doi:10.11659/jjssx.10E019075

·临床研究·

斜矢位 Care bolus 技术在肝钆塞酸二钠 MRI 增强检查中的应用

何 敏,陈家飞,黎 川,王 新,王 洁,邓亚利 (陆军军医大学第一附属医院放射科,重庆 400038)

[摘 要] **目的** 利用磁共振荧光示踪技术 Care bolus 不同定位方法表现个体循环差异性,探讨斜矢位定位法对提高钆塞酸二钠(Gd-EOB-DTPA)磁共振肝检查动脉晚期捕获率的可行性。**方法** 收集本院 2019 年 2~4 月行 Gd-EOB-DTPA 磁共振肝检查的 220 例患者的临床资料,随机均分为斜矢位定位组和冠状位定位组,2 组患者分别采用 Care bolus 技术确定单期动脉期的触发采集时机。斜矢位定位组采用斜矢状位 Care bolus 图,观察右心房、肺动脉、左心室以及主动脉全程,根据肺循环、体循环实时强化充盈速率选取不同的扫描时机;冠状位定位组采用常规冠状位 Care bolus 图,腹主动脉强化即开始动脉期的扫描。比较 2 组患者动脉晚期的捕获率以及肝细胞癌-邻近肝实质强化对比度。**结果** 斜矢位定位组动脉晚期的捕获率为 85.45%,显著高于冠状位定位组的 72.72%,差异具有统计学意义($P<0.05$);斜矢位定位组肝细胞癌-邻近肝实质强化对比度平均值明显高于冠状位定位组,差异具有极显著性统计学意义($P<0.01$);斜矢位定位组抓捕动脉晚期的平均时间大于冠状位定位组,差异具有极显著性统计学意义($P<0.01$),其中斜矢位定位组耗时 14~39 s,中位数为 24 s,冠状位定位组耗时 20~26 s,中位数为 23 s。**结论** 行 Gd-EOB-DTPA 磁共振肝检查时患者之间存在个体差异,对动脉晚期的抓捕存在较大影响,根据个体差异利用斜矢位定位的实时荧光示踪技术观察对比剂充盈速率情况,选取不同的动脉期采集时机可以提高患者肝动脉晚期的抓捕率。

[关键词] 钆塞酸二钠;磁共振荧光示踪技术;动脉晚期;斜矢位定位;冠状位定位;个体循环

[中图分类号] R446.8 [文献标识码] A [收稿日期] 2019-10-22

Application of oblique-sagittal-positioning of Care bolus in Gd-EOB-DTPA enhanced liver MRI

HE Min, CHEN Jia-fei, LI Chuan, WANG Xin, WANG Jie, DENG Ya-li (Department of Radiology, First Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: Objective To explore the feasibility of oblique-sagittal-positioning Care bolus in showing individual circulation and improving the late arterial capture rate by Ga-EOB-DTPA enhanced MRI with different localization methods. **Methods** The clinical data of 220 patients with Ga-EOB-DTPA enhanced MRI in our hospital from February to April 2019 were randomly divided into oblique-sagittal-positioning group and coronary-positioning group. Care bolus technique was used to determine the timing of the two groups' trigger collection at the single arterial stage. In oblique-sagittal-positioning group, oblique-sagittal-positioning Care bolus was used to observe the enhancement of the right atrium, the pulmonary artery, left ventricle and the whole process of aorta. Different scanning opportunities were adopted according to the pulmonary circulation and systemic circulation real-time enhancement filling rate. In coronary-positioning group, routine coronary-positiong Care bolus was used to initiate the trigger scan at the same time of the abdominal aorta enhancing. The capture rate of late arterial phase and HCC-to-adjacent liver contrast were compared between the two groups. **Results** The capture rate of late arterial phase in oblique-sagittal-positioning group (85.45%) was significantly higher than that in coronary-positioning group (72.72%), the difference was significant ($P<0.05$). Mean HCC-to-adjacent liver contrast and mean expending times in oblique-sagittal-positioning group were significantly higher than those in coronary-positioning group, the differences were extremely significant ($P<0.01$). The time of late arterial phase in oblique-sagittal-positioning group (rang: 14~39 seconds; the median: 24 seconds) was longer than that in coronary-positioning group (rang: 20~26 seconds; the median: 23 seconds), the difference was extremely significant ($P<0.01$). **Conclusion** There are individual differences among patients in Gd-EOB-DTPA enhanced MRI, it has great influence on the capture of arterial time phase. According to individual differences, oblique-sagittal-positioning Care bolus may improve the capture rate of late arterial phase in Gd-EOB-DTPA enhanced MRI.

Keywords: gadolinium ethoxybenzyl diethylene-triaminepentaacetic acid; Care bolus; late arterial phase; oblique-sagittal-positioning; coronary-positioning; individual circulation

---

[基金项目] 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(csct2016shms-ztzx10002)

[通信作者] 邓亚利,E-mail:643622638@qq.com

肝细胞癌(hepatocellular carcinoma,HCC)是全球第二大与癌症相关的死亡原因[1],是一种由去分化肝细胞组成的恶性肿瘤,其血管供应主要是通过新生血管生成的动脉,几乎没有或很少有门脉系统的血液供应,在影像学上表现出快进快出的增强特点[2]。目前临床上 HCC 的根治方案主要包括手术切除、肝移植和局部消融等。多项回顾性研究表明,钆塞酸二钠(gadolinium ethoxybenzyl diethylene-triaminepentaacetic acid,Gd-EOB-DTPA)磁共振肝增强检查能较大程度决定或改变 HCC 患者手术前后治疗方案的选择[3-5]。好的动脉晚期图像有助于 HCC 病灶的检出,而个体的差异性一直是提高动脉晚期捕获率的最大限制因素。

Gd-EOB-DTPA 是一种主要通过肝细胞代谢的新型磁共振成像(magnetic resonance imaging,MRI)对比剂,其动态成像和肝特异性成像特性能够更好地检测肝细胞癌和转移癌的局灶性肝病变[6-9],近几年被广泛应用于肝占位性病变的诊断。磁共振 T1 加权成像序列对 Gd-EOB-DTPA 具有高驰豫率的特点,单个患者使用剂量为 5 ~ 10 mL[10];由于其总剂量少且浓度高,为获得最佳的肝增强效果,使用 1 mL/s的低注射速率可有效增加对比剂的肝通过时间窗,同时减轻对比剂产生的截断伪影,获得优异的 MRI 图像质量[6,11]。好的肝动脉晚期对肝细胞癌的检出具有重要的意义,触发采集的时机是面临的主要挑战之一[12-15]。Gd-EOB-DTPA 进入肝后分别途经 4 个腔室,即血管内间隙、胞外 - 血管外间隙、胞内 - 肝细胞间隙和胆管系统[16]。过早的捕获会丢失小病灶检出,过晚则会导致肝实质与 HCC 之间对比度较差,不利于病灶检出和定性,尤其在肝硬化患者中肝功能异常会出现强化不均的增强表现。

目前有多种技术应用于捕获肝动脉晚期。定时延时法受个体化差异影响较大,动脉晚期捕获率低下[17]。小剂量测试法 Test bolus 是在动脉期之前试注射 1 mL 对比剂以确定达峰时间,可有效排除个体差异的影响,但 Gd-EOB-DTPA 的高驰豫特点会使背景肝受小剂量对比剂的污染,不利于病灶的检出[18];磁共振荧光示踪技术 Care bolus 是一种实时监测二维荧光序列,可准确监测脉管系统中对比剂的到达情况,已广泛应用于 CT、MRI 增强检查的触发扫描之中。在已报道的药代动力学特点中,因肝细胞癌的强化紧跟腹主动脉强化,常以第一腰椎水平腹主动脉 Care bolus 冠状位定位图来确定动脉期的扫描时机[11-12,19],但是血液流速快的患者,对比剂会快速充盈肝动脉达到动脉晚期,相反,流速慢的患者会较晚,这种个体循环的差异会造成动脉晚期捕获失败情况的出现。到达腹主动脉的血流先经肺循环再开始体循环,经右心房、肺动脉、左心室、升主动脉和降主动脉到达腹腔干进入肝,其血液流速较大程度受心输出量影响。本研究根据个体循环差异的特点,结合对比剂需途经的各个脉管的整体解剖结构特点,采用斜矢位定位法,以期实时呈现脉管系统中造影剂到达情况,从而个性化选择每个患者的触发采集时机,通过对比冠状位定位法探究是否能进一步提高单期动脉晚期的捕获率。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取 2019 年 2 ~ 4 月我院收治的行肝磁共振 Gd-EOB-DTPA 增强检查的 220 例患者,其中男 160 例,女 60 例,年龄 24 ~ 81 岁,平均(54.32 ± 12.57)岁;体质量 43 ~ 90 kg,平均(59.95 ± 8.49)kg;身高 148 ~ 179 cm。随机均分为斜矢位定位组和冠状位定位组,每组 110 例。各组患者性别、年龄、身高、体质量、HCC 分布等比较差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。纳入标准:①已接受肝影像学的初步评估(CT 或超声)或者肝功能血清学检查,提示原发性肝癌可能性大;②无磁共振检查禁忌证;③在检查前接受呼吸训练,直至符合最低屏气时限要求,且屏气速度均匀;④阅读并签署增强检查知情同意书,并成功完成整个检查。排除标准:①肝切除术患者术前行肝动脉栓塞或射频消融;②胆管细胞癌;③经呼吸训练无法完成 15 s 最低屏气要求;④肺血循环障碍。

表 1 患者临床资料比较($n=110$)

组别	年龄(岁)	男/女(例)	身高(cm)	体质量(kg)	HCC 数(例)	
					单发	多发
斜矢位定位组	55.55 ± 12.99	82/28	165.8 ± 6.7	59 ± 8.29	90	12
冠状位定位组	53.09 ± 12.07	78/32	166.2 ± 8.3	60 ± 8.62	83	10
P	0.147	0.545	0.741	0.095	0.823	

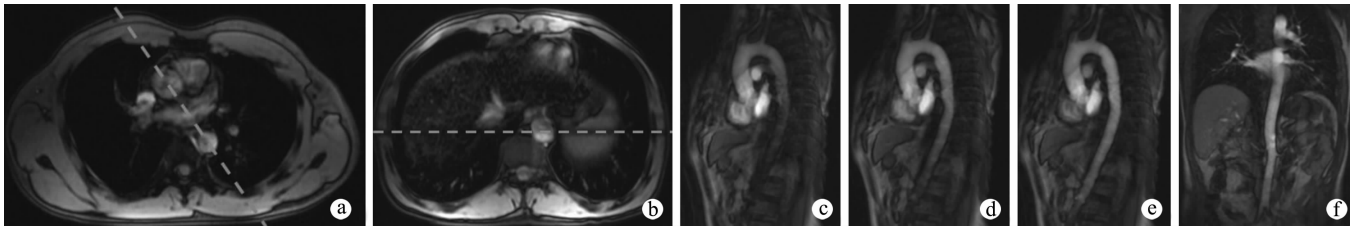
1.2 MR 技术

使用西门子 3.0 T 磁共振完成所有检查,使用 8 通道体表线圈。每位患者对比剂用量按照 0.025 mmoL/kg(0.1 mL/kg)的标准准备。高压注射器以 1 mL/s 的速率在肘静脉 18G 留置针处经导管匀速注入,待对比剂注射完后以相同速率追注 20 mL 生理盐水。在对比剂注射之前扫描序列:冠状位半傅里叶单次激发快速自旋回波序列(HASTE),重复时间(TR)为 1 000 ms,回波时间(TE)为 91 ms,翻转角 150°,矩阵 320 × 256,视野 358 mm × 358 mm,层厚 6 mm,2 次屏气采集;横断位 T1 加权成像(T1WI)同反相位成像序列,TR 为 206 ms,TE 为 2.45 ms、3.83 ms,

翻转角 65°,矩阵 256×192,视野为(350~390) mm×(262~292) mm,层厚 5 mm,层间距 1 mm,单次屏气采集;横断位三维容积内插超快速扰相 GRE T1WI 序列(3D-VIBE),TR 为 3.42 ms,TE 为 1.45,翻转角为 9°,矩阵为 320×225,视野为(400~420) mm×(280~300) mm,层厚为2.5 mm,层间距为 1 mm,单次屏气扫描。

斜矢位定位组使用斜矢位定位 Care bolus 序列,定位相扫描时额外添加一组包含升主动脉和降主动脉的单层横断定位图,Care bolus 序列定位以该层定位图为基础,斜切通过升主动脉干和降主动脉干(图 1a),结果可见右心房、肺动脉、左心室以及升主动脉、降主动脉和腹主动脉全程;冠状位定位组使用冠状位定位 Care bolus 序列,在初始肝横断定位相上作通过腹主动脉的人体冠状面定位线,结果可见肺动脉、部分降主动脉和腹主动脉(图 1b)。

对比剂注射的同时开始 Care bolus 序列的扫描,Care bolus 序列为层厚 30 mm,单层面快速梯度回波,TR 为 7.5 ms,TE 为 1.2 ms,翻转角为 60°,矩阵为 256×128,视野为 400 mm×400 mm,扫描和间隔时间均为 0.5 s。观察第一腰椎水平腹主动脉明暗程度以确定动脉期采集时机。斜矢位定位组患者检查中,从造影剂到达右心房→肺动脉→左心室→升主动脉→降主动脉→腹主动脉,可实时动态观察对比剂充盈情况:循环速度快时,腹主动脉有微弱显影,同时可见升主动脉有强显影即可触发肝动脉期扫描;循环速度中等程度时,腹主动脉有中度显影,同时可见降主动脉有强显影即可开始肝动脉期扫描;循环速度慢时,腹主动脉有高度显影即开始动脉期扫描,见图 1c~e。冠状位定位组患者检查中,腹主动脉有高度显影即开始肝动脉期扫描,见图 1f。在对比剂注射之后,依次使用 3D-VIBE 序列采集动脉期、门脉期(60 s)、平衡期(180 s)、5 min 延时期、10 min 延时期和肝胆期(15 min),在间隔时间之内插入横断位 HASTE 序列、磁敏感序列(SWI)、弥散序列(DWI)以及脂肪定量序列(FAT-TIWI-DIXON)。除动脉期图像外其余未做相关分析。



a:斜矢状位定位;b:冠状位定位;c~e:斜矢位定位组观察个体循环速度分别为快、中、慢三种速率情况下动脉期采集时机对应图;f:冠状位定位组动脉期采集时机对应图

图 1 Care bolus 定位方式及 2 组动脉期采集时机

1.3 图像分析

动脉晚期:所有序列图像上传至 PACS 系统,由两位高年资主治医师独立盲评动脉期所抓捕的时相(隐去患者性别、身高、体质量、病史等基础信息)。评判标准:动脉早期为肝动脉有强化但门静脉和肝实质无强化;动脉晚期为肝动脉强化,门静脉有轻微强化,没有肝实质和肝静脉强化;门脉期为门静脉强化明显,肝实质和肝静脉有强化。记录所有从开始注射对比剂到成功获得动脉晚期之间的时间窗。

测量 2 组动脉晚期检出的肝细胞癌-邻近肝实质强化信号对比度:在 HCC 病灶最大的横截面积上涵盖大部分病灶区域取 ROL 兴趣区测 $SI_{增强病灶}$,同时取邻近病灶的肝实质区域(错开血管)取 $SI_{增强实质}$ 和 $SI_{未增强实质}$。HCC-肝实质强化对比度 = ($SI_{增强病灶}$ - $SI_{增强实质}$)/$SI_{未增强实质}$。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 25.0 统计软件进行统计学分析,所有检查患者的计量资料(年龄、体质量、身高)以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用独立样本 t 检验;采用 χ^2 检验比较 HCC-肝实质强化对比度的差异。$P<0.05$ 为差异具有统计学意义,$P<0.01$ 为差异具有极显著性统计学意义。

2 结果

2.1 动脉时相评估

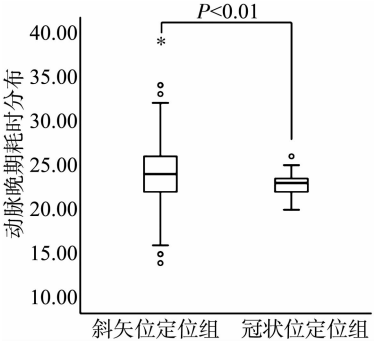
斜矢位定位组动脉晚期捕获率明显高于冠状位定位组,而门脉期捕获率低于冠状位定位组,差异具有统计学意义($P<0.05$),见表 2;斜矢位定位组获得抓捕动脉晚期的耗时范围(14~39 s)大于冠状位定位组(20~26 s),斜矢位定位组抓捕动脉晚期的时间窗口平均值大于冠状位定位组,差异具有极显著性统计学意义($P<0.01$),见表 3、图 2;2 组肝细胞癌-邻近肝实质强化对比度比较,斜矢位定位组平均值显著高于冠状位定位组,差异具有极显著性统计学意义($P<0.01$),见图 3。

表 2 患者动脉期的抓捕情况[n=110,例(%)]

组别	动脉早期	动脉晚期	门脉期
斜矢位定位组	6(5.45)	94(85.45)	10(9.09)
冠状位定位组	4(3.64)	80(72.72)	26(23.64)
P	0.517	0.02	0.004

表 3 患者从对比剂注射开始到获得动脉晚期的耗时情况(s)

组别	平均值	中位数	SD	最大值	最小值	95% CI
斜矢位定位组	24.16	24	4.71	39	14	23.20~25.12
冠状位定位组	22.73	23	1.23	26	20	22.45~23.00



*:极端异常值;°:温和异常值

图 2 动脉晚期从对比剂注射开始到图像产生耗时分布

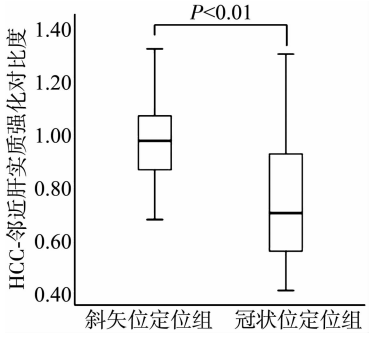


图 3 HCC-邻近肝实质强化对比情况

3 讨论

本文基于磁共振荧光示踪技术从患者个体循环差异化的角度出发,根据不同的血液循环速度选择动脉期的不同触发扫描时机,结果显示,采用斜矢状位 Care bolus 定位法,再依据主动脉不同的充盈速率选择动脉期采集时间点,可以获得更高的动脉晚期捕获率。本研究 2 组 174 例动脉晚期样本中动脉获得时间窗范围为 14~39 s,中位数 23 s。较大的时间窗范围以及极端异常值的出现说明个体之间存在不小的循环差异,这在很多国内外研究中有过报道。Goshima 等[20]的研究中,63 例样本的动脉晚期获得的耗时范围为 21~46 s,中位数 22 s,由个体心输出量等差异导致的动脉晚期耗时情况差异与本研究结果基本具有一致性;高鑫等[21]也从个体循环差异的角度出发,进行特异性肝 MRI 检查,利用小剂量测试法获得腹主动脉达峰时间从而确定延时时间。以上研究结果说明个体循环差异情况是成功捕获动脉晚期所需要考虑的关键因素之一。本研究 2 组患者肝细胞癌-邻近肝实质强化对比度结果中,斜矢位定位组的平均值显著高于冠状位定位组,2 组最大值相近,最小值斜矢位定位组高于冠状位定位组。肝细胞癌-邻近肝实质强化对比度越高,诊断准确率越高,从 HCC 的血液动力学角度考虑,好的动脉晚期才能提高肝细胞-邻近肝实质对比度。在 2 组患者动脉期抓捕情况中,同组门脉期时相获得比例高于动脉早期时相,且冠状位定位组门脉期时相获得比例显著高于斜矢位定位组,表明在单期动脉期采集过程中,往往容易造成动脉晚期的触发时机过晚,除患者自身循环因素外,在触发扫描之前患者需要接收屏气指令,执行屏气动作,再开始扫描,这也会增加一部分时间损耗。斜矢状位的 Care bolus 实时充盈图可提前发现患者血液循环情况,将有助于根据各个环节时间损耗情况确定最佳的动脉触发时机,捕获到动脉晚期。

多项研究报道,快速平行梯度回波序列多期动脉期扫描(每次 4~6 s,采集 3~4 次)在肝磁共振 Gd-EOB-DTPA 增强检查中可以获得非常高的动脉晚期捕获率,同时可减少患者呼吸运动伪影[5],以高的时间分辨率实现动脉早、中、晚期时间窗的全覆盖,动脉晚期捕获率甚至可达到 98.5%[22]。但是由于设备条件的限制,仅利用单次闭气单期动脉期抓捕动脉晚期,将需要充分考虑注射速率、对比剂稀释情况、K 空间填充时间窗以及个体差异等多项因素。单期动脉期扫描依据个体心输出量差异等引起的血液循环速度来差异化触发扫描时机,这在以往的研究中未见报道。本文根据主动脉解剖结构特点定位出斜矢状位的 Care bolus 主动脉监测图,再利用其荧光透视效果获得主动脉中对比剂随血液实时流动的快慢情况,可有效观察并预估每个患者的血液循环速度,尤其针对循环差异性较大(过小或过大)的患者,在动脉期采集时机的选择上针对性地进行延迟或提前,与常规方法中根据第一腰椎水平腹主动脉达峰开始触发扫描相比,将会有更大的概率捕获到动脉晚期。以往常规采用的方法为对比剂到达腹主动脉即开始动脉期的采集,对于心输出量过大或过小的患者,动脉晚期的捕获容易失败,改变触发扫描的时机可有效针对心输出量差异大的患者捕获到动脉晚期。在实际工作中,部分患者亦会因为幽闭空间、屏气要求或者对比剂的突然注入等因素而产生紧张情绪,导致心率加快,给动脉期的抓捕带来挑战,

通过斜矢位 Care bolus 定位观察个体循环状况,精准选择动脉期触发时间点将能避免这些因素,从而增加晚期动脉相的捕获率。

本研究存在一定的局限性,如样本量较少,没有腹主动脉血液流速的数据,在 Gd-EOB-DTPA 充盈主动脉过程中没有对腹主动脉强化程度进行定量测量分析。精准判断每个患者腹主动脉不同血液速度的具体扫描时机,将有可能更大程度提高单期动脉相中动脉晚期的捕获率,有待进一步的研究。

[参考文献]

[1] Ferlay J, Soerjomataram I, Dikshit R, et al. Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012[J]. Int J cancer, 2015, 136(5): E359 - 386. doi: 002/ijc.29210.

[2] Lu L, Jiang Z, Dai Y, et al. Low-grade dysplastic nodules revealed as the tipping point during multistep hepatocarcinogenesis by dynamic network biomarkers[J]. Genes, 2017, 8(10): 268. doi: 390/genes8100268.

[3] Yoo SH, Choi JY, Jang JW, et al. Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI is better than MDCT in decision making of curative treatment for hepatocellular carcinoma[J]. Ann Surg Oncol, 2013, 20(9): 2893 - 2900. doi: 245/s10434 - 013 - 3001 - y.

[4] Wang JH, Chen TY, Ou HY, et al. Clinical impact of gadoxetic acid-enhanced magnetic resonance imaging on hepatoma management: a prospective study[J]. Digest Dis Sci, 2016, 61(4): 1197 - 1205. doi: 1007/s10620 - 015 - 3989 - x.

[5] 饶圣祥,胡道予,宦 怡,等. 肝胆特异性 MRI 对比剂钆塞酸二钠临床应用专家共识[J]. 临床肝胆病杂志,2016,32(12):2236 - 2241. doi:969/j. issn. 1001 - 5256. 2016. 12. 003.

[6] Ringe KI, Husarik DB, Sirlin CB, et al. Gadoxetate disodium-enhanced MRI of the liver: part 1, protocol optimization and lesion appearance in the noncirrhotic liver[J]. AJR, 2010, 195(1): 13 - 28. doi: 10. 2214/AJR. 10. 4392.

[7] Hyodo T, Murakami T, Imai Y, et al. Hypovascular nodules in patients with chronic liver disease: risk factors for development of hypervascular hepatocellular carcinoma[J]. Radiology, 2013, 266(2): 480 - 490. doi: 10. 1148/radiol. 12112677.

[8] Yu MH, Kim JH, Yoon JH, et al. Small(≤1-cm) hepatocellular carcinoma: diagnostic performance and imaging features at gadoxetic acid-enhanced MR Imaging[J]. Radiology, 2014, 271(3): 748 - 760. doi: 10. 1148/radiol. 14131996.

[9] 李晓明,陈凤喜,王玉婷,等. 肝假性淋巴瘤的影像学特征及文献回顾[J]. 局解手术学杂志,2019,28(7):542 - 546. doi: 10. 11659/jjssx. 12E018072.

[10] Wei Y, Deng L, Yuan Y, et al. Gadoxetate acid disodium-enhanced MRI: multiple arterial phases using differential sub-sampling with cartesian ordering (DISCO) may achieve more optimal late arterial phases than the single arterial phase imaging[J]. MRI, 2019, 61: 116 - 123. doi: 10. 1016/j. mri. 2019. 05. 033.

[11] 赵 骏,黎 川,陈 伟,等. 两种注射速度对钆塞酸二钠磁共振肝脏动态增强动脉期图像质量的影响[J]. 第三军医大学学报,2015,37(17):1792 - 1796. doi:16016/j. 1000 - 5404. 201501213.

[12] Chung SH, Kim MJ, Choi JY, et al. Comparison of two different injection rates of gadoxetic acid for arterial phase MRI of the liver[J]. JMRI, 2010, 31(2): 365 - 372. doi: 10. 1002/jmri. 22057.

[13] Motosugi U, Sano K, Ichikawa T, et al. Double-dose gadoxetic acid-enhanced magnetic resonance imaging in patients with chronic liver disease[J]. Invest Radiol, 2011, 46(2): 141 - 145. doi: 10. 1002/jmri. 22057.

[14] Kim MJ, Rhee HJ, Jeong HT. Hyperintense lesions on gadoxetate disodium-enhanced hepatobiliary phase imaging[J]. AJR, 2012, 199(5): W575 - 586. doi: 10. 2214/AJR. 11. 8205.

[15] Kim YK, Park MJ, Kim SH, et al. Hypovascular hypointense nodules on hepatobiliary phase gadoxetic acid-enhanced MR images in patients with cirrhosis: potential of DW imaging in predicting progression to hypervascu-lar HCC[J]. Radiology, 2012, 265(1): 104 - 114. doi: 10. 1148/radiol. 12112649.

[16] Cruite I, Schroeder M, Merkle EM, et al. Gadoxetate disodium-enhanced MRI of the liver: part 2, protocol optimization and lesion appearance in the cirrhotic liver[J]. AJR, 2010, 195(1): 29 - 41. doi: 10. 2214/AJR. 10. 4538.

[17] Goshima S, Kanematsu M, Kondo H, et al. Optimal acquisition delay for dynamic contrast-enhanced MRI of hypervascular hepatocellular carcinoma[J]. AJR, 2009, 192(3): 686 - 692. doi: 214/AJR. 08. 1255.

[18] Jason A, Lauren M, Marin D, et al. Respiratory motion artifact affecting hepatic arterial phase imaging with gadoxetate disodium: examination recovery with a multiple arterial phase acquisition 1[J]. Radiology, 2014, 271(2): 426 - 434. doi. 1148/radiol. 13131988.

[19] Kyongtae T. Peak contrast enhancement in CT and MR angiography: when does it occur and why? Pharmacokinetic study in a porcine model[J]. Radiology, 2003, 227(3): 809 - 816. doi. 1148/radiol. 2273020.

[20] Goshima S, Kanematsu M, Kondo H, et al. Evaluation of optimal scan delay for gadoxetate disodium-enhanced hepatic arterial phase MRI using MR fluoroscopic triggering and slow injection technique[J]. AJR, 2013, 201(3): 578 - 582. doi: 2214/AJR. 12. 10034.

[21] 高 鑫,张 磊. 个体特异性 MRI 多期动态增强扫描对原发性肝癌的诊断价值[J]. 安徽医学,2016,37(6):676 - 679. doi: 10. 3969/j. issn. 1000 - 0399. 2016. 06. 009.

[22] Yoon JH, Yu MH, Kim EJ, et al. Triple arterial phase mr imaging with gadoxetic acid using a combination of contrast enhanced time robust angiography, keyhole, and viewsharing techniques and two-dimensional parallel imaging in comparison with conventional single arterial phase[J]. Korean J Radiol, 2016, 17: 522 - 532. doi: 3348/kjr. 16. 17. 4. 522.

(编辑:刘 艺)