

Preliminary study of whole-heart coronary MR angiography

HE Jian-xun, SUN Chong-peng, ZENG Qing-si, DENG Yu, LI Xin-chun*

(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Guangzhou Medical College, Guangzhou 510120, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate the reliability of whole-heart coronary MR angiography to visualize normal coronary artery branches. **Methods** Forty healthy volunteers underwent whole-heart coronary MR angiography, segmental coronary MR angiography was performed in the same 40 volunteers within one week. The image quality was evaluated by marks, as well as the signal-to-noise ratios (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) of the two methods. **Results** Thirty-eight subjects completed the examination. The scan time of whole-heart coronary MR angiography was much shorter than that of the control group ($P < 0.01$). 138/152 branches (90.8%) were graded more than III grade by whole-heart coronary MR angiography. 130/152 branches (85.5%) were graded more than III grade by segmental coronary MR angiography. There was no statistical difference between the two methods. SNR of whole-heart coronary MR angiography of the blood and the myocardium was higher than that of the control group, but CNR between the two approaches was not statistically different. **Conclusion** There is no difference in the visualization rate of normal coronary artery between whole-heart coronary MR angiography and segmental coronary MR angiography, but whole-heart coronary MR angiography is superior in visualizing the branches.

[Key words] Magnetic resonance angiography; Heart; Coronary artery

磁共振全心冠状动脉成像技术的初步研究

何建勋, 孙翀鹏, 曾庆思, 邓宇, 李新春*

(广州医学院第一附属医院放射科, 广东 广州 510120)

[摘要] **目的** 评价全心冠状动脉成像对正常冠状动脉显示的可靠性。 **方法** 40 例健康志愿者行全心冠状动脉成像, 一周内对这 40 例志愿者行分段冠状动脉成像。对图像质量进行评分, 计算成像信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)及扫描时间。 **结果** 38 例受检者完成检查, 全心冠状动脉成像时间明显短于分段冠状动脉成像($P < 0.01$)。全心冠状动脉成像评分在 III 级以上的血管为 138 支(90.8%), 分段冠状动脉成像为 130 支(85.5%), 两者对血管显示率无明显差异($P > 0.05$)。全心冠状动脉成像较分段冠状动脉成像具有更高的信噪比(SNR)($P < 0.01$), 两种方法对比噪声比(CNR)无显著性差异。 **结论** 全心冠状动脉成像与分段冠状动脉成像的显示率无明显差异, 但全心冠状动脉成像对冠脉的分支显示好。

[关键词] 磁共振血管造影术; 心脏; 冠状动脉

[中图分类号] R816.2; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2006)07-1024-04

随着磁共振技术的不断完善, 心脏冠状动脉磁共振成像在临床上的应用逐渐开展, 并获得良好的成效。应用较广泛的技术有屏气及自由呼吸的 3D 冠状动脉磁共振成像技术, 但仍存在检查时间长, 不能在一个成像平面完整显示冠脉全程的缺点。近来飞利浦公司推出了一种全新的磁共振全心冠状动脉成像法(whole-heart coronary MR angiography)。此方法基于呼吸导航快速平衡式梯度回波技术(B-TFE/3D/NAVI)采集全心容积数据, 通过曲面重建及容积重建技术,

实现快速的一站式冠状动脉成像, 成像时间短且无需受检者长时间屏气。本文通过全心冠脉成像与以往自由呼吸导航回波冠脉成像比较, 初步探讨该方法在冠脉显示和成像质量方面的优势。

1 资料与方法

1.1 临床资料 40 例正常志愿者, 其中男 26 例, 女 14 例, 年龄 25~75 岁, 平均年龄 50 岁, 运用自由呼吸导航回波全心冠脉扫描技术(以下简称全心冠脉成像法)成像。相同的志愿者在全心冠脉成像法完毕后一周内运用自由呼吸导航回波冠脉成像方法对左右冠脉分别成像(以下简称分段法冠脉成像)。

检查前嘱咐检查者放松, 进行呼吸训练, 保持正常的呼吸状态, 剔除心率过快的志愿者, 心率范围在 60~80 次/分。同一检查者在短期内两次检查心率无明显变化, 如两次心率变

[作者简介] 何建勋(1970-), 男, 广东人, 学士, 主管技师。研究方向: MRI 扫描技术研究。E-mail: xundog@163.com

[通讯作者] 李新春, 广州医学院第一附属医院放射科, 510120。E-mail: xinchunli@163.com

[收稿日期] 2006-02-17 **[修回日期]** 2006-04-04

化较大数据未被本研究采纳,两次检查均未服用减低心率的药物。

1.2 磁共振扫描方法

1.2.1 设备 使用 Philips Nova Dual 1.5T 超导双梯度磁共振仪。线圈最大梯度场强:≥40 mT。最大梯度切换率≥150 mT。

1.2.2 全心法冠脉成像

(1)成像步骤:使用 SENSE 心脏相控阵线圈,给病人加上心电图向量门控(VCG),呼吸门控。扫心脏的三维定位序列。在定位相上找到轴位最大左心室平面,依次定位扫描左室长轴,假四腔心,左室短轴,标准四腔心的心脏电影成像,每一个心动周期扫 50 个相位。在标准四腔心的心脏电影成像中观测并确定心脏等容舒张期的起始及结束时间,计算出 R-R 的百分比;计算出等容舒张期时间,作为触发延迟(trigger delay, TD)时间。输入关键的几个参数值:心率, R-R 值, TD 值,膈肌导航回波的门控宽度值, TFE 因子值。进行全心扫描。

(2)扫描序列及参数:冠脉成像采用改良的超快速平衡式梯度回波序列(improved balance TFE)。超快速平衡式梯度回波序列使用 SPIR 技术压脂,使用 T2 Prep Pulse 压制心肌信号。扫描参数:TR 4.6 ms, TE 2.3 ms, 翻转角 90°, TFE 因子 30, FOV 280 mm, 扫描矩阵 256×512, 层数 160~180, 扫描层厚 0.75 mm, SENSE 因子 2.0, R-R:依赖于病人情况, NSA:1。

1.2.3 分段法冠脉成像 使用 SENSE 心脏线圈,自由呼吸导航回波技术,成像序列采用快速平衡式梯度回波结合三点定位(3PPS)方法行左右冠状动脉分别成像,参数:TR 5.6 ms, TE 2.8 ms, 翻转角 110°, TFE 因子 13, FOV 270 mm, 扫描矩阵:272×512。

1.3 图像处理与评价 使用飞利浦公司提供的 3D 曲面重建软件(SoapBubble)对全心扫描容积数据进行冠脉的三维曲面重建,利用容积重建工具进行容积重建,分别获得冠状动脉各主要血管分支图像,根据图像质量对各支冠状动脉进行等级评分,采用 0~Ⅳ级图像评分方法:0 级,冠状动脉没有对比显示;Ⅰ级,冠状动脉可以显示但是存在严重的轮廓模糊,伪影干扰;Ⅱ级,冠状动脉显示,但是存在中等程度的轮廓模糊和干扰;Ⅲ级,冠状动脉显示清晰,但是存在轻度的边缘模糊;Ⅳ级,冠状动脉显示清晰,轮廓清晰锐利,没有伪影干扰。由 2 名研究者分别评价图像质量,对于评分大于等于Ⅲ级的血管分支,用 SoapBubble 软件分别测量全心法冠脉成像及分段法冠脉成像的心肌,冠脉的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)及心肌-冠脉对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR),设置面积相近的 ROI 分别于左、右近段冠状动脉血管内、血管周围组织和胸前壁的空间(背景噪声),测量其信号强度 3 次,取其平均值,根据公式计算增强冠状动脉和心肌的 SNR。信噪比计算公式为:SNR = SI/SD, SI 为信号强度, SD 为背景噪声的标准差。对冠状动脉和心肌的信号强度及信噪比进行 *t* 检验,数据的测量和图像评价由两位高级职称医师共同协商完成。

数据处理采用 SPSS 10.0 统计软件,两组数据比较采用配对 *t* 检验。*P* < 0.01 为具有统计学意义。

2 结果

2.1 全心法冠脉成像与分段法冠脉成像冠脉成像时间的比较 38 例健康志愿者均能顺利完成检查,全心法冠脉成像时间为(5.46±1.08) min,分段法冠脉成像时间(8.07±1.23) min,经配对资料的 *t* 检验,两者差异有显著性(*t* = 3.051, *P* < 0.01)。全心法冠脉成像时间明显短于分段法冠状动脉成像。

2.2 全心法冠脉成像与分段法冠脉成像冠脉显示情况比较

40 例志愿者中,2 例不能配合而未获得数据,适用效率为 95%。共获得 38 例志愿者 152 支冠状动脉分支的资料。全心冠状动脉成像技术评分在Ⅲ级以上的血管为 138 支,分段法评分在Ⅲ级以上的血管为 130 支,对冠状动脉显示Ⅲ级以上的记为成功,经配对资料的 χ^2 检验比较两者对血管显示成功率无明显的统计学意义(*t* = 2.017, *P* > 0.01)(表 1)。

表 1 全心法冠脉成像及分段法冠脉成像对冠状动脉的显示情况

	全心法冠脉成像		分段法冠脉成像		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
	成功	不成功	成功	不成功		
RCA	38	0	38	0	<i>t</i> = 2.017	<i>P</i> = 0.156
LM	34	4	32	6		
LAD	37	1	33	5		
LCX	29	9	27	11		

对显示Ⅲ级以上的血管用全心冠状动脉成像对左前降支显示长度为(102.6±22.9) mm,较分段法(58.6±18.9) mm 长(*P* < 0.01),两种方法对右冠状动脉及左冠状动脉回旋支的显示长度无显著性差异[全心法 RCA:(125.1±29.8) mm, LCX:(64.8±24.6) mm;分段法 RCA:(107.6±35.3) mm, LCX:(58.7±24.8) mm, *P* 值分别为 0.066 和 0.392]。在冠状动脉整体显示方面:全心法曲面重建能够在一个平面上完整显示冠脉分支的全程,显示分支较多,长度较长(图 1);而分段法显示冠脉较短,常需结合多个层面才能观察冠脉全程(图 2)。全心法容积重建显示冠状动脉完整、边缘清晰,能够立体显示冠脉与心脏大体解剖的关系,并且可以多角度旋转观察(图 3)。

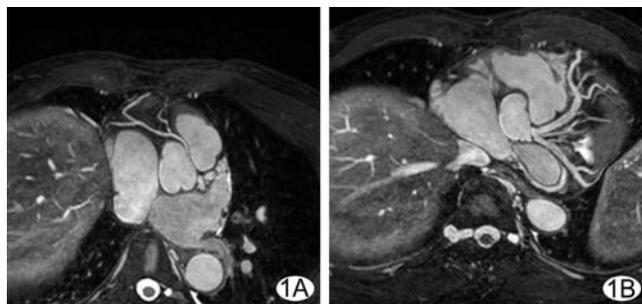


图 1 全心法冠脉成像容积数据曲面重建图像 A. 右冠状动脉, B. 左冠前降支与回旋支。左、右冠状动脉全程能够在同一平面上清晰显示,分支丰富且具有很高的信噪比

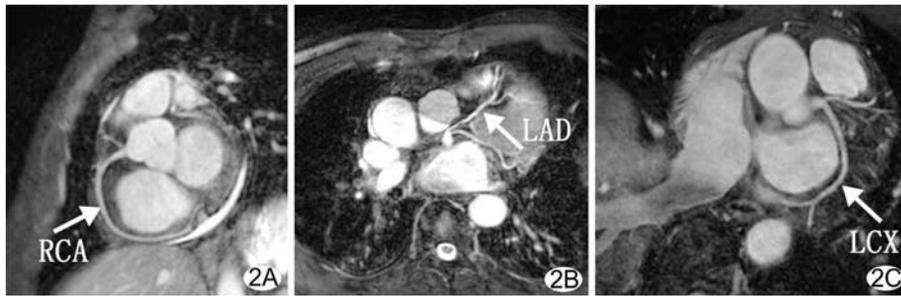


图 2 分段法冠脉成像显示的左右冠状动脉图像 左右冠状动脉必须分别成像,但由于冠脉走行迂曲,冠脉不能在同一层内显示其全程走行,显示的分支较少,仅限于主干

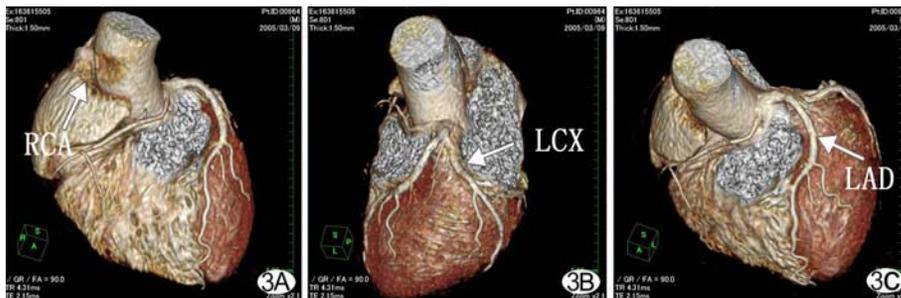


图 3 利用容积重建软件重建的三维冠脉图像 全心法容积数据经 VR 重建,可立体再现冠脉与心脏大体解剖的空间关系,并可以任意方向旋转观察。显示冠脉分支轮廓清晰,完整

2.3 全心法冠脉成像与分段法冠脉成像的图像质量比较
 全心法冠脉成像曲面重建图像质量较高,冠脉、心肌的 SNR 均高于分段法($P < 0.01$),而两组 CNR 无显著性差异(表 2)。

表 2 全心法与分段法 SNR 和 CNR 的配对 *t* 检验

		全心冠脉成像 (<i>n</i> = 38)	分段法冠脉成像 (<i>n</i> = 38)	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
SNR	冠脉	62.25 ± 14.14	52.45 ± 16.19	3.154	0.003
	心肌	26.62 ± 5.91	20.03 ± 7.25	4.706	0.000
CNR		36.34 ± 8.27	32.78 ± 9.27	2.247	0.150

3 讨论

3.1 MR 冠脉成像的技术研究 冠状动脉的磁共振成像研究的历史始于上世纪的 80 年代。最初的方法是屏气方式的冠脉分段扫描,优点是方法简单,呼吸伪影相对较少,缺点是屏气幅度难以维持一致,错层或者失去靶血管现象经常出现。导航回波技术的应用使自由呼吸冠脉扫描的方法得以完善,呼吸伪影的有效抑制使图像的质量可以得到很大的提高,缺点是成像时间较长,消除心脏的运动伪影存在困难。无论是屏气方式或者自由呼吸方式的磁共振冠状动脉成像技术普遍存在以下的缺点:①自由呼吸方法成像时间长,整个冠脉成像的过程大约需要 40~80 min^[1]。②屏气方法需要受检者高度配合,要求病人呼吸匀称或长时间屏气^[2,3],对于年老和重症无法配合的患者往往难以获得优质的图像。③冠状动脉具有走行迂曲、纤细,位置随着心脏的搏动不断变化的特点,以往的分段冠脉成像的方法(包括:自由呼吸及屏气方法),通常难以在一个成像平面完整显示冠脉全程,得出的冠脉影像都是

以主干为主的分段或以多个层数方式显示的冠状动脉影像,冠状动脉的整体观无法得以显示。全心冠状动脉成像扫描方式的开发成功解决了上述的问题,它基于超快速平衡式梯度回波序列下的全心容积扫描。超快速平衡梯度回波技术能显著缩短采集时间,并能保持良好图像信噪比^[4]。五通道的心脏专用线圈,配合 SENSE 技术保证了成像质量,减少成像时间^[5]。飞利浦特有的心电图门控 VCG 技术提供的心电信号稳定,受磁场及射频脉冲影响少,保证触发信号的稳定,利于提高采集的效率^[6]。在冠脉成像中压脂技术尤为重要,压脂有两种方式:PROSET 和 SPIR。PROSET 方式会使 TR 时间延长,不利于冠脉成像。SPIR 方式不会延长 TR,有利于成像,但需要容积匀场,选用 SPIR 方式压脂。心肌及冠脉窦的信号会影响冠脉的显示,采用 T2-Prep 序列对心肌信号进行压制达到突出冠脉的目的^[7-8]。腹带加压技术(belt technique, BLT):,给病人加上腹带以限制膈肌的运动幅度达到减少心脏位移的目的,可以有效的减少运动伪影及呼吸伪影,提高回波导航的效率。心率的影响:理想的全心冠脉成像心率应控制在 85 次/分以下为好,心率过快会使采集窗缩窄,运动伪影增加,影响图像质量。心率不齐,有频繁早搏或者有房纤的病人采集激发无规律,全心冠脉成像效果欠佳。本研究发现全心冠脉成像的图像的信噪比明显高于分段法冠脉成像,主观上评价,在使用全心冠脉成像冠脉的信号明显高于周围肌肉信号,使冠状动脉较分段法冠脉成像易于观察。全心冠脉成像较分段冠脉成像的分辨率高,扫描时间短而 SNR 也高的原因主要在于以下几点:①运动跟踪技术的使用:实时计算厚片的位置和技术参数;②径向 K 空间填充:稳态过渡初期的高信号优先填充 K 空间中心,保证高 SNR。③ K 空间快门技术的应用:节省扫描时间,不损失空间分辨率。④选用 SPIR 压脂,不会增加 TR,有利于提高成像速度,却保持高信噪比。⑤为压制心肌的信号,采用 T2-Prep 脉冲预饱和和心肌,以达到压制心肌信号,突出冠脉信号的目的。⑥给患者在肋弓下加腹带,以限制膈肌的运动空间,达到减少心脏的位移幅度的目的,消除运动伪影,同样可增加信噪比。

3.2 全心冠脉成像的成像效能的评价 在图像质量评价方面,本研究采用 0~IV 级图像评分方法,发现两种方法对冠状动脉主干的成功显示率无明显差异。

在图像对冠状动脉的显示范围方面,本组测量了 III 级以上冠状动脉的长度,尽管冠状动脉长度与个体、性别和冠状动脉分布优势类型相关,但是本研究是严格的配对资料,是对同一个志愿者进行两种方法的检查,因此测量长度可以全面、客

观反映定位显示的效果。通过配对 t 检验可以看出全心法对左冠前降支的显示明显优于分段法冠状动脉成像,这主要是因为:其一,左前降支的走行特别迂曲,分段法的扫描层厚有限,只能包含左前降支的主干,远端的分支多数超出扫描层块,全心法则将之包含其内;其二,全心法比分段法扫描分辨率要高,前者是 $0.55\text{ mm} \times 0.55\text{ mm} \times 0.75\text{ mm}$,后者是 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$,较细的分支全心法都能显示出来。对于右冠及左旋支的显示,全心法与分段法无明显统计学差异。由两组成像方法得到的结果可以看出全心冠脉成像的特点:着重整体性及高分辨率,全心冠状动脉成像扫描层块覆盖全心,左右冠脉行程皆包括在内。高分辨率的全心扫描的容积数据,通过曲面重建和容积重建可清晰显示冠状动脉各分支的走行。通过曲面重建软件可测量冠脉的长度、管径、信噪比等数据^[9]。由于容积扫描的关系,冠状动脉的所有分支皆包含在内,通过重建,可获得丰富的分支显示,冠状动脉树的整体显示成为可能。而分段扫描冠脉成像只显示扫描层块内的冠脉影像,不能显示冠脉全程走行。全心扫描方法可显示冠脉全局情况,冠脉的走行是连续而不是分割的,为临床医师提供冠状动脉的整体信息,对于诊断非常重要。分段法只提供局部的冠脉影像,存在以偏概全之嫌。

3.3 全心冠状动脉成像的临床应用前景 全心冠状动脉成像的优势:①成像时间明显缩短:本研究全心法冠状动脉扫描的序列时间为 $(5.46 \pm 1.08)\text{ min}$,检查全过程只需 $25 \sim 30\text{ min}$;分段法扫描序列时间为 $(8.07 \pm 1.23)\text{ min}$,完成检查全过程需要 $40 \sim 70\text{ min}$,两者之间有明显的统计学差异 ($P < 0.01$)。②可重复性高:依照检查程序可轻易重复全心冠脉检查过程,对操作者技术水平要求不严格,可显示冠脉的全景情况,通过 3D 重建可显示完整的冠脉树结构,以便追踪到更长的冠脉影像和更细的分支,对于迂曲的分支也能清晰显示。而分段法冠状动脉需要操作者十分熟悉冠状动脉的走行,需要多次定位,增加了操作的复杂性和难度,对冠状动脉的分支显示效果不满意。③对受检病人的选择性低:心率较快或者轻度心率不整的患者可施行检查,全心扫描过程中心率小于 85 次/分 ^[9,10]的患者都可成功完成检查,轻度心率不整的患者也可以施行检查,但由于心率不整时采集的时间窗过短,影响触发采集,导致采集效率下降和信噪比降低。④较高的信噪比:本研究发现全心冠状动脉成像的信噪比明显高于分段法冠脉成像,主观观察发现对冠脉的边缘显示比较清晰。

总之,由于磁共振全心冠状动脉检查具有检查时间明显缩短和检查效能明显提高的特点,使 MR 冠脉检查作为一种非侵袭性的、无创的重要检查手段应用于临床成为现实,结合

MR 在心脏形态和运动成像以及心肌灌注成像,将为冠心病的诊断和评价提供客观依据。

本研究局限性:没有病例对照,缺乏选择性冠状动脉造影的比较,所以该技术对冠状动脉狭窄的判断尚需进行进一步的临床对照研究。

[参考文献]

- [1] Kim WY, Danias PG, Stuber M, et al. Coronary magnetic resonance angiography for the detection of coronary stenoses [J]. *N Engl J Med*, 2001, 345(26):1863-1869.
- [2] van Geuns RJ, Wieloposki PA, de Bruin HG, et al. Coronary angiography with breath-hold targeted volumes: preliminary clinical results [J]. *Radiology*, 2000, 217(1):270-277.
- [3] Stuber M, Botnar RM, Danias PG, et al. Three-dimensional coronary MR angiography with real-time navigator correction: comparison of navigator location [J]. *Radiology*, 1999, 212(2):579-587.
- [4] Spuentrup E, Börner P, Botnar RM, et al. Navigator-gated free-breathing three-dimensional Balanced fast field echo (true FISP) coronary magnetic resonance angiography [J]. *Invest Radiol*, 2002, 37(11):637-642.
- [5] Weiger M, Pruessmann KP, Boesiger P. Cardiac real-time imaging using SENSE: SENSEitivity Encoding scheme [J]. *Magn Reson Med*, 2000, 43(2):177-184.
- [6] Fischer SE, Wickline SA, Lorenz CH. Novel real-time R-wave detection algorithm based on the vectorcardiogram for accurate gated magnetic resonance acquisitions [J]. *Magn Reson Med*, 1999, 42(2):361-370.
- [7] Shankaranarayanan A, Simonetti OP, Laub G, et al. Segmented k-space and real-time cardiac cine MR imaging with radial trajectories [J]. *Radiology*, 2001, 221(3):827-836.
- [8] Brittain JH, Hu BS, Wright GA, et al. Coronary angiography with magnetization-prepared T2 contrast [J]. *Magn Med*, 1995, 33(5):689-696.
- [9] Gao B, Guo QY, Hou Y, et al. Whole-heart turbo-field-echo coronary MR angiography at 3 Tesla: initial experience [J]. *Chin J Med Imaging Technol*, 2006, 22(3):377-379.
高波,郭启勇,侯阳,等.3.0T 磁共振全心方法冠状动脉造影的初步评价 [J]. *中国医学影像技术*, 2006, 22(3):377-379.
- [10] Zhang ZQ, Ma XH, Yan ZX, et al. Contrast enhanced magnetic resonance of coronary angiography: initial experiences [J]. *Chin J Med Imaging Technol*, 2003, 19(10):1306-1309.
张兆琪,马晓海,晏子旭,等.对比增强磁共振冠状动脉成像的初步研究 [J]. *中国医学影像技术*, 2003, 19(10):1306-1309.