

Effect of heart rate variability on image quality of 3D free-breathing whole-heart coronary MR angiography with 3.0T scanner

YU Bing¹, SUN Hong-bin², HOU Yang¹, GUO Qi-yong^{1*}

(1. Department of Radiology, Shengjing Hospital of China Medical University, Shenyang 110004, China;

2. Department of Radiology, the Fourth Affiliated Hospital of China Medical University, Shenyang 110032, China)

[Abstract] **Objective** To observe the effect of the average heart rate (HR) and the variability of HR on image quality of 3D free-breathing whole-heart coronary MR angiography (MRCA). **Methods** A total of 65 healthy volunteers underwent retrospective electrocardiography-gated 3D free-breathing whole-heart coronary MRA with ECG-gated 3D segmented-k-space gradient echo sequence. Two observers evaluated image quality of each coronary segment. Visualization of the proximal coronary arteries (CA) with coronary MRA was qualitatively evaluated using a four point grading scale (1: excellent; 2: good; 3: moderate; 4: non-diagnostic). Pearson correlation analysis was performed to analyze the correlation between image quality of each coronary artery and the average HR and heart rate variability. **Results** Average HR was 64.5 ± 13.3 beats per minute (bpm) (range 40—86 bpm) with a variability of $(6.1\% \pm 2.6)\%$. No significant correlation presented between mean HR and image quality of all segments of the left circumflex and left anterior descending artery except the right coronary artery ($P < 0.05$). heart rate variability significantly correlated with overall image quality ($P < 0.001$) and image quality of each coronary artery. **Conclusion** heart rate variability influences the image quality of 3D free-breathing coronary MRA more obvious than HR does.

[Key words] Magnetic resonance angiography; Coronary vessels; Heart rate; Image quality

心率变异率对 3.0T 磁共振自由呼吸全心冠状动脉成像图像质量的影响

于兵¹, 孙红彬², 侯阳¹, 郭启勇^{1*}

(1. 中国医科大学附属盛京医院放射科, 辽宁 沈阳 110004;

2. 中国医科大学附属第四医院放射科, 辽宁 沈阳 110032)

[摘要] **目的** 观察 3.0T 磁共振自由呼吸全心冠状动脉成像过程中平均心率(HR)及心率变异对图像质量的影响。**方法** 应用 Philips 3.0T MR, 采用节段 k 空间采集梯度回波序列对 65 名健康志愿者行自由呼吸回顾性心电门控全心磁共振冠状动脉成像(MRCA)检查。心率变异的程度用 HR 的标准差占 R-R 间期的百分比表示。由 2 名有经验的放射科医生对各冠状动脉近端的 MRCA 图像质量进行评分(1 分:优秀;2 分:良好;3 分:一般;4 分:无诊断意义)。采用 Pearson 相关性分析检验各冠状动脉平均 HR 及心率变异与 MRA 图像质量的相关性。**结果** 65 名健康志愿者的平均 HR 为 (64.5 ± 13.3) 次/分, 心率变异为 $(6.1\% \pm 2.6)\%$ 。HR 与右侧冠状动脉($P < 0.05$)以外的各支冠状动脉近端 MRA 的图像质量无相关性($P > 0.05$), 心率变异与各支冠状动脉的图像质量均显著相关($P < 0.001$)。**结论** 心率变异对 3.0T 自由呼吸 MRCA 图像质量的影响较 HR 更为显著。

[关键词] 磁共振血管成像; 冠状血管; 心律; 图像质量

[中图分类号] R445.2; R332 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2010)02-0282-03

冠状动脉粥样硬化性心脏病(冠心病)是危害人类生命的主要疾病之一,探讨、改进检查手段对于防治该病有着非常

重要的意义。随着 MR 快速成像技术的发展,磁共振冠状动脉成像(magnetic resonance coronary angiography, MRCA)已成为无创性检查冠状动脉疾病的方法之一,并初步体现出临床应用价值^[1]。研究已经初步证实 MRCA 检测冠状动脉疾病具有很高的阴性预测值^[2]。但在当前的技术条件下,冠状动脉成像的图像质量还不十分稳定。

受成像速度所限,目前 MRCA 主要采用分段 k 空间梯度回波技术采集信号,以呼吸导航系统解决呼吸运动造成的干

[作者简介] 于兵(1978—),男,辽宁大连人,硕士,讲师。研究方向:磁共振影像诊断。E-mail: yubing@sj-hospital.org

[通讯作者] 郭启勇,中国医科大学附属盛京医院放射科,110004。

E-mail: guoqy@sj-hospital.org

[收稿日期] 2009-08-03 **[修回日期]** 2009-08-24

扰^[3],利用 ECG 触发技术实现恰好在舒张中期采集冠状动脉数据,克服心脏搏动的干扰^[4]。以往研究认为足够长的 R-R 间期和高的呼吸导航效率是保证 MRCA 图像质量的充要条件。更多的研究表明,一部分导航效率很高,R-R 间期足够长的患者的 MRCA 图像质量依然得不到保证,而且更深入的研究表明,心率变异对 1.5T MR 的 MRCA 图像质量有重要影响^[5]。本研究通过分析健康志愿者 MRCA 的图像质量,观察心率变异及心率(heart rate, HR)对于 3.0T 全心 MRCA 图像质量的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 65 名健康志愿者,男 43 名,女 22 名,年龄 34~61 岁,平均(46.8±8.2)岁,均为窦性心率。所有受检者均无 MR 检查禁忌证;均被告知相关情况并同意参加试验。

1.2 仪器与方法 采用 Philips Achieva 3.0T 全身双梯度超导型磁共振机,最大梯度场强 80 mT/m;最大切换率 200 T/(m·ms);6 通道心脏专用相控线圈,配备心电矢量门控和呼吸门控导航监视装置。

全心冠状动脉检查步骤及定位:受检者取仰卧位,双手自然放置,训练其规律呼吸并放置心脏线圈于心前区,扫描前主动匀场,先使用快速场回波(turbo field echo, TFE)电影成像序列获得高分辨力的四腔心层面,慢速电影放映,观察心脏在舒张期的运动情况,计算冠状动脉触发延迟时间并得到图像采集间期。计算 TFE 因子:TFE 因子 = 采集间期持续时间/

TR,将呼吸导航门控置于右侧横膈顶部,实时校正层面跟踪系统追踪呼吸频率,窗口宽度设置为 6 mm。

扫描参数:采用 3D TFE 序列:TR 7.0 ms, TE 1.59 ms,翻转角 25°,NEX 1,敏感因子 2,带宽 1049.9 Hz,FOV 310 mm × 310 mm × 210 mm,层厚 0.6 mm,重建矩阵 512 × 512 × 352,重建像素大小 0.6 mm × 0.6 mm × 0.6 mm。应用预饱和翻转恢复脉冲(spectral presaturation with inversion recovery, SPIR)序列及 T2 预脉冲来增强冠脉与心肌及心外膜脂肪的对比。

1.3 图像处理 扫描所得图像传输至 ViewForum 工作站(Philips Medical Systems),采用 Philips 皂泡软件(Soap Bubble-Tool)结合多平面重建(multi-planar reformation, MPR)技术进行后处理,重建三支冠状动脉:左冠状动脉前降支(left anterior ascending, LAD),右冠状动脉(right coronary artery, RCA)及左冠状动脉回旋支(left circumflex, LCX)。

MRCA 扫描期间心率变异程度的计算采用文献^[7]方法,从扫描所得 DICOM 文件中读取各 R-R 间期(R-R interval)的长度(ms),以 60 000/平均 R-R 间期作为平均 HR,以 R-R 间期的标准差占平均 R-R 间期的百分比作为心率变异程度进行分析。

由 2 名有经验的放射科医生对各支冠状动脉近端的 MRA 图像质量进行评分(1 分:优秀;2 分:良好;3 分:一般;4 分:无诊断意义),以达成一致时的评分作为评分结果。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 17.0 统计软件,扫描所得 3 支

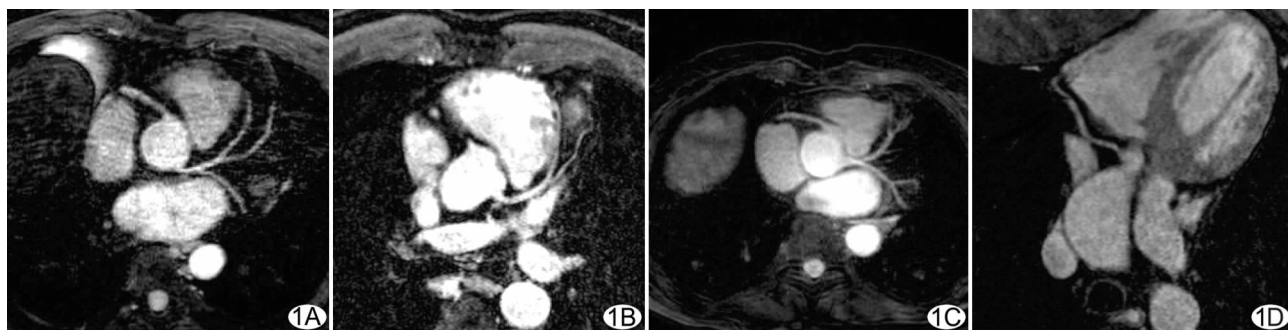


图 1 MRCA 近端重建图像 树状显示 3 支冠状动脉(A),LAD 近端(B),LCX 近端(C),RCA 近端(D)

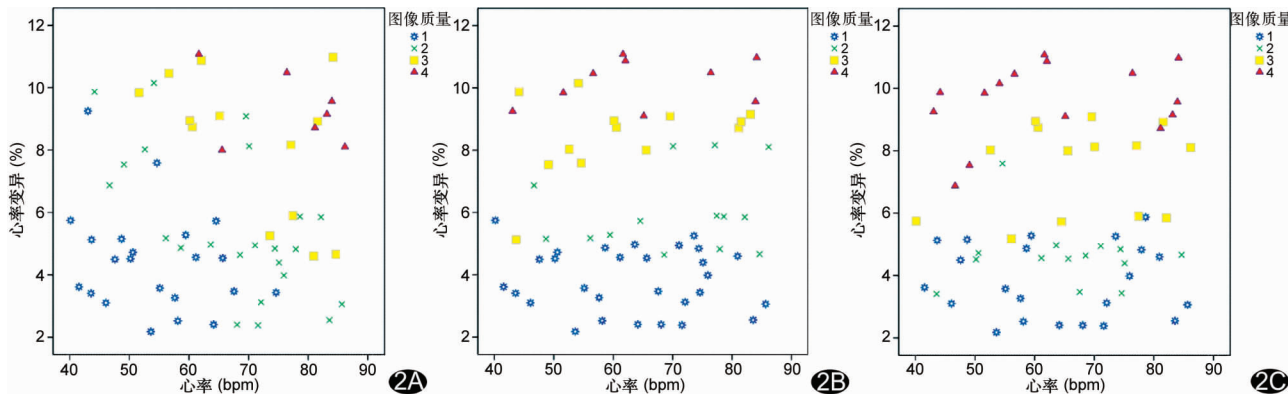


图 2 图像质量与 HR 和心率变异关系的散点图 A. 心率变异和 HR 都较高时,RCA 图像质量较差; B. 心率变异较高时,LAD 图像质量较差; C. 心率变异较高时,LCX 图像质量较差

冠状动脉近端的图像质量评分两两比较采用 t 检验,采用 Pearson 相关性检验分别研究 HR 及心率变异与冠状动脉 MRA 图像质量的相关性, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

成功完成对 65 名志愿者的 MRCA 扫描(图 1)。扫描期间平均呼吸导航效率(55.6 ± 8.5)% (47% ~ 64%)。扫描期间平均 HR 为(64.5 ± 13.3)次/分(40 ~ 86 次/分),平均心率变异为(6.1% ± 2.6%)。LCX 图像质量(2.34 ± 1.17)明显低于 RCA(2.08 ± 0.99)与 LAD(2.03 ± 1.10) (P 均 < 0.05 , 表 1)。

表 1 各支冠状动脉图像质量评分(名)

冠状动脉	1 分	2 分	3 分	4 分
RCA	22	23	13	7
LAD	29	14	13	9
LCX	22	14	14	15

注: RCA: 右冠状动脉; LAD: 左前降支; LCX: 左回旋支

HR 与 RCA ($P < 0.05$) 以外的各支冠状动脉近端 MRA 的图像质量无相关性 ($P > 0.05$), 而心率变异与各支冠状动脉的图像质量均显著相关 ($P < 0.001$, 图 2)。

3 讨论

冠状动脉管径较细(约 3 ~ 5 mm), 走行迂曲, 邻近有较多脂肪组织, 其所处位置易受心跳和呼吸的影响, 所以得到冠状动脉 MRA 图像相当困难^[6-7]。随着分段 k 空间采样技术的出现, MRCA 的研究进入了一个新阶段, 图像质量有了显著提高。MR 检查具有无创及无辐射的优点, MRCA 在健康人群筛查方面无疑具有一定的优势。研究显示, 使用分段 k 空间梯度回波进行自然呼吸状态下 MRCA 具有广泛的临床可行性^[4]。

对冠状动脉运动规律的研究表明, 在舒张中期冠状动脉运动存在一个短暂的“滞留”, 多数研究利用此间期进行采样。目前的 MRCA 扫描正是利用四腔心层面的电影图像, 通过观察冠状动脉断面的运动规律来定义舒张中期触发延迟时间以及相应时刻的冠状动脉位置, 以保证在合适的时间和位置进行采样。

本研究结果表明, 心率变异对 MRCA 图像质量有重要影响。心率变异是正常的生理现象, 受自主神经以及呼吸、血氧饱和度、血管压力等众多因素影响。心脏收缩期的时间在心动周期中基本恒定, 不同心动周期之间的心率变异主要由舒张期的长度决定。而 MRCA 的图像采集正是在舒张中期进行的, 不同心动周期中舒张期的长短不同, 可能导致所得图像中应该定位于同一解剖位置的信号实际上来自不同的解剖位置, 或在采集信号时应该处于静止状态的冠状动脉实际处于运动状态, 这显然会降低 MRCA 的图像质量^[5]。以往研究也表明, 倍他乐克提高冠状动脉成像的图像质量不仅由于其降低了 HR, 还与其降低了心率变异有关^[8]。

本研究还发现, RCA 的图像质量不仅受心率变异影响, 也显著受到 HR 的影响。这可能是由于心底部在心脏收缩期存在显著拉长变形, 导致 RCA 的运动速度和运动范围都显著地大于左侧冠状动脉。RCA 的采集时间窗显著短于左侧冠状动脉, 故当 HR 增加、导致等容舒张期变短时, RCA 受到的影响相

对 LCA 也大得多。本组结果还显示 LCX 的图像质量明显低于 LAD 与 RCA, 可能与 LCX 较细且走行迂曲有关。

目前 MRCA 研究主要应用 1.5T 磁共振, 对于高场强磁共振(3.0T MR)在 MRCA 中的临床应用还处在探索阶段。本研究发现, 心率的绝对快慢不是 3.0T MRCA 图像质量的决定性影响因素。高场强加速了磁化矢量的翻转, 具有更高的理论信噪比, 可以使用更长的回波链和并行采集技术, 加上采用频率选择性预饱和和脉冲、磁化准备等技术, 能够很好地抑制心内外脂肪组织信号和心肌信号, 增加血管与周围组织的对比度, 缩短检查时间, 从而在一定程度上降低绝对心率对图像质量的影响。虽然 3.0T 相对 1.5T 并未成倍提高实际信噪比^[9], 但是扫描时间的缩短、成像速度的加快使更多患者可以耐受 MRCA, 提高了 MRCA 的临床适用范围及其临床价值。

本组研究对象为健康志愿者, HR 相对较规则, 最高不超过 86 次, 而且呼吸导航的导航效率都较高。文献中呼吸导航低效率导致图像质量显著下降的现象在本研究中无明显体现^[4]。有关更高 HR 下 HR 和心率变异对图像质量的影响有待于深入研究。另外, 需进行更大样本研究, 以进一步明确 HR、心率变异、呼吸导航效率等影响因素对高场强下 MRCA 图像质量的影响。

[参考文献]

- [1] Manning WJ, Nezafat R, Appelbaum E, et al. Coronary magnetic resonance imaging. *Cardiol Clin*, 2007, 25(1): 141-170.
- [2] 孙红彬, 郭启勇, 侯阳. 3.0T 磁共振全心冠状动脉成像在诊断冠状动脉狭窄中的临床价值. *中国医学影像技术*, 2008, 24(8): 1204-1207.
- [3] Keegan J, Gatehouse P, Yang GZ, et al. Coronary artery motion with the respiratory cycle during breath-holding and free-breathing: implications for slice-followed coronary artery imaging. *Magn Reson Med*, 2002, 47(3): 476-481.
- [4] Plein S, Jones TR, Ridgway JP, et al. Three-dimensional coronary MR angiography performed with subject-specific cardiac acquisition windows and motion adapted respiratory gating. *AJR Am J Roentgenol*, 2003, 180(2): 505-512.
- [5] Tangcharoen T, Jahnke C, Koehler U, et al. Impact of heart rate variability in patients with normal sinus rhythm on image quality in coronary magnetic angiography. *J Magn Reson Imaging*, 2008, 28(1): 74-79.
- [6] Stehning C, Börmert P, Nehrke K, et al. Free-breathing whole-heart coronary MRA with 3D radial SSFP and self-navigated image reconstruction. *Magn Reson Med*, 2005, 54(2): 476-480.
- [7] Weber OM, Martin AJ, Higgins CB. Whole-heart steady-state free precession coronary artery magnetic resonance angiography. *Magn Reson Med*, 2003, 50(6): 1223-1228.
- [8] Jokinen V, Tapanainen JM, Seppanen T, et al. Temporal changes and prognostic significance of measures of heart rate dynamics after acute myocardial infarction in the beta-blocking era. *Am J Cardiol*, 2003, 92(8): 907-912.
- [9] Vogel-Claussen J, Osman N. What you need to know about cardiac MRI at 3T—new developments and technical consideration. Chicago: Radiological Society of North America, 2006.