

Image quality and impact factors of whole-heart coronary MR angiography

DAI Qin-yi¹, HE Yi¹, ZHANG Zhao-qi^{1*}, An Jing²

(1. Department of Radiology, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing 100029, China;
2. Siemens Mindit Magnetic Resonance Ltd., Shenzhen 518057, China)

[Abstract] **Objective** To observe the image quality and impact factors of whole-heart coronary magnetic resonance angiography (WH CMRA). **Methods** Eighty-eight patients underwent WH CMRA without contrast material at 1.5T MR using 3D ECG-triggered, navigator-gated, fat-suppressed, T2-prepared steady state free precession sequence. Image quality of WH CMRA was evaluated using 4-point scale (1, poor; 4, excellent). Segments which scored of 1 were excluded from further analysis. The diagnostic performance of WH CMRA in detecting stenosis was compared with that of conventional CAG as stenosis $\geq 50\%$. **Results** ① Totally 79 patients (79/88, 89.77%) successfully completed examination in (13.28 \pm 4.33)min, their heart rate was (67 \pm 8)bpm, navigator accept rate was (34.12 \pm 8.10)%, body mass index (BMI) was (25.90 \pm 3.20)kg/m². Qualitative image analysis was performed on 79 patients. Except 4 patients scored as 1, the average score for other 75 patients was 2.9 \pm 1.0. ② Conventional CAG was completed in 42 patients (42/75, 56.00%) in (13.50 \pm 4.60)min, and their heart rate was (67 \pm 10)bpm and image quality was 3.2 \pm 0.9. The time interval of WH CMRA and CAG was (5 \pm 2) days. The sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value and accuracy of WH CMRA for detecting coronary stenosis based on patient was 90.48% (19/21), 66.67% (14/21), 73.08% (19/26), 87.50% (14/16) and 78.57% (33/42), respectively. ③ No significant difference of mean age, heart rate, scan time, navigator accept rate, BMI nor image quality was found between patients completed WH CMRA and CAG (all $P > 0.05$). **Conclusion** The image quality of WH CMRA can satisfy diagnosis of coronary stenosis, which relates to heart rate, breathe pattern and BMI.

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

全心冠状动脉 MR 成像的图像质量及其影响因素

戴沁怡¹, 贺毅¹, 张兆琪^{1*}, 安靖²

(1. 首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科, 北京 100029;
2. 西门子迈迪特磁共振有限公司, 广东 深圳 518057)

[摘要] **目的** 评价全心冠状动脉 MR 成像(WH CMRA)的图像质量及其影响因素。**方法** 对 88 例疑似冠心病者, 采用 1.5T 非对比增强、心电图门控兼呼吸导航、T2 预备脉冲并脂肪抑制的 3D 稳态自由进动序列扫描; 采用 4 分制(1 分, 差; 4 分, 优)评价图像质量, 对得分 2~4 分者评估冠状动脉的狭窄程度, 以 CAG 显示狭窄 $\geq 50\%$ 为标准评价 MR 的准确率。**结果** ①完成组: 79 例(79/88, 89.77%)完成 WH CMRA 检查, 扫描时间(13.28 \pm 4.33)min, 心率(67 \pm 8)次/分, 呼吸导航效率(34.12 \pm 8.10)%, 体质量指数(BMI)为(25.90 \pm 3.20)kg/m²; 75 例平均图像质量评分(2.9 \pm 1.0)分, 4 例图像质量为 1 分; ②对照组: 42 例(42/75, 56.00%)完成 CAG 检查, 扫描时间(13.50 \pm 4.60)min, 心率(67 \pm 10)次/分, 图像

[基金项目] 国家自然科学基金(81171336)。

[作者简介] 戴沁怡(1977—), 女, 黑龙江抚远人, 硕士, 主治医师。研究方向: 心血管影像。E-mail: qy627@yahoo.com.cn

[通讯作者] 张兆琪, 首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科, 100029。E-mail: zhaqiqi5000@vip.sohu.com

[收稿日期] 2012-08-11 **[修回日期]** 2012-12-08

质量评分(3.2±0.9)分,与 CAG 间隔(5±2)天;WH CMRA 诊断冠状动脉狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值和准确率分别为 90.48%(19/21)、66.67%(14/21)、73.08%(19/26)、87.50%(14/16)和 78.57%(33/42);③完成组与对照组间平均年龄、心率、扫描时间、呼吸导航效率、BMI 和图像质量间差异均无统计学意义(P 均>0.05)。结论 WH CMRA 图像质量大多能满足诊断需要,主要影响因素包括心脏搏动、呼吸运动和 BMI。

[关键词] 冠状血管;狭窄;图像质量;磁共振血管造影术

[中图分类号] R445.2; R543.3 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2013)02-0293-05

冠状动脉粥样硬化性心脏病(coronary artery disease, CAD)的发病率、致死率逐年攀升^[1],早期、无创筛查 CAD 成为临床迫切需求。2003 年 Weber 等^[2]提出全心冠状动脉 MRA (whole-heart coronary MRA, WH CMRA)的概念。本研究评价 1.5T MR 非对比增强 WH CMRA 的图像质量及其影响因素。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2009 年 4 月—2012 年 1 月疑诊 CAD 患者 88 例,男 57 例,女 31 例,年龄 26~78 岁,平均(59.3±11.8)岁。入选标准:①窦性心律;②生命体征平稳。排除标准:①MR 禁忌;②心律失常;③病情危重;④冠状动脉搭桥术后。所有患者均接受 WH CMRA,42 例随后接受 CAG。所有患者检查前均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Siemens Sonata 1.5T MR 系统,最大梯度 40 mT/m,梯度切换率 200 mT/m/ms,12 通道心脏线圈,胸导 R 波触发心电门控。采用呼吸导航、T2 预备脉冲并脂肪抑制的 3D 稳态自由进动序列进行扫描,参数:TR 3.40 ms,TE 1.71 ms,翻转角 90°,FOV 237 mm×330 mm,矩阵 184×256,空间分辨力 1.40 mm×1.40 mm×1.80 mm(插值 0.70 mm×0.70 mm×0.90 mm,Grappa 并行采集,加速因子 2)。对心率>70 次/分者于扫描前给予美托洛尔 12.5~25.0 mg 口服。①患者仰卧,头先进,加腹带;②将呼吸导航条置于右膈顶,接受范围±2.5 mm;③以四腔心电影观察右冠状动脉运动轨迹,选择冠状动脉相对静止期;④预扫描,个性化调整扫描

参数后完成 WH CMRA,记录呼吸、心电数据;⑤检查结束,以 MPR 和 CPR 重建冠状动脉树。

1.3 图像评价与分析 ①冠状动脉分段标准:参照美国心脏协会指南,分为右冠状动脉(right coronary artery, RCA)、左主干(left main, LM)、左前降支(left anterior descending, LAD)和回旋支(left circumflex, LCX)4 支,9 段划分法:RCA 近、中、远段(RCA₁、RCA₂、RCA₃),LM, LAD 近、中、远段(LAD₁、LAD₂、LAD₃)和 LCX 近、远段(LCX₁、LCX₂)。②采用 4 分制评价图像质量(图 1):1 分,差;2 分,中;3 分,良;4 分,优;2~4 分视为可评估血管。③MR 冠状动脉狭窄诊断标准:以狭窄≥50%为指标,由 2 名影像科医师

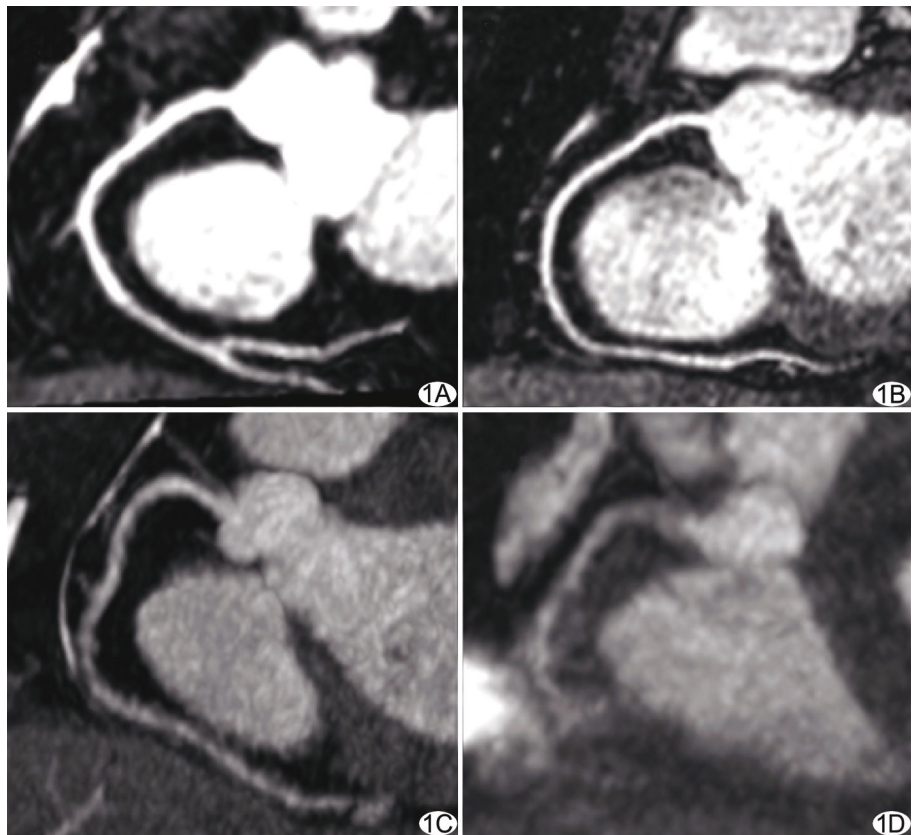


图 1 WH CMRA 图像质量评分示意图,以 RCA 为例 A. 4 分:血管显影清楚,边缘锐利; B. 3 分:血管显影清楚,边缘略模糊; C. 2 分:可见血管走行,边缘中度模糊; D. 1 分:严重伪影、管壁模糊或不能显示,无法评估

以盲法分别评价图像质量和狭窄程度,有分歧时经讨论达成一致。④CAG:采用 GE Innova 3100 数字血管造影机,以股动脉入路行左、右冠状动脉造影,由 1 名高年资心血管影像科医师参照相同分段法和诊断标准评估狭窄。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 11.5 统计软件包,计量资料均以 $\bar{x} \pm s$ 表示;组间比较采用非配对 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义;用四格表 χ^2 检验分析 WH CMRA 诊断狭窄的准确率,与 CAG 对照,分别计算敏感度、特异度、准确率、阳性和阴性预测值;采用 Kappa 检验评价 WH CMRA 图像质量和有无狭窄的一致性, Kappa 值 > 0.75 为一致性好。

2 结果

2.1 WH CMRA 完成组 79 例(79/88, 89.77%) 成功完成检查,作为 WH CMRA 完成组,其中 4 例(4/79, 5.06%) 图像质量 1 分;其余 75 例(75/79, 85.23%) 中,42 例完成 CAG 检查。79 例 WH CMRA 累计显示 705 段冠状动脉,其中 603 段(603/705, 85.53%, 表 1) 图像质量 2~4 分,包括 4 分 301 段(301/705, 42.70%)、3 分 177 段(177/705, 25.11%)、2 分 125 段(125/705, 17.73%), 102 段(102/705, 14.47%) 1 分,6 段被除外(支架干扰 5 段、左主干缺如 1 段)。9 例患者(9/88, 10.23%) 因呼吸不稳($n=6$)、早搏($n=2$) 或发热不适($n=1$) 而未完成检查。

79 例心率 44~93 次/分,平均(67 ± 8) 次/分。心脏舒张期采集 73 例,相对静止期起始时相 488~758(613 ± 55)ms,结束时相 588~938(747 ± 75)ms,相对静止期时长 65~228(133 ± 34)ms;收缩期采集 6 例,相对静止期起始时相 240~319(285 ± 33)ms,结束时相 345~457(397 ± 51)ms,相对静止期时长 68~180(112 ± 44)ms。平均心率与冠状动脉相对静止期的关系见图 2。图 2 同时表明,随心率加快,相对静止期时相缩短、期相前移,且平均心率约 90 次/分者在收缩期成像。

2.2 WH CMRA 对照组 75 例完成者中 42 例接受 CAG 检查,以之作为 WH CMRA 对照组。42 例中,38 例(38/42, 90.48%) 平均心率 < 70 次/分;

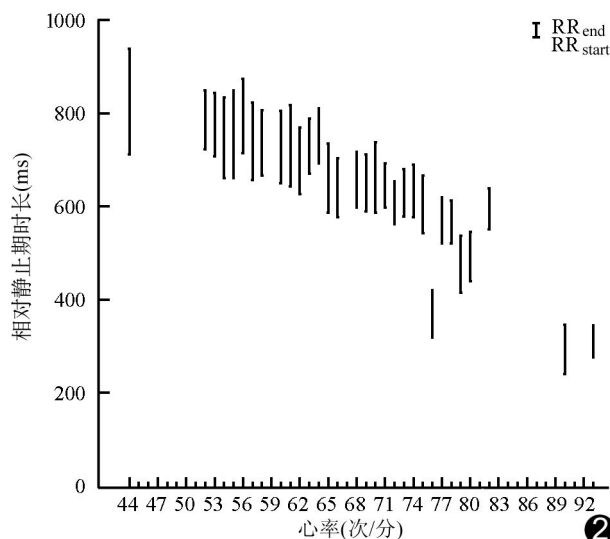


图 2 79 例 WH CMRA 完成者平均心率与冠状动脉相对静止期的点线关系图 RR_start 为相对静止期起始点,RR_end 为相对静止期结束点,二者间长度代表相对静止期时长(ms)

心脏舒张期采集 39 例(平均采集时相 605~743 ms),收缩期采集 3 例(平均采集时相 264~382 ms),见图 2。

表 1 79 例 WH CMRA 平均图像质量

参数	图像质量 > 1 分(例数/总例数)	图像质量评分(分)
血管段		
RCA ₁	73/78	3.2 ± 0.9
RCA ₂	72/78	3.1 ± 1.0
RCA ₃	72/78	3.1 ± 1.0
LAD ₁	69/79	3.0 ± 1.1
LAD ₂	65/79	2.9 ± 1.1
LAD ₃	54/79	2.6 ± 1.3
LCX ₁	66/78	2.9 ± 1.1
LCX ₂	61/78	2.8 ± 1.2
LM	71/78	3.1 ± 1.0
血管支		
LM	71/78	3.1 ± 1.0
RCA	73/78	3.1 ± 1.0
LAD	69/79	2.8 ± 1.1
LCX	66/78	2.9 ± 1.1
患者例数	75/79	2.9 ± 1.0

表 2 WH CMRA 完成组与对照组数据分析

参数	完成组($n=79$)	对照组($n=42$)
男/女(例)	54/25	30/12
年龄(岁)	58.2 ± 12.1	57.5 ± 13.2
心率(次/分)	67 ± 8(44~93)	67 ± 10(54~80)
扫描时间(min)	13.28 ± 4.33(6.2~28.0)	13.50 ± 4.60(6.9~24.0)
BMI(kg/m ²)	25.90 ± 3.20(19.2~34.2)	26.30 ± 3.00(20.1~34.2)
图像质量评分(分)	2.9 ± 1.0	3.2 ± 0.9
呼吸导航效率(%)	34.12 ± 8.10(15~55)	35.32 ± 6.13(20~53)
与 CAG 间隔(天)	—	5 ± 2

42 例中,2 例为冠状动脉支架植入术后,受磁敏感伪影影响,对含支架的血管段未能评价。CAG 累计显示 355 段(355/378, 93.92%)冠状动脉血管,其中 23 段(23/378, 6.08%)未能评价,原因包括图像质量过低(1 分,17 段)、受支架干扰(5 段)和冠状动脉畸形(1 段),平均图像质量 3.2 ± 0.9 。以患者为单位,WH CMRA 诊断狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值和准确率分别为 90.48%(19/21)、66.67%(14/21)、73.08%(19/26)、87.50%(14/16)和 78.57%(33/42)。

完成组和对照组间平均年龄、心率、扫描时间、呼吸导航效率、体质量指数(body mass index, BMI)和图像质量差异均无统计学意义(表 2)。

WH CMRA 完成组 705 段图像质量一致性良好(Kappa=0.79),对照组 42 例 CAG 显示 355 段图像质量和血管狭窄程度的一致性均良好(Kappa=0.80,0.81)。

3 讨论

3.1 MR 图像质量影响因素

扫描时间对图像质量影响至关重要,主要受冠状动脉相对静止期的影响,图像质量与心脏搏动和呼吸运动紧密相关^[3]。①心脏搏动是影响图像质量的最直接因素。为避免心脏搏动伪影,冠状动脉成像均采用心电门控技术,即在相对静止期采集数据,本研究绝大多数选择舒张期,占 92.41%。目前研究^[3]多通过观察 RCA 或 LAD 中段运动轨迹拟定相对静止期,个体化调整触发时间,以提高图像质量^[4]。RCA 的相对静止期较 LCA 起始晚、持续短,运动轨迹也更复杂^[5],所以更适宜观察。冠状动脉运动轨迹除受心率影响外,还受心脏收缩模式和解剖结构的影响,即使是心率相同的患者,相对静止期相和时相也可能不同^[6];研究^[7]表明心率 < 70 次/分能够显著减少扫描时间,所以目前推荐口服美托洛尔,以降低心率。尽管已事先控制心率,但

情绪紧张、MR 噪音等仍可导致患者心率加快或波动。本组 9 例心率 > 70 次/分,1 例最快达 93 次/分,相对静止期仅 68 ms,采集时间近 20 min。Wu 等^[8]研究证实,高心率(> 80 次/分)时在收缩期成像图像质量更好,这一理论在 MSCT 相关研究中已充分论证。本组 6 例高心率者在收缩期采集,心率(83±7)次/分,相对静止期起始时相(285±33)ms,结束时相(397±51)ms,与研究^[8]报道相仿。也有学者认为冠状动脉是在舒张期供血,此时冠状动脉内血流速度最快,故在收缩期采集可能导致 SNR 降低。②呼吸运动是影响图像质量的另一重要因素。呼吸导航是指在患者自由呼吸的模式下,在呼气末触发采集图像。正常人呼吸频率 16~20 次/分,采集窗过窄能够最大程度减少呼吸运动伪影,但导致扫描时间延长;采集窗过宽尽管节省时间,但运动伪影过多,也将影响图像质量。适宜的采集窗应同时兼顾采集效率和扫描时间,并最大化地

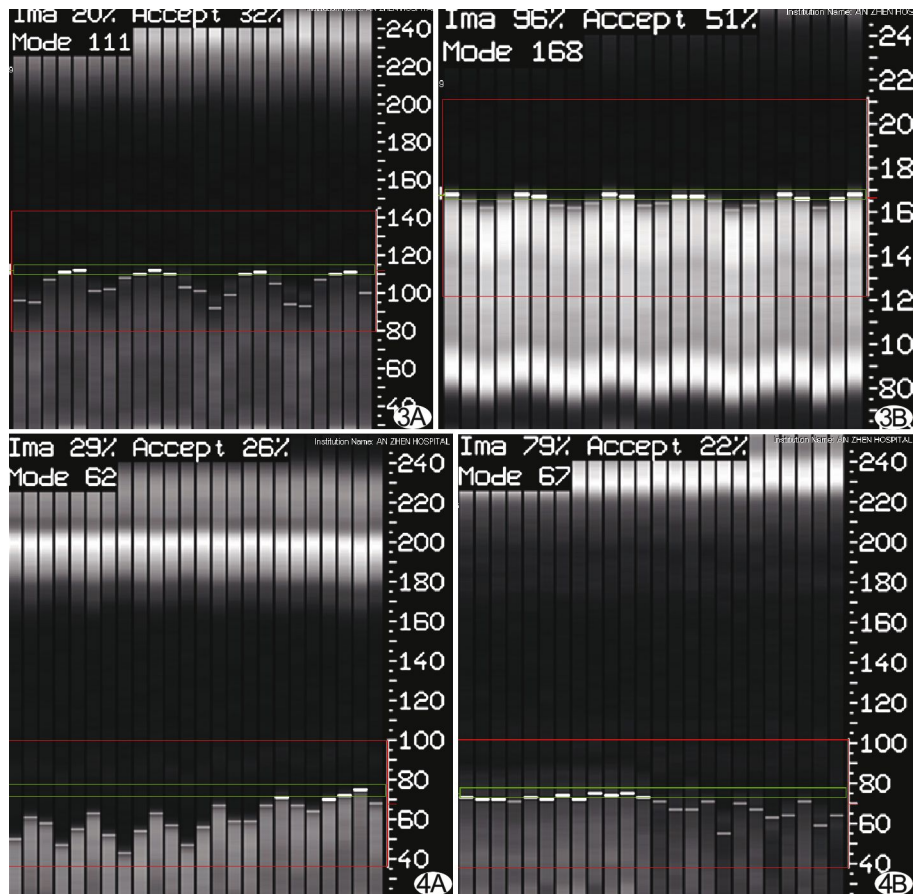


图 3 呼吸规则患者模式比较 A. 呼吸规则但呼吸幅度大,呼吸导航效率 32%,扫描时间 13.6 min;B. 呼吸规则且呼吸幅度浅,呼吸导航效率 51%,扫描时间仅 6.2 min 图 4 呼吸不规则患者模式图 A. 呼吸不规则、变化大,呼吸导航效率 26%,中途退出检查;B. 呼吸幅度平直、无规律,呼吸导航效率 22%,耗时 28.0 min,图像质量为 1 分

保证图像质量。本研究经早期预试验调试,将采集窗设定为 2.5 mm,与 Yang 等^[9]报道相仿,同时使用腹带限制患者过度吸气(图 3);尽管如此,对于呼吸不规律或呼吸频率缓慢的患者导航效率仍低下,9 例因呼吸不良而中途退出检查,或因呼吸伪影导致图像质量下降(图 4)。

③ BMI: 亚洲成人标准为 18.5~22.9 kg/m²。患者过度肥胖时,MR 脂肪抑制不彻底,导致图像 SNR 下降;心包周围的脂肪抑制不均匀,直接影响对于冠状动脉的观察,尤其对于心膈面近心尖处的 LAD₃ 影响最大。本研究中 25 段(31.65%)LAD₃ 图像质量为 1 分。也有研究^[7]表明,RCA₃、LAD₃ 位于心脏膈面,易受膈肌运动影响。Malayeri 等^[10]对 215 段冠状动脉黑血成像提示 BMI 与图像质量呈负相关趋势。

综上所述,WH CMRA 图像质量受心脏搏动、呼吸运动和 BMI 等多方面因素的共同影响^[11]。另外,长时间扫描导致患者心理和生理变化,影响心率和呼吸幅度的稳定,可致图像质量下降,并影响最终诊断的准确率。

3.2 WH CMRA 诊断狭窄准确率 统计国内外多项研究^[3,5,9,12-16],MRA 检出冠状动脉狭窄敏感度和特异度介于 65%~90%和 66%~94%,同时具有较高的阴性预测值(81%~96%);本研究结果与国内外报道一致。

3.3 WH CMRA 的优势 相比传统三点定位或双斜靶容积定位法,WH CMRA 操作简单、无需屏气、涵盖面广;“亮血序列”无需对比剂,适用于碘过敏及严重肾衰竭者;对于弥漫钙化,MRA 能较 CTA 更好地反映狭窄程度^[16],同时显示冠状动脉畸形,并可经电影序列评价心功能。

[参考文献]

- [1] Lloyd-Jones D, Adams R, Carnethon M, et al. Heart disease and stroke statistics—2009 update: A report from the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. *Circulation*, 2009, 119(3):480-486.
- [2] Weber OM, Martin AJ, Higgins CB, et al. Whole-heart steady-state free precession coronary artery magnetic resonance angiography. *Magn Reson Med*, 2003, 50(6):1223-1228.
- [3] Nagata M, Kato S, Kitagawa K, et al. Diagnostic accuracy of 1.5-T unenhanced whole-heart coronary MR angiography performed with 32-channel cardiac coils: Initial single-center experience. *Radiology*, 2011, 259(2):384-392.
- [4] Roes SD, Korosoglou G, Schor M, et al. Correction for heart rate variability during 3D whole heart MR coronary angiography. *J Magn Reson Imaging*, 2008, 27(5):1046-1053.
- [5] Kato S, Kitagawa K, Ishida N, et al. Assessment of coronary artery disease using magnetic resonance coronary angiography: A national multicenter trial. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 56(12):983-991.
- [6] Balu N, Wang J, Dong L, et al. Current techniques for MR imaging of atherosclerosis. *Top Magn Reson Imaging*, 2009, 20(4):203-215.
- [7] Jahnke C, Paetsch I, Achenbach S, et al. Coronary MR imaging: Breath-hold capability and patterns, coronary artery rest periods, and beta-blocker use. *Radiology*, 2006, 239(1):71-78.
- [8] Wu YW, Tadamura E, Yamamuro M, et al. Evaluation of three-dimensional navigator-gated whole heart MR coronary angiography: The importance of systolic imaging in subjects with high heart rates. *Eur J Radiol*, 2007, 61(1):91-96.
- [9] Yang Q, Li K, Liu X, et al. Contrast-enhanced whole-heart coronary magnetic resonance angiography at 3.0-T: A comparative study with X-ray angiography in a single center. *J Am Coll Cardiol*, 2009, 54(1):69-76.
- [10] Malayeri AA, Macedo R, Li D, et al. Coronary vessel wall evaluation by magnetic resonance imaging in the multi-ethnic study of atherosclerosis: Determinants of image quality. *J Comput Assist Tomogr*, 2009, 33(1):1-7.
- [11] 程流泉,高元桂,盛复庚,等. 冠状动脉磁共振成像图像质量的评价. *中国医学影像技术*, 2004, 20(3):399-402.
- [12] Schuetz GM, Zacharopoulou NM, Schlattmann P, et al. Meta-analysis: Noninvasive coronary angiography using computed tomography versus magnetic resonance imaging. *Ann Intern Med*, 2010, 152(3):167-177.
- [13] 常时新,郝楠馨,杜育杉,等. 3.0T 高分辨率自由呼吸导航全心冠状动脉成像的初步研究. *临床放射学杂志*, 2006, 25(11):1026-1030.
- [14] Chen Z, Duan Q, Xue X, et al. Noninvasive detection of coronary artery stenoses with contrast-enhanced whole-heart coronary magnetic resonance angiography at 3.0 T. *Cardiology*, 2010, 117(4):284-290.
- [15] Hamdan A, Asbach P, Wellnhofer E, et al. A prospective study for comparison of MR and CT imaging for detection of coronary artery stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2011, 4(1):50-61.
- [16] Oncel D, Oncel G. Accuracy of MR coronary angiography in the evaluation of coronary artery stenosis. *Diagn Interv Radiol*, 2008, 14(3):153-158.