

## MRI 3D-VIBE 序列全肝灌注应用探讨

李元歌

**【摘要】 目的:**探讨磁共振三维容积式内插法屏气检查(3D-VIBE)序列对人全肝灌注的可行性及其临床应用价值。**方法:**30 例健康志愿者行常规 MRI  $T_1$ WI、 $T_2$ WI 轴面及 true-FISP 冠状面扫描后,采用经改良的 3D-VIBE 序列行全肝灌注扫描,然后在肝左、右叶、腹主动脉及门静脉区分别选择兴趣区(ROI),测量其在注射 Gd-DTPA 后不同灌注时间及延迟期的信号强度值,最后绘制时间-浓度曲线。**结果:**每个志愿者分别得到 4 条关于肝左、右叶、腹主动脉及门静脉的时间-浓度曲线。Gd-DTPA 在肝左、右叶、腹主动脉和门静脉的动态浓度范围分别为  $0\sim 0.6$  mmol/l、 $0\sim 0.6$  mmol/l、 $0\sim 1.7$  mmol/l 和  $0\sim 1.0$  mmol/l。肝左、右叶及门静脉时间-浓度曲线较柔和,缓慢达峰并缓慢下降;腹主动脉时间-浓度曲线有 2 个峰值,且达峰时间快。**结论:**应用改良的 3D-VIBE 序列行全肝灌注的技术切实可行,能从中获得时间-浓度曲线,使肝血流灌注参数量化,对评估肝血流灌注异常具有重要临床意义。

**【关键词】** 磁共振成像; 肝疾病; 图像处理, 计算机辅助

**【中图分类号】** R575; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2010)01-0067-04

## Application Study of MR 3-dimensional Volumetric Interpolated Breath-hold Examination in Whole Liver Perfusion Imaging

LI Yuan-ge. Department of Radiology, Nanshan Hospital, Guangdong 518052, P. R. China

**【Abstract】 Objective:** To investigate the feasibility and clinical application of 3-dimensional volumetric interpolated breath-hold examination (3D VIBE) in MR whole liver perfusion imaging. **Methods:** 30 healthy volunteers undertook conventional MRI including axial plane with spin echo  $T_1$ W,  $T_2$ W, coronal plane with true-FISP and modified 3D-VIBE whole liver perfusion sequences. Selected the regions of interest (ROI) in left hepatic lobe (LHL), right hepatic lobe (RHL), abdominal aorta (AO) and portal vein (PV), the signal intensities of ROIs of different phases and delayed phase after injection of Gd-DTPA were measured respectively, time-concentration curves were drawn. **Results:** Four time-concentration curves of LHL, RHL, AO and PV respectively were obtained in each of the volunteers. The dynamic concentration of Gd-DTPA were  $0\sim 0.6$  mmol/l,  $0\sim 0.6$  mmol/l,  $0\sim 1.7$  mmol/l and  $0\sim 1.0$  mmol/l in LHL, RHL, AO and PV respectively. The time-concentration curve of LHL, RHL and PV were gentle, showing slowly ascended to peak than slowly descended. The time-concentration curves of AO had two peaks which were reached swiftly. **Conclusion:** It is feasible to use modified 3D-VIBE in whole liver perfusion imaging. Time-concentration curves and quantified perfusion parameters of liver could be obtained, which are very important in estimating the abnormal perfusion of liver.

**【Key words】** Magnetic resonance imaging; Liver diseases; Image processing, computer-assisted

三维容积式内插法屏气检查(3D volumetric interpolated breath-hold examination, 3D-VIBE)序列具有较高的时间分辨力及空间分辨力,其特点是容积式扫描,成像 K 空间为三维 K 空间,可产生高空间频率信号,笔者通过对扫描层厚、TR、TE 等参数修改,大大提高了扫描速度,可进行覆盖全肝的灌注扫描,能较完美地捕捉到灌注扫描时肝脏各时相的图像。本文对 30 例健康志愿者采用此序列进行全肝灌注并对灌注图像进行分析,旨在探讨健康人全肝灌注时间-浓度曲线特征,为 3D-VIBE 序列在人全肝灌注的临床应用奠定基础。

## 材料与方 法

## 1. 研究对象

30 例健康志愿者,其中男 21 例,女 9 例,年龄 23~67 岁,平均 40 岁。入选标准:无肝炎病史,肝功能正常,B 超或 CT 筛选仅 3 例肝囊肿及 4 例肝血管瘤,且病灶直径均在 1.5 cm 以内,其他均无肝脏病变。

## 2. MR 扫描

所有扫描均在 Siemens Symphony 1.5T MR 设备上进行。受试者首先行灌注前常规扫描,使用体部阵列线圈、仰卧位、头先进,应用半傅立叶单激发快速自旋回波序列(half-fourier single-shot turbo spin echo, HASTE)、快速小角度激发(FLASH)序列行肝脏轴面  $T_1$ WI、 $T_2$ WI 扫描、用真稳态进动快速成像(true fast imaging with steady state procession, true-FISP)序列行冠状面扫描;然后在注射增强对比剂前采用经改良的 3D-VIBE 序列行全肝扫描一次;然后使用双筒高压注射器,于肘静脉注射对比剂 Gd-DTPA 8 ml 及生理盐水 15 ml,流率 3.0 ml/s,同时采用改良后 3D-VIBE 序列进行全肝灌注扫描,扫描序列及方法

作者单位:518052 广东,深圳南山医院放射科

作者简介:李元歌(1982-),女,河南郑州人,硕士研究生,主要从事 MRI 影像诊断工作。

如下:行冠状面全肝连续扫描 20 次,扫描时间共 120 s,中间插入 4 次 5 s 的间隔用于患者换气,3.3~5.0 s 全肝扫描一次并获得 36~40 帧冠状面图像。扫描参数:TR 1.7~3.2 ms,TE 0.8 ms,翻转角  $9^\circ$ ,带宽 488 Hz,视野  $30\text{ cm} \times 30\text{ cm} \sim 40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ ,矩阵  $128 \times 256$ ,层厚 5 mm(改良前的 3D VIBE 序列 TR 5.6 ms、TE 3.6 ms、翻转角  $10^\circ$ ,带宽 300 Hz,扫描一次需时 20 s 左右);延迟 5 min 后,用改良后 3D-VIBE 序列再次扫描。

### 3. 图像处理

利用德国西门子 Leonardo 图像工作站对 VIBE 资料进行后处理,包括多平面重组(MPR)和最大强度投影(MIP)。在动态 MRI 图像上手工绘制 4 个圆形兴趣区(ROI),即肝左叶(left hepatic lobe, LHL)、肝右叶(right hepatic lobe, RHL)、腹主动脉(abdominal aorta, AO)及门静脉主干(portal vein, PV)各一个。肝左、右叶 ROI 直径约 10 mm,避开血管区。腹主动脉及门静脉主干 ROI 直径约 8 mm,为避免呼吸伪影门静脉 ROI 是逐层绘出的。

### 4. 绘制时间-浓度曲线

信号强度曲线从 ROI 数据资料获得,而 ROI 的测量结果要通过减去增强前的同一区域的 ROI 测量值进行标化。假设信号强度与 Gd-DTPA 浓度呈线性关系,用 Gd-DTPA 浓度替代信号强度作时间-浓度曲

线。用下列公式(1)进行转换:

$$C = \frac{k(S - S_0)}{S_0} \quad (1)$$

C 代表 Gd-DTPA 浓度,  $S_0$  代表增强前 ROI 的信号强度, S 代表增强后的信号强度, k 是标化常数(肝实质时  $k=0.395$ , 血管时  $k=0.201$ )<sup>[1,2]</sup>。根据这些数据用 Excel 绘制出每个志愿者的时间-浓度曲线。

## 结 果

根据上述方法得到的资料绘制时间-浓度曲线,每个志愿者可分别得到 LHL、RHL、AO 及 PV 的四条曲线。

### 1. LHL 时间-浓度曲线

Gd-DTPA 在 LHL 实质动态浓度范围为 0~0.6 mmol/l。曲线缓慢柔和上升,在 55~70 s 时达到峰值,达峰后曲线更加缓慢的下降,在 85~95 s,平均 90 s 起至延迟期形成平台(图 1、2)。

### 2. RHL 时间-浓度曲线

其时间-浓度曲线形态特征与 LHL 相似。60~70 s 时达到峰值,达峰后曲线更加缓慢地下降,在 95~115 s,平均 105 s 起至延迟期形成平台。

LHL 与 RHL 时间-浓度曲线的不同之处为:10 例 LHL 的动态浓度大于 RHL;12 例 RHL 大于 LHL;8 例两者相似。

### 3. AO 时间-浓度曲线

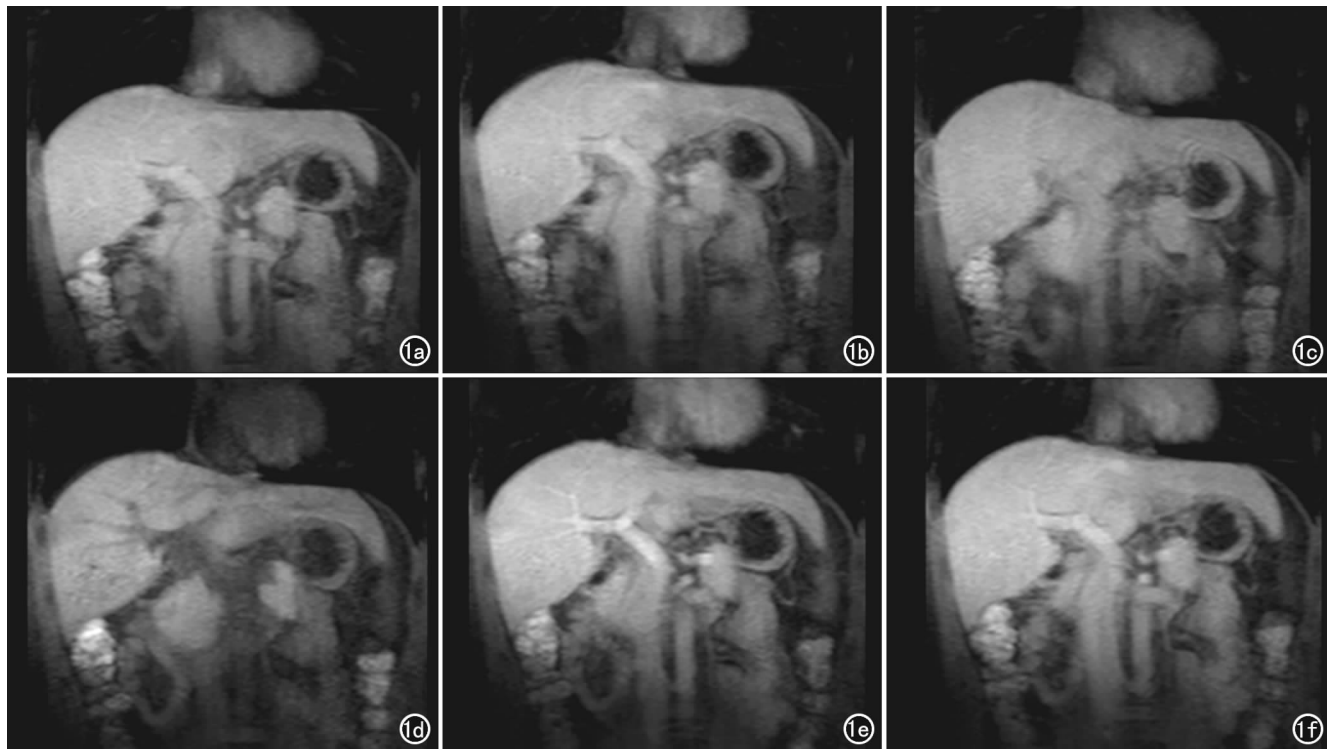


图 1 肝灌注过程中 LHL、RHL 在不同时间同一层面的部分肝灌注图像。a) 灌注后 5 s 时获得的图像,信号强度分别为 200、198; b) 35 s 图像,信号强度分别为 263、266; c) 65 s 图像,信号强度分别为 278、274; d) 95 s 图像,信号强度分别为 263、265; e) 120 s 图像,信号强度分别为 265、259; f) 延迟 425 s 图像,信号强度分别为 252、255。

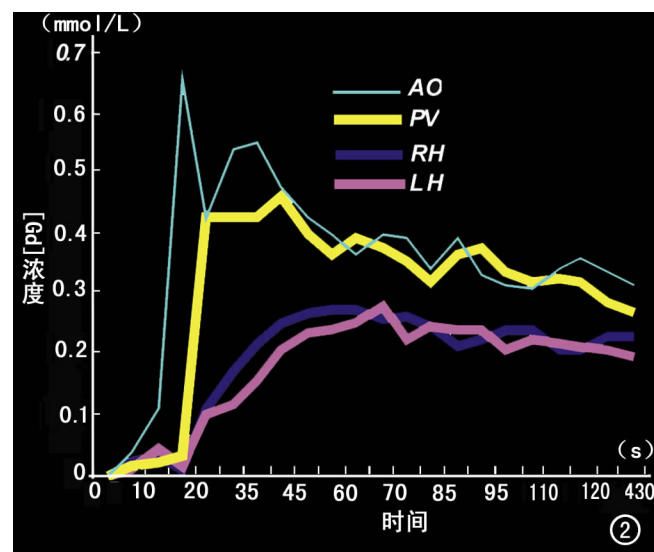


图 2 1 例健康志愿者不同部位的时间-浓度曲线示意图。

Gd-DTPA 在 AO 的动态浓度范围为 0 ~ 1.7 mmol/l, 大部分志愿者波动在 0 ~ 1.0 mmol/l, 只有 2 例超过 1.0 mmol/l, 分别为 1.698 mmol/l 和 1.346 mmol/l。此曲线明显有两个峰值, 起始部曲线陡峭, 并在 10 ~ 20 s 达第一个高峰, 平均为 15 s, 然后急剧下降, 接着又急剧上升, 在 30 ~ 40 s 达第二高峰, 平均为 35 s, 大部分第二峰值低于第一次峰值, 仅有 1 例高于第一次峰值。二次达峰后, 曲线变得柔和, 缓慢下降, 并在灌注后期形成平台, 延迟 5 min 后平台期结束。

#### 4. PV 时间-浓度曲线

GD-DTPA 在 PV 内的动态浓度范围为 0 ~ 1.0 mmol/l。曲线缓慢柔和上升, 在 40 ~ 60 s 时达到峰值, 平均为 50 s, 达峰后曲线更加缓慢的下降, 有 7 例志愿者甚至形成较长时间的平台期。

### 讨 论

#### 1. 肝脏的解剖生理

正常情况下, 肝脏 70% ~ 75% 的血供来源于门静脉, 25% ~ 30% 来自肝动脉, 前者主要供应肝营养, 而后者主要供给肝所需氧。肝脏有肝小叶构成, 肝小叶中央是中央静脉, 围绕该静脉为放射状排列的单层肝细胞索, 肝索细胞之间为肝窦。在几个肝小叶之间是机体组织组成的汇管区, 其中有肝动脉和门静脉的小分支和胆管。肝窦是肝的毛细血管网, 它一端与肝动脉和门静脉的小分支相通, 另一端和中央静脉连接; 肝窦一面的肝细胞上具有很多微绒毛, 伸向肝细胞膜与肝窦之间存在的狄氏间隙内, 主要起与肝窦内血液之间进行物质交换的作用。故肝窦低压力的维持是血浆内低分子复合物(包括一般对比增强剂)自由通过血管

和肝细胞的重要条件。因此, 任何引起肝窦压力改变的肝脏疾病, 都可影响肝细胞和肝脏血管之间的物质交换, 故而影响肝脏局部或整体的血流灌注。例如早期肝纤维化、肝硬化等由于血窦内胶原沉积使其压力增高, 从而改变肝灌注改变。

#### 2. 肝灌注技术发展

目前肝灌注影像技术有核医学、多普勒超声、CT 及 MRI。然而核医学方法检查时间较长, 且图像分辨率低。多普勒超声的局限性在于它测量的是全肝的血流, 而不是全肝或局部肝组织的灌注, 无法精确计算容积血流。CT 肝灌注从上世纪九十年代开始研究到现在已相对较成熟, 特别是多层 CT 的不断发展, 使 CT 高空间、时间分辨力的优势发挥得淋漓尽致, 更使 CT 相当长时间内在肝灌注领域占优势地位, 然而 CT 灌注需要使用大量碘剂, 使其应用受到限制, 如心、肾功能不全和过敏体质的患者, 另外大剂量辐射给患者带来的损伤和辐射剂量的蓄积作用, 导致恶性肿瘤的发生率增高, 越来越受到放射界及受检者的关注。近年来, 由于 MRI 没有辐射且增强对比剂肾毒性低, 使 MRI 肝灌注逐渐受到关注, 自 1990 年 Scharf 等<sup>[3]</sup>在 1.0T MR 设备上用 T<sub>1</sub> GRE 序列对门静脉栓塞前后的 9 头猪进行单层肝灌注研究, 认为肝脏 MR 灌注指标与热扩散探针指标之间有显著相关性 ( $P < 0.01$ ) 以来, 关于 MR 肝灌注研究的国内外论著已有较多报道。例如, Jackson 等<sup>[4]</sup>将 3D 动态对比强化灌注 MRI 用于患者, 得到特异病灶的毛细血管通透性图。但该技术只考虑肝动脉血供, 门静脉血供被忽略了。Marterne 等<sup>[5]</sup>报道了使用家兔, 动态 T<sub>1</sub> GRE MRI 得到单层高时间分辨力的肝灌注图像。随之他们又把相同技术用于肝硬化患者, 计算动脉灌注, 门静脉灌注及对对比剂分布容量等, 但只反应了肝局部情况。郭有等<sup>[6]</sup>对肝灌注量化指标-最大增强斜率的研究表明: 最大增强斜率可反映肝硬化的程度, 但亦只是肝脏的局部灌注。加之 MRI 肝灌注的时间、空间分辨力低, 且受呼吸心跳运动影响及腹部序列受限等缺点, 使 MRI 肝灌注的研究及临床应用受到限制。然而腹部扫描序列的突破, 例如 3D-VIBE 序列, 使 MRI 肝灌注有了更好的前景。

#### 3. 3D-VIBE 序列在肝灌注的应用

3D-VIBE 为容积式扫描, 采用具有各向同性或类似各向同性空间分辨力的 3D 射频扰相 GRE 序列进行数据采集。该技术可大大缩短扫描时间, 并且空间分辨力及信噪比均较高, 在屏气状态下扫描, 可消除呼吸运动伪影的影响, 该序列适于进行图像后处理。3D-VIBE 序列每次扫描时间平均约为 20 s, 从而保证了 MRI 动态增强扫描的顺利实施, 不仅可以有效地控制

各时相数据采集的时间,还能较完美地捕捉到病灶在各时相的强化特点和强化的演变过程<sup>[2]</sup>。鉴于此序列的优势,国内把 MRI 3D-VIBE 序列应用于肝脏疾病诊断的研究越来越多。例如,邬颖华、宋彬等<sup>[2]</sup>认为 3D-VIBE 序列动态增强对肝脏各种局灶性病变具有重要的定性诊断及鉴别诊断价值。王长福等<sup>[7]</sup>认为 3D-VIBE 联合 MRCP 检查能提高 T<sub>1</sub> 期肝门部胆管癌的检出率。然而,由于此序列每次扫描时间平均约为 20 s,使得以上研究仅限于对肝脏局部动态增强的改变做了一些研究。如果要使此序列应用于全肝灌注,必须进一步优化部分扫描参数,使 3D-VIBE 序列每次全肝扫描一次所需的时间缩短。

本研究基于以上的启发对 3D-VIBE 序列部分参数进行了调整,把全肝扫描一次的时间缩短到 3.3~5.0 s,笔者称之为改良后 3D-VIBE 序列,采用改良后 3D-VIBE 序列行全肝灌注,并在图像后处理时采用双输入单室模型,得到健康人的曲线特征,使 GD-DTPA 的动态浓度量化。GD-DTPA 相当于血浆中的小分子复合物,故其在肝内血管、肝细胞内的动态浓度可反映肝灌注情况。不管什么原因所引起肝细胞弥漫性损害,肝内广泛胶原纤维增生,肝小叶内网状支架塌陷,正常肝小叶结构被假小叶取代及因此引起的肝内血管结构变化,都可使肝脏局部或整体的灌注发生变化。

把改良后 3D-VIBE 序列应用于人全肝灌注的技术,国内尚未见类似报道。国外已有相似研究报道,如 Mari Hagiwara 等<sup>[1]</sup>在 3D-VIBE 全肝灌注对肝硬化诊断价值研究中,对健康组及病例组用类似于改良后 3D-VIBE 序列得到各组的时间-浓度曲线特征及肝灌注相关参数等,并比较之间的不同,得出诊断肝硬化敏感的肝灌注参数,其中所得到的健康组时间-浓度曲线特征与本文研究是相似的,但报道的 GD-DTPA 在肝实质、PV 及 AO 的动态浓度范围比本文研究大,笔者认为主要原因是注射 GD-DTPA 的速度异同所致。

众多研究表明 MRI 肝灌注对肝纤维化的诊断及预后评价具有潜在的价值,3D-VIBE 序列在此领域应用已经使 MRI 肝灌注技术突破了一定的自身局限性(时间分辨率低),特别是笔者把 3D-VIBE 序列的部分参数(TR、TE、翻转角度及带宽)进行调整后,大大提高了时间空间分辨率,使得全肝灌注得以实现,且采用

双输入单室模型进行数据处理,得到健康人的曲线特征及 GD-DTPA 的动态浓度,使 MRI 肝灌注技术成为肝脏弥漫性病变的早期诊断及预后评价的一种新的检查方法。

#### 4. 局限性及展望

本文研究正常全肝灌注曲线的特征及使 GD-DTPA 的动态浓度量化为肝脏疾病的临床研究奠定了基础。但尚存在着一些问题:①研究对象相对较少,结果的准确性有待更大规模的研究进一步证实。②肝功正常而入选的对象缺少病理证实。③由于延迟时间不够长,延迟扫描的价值待进一步证实。后续研究:笔者不但要对其他重要肝灌注参数进一步研究,还要设立早期肝纤维化或早期肝硬化病例组作对照研究,使改良后 3D-VIBE 全肝灌注真正应用于临床。

综上,应用改良后 3D-VIBE 序列对人进行全肝灌注技术是切实可行,从中获得的时间-浓度曲线能进一步使肝灌注参数量化,对评估肝血流灌注异常病变,尤其是早期肝脏病变,如乙肝患者早期纤维化等具有重要临床意义。

#### 参考文献:

- [1] Mari Hagiwara, Henry Rusinek. Advanced Liver Fibrosis: Diagnosis with 3D Whole-Liver Perfusion MR Imaging-Initial Experience [J]. Radiology, 2008, 10(3): 926-934.
- [2] 邬颖华, 宋彬, 徐隽. MRI VIBE 序列动态增强对肝脏局灶性病变的诊断价值[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2006, 13(2): 227-230.
- [3] Scharf J, Zapletal C, Hess T, et al. Assessment of Hepatic Perfusion in Pigs by Pharmacokinetic Analysis of Dynamic MR Images [J]. J Magn Reson Imaging, 1999, 9(4): 568-572.
- [4] Jackson A, Haroon H, Zhu XP, et al. Breath-hold Perfusion and Permeability Mapping of Hepatic Malignancies Using Magnetic Resonance Imaging and a First-pass Leakage Profile Model [J]. NMR Biomed, 2002, 15(2): 164-173.
- [5] Materne R, Smith AM, Peeters F, et al. Assessment of Hepatic Perfusion Parameters with Dynamic MRI [J]. Magn Reson Med, 2002, 47(1): 135-142.
- [6] 郭友, 郑小林. 肝硬化程度研究: 磁共振灌注成像价值研究 [J]. 中国实用医药, 2007, 2(25): 7-8.
- [7] 王长福, 张和平, 王斌杰. 磁共振 3D-VIBE 序列联合 MRCP 在肝门部胆管癌 T<sub>1</sub> 期中的诊断价值 [J]. 临床放射学杂志, 2008, 27(2): 204-208.

(收稿日期: 2009-05-06 修回日期: 2009-08-10)