘤灌注情况 共 30 例患者于介入术前成功进行了灌注扫描。30 例患者肿瘤组织均表现为高肝动脉灌注，其中 9 例表现为均匀高灌注，21 例为不均匀高灌注。灌注伪彩图见图 2。肝癌组织与非癌组织灌注值对比分析，发现肝癌组织 HAP、PVP 及 HAPI 与非癌组织的差异有统计学意义($P<0.05$)。前者的 HAP 和 HAPI 较后者明显升高，而 PVP 则明显降低。见表 1。

2.2.2 肝癌介入术后灌注情况 术后 6 周左右 30 例患者再行上腹部灌注扫描。其中有 9 例病灶内碘油沉积密实，表现为碘油均匀一致的沉积于肿瘤内，边缘光整，沉积密实，沉积量达 95% 以上，对应灌注彩图上表现为无血流灌注；其余病例主要表现为碘油沉积有部分缺失或局部碘油沉积稀疏，这些区域对应灌注彩图上表现为明显高灌注，与术前相比，其 HAP、PVP 较术前均有所升高，HAPI 则有所下降($P<0.05$)；与术后非癌组织相比，其 HAP 及 HAPI 明显升高，而 PVP 则明显降低($P<0.05$)，见表 2。



A：肝动脉灌注轴位图，右肝后下部肿瘤区见团片状不均匀异常高灌注区，表现为红色和黄色；B：A 图相应层面门静脉灌注轴位图，相应区域见团片状不均匀异常低灌注区，表现为蓝色；C：A 图相应层面肝动脉灌注指数轴位图，相应区域见团片状不均匀异常稍高灌注区，表现为绿色和黄色；D、E：分别为病灶所在层面肝动脉灌注指数冠状位及矢状位图，右肝后下部见团块状不均匀异常稍高灌注区，表现为绿色和黄色

图 2 320 排 CT 上腹部灌注扫描三维灌注伪彩图

表 1 肝癌组织与非癌组织灌注参数值对比($n=30, \bar{x} \pm s$)

组织	HAP [mL/(min·100 mL)]	PVP [mL/(min·100 mL)]	HAPI (%)
肝癌组织	123.03±34.16	67.77±29.71	61.38±10.52
非癌组织	62.20±16.50	138.13±33.23	29.97±6.32
P	0.000	0.000	0.000

表 2 术前、术后肝癌及术后非癌组织灌注参数值($n=30, \bar{x} \pm s$)

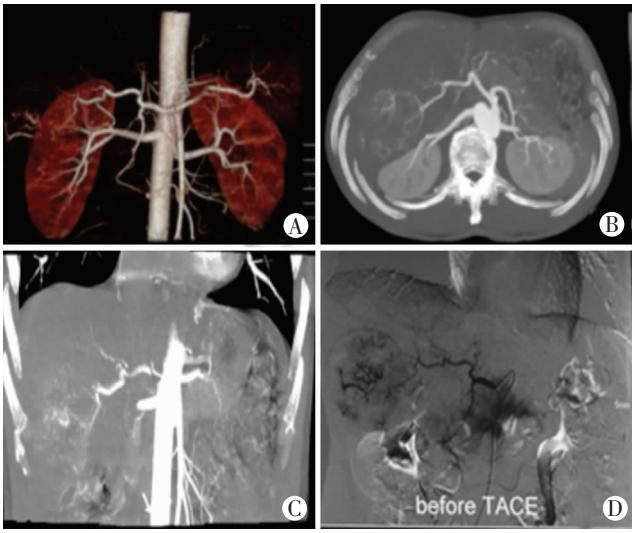
组织	HAP [mL/(min·100 mL)]	PVP [mL/(min·100 mL)]	HAPI (%)
术前肿瘤组织	123.03±34.16	67.77±29.71	61.38±10.52
术后组织 1	0	0	0
术后组织 2	135.16±54.77[a]	101.84±71.53[a]	52.38±16.49[a]
术后非癌组织	60.29±17.73[b]	140.07±39.36[b]	29.08±8.04[b]

术后组织 1：病灶碘油沉积密实区组织；术后组织 2：病灶碘油沉积缺损或稀疏区组织；a：$P<0.05$，与术前肿瘤组织比较；b：$P<0.05$，与术后组织 2 比较

2.3 上腹部三维血管成像

30 次扫描中获得满意 CTA 图像(图 3)，将最佳纯动脉期及最佳门脉期图像，采用 VR、MIP 及 MPR 技术显示，通过 1 名副主任医师、2 名主治医师综合评价三维血管显示情况。其中以肝固有动脉为 1 级肝动脉，VR、MIP 及 MPR 中任何一种显像方式能够显示，即计为 CTA 显像。结果 30 次扫描均能显示肝动脉 1～3 级血管，显示率为 100%，其中 28 次扫描能够显示肝动脉 4 级血管，显示率约 93.3%，仅 11 次扫描显示肝动脉 5 级及 5 级以上血管，显示率约 36.7%。对 1～4 级肝动脉 CTA 与

DSA对比无明显差异($P=0.492$),5级及5级以上肝动脉(包括新生肿瘤血管)CTA与DSA有明显差异($P<0.01$)。另门静脉主干及其肝内3级以下分支均可显示,但对3级以上分支显示欠佳,其中发现脾胃分流16例,胃肾分流2例。通过统计,实验中最佳动脉成像时间为18~22 s,门静脉最佳成像时间为30~36 s。



A~C:上腹部血管三维重建图、VR及MIP图,可见右肝后下段增粗、紊乱肿瘤血管影,呈"抱球征",肿瘤滋养血管考虑为肝A6段动脉及亚段分支;D:同一患者TACE术中肝总动脉造影

图3 320排CT灌注扫描上腹部血管三维重建及DSA术中造影表现

2.4 辐射剂量

本实验先后用2种扫描参数灌注1(100 kV、100 mA)及灌注2(100 kV、200 mA),前者可获得满意的三维灌注彩图,但CTA显示不佳,后改用灌注2方式可获得满意图像。统计两者辐射剂量DLP(dose-length product),根据腹部权重因子0.015计算有效剂量ED(effective dose,单位mSv),结果发现灌注1与灌注2两种扫描方式与常规上腹部CT平扫+增强扫描对比,差异均有统计学意义($P<0.05$),且前者较常规扫描剂量低,后者仅轻度升高。常规上腹部平扫+增强扫描范围上至膈顶,下至双肾下极。结果见表3。

表3 常规CT平扫+增强扫描与灌注扫描辐射剂量对比($n=16, \bar{x}\pm s$)

扫描方式	DLP(mGy·cm)	ED(mSv)
常规CT平扫+增强	2 172.56±196.65	32.58±2.95
灌注1	1 128.10±0.00[a]	16.92±0.00
灌注2	2 256.30±0.00[a]	33.84±0.00

a:$P<0.05$,与常规CT平扫+增强比较

3 讨论

3.1 320排CT上腹部CTPI的临床意义

320排CT灌注扫描,采用的是动态容积扫描方式,一次扫描完成后能获得连续的23组容积数据,即23期图像。选定输入及输出血管,生成相应的TDC图像,采用最大斜率法计算继而获得整个上腹部的灌注情况。与之前的CT及扫描方式比较,320排CT上腹部CTPI不仅能够获得与常规上腹部增强扫描图像质量相近的各期轴位图像,满足了日常诊断要求,由于其探测器Z轴覆盖范围较广(16 cm),还能够获得全肝的整体灌注情况,摆脱了以往仅能分析病灶所在几个层面灌注情况的局限;此外,扫描一次还能获得上腹部血管成像,体现出"一站式"检查的优势。

3.1.1 CTPI重建轴位图像分析 320排CT上腹部灌注扫描所获得原始容积数据通过重建轴位图像(层厚5 mm,层距5 mm),能够得到常规上腹部平扫及增强所需各期图像。常规CT图像质量分析指标主要有图像均匀度、空间分辨率、时间分辨率、噪声、CT值线性度、扫描的层厚、扫描电流和电压等[4]。在与常规上腹部增强图像比较中,本实验CTPI重建轴位图像的图像均匀度、空间分辨率显示较好,对比度分辨率与常规相比稍有逊色,主要表现为图像噪声稍增大,但对常规诊断无明显影响。此外,还能通过多平面重建技术在TACE术前从三维角度观察病灶的大小、范围等,且CTPI的三维灌注彩图比前者在显示病灶方面更直观、具体、清晰。

在常规上腹部增强扫描中,选择合适的注药后扫描时间对不同病灶的显示非常重要[5-6]。病灶增强后与周围正常组织的对比显示情况往往取决其血供情况及病理类型,大部分病灶通过已经设定好的平扫及增强各期扫描时间能够清晰显示,但仍有少数患者自身血液循环以及病灶血供情况较为特殊,常规设定的扫描时间无法捕捉到病灶最佳显示情况,而CTPI灌注扫描方式可以彻底解决这一困难——通过测定病灶TDC曲线就能获得其显示最佳时间。

3.1.2 CTPI灌注分析 之前的CT灌注分析仅局限于病灶所在的几个层面[7-8],无法分析病灶整体、全肝的灌注情况,320排CT灌注扫描获得的是上腹部的整体灌注情况,与以往的灌注分析方法相比更真实、全面,统计术前肝癌组织与非癌组织的灌注值,发现两者的灌注值差异有统计学意义,前者的HAP及HAPI较后者明显升高,而PVP则较之明显降低,表明肝癌组织的肝动脉灌注量明显增多,对应的门静脉灌注量则相对减少,这与原发性肝癌主要为肝动脉供血的病理基础相符合。

随访术后肿瘤灌注变化情况,发现碘油沉积密实区肿瘤组织无血流灌注,提示该区域栓塞完全,治疗效果好。碘油缺损或稀疏区肿瘤组织相对于背景非癌肝组织为明显高灌注,表现为HAP明显升高,PVP相对降低,提示该区域栓塞不完全,可能存在残存肿瘤活性

组织,可行进一步的介入治疗。这与王建平等[9]认为的TACE术后碘油沉积不良区域可能存在肿瘤活性灶相符合。此外与术前相比残存肿瘤组织的HAP及PVP均有所升高,而HAPI则有所降低,表明栓塞后残存的肿瘤活性组织肝动脉及门静脉灌注量较术前均有所升高,尤以后者明显。陈昆涛等[10]认为TACE术后局部肿瘤生长造成氧和营养成分需求量的增加,导致癌组织内缺血缺氧,从而引起VEGF的高表达和局部肿瘤微血管的增多,而CTPI可以间接反映肿瘤血管化的程度。我们认为本实验中术后的肿瘤活性组织HAP及PVP较术前均有所升高正是体现了这一点,且由于手术时栓塞了肝动脉,因此造成术后整个区域的门静脉血流量代偿性升高,故PVP升高更明显。

因此,320排CT上腹部灌注成像不仅能够在术前显示出肝癌组织的异常灌注,在术后的随访中还能提示肿瘤是否存在残存的活性组织,对进一步的手术治疗具有重要的意义。

3.1.3 CTPI血管成像 320排CT上腹部灌注扫描的另一个突出优势体现在血管成像能力上。由于采用动态连续扫描方式,可以获得腹主动脉及其属支、门静脉及肝静脉的最佳显像时间,避免了采用经验时间扫描带来的误差[11-12]。通过后处理软件技术,综合VR、MIP及MPR技术[13-14],从多种显像方式上观察上腹部血管三维显示情况,并可进一步评估病灶滋养血管的起源、走形、变异等。本实验中320排CT容积灌注扫描CTA能够清晰显示肝动脉4级及以下分支的血管,但对末梢血管显示欠佳;对富血供的肝癌组织,能够清晰显示出肝癌组织供血动脉(包括动脉增粗、迂曲、被推挤、拉伸、包绕等)、新生肿瘤血管、肿瘤染色等情况,且其三维显示能力优于DSA。因此,能够为介入手术术前评估提供重要信息,尤其是对于病灶存在多支滋养动脉或存在迷走肝动脉、副肝动脉的情况。

3.2 上腹部CTPI的剂量分析

考虑到扫描次数较多,为减少辐射剂量,早期设计扫描参数为100 mA、100 kV,能够获得满意灌注图像,但三维血管显示欠佳,后改扫描参数为200 mA、100 kV,能够获得满意的三维血管图像。统计两者辐射剂量时发现,由于CTPI扫描范围仅16 cm,扫描电流及电压均较低,即使扫描次数较多,当扫描参数为100 mA、100 kV时,其辐射剂量仍明显低于常规上腹部平扫+增强扫描,而扫描参数为200 mA、100 kV时仅轻度增高。

尽管320排CT上腹部灌注扫描具有较多优势与特点,但仍有不足之处。如其探测器Z轴虽能覆盖16 cm,但对于一些肝脏较大的患者,仍无法将肝脏完全覆盖,且对上腹部血管的上下显示范围较常规上腹部CTA窄;此外,其灌注分析参数较少,扫描所得数据较多,后处理所需时间较长等因素是目前该项技术的缺陷,也是未来需要进一步解决的问题。

综上,320排CT灌注扫描采用动态容积扫描方式,一次扫描可以获得整个上腹部的多种信息,既满足了患者常规诊断要求,通过后处理技术还能够获得上腹部三维血管成像,能够对上腹部血管及病灶滋养血管进一步评估,避免了患者二次检查,真正体现了"一站式"检查的意义,在介入术前病情评估、指导介入手术操作及术后随访都具有重要的临床意义。

参考文献:

[1] 谢波, 张阳. 原发性肝癌的介入治疗进展[J]. 中华全科医学, 2010, 8(3): 354-356.

[2] Cabibbo G, Latteri F, Antonucci M, *et al*. Multimodal approaches to the treatment of hepatocellular carcinoma[J]. Nat Clin Pract Gastroenterol Hepatol, 2009, 6(3): 159-169.

[3] 杜飞舟, 顾明, 关静, 等. 320排容积CT上腹部一站式检查初步探讨[J]. 临床放射学杂志, 2011, 30(8): 1206-1210.

[4] 刘明娜, 王谦, 杨新, 等. 图像质量客观评价方法在CT图像中的应用[J]. 生物医学工程学杂志, 2011, 28(2): 357-364.

[5] 桑银保, 焦勤书. 肝癌CT三期扫描与DSA图像对比[J]. 当代医学, 2011, 17(5): 47-48.

[6] 林吉, 罗娅红, 康鹏. 肝癌的多层螺旋CT增强扫描技术[J]. 当代医学, 2009,15(4): 1-2.

[7] 杨林. CT灌注成像的原理及其在原发性肝癌的应用[J]. 川北医学院学报, 2008, 23(3): 215-218.

[8] Stewart E E, Chen X, Hadway J, *et al*. Correlation between hepatic tumor blood flow and glucose utilization in a rabbit liver tumor model [J]. Radiology, 2006, 239(3): 740-750.

[9] 王建平, 侯鲁强, 刘军伟, 等. 肝癌碘油栓塞后碘油沉积量与疗效的相关性[J]. 实用医药杂志, 2008, 25(3): 308.

[10] 陈昆涛, 何健垣, 郭瑞珍. 肝癌化疗栓塞前后CT灌注特征与肿瘤血管生成相关性的实验研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2007, 18(8): 591-593.

[11] 方红, 宋云龙, 毕永民, 等. 多层螺旋CT肝血管多期成像最佳时相方法选择[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(12): 1303-1306.

[12] 李勇, 黄穗乔, 张嵘, 等. 64层螺旋CT肝脏血管成像时间的探讨[J]. 中山大学学报: 医学科学版, 2007, 28(3S): 180-181.

[13] Fishman E K, Ney D R, Heath D G, *et al*. Volume rendering versus maximum intensity projection in CT angiography: what works best, when, and why[J]. Radiographics, 2006, 26(3): 905-922.

[14] Suzuki S, Furui S, Kaminaga T, *et al*. Measurement of vascular diameter in vitro by automated software for CT angiography: effects of inner diameter, density of contrast medium, and convolution kernel [J]. AJR Am J Roentgenol, 2004, 182(5): 1313-1317.

(**收稿**:2012-12-15;**修回**:2013-01-28)

(编辑 汪勤俭)