

• 实验研究 •

二维相位对比 MRI 在稳态流体模型的定量测量

刘明, 李彩英, 周立霞, 张铁亮, 刘辉, 刘怀军, 全冠民

【摘要】 目的:制作稳态流体模型并改变各种参数来评价二维相位对比(2D-PC)MRI 定量测量的准确性。**方法:**流速模型包括塑胶管(直径 3.3 mm), 0.9% 生理盐水 2000 ml、新鲜牛奶 2000 ml, 高压注射器一台。通过改变模型的管道倾斜度(90° 、 45°)、流体的性质(牛奶、盐水)和注入流速(5.0、7.5、10.0 和 12.5 cm/s), 并采用不同流速编码值(20 和 30 cm/s)行 2D-PC 法 MRI, 通过后处理软件获得不同条件下的流速测量值并与实际值比较, 所有数据由两位高年资 MRI 医师进行测量和分析。**结果:**采用 2D-PC MRI 对流体模型进行测量并与实际流速比较, 不同流速编码($F=0.01, P=0.999$)、不同塑胶管倾斜度($F=0.034, P=0.966$)及不同流体类型($F=0.006, P=0.994$)时, 测量流速值与实际值的差异均无统计学意义。**结论:**二维相位对比 MRI 是一种较准确的血流定量测量技术。

【关键词】 磁共振成像; 相位对比; 门静脉; 血流动力学; 体外研究

【中图分类号】 R445.2; R543.6 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2009)03-0247-04

Quantitative Measurement of Flow Velocity with a Phantom by 2D PC-MRI LIU Ming, LI Cai-ying, ZHOU Li-xia, et al. Department of Radiotherapy and Oncology, the Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, P. R. China

【Abstract】 Objective: To assess the accuracy of quantitative measurement with 2D PC MRI by a flow velocity phantom by setting various parameters. **Methods:** Flow velocity phantom included a plastic tube (3.3mm in diameter), different property of liquid (normal saline, 2000ml; fresh milk, 2000ml) and a high pressure injector. Flow velocity measurements with the phantom were acquired by setting various parameters including inclination angle of the plastic tube (90° or 45°), and different fluid properties (normal saline, milk) and velocity of fluid injection (5.0cm/s, 7.5 cm/s and 12.5cm/s). 2D-PC MRI were performed with different velocity coding (20cm/s, 30cm/s). Measurements of velocity with different situation were acquired with post-processing soft ware and compared with the real objective value. All data were measured and analyzed by two senior MR specialists independently. **Results:** There were no significant statistical differences between the real velocity and the results of measurement by setting velocity with $v=20\text{cm/s}$ or $v=30\text{cm/s}$ ($F=0.01, P=0.999$), as well as putting the tube inclination angle in 90° or 45° ($F=0.034, P=0.966$) or injection of different kinds of fluid (normal saline or milk) ($F=0.006, P=0.994$). **Conclusion:** 2D Phase-contrast MR imaging proved to be an accurate technique in the quantitative measurement of blood flow.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Phase contrast; Portal vein; Hemodynamics; In vitro

二维相位对比(phase-contrast PC)磁共振成像是一种流速定量测量技术。20 世纪 70 年代 Crover 首先采用相位对比磁共振进行流速测量, 但多种参数因素的干扰是 PC-MRI 定量测量不能广泛应用于临床的原因^[1]。采用磁共振相位对比技术进行流速测量前对这些参数需进行验证, 以减少测量误差^[2-5]。对于每一台 MRI 设备必须在严格控制上述因素的前提下, 进行流速定量测量, 才能得到相对准确、客观的指标。笔者在采用二维相位对比 MRI 在验证信号强度与速度

关系、不同测量者及不同兴趣区对测量值影响的基础上^[6], 进一步对稳态流体模型不同影响因素进行研究, 旨在提高该技术测量的客观性和准确性。

材料与方法

1. 材料

自制水模, 模内充满硫酸铜液体, 广口烧瓶(容量 1000 ml)一只, 直径 3.3 mm 长 5 m 塑胶管一根, 匀速流速装置, 0.9% 生理盐水 2000 ml、新鲜牛奶 2000 ml。高压注射器一台。

2. 实验设备

使用 Siemens 1.5T 超导磁共振仪, 所有实验均使用头部线圈。预置流速编码分别为 30 cm/s 和 20 cm/s,

作者单位: 050051 石家庄, 河北医科大学第三医院肿瘤放疗科(刘明); 050000 石家庄, 河北医科大学第二医院放射科(李彩英、周立霞、张铁亮、刘怀军、全冠民); 050011 石家庄, 河北医科大学第四医院 CT、MRI 室(刘辉)

作者简介: 刘明(1965—), 男, 河北藁城人, 主任医师, 教授, 硕士生导师, 主要从事良恶性肿瘤影像诊断及放射治疗工作。

通讯作者: 李彩英, E-mail: licaiping63@yahoo.com.cn

基金项目: 河北省科技厅攻关课题(052761208)、河北省医学科学研究基金(05061)



图1 实验水模相位对比图,示水模呈类圆形,背景为硫酸铜液体,水模内两个塑胶管断面,流动方向相反,向头侧流动液体(注射管)呈黑色,向足侧流动(返流管)呈白色。

翻转角 30° , TR 34 ms, TE 4.8 ms, 平均激励次数 3, 层厚 5 mm, 视野 $160 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$, 矩阵 128×256 , 采用流动补偿和无相位卷积技术。

3. 实验步骤和方法

将平行走行但方向相反的 2 支塑胶管(远端环状弯曲对折)放置在充满硫酸铜的水模内(图 1), 水模外塑胶管(直径 3.3 mm, 长 5 m)一端连接高压注射器, 一端连接广口烧瓶, 分别将水模平行扫描床长轴或向右侧水平倾斜 45° 模拟门静脉走行放置于头线圈内。

磁共振扫描采用单个无门控 2D-PC 梯度回波序列, 测量层面与塑胶管走行(液体流动方向)垂直。控制高压注射器以不同的流率向管腔内注入生理盐水或牛奶, 注射流速分别为 5.0、7.5、10.0 和 12.5 cm/s, 每个序列重复 2 次。然后, 改变液体流动方向, 重复上述实验。

4. 图像评价

将所得图像(相位图、流动图)传到工作站, 由两位 MRI 诊断医师分别在工作站上应用流速分析软件对实验模型进行流速测量, 共测量 3 次, 每次勾画相同面积的兴趣区(0.08 cm^2), 读取数据, 取 6 次测量数据的平均值进行分析。

5. 统计学处理

所得数据采用 Excel 及 SPSS 11.5 统计分析软件包进行分析。不同预置流速编码、不同流体物质及管道垂直或倾斜时各测量值与真值的比较, 先采用方差齐性检验, 有无统计学差异采用方差分析。 $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

结 果

采用不同的预置流速编码值时 MRI 流速测量值

和实际值见表 1。

表 1 预置不同流速编码 MRI 测量值与实际流速值 (cm/s)

实际流速	V=20cm/s	V=30cm/s
5.0	6.11	5.88
7.5	8.75	8.56
10.0	9.99	11.62
12.5	11.06	12.87
-5.0	-6.07	-6.15
-7.5	-7.81	-8.50
-10.0	-9.18	-11.85
-12.5	-11.5	-13.27

经方差齐性检验, 此组数据方差齐 ($P = 0.668$)。采用 2D-PC MRI 进行定量测量, 预置不同流速编码值 (20 cm/s 和 30 cm/s) 时, MRI 测量的流速值与实际流速(真值)比较, 差异均无统计学意义 ($F = 0.01$, $P = 0.999$)。

采用不同管道角度时分别进行流速测量, 测量值与真值的比较见表 2。

表 2 管道不同角度时流速测量值与实际流速 (cm/s)

实际流速	垂直	倾斜
5.0	5.33	3.92
7.5	6.60	2.56
10.0	9.93	7.75
12.5	13.65	9.53
-5.0	-5.85	-5.30
-7.5	-7.39	-7.94
-10.0	-9.80	-9.91
-12.5	-13.94	-9.78

采用 2D-PC-MRI 进行定量测量, 实验管道纵行或倾斜 45° 时, 两组流速测量值与真值比较, 差异均无统计学意义 ($F = 0.034$, $P = 0.966$)。

模拟管向右侧倾斜 45° , 管腔内注入不同的流体(牛奶或盐水组), 采用流速定量软件观察测量值与真值的差异, 结果见表 3。

表 3 不同流体(牛奶、盐水)流速测量值与实际流速 (cm/s)

实际流速	牛奶组	盐水组
5.0	5.88	6.75
7.5	9.56	10.68
10.0	11.62	11.65
12.5	13.87	14.50
-5.0	-6.15	-6.61
-7.5	-8.50	-8.42
-10.0	-11.85	-10.67
-12.5	-13.27	-13.28

牛奶与盐水组流速测量值与真值比较, 差异无统计学意义 ($F = 0.006$, $P = 0.994$)。

讨 论

1. 相位对比 MRI 血流测量原理

相位对比(phase contrast, PC) MRI 系通过 MRI

信号的差异来直接获取流动信息^[7],已经成为无创伤性血流动力学研究的重要方法之一。采用与血流方向垂直的编码梯度,当血管截面积确定时,将每个像素的血流速度进行叠加,获得血流的平均速度,再乘以血管的截面积,即可得出特定时间内血液流经该血管截面的流量。在相位对比梯度流速测量由于其速度,对很大区域流动敏感和固有的定量基础,因此,更适合于血流体积分的定量研究。

本研究在行体外模型实验中,放置塑胶管于硫酸铜液体中,实验模型内充满硫酸铜液体,模拟流动的背景物质,塑胶管的内腔模拟血管管腔,循环物采用与人体渗透压相同的生理盐水模拟脑脊液,采用牛奶(含有很高的蛋白质)模拟人体血液(含有形成分),旨在观察 MRI 血流定量测量技术准确性是否受流体性质的影响。模型利用高压注射器按照门静脉内血流一般流率进行流速设置。MR 相位图上,像素信号强度的变化标识血流速度的快慢,血流方向则被赋予不同颜色。本研究中采用两支平行、方向相反实验管进行观察,两支实验管流体方向不同,呈黑白 2 种颜色(图 1)。考虑到肝硬化晚期可能产生离肝血流,因此本实验采用了正反两个方向血流进行实验,改变液体流动方向,观察两支实验管道,是否随着流体方向变化改变颜色。其临床意义对于门静脉系统,相位对比 MRI 除观察血流动力学定量改变,能直观、客观反映血流方向信息,离肝血流或向肝血流,离肝血流意味肝功能衰竭。本研究对不同影响因素均行定量分析,旨在探讨流速定量研究采用的参数对测量准确性影响。

2. 不同流速编码值对测量值的影响

预置流速编码是影响磁共振血流测量准确性的重要因素之一,选择最佳流速编码值,避免流动相位伪影(aliasing)造成的误差,确保流速编码值大于目标血流的最高流速。在 PC 法定量测量流速的技术中流速编码的选择极为关键。流速编码值设置过高,大大超出血管内血流最高流速,流动导致质子相位变化差异较小,测得的流速误差较大;流速编码值设置如果低于最高流速,则快速流动的质子的相位变化超出 180° ,与反方向慢血流质子的相位重叠(例如 190° 与 10° 相位互相重叠),显示为反方向血流,该现象称为流动伪影。健康志愿者的门静脉流速约 (11.08 ± 2.09) cm/s^[8],国外学者^[9,10]在研究门静脉血流定量测量中流速编码值多采用 30 cm/s。本实验中注入塑胶管的实际流速为 5.0~12.5 cm/s。肝硬化时,随着门静脉压力增高而流速减慢,肝硬化晚期则可能出现离肝血流。因此,按照将流速编码值应设置为平均流速的 150% 的方

法,本课题设置流速编码值为 20 或 30 cm/s,两者均采用流速软件进行定量测量,结果显示 MRI 测量值与真值之间的差异无统计学意义,表明当血流速度在 5.0~12.5 cm/s,预置流速编码为 20 或 30 cm/s,测量结果将是相对客观的,预置流速编码在小范围内变化时,能够反映实际血流的速度,无流动伪影,不会影响测量结果。

3. 管道走行方向对流速测量的影响

采用 2D-PC-MRI 进行血流定量测量时,定位线必须垂直于目标血管,方可准确测得层面编码方向的血流速度^[10,11];层面倾斜可增加部分容积效应和最小 TR,致血管断面呈长椭圆形,而使测量的敏感性降低。门静脉走行非平行或垂直人体的长轴,血流方向与运动编码方向不一致。因此,编码方向的选择及对血流测量时定位线放置的方向对结果有无影响,是一些学者非常关心的问题,很多学者对此进行了深入的研究。①测量层面内血流,利用所测得的流速值(流速在流速编码方向上的分量)与血流方向同流速编码方向的夹角,通过公式间接计算得出流速值^[12,13];②分别测量 PE 和 RO 方向的流速值^[14](A 和 B),采用公式计算:

$$\text{门静脉流速} = \sqrt{(A^2 + B^2)} \quad (1)$$

③对一个体分别设置观察前后或左右方向流速编码,结果证明编码方向对测量值无影响。

本研究采用垂直或水平倾斜 45° 方向对实验管道进行定量测量,当定位线垂直靶血管时,测量值与真值差异无统计学意义($P > 0.05$)。该研究表明 2D-PC-MRI 血流定量测量时当定位线与模拟管道垂直时血流定量测量值是相对准确的。说明该血流定量技术可以应用于倾斜方向走行的门静脉。本研究未采用向前后方向倾斜管道,实际人体门静脉走行非绝对平行人体表面,可以有轻度向前后倾斜。我们大量的临床研究中,均可通过定位图像得到平行于门静脉长轴的最大断面,再经门静脉中点行定位测量,不会影响结果的准确性。因此,对靶管道垂直是确保定量测量准确性的基础。

4. 不同流体对流速测量的影响

相位对比磁共振流速定量测量时像素的信号强度反映流动质子沿磁场梯度移动所产生的相位位移,理论上相位成像的信号强度与流速呈线性关系,与不同的流体本身无关。目前,临床上 2D-PC-MRI 在临床应用主要包括血液和脑脊液定量测量两个方面,而且,较广泛应用于测量动静脉血流动力学改变。由于流速测量软件的影响因素众多,本研究观察了不同流体对测量值的影响,采用与人体渗透压相同的一种物质生

理盐水,模拟脑脊液,采用牛奶模拟人体血液,采用高压注射器,精确控制管腔内液体的流速,实验显示,利用 PC 法定量测量生理盐水和牛奶的流速,采用不同的流速进行定量观察,两组测量值与真值差别无统计学意义。证明 2D-PC-MRI 方法可以用于体内稳态流动模式如静脉窦脑脊液和静脉血液进行定量研究,不受流体本身性质影响。

综上所述,PC MRI 定量测量技术在用于人体进行定量测量前,一定要对扫描参数进行预实验及校正研究,这样才能得到相对客观的定量结果,才能用于疾病的定量诊断。

参考文献:

- [1] Iotz J, Meier C, Leppert A, et al. Cardiovascular Flow Measurement with Phase-contrast MR Imaging: Basic Facts and Implementation[J]. RadioGraphics, 2002, 22(3): 651-671.
- [2] Greil G, Geva T, Maier SE, et al. Effect of Acquisition Parameters on the Accuracy of Velocity Encoded Cine Magnetic Resonance Imaging Blood Flow Measurements[J]. Magn Reson Imaging, 2002, 15(1): 47-54.
- [3] Bakker CJ, Hoogeveen RM, Viergever MA. Construction of a Protocol for Measuring Blood Flow by Two-dimensional Phase-contrast MRA[J]. J Magn Reson Imaging, 1999, 9(1): 119-127.
- [4] Buonocore MH, Bogren H. Factors Influencing the Accuracy and Precision of Velocity-encoded Phase Imaging[J]. Magn Reson Med, 1992, 26(1): 141-154.
- [5] Tang C, Blatter DD, Parker DL. Accuracy of Phase-contrast Flow Measurements in the Presence of Partial-volume Effects[J]. J Magn Reson Imaging, 1993, 3(2): 377-385.

- [6] 李彩英,田建明,刘辉,陆建平,等. 利用磁共振相位对比法对非搏动流体模型的定量测量研究[J]. 中国医学影像技术, 2006, 22(4): 535-537.
- [7] Stahlbe W, Sondergaard L, Thomsen C, et al. Quantification of Complex Flow Using MR Phase Imaging: a Study of Parameters Influencing the Phase-velocity Relation[J]. Magn Reson Imaging, 1992, 10(1): 13-23.
- [8] 李彩英,黄勃原,崔彩霞,等. MRI 相位对比与超声对照对正常志愿者餐前、餐后门静脉血流定量研究[J]. 放射学实践, 2007, 22(5): 471-474.
- [9] Burkart DJ, Johnson CD, Ehman RL, et al. Evaluation of Portal Venous Hypertension with Cine Phase-contrast MR Flow Measurements: High Association of Hyperdynamic Portal Flow with Variceal Hemorrhage[J]. Radiology, 1993, 188(3): 643-648.
- [10] Burkart DJ, Johnson CD, Morton MT, et al. Volumetric Flow Rates in the Portal Venous System: Measurement with Cine Phase Contrast MR Imaging[J]. AJR, 1993, 160(5): 1113-1118.
- [11] Lorie R, Norbert J, Stephen C, et al. Arterial and Venous Blood Flow: Noninvasive Quantitation with MR Imaging[J]. Radiology, 1992, 185(3): 809-812.
- [12] Underwood SR, Firmin DN, Klipstein RH, et al. Magnetic Resonance Velocity Mapping: Clinical Application of a New Technique[J]. Br Heart J, 1987, 57(5): 404-412.
- [13] Klipstein RH, Firmin DN, Underwood SR, et al. Blood Flow Patterns in the Human Aorta Studied by Magnetic Resonance[J]. Br Heart J, 1987, 58(4): 316-323.
- [14] Applegate GR, Thaete FL, Meyer SP, et al. Blood Flow in the Portal Vein: Velocity Quantitation with Phase-contrast MR Angiography[J]. Radiology, 1993, 187(1): 253-256.

(收稿日期: 2008-10-31 修回日期: 2008-12-28)

• 外刊摘要 •

一种用于 CT 引导下介入治疗的新型 Seldinger 穿刺针: 初步使用经验

Plumhans C, Mahnken A, Iwa R, et al

目的: 评价 CT 引导下介入操作困难时所采用一种新型 Seldinger 穿刺装置, 分析其适用性, 并探讨使用情况和缺点。

方法: 2007 年 11 月~2008 年 3 月, 对 16 例患者(男 9 例, 女 7 例, 平均 62 岁)使用新型 20G-Seldinger 穿刺针(Sika-Med, Wiewhl, 德国)行 CT 引导下介入治疗。由于有一根导丝焊接在靠近穿刺针末端的地方, 这种新型的穿刺针可引导多种不同的介入器材。通过穿刺针远端的四个微孔可进行连续麻醉直到抵达兴趣区。主要用于难度大的介入治疗。介入治疗使用的指征是引流术(7 例), 肿瘤 Trucut 活检术(8 例)和射频消融术(1 例)。记录每次介入治疗的操作情况、成功率、优缺点、并发症和患者耐受性。按 1~10 分对介入过程中的疼痛等级进行评分。**结果:** 介入操作全部成功, 无严重并发症发生。患者有很

好的耐受性, 平均疼痛评分为 2 ± 1 分。15 例(15/16)采用新型穿刺针通过扩张针道的方法成功抵达难以企及的危险部位, 并利用穿刺针完成持续性局部麻醉。此外, 不同的介入器材(如 Trucut 活检器和引流导管)均能通过穿刺针顺利插入。6 例将穿刺针连接于可移除的旋锁接口(luer lock), 从而抽吸出液体物质。**结论:** 对于难度大的介入治疗, 作为一种 CT 引导下介入可靠的技术, 使用 Seldinger 穿刺针有助于实现安全成功的介入操作。

华中科技大学同济医学院附属同济医院 关键译 胡道予校

摘自 Fortschr Röntgenstr, 2009, 181(2): 155-160.