

新型心脏动态体模及其在多层螺旋 CT 心脏扫描中的应用

祁吉 沈云 吴胜勇 葛夕洪 姜滨

多层螺旋 CT (MSCT) 的无创性冠状动脉 (简称冠脉) 成像是 CT 临床应用的一个重要突破,也是目前 MSCT 最前沿的研究领域之一^[1-3]。MSCT 的心电图 (ECG) 门控心脏成像中的心率波动、扫描速度或重组算法等都是影响心脏影像质量以及心脏检查成功率的关键因素,因而对于这些因素的定量分析是确立 MSCT 心脏成像技术所不可缺少的,也是保证 MSCT 的心脏成像质量、解决目前心脏成像中质量不稳定问题的关键方法之一。但是,临床上心脏 MSCT 检查的局限性 (患者条件难以控制) 使得心脏成像的研究难以系统地开展,目前国内未见利用心脏模具进行基础研究的相关报道,国外的相关报道也较少见^[4-10]。我院与 GE Healthcare 的 CT 影像研究室 (中国) 联合开发的新型心脏动态体模在心脏成像的基础研究和临床应用方面均具有独特的优越性。

一、设备、心脏重组算法及心脏动态体模

1. 心脏动态体模:由 3 个部分组成 (图 1)。(1) 动力部分:它的运动模式不是常规的正弦函数形式,而是充分模拟了人体左心室的搏动,具有 3 个运动时相:快速泵血期、快速充盈期及慢速充盈期,可以模拟不同的心率 (30 ~ 180 次/min) 及在扫描过程中的心率波动,能够更真实地模拟心脏的运动,对心脏功能成像的分析也更加准确。该心脏动态体模除了在 X-Y 轴方向上进行收缩和舒张运动外,在 Z 轴方向也存在伸缩运动。(2) 解剖结构模拟部分:由模拟的左心室和模拟的冠状动脉 (简称冠脉) 组成。在体模上可以挂置不同内径的冠脉 (3 ~ 5 mm 内径),冠脉内可以放置支架、模拟支架内的再狭窄、软斑块及钙化斑块等,所选冠脉材料的 CT 值接近生理情况下的 CT 值,狭窄材料具有不同的 CT 值,可以模拟不同性质的斑块。在不同内径的冠脉内均可设置不同程度的狭窄 (25%、50% 或 75%)。冠脉的挂置方式可以按照不同的角度以模拟不同冠脉的走行。运动时,整个心脏体模浸没于水箱中,尽可能模拟心脏搏动时的生理环境。(3) 控制部分:心脏体模的运动方式可以通过编程来设定不同的心率波动模式 (包括心律不齐)、不同的运动程度 (收缩期和舒张期的比率),甚至可以将患者实际的心率通过编程让体模进行模拟,进行回顾性研究。在心脏体模运动时可以同步产生心电图波形,模具内设置有 2 种心电图波形的触发方式,即内触发和外触发。内触发通过编程可以任意设定 R 波的位置;外触发通过外置的光电感应器决定触发的位置,可以任意调节舒张末期和收缩末期的位置,使其

更符合不同心率下的触发情况 (图 2)。

2. 设备和参数:用于心脏动态体模检验的扫描设备为 16 层 CT 机 (Light Speed16, GE Healthcare), 扫描模式为 $16 \times 0.625 \text{ mm}$, 120 kV, 300 mA/0.5 s 或 250 mA/0.6 s, 采用心脏扫描模式回顾性心电门控,螺距为 0.275, 心率设定为 40 ~ 115 次/分。心脏动态模具的运动程度 (收缩期和舒张期的比例) 为 45.1%。使用不同的心脏重组算法 (SnapShot Segment, Burst, Burst Plus) 来进行重组和评估。

3. 心脏重组算法:主要可分为单扇区和多扇区重组算法。单扇区重组算法是利用螺旋扫描获得的原始数据,根据回顾性心电门控信号,以选取的特定心相 (如 75% 相位) 为中心从 1 个心动周期中选取 X 线管旋转 $2/3$ 周获取的数据,利用半重组技术进行影像重组。多扇区重组算法是在半重组技术的基础上,将单一扇区分割成多个扇区,从不同的心动周期和不同排列的探测器上采集相同心相但不同角度的原始数据进行影像重组,由于每个扇区的宽度相对单一扇区有明显减小,所以时间分辨率能够得到显著的提高 (图 3)。

二、心脏动态体模在心脏成像研究中的应用价值

1. 心脏多扇区重组算法的“变速扫描在心脏的 MSCT 扫描中的临床价值”:将心脏动态体模作为研究对象,从心脏影像视觉评估和心脏功能 (射血分数, EF) 的定量分析,认证了变速扫描技术在心脏扫描成像中具有重要的价值。将心脏动态体模设定不同的心率,以不同的扫描速度进行成像。在 105 次/min 时,0.5 s/r 的扫描速度得到的影像质量要明显优于 0.6 s/r,这符合扫描速度越快时间分辨率越高,进而影像质量越好的常规理解;在 85 次/min 时,0.6 s/r 的扫描速度得到的影像质量反而要优于 0.5 s/r,条带状伪影明显减小,这是因为影像质量并非仅仅取决于扫描速度,而是取决于扫描速度和心率的匹配关系。当两者匹配时,应用多扇区重组算法能够得到最小的扇区角度,提高时间分辨率,改善心脏影像质量。这项研究对于推广变速扫描技术以在不同心率下得到最佳的影像质量具有重要的意义。

2. 3 种不同心脏重组算法获得的时间分辨率及对影像质量影响的体模研究:相对于单扇区重组算法,多扇区重组算法由于每个扇区的宽度相对单一扇区明显减小,所以时间分辨率能够得到显著的提高。心脏动态体模中将不同心率下采用不同心脏重组算法得到的横断面影像和 VR 影像进行评分,再将评分结果与不同心脏重组算法计算出的时间分辨率进行相关性分析。横断面影像评分和 VR 影像评分结果与时间分辨率之间显著相关。由此可见,时间分辨率是决定心脏影像质量的一个重要因素,采用多扇区重组算法来

作者单位:300192 天津医科大学附属第一中心医院 (祁吉、吴胜勇、葛夕洪、姜滨);日本东京女子医科大学 (沈云)

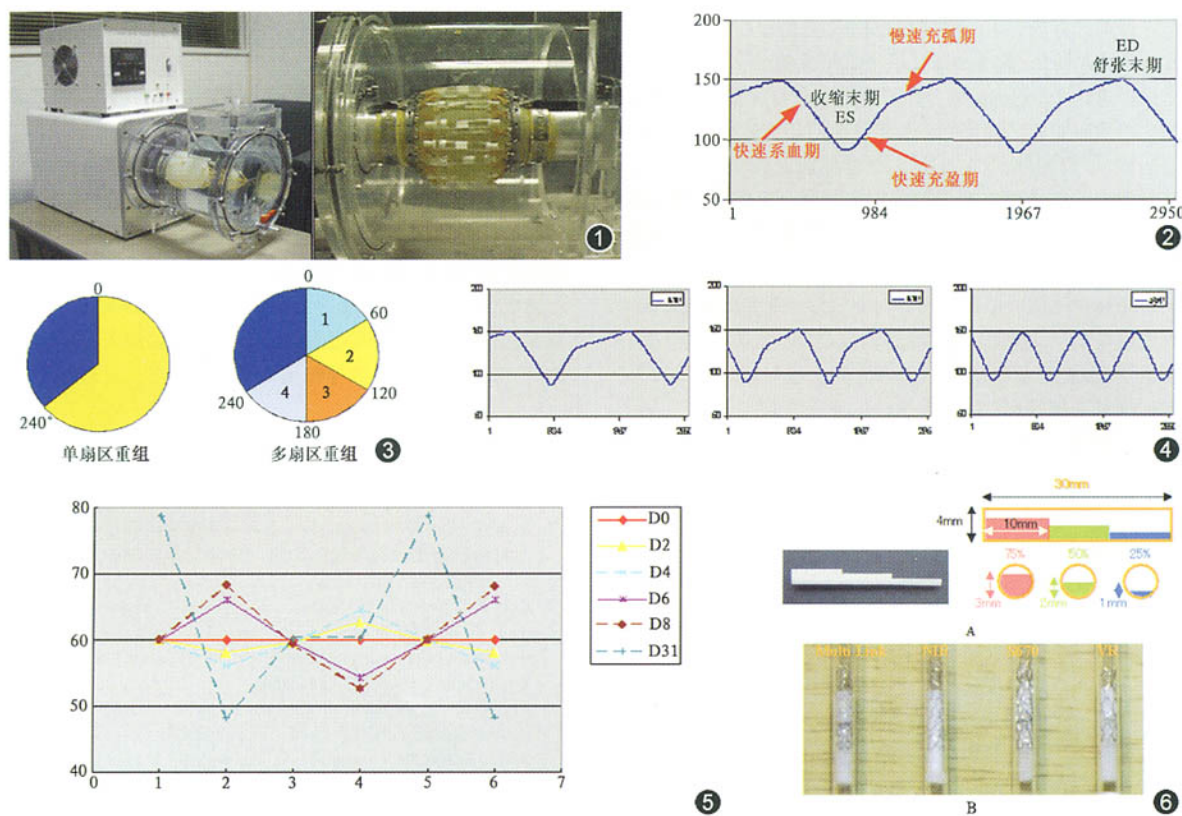


图 1 心脏动态体模的结构组成。左侧为控制部分和动力部分;右侧为解剖结构模拟部分(模拟左心室和模拟冠脉) **图 2** 心脏动态体模的容积变化曲线。横坐标表示时间(ms),纵坐标表示容积的幅值 **图 3** 心脏重组算法的示意图 **图 4** 不同心率下心脏动态体模的容积变化曲线。左、中、右图分别为心率 40、60、88 次/min **图 5** 心脏动态体模的心率波动模式。其中 D0 模式代表心率稳定,波动为 0 的模式;D2、D4、D6、D8 模式分别代表以基础心率为中心,正负波动为 2、4、6、8 次/min 的模式;D31 模式代表一种心律紊乱的模式,其最大心率和最小心率之间的差值为 31 次/min **图 6** 模拟冠脉中的狭窄和支架。上图为模拟冠脉狭窄的实物图和示意图,具有 3 种不同的狭窄程度(25%、50%和 75%);模拟冠脉具有不同的内径(3、4 和 5 mm);狭窄材料具有不同的 CT 值,模拟不同性质的斑块。下图为模拟冠脉支架的实物图(不同材料的支架)

提高时间分辨率,对于改善心脏影像质量具有重要的价值。

3. 心率波动条件下最佳心脏扫描条件的探讨:心率波动是影响心脏检查成功率和心脏影像质量的关键因素,探索心率波动下最佳的扫描条件(扫描速度、图像重组算法、螺矩等)具有非常重要的临床价值。心脏动态体模能够设定不同程度的心率波动模式,以此为实验对象可以全面系统地分析各个扫描参数对影像质量的影响,进而得到最优化的心脏扫描程序,这将更大地拓展 MSCT 心脏检查的使用范围,提高心脏检查的成功率和影像质量。实验中设定了 D0、D2、D5、D10 以及 D15 等 5 种心率波动模式,采用不同扫描速度和不同图像重组算法进行心脏成像。将容积重组(VR)及多平面重组(MPR)影像分成 5 个等级,根据冠状动脉影像界面是否锐利、有无阶梯伪影、有无容积缺损或搏动伪影及其程度将影像评为 1~5 分,以心率为 0 时的影像为标准,由 3 名高年资放射科医师采用盲法对影像质量进行评价。取 3 名医师对每一种重组影像的平均评分进行比较。结果显示,3 种不同重组算法所得影像质量皆随心率波动幅度的加大

而下降,这表明心脏成像的影像质量和成功率不仅与时间分辨率相关,扫描过程中的心率波动也是一个重要的影响因素。即使在 Burst Plus 重组算法提供高时间分辨率的条件下,影像质量也随心率波动幅度加大而变差。

在不同心率(40~115 次/min)时,心脏动态体模可以正常工作并可模拟心率波动的情况,同时对冠脉的模拟也非常逼真。在心率较低时,心脏搏动的 3 个时相(快速充盈期、慢速充盈期和快速泵血期)区分得非常清楚;随着心率的增加,比如达到 88 次/min 时,快速充盈期和慢速充盈期很难区分,心脏运动接近于正弦形式。在 1 个心动周期中,舒张期与收缩期的比值也随心率的增加而下降,并逐渐接近于 1,这也表明在高心率下按照正弦形式搏动(图 4、5)。在不同内径的模拟冠脉里都可以放置不同程度的偏心狭窄,狭窄材料具有不同的 CT 值,可以模拟不同性质的斑块。模拟冠脉里放置的支架有不同的材料和形状,能够评价 MSCT 对不同支架的显示能力(图 6)。

三、以往体模的不足

目前已有的关于心脏体模的报道侧重于心脏的解剖结构或者运动特征,能够全面反映心脏特性的心脏动态体模尚未见报道。Achenbach 等^[4]在研究电子束 CT(EBCT)对冠脉钙化的检测能力时设计了一个最简单的心脏体模,该体模不能运动,仅仅将蛋壳放入小管中模拟冠脉钙化。Schroeder 等^[5]设计心脏体模来确定 MSCT 对冠脉内斑块密度测量的准确性,该模具在 4 mm 内径的硅管中放置了 2 块密度已知的斑块,该模具也不能运动。Wicky 等^[6,7]设计了动态心脏体模来探索不同心脏扫描条件对心脏影像质量的影响,该体模能够模拟 0~76 次/min 范围内的心率,但是不能模拟心率波动,心脏搏动也仅仅在二维方向上进行。Kopp 等^[8]在对比 MSCT 与 EBCT 对冠脉钙化的测量精度时设计了一个动态心脏体模,该体模能在 0~140 次/min 范围内运动,但其收缩-舒张运动是按照正弦规律变化,没有充分模拟心脏搏动的 3 个时相,也不能模拟心率波动的模式。

四、新型心脏体模的优势

以往的心脏体模只是模拟了心脏解剖结构或是运动特征中的某一方面,而笔者介绍的新型心脏动态体模则更全面更真实地对心脏进行了模拟,该模具在 MSCT 心脏冠脉成像研究中可以起到 2 方面的作用,一是进行影响心脏影像质量的各种因素的基础性探讨,包括:不同心脏重组算法以及获得的时间分辨率对影像质量的影响,心率以及心率波动对影像质量的影响,层厚、扫描速度、不同的心脏运动程度(收缩期和舒张期的比例,EF)、不同的门控方法、不同的心跳期相以及期相重组等对心脏成像质量的影响。这方面的基础研究对于建立完善的心脏冠脉扫描程序,提高心脏成像的影像质量和成功率有很大的帮助,而且具有临床检查不可替代的优势。另一方面是用于冠脉病变临床诊断方面的探讨,包括评价冠脉狭窄的检出能力、支架术后的评估、软斑块的定量分析、钙化积分的定量分析以及心功能分析等。以冠脉狭窄检出能力的评估为例,模拟冠脉内能设置准确程度的狭窄,以实际的狭窄作为标准进行评价更加准确客观,同时还能与冠脉成像的金标准 DSA 进行对照研究,确立 MSCT 在心脏冠脉成像中的地位。

目前开展的研究大部分集中在心脏扫描的时间分辨率与影像质量和检查精度的关系上。但除时间分辨率之外,空间分辨率也是影响心脏冠脉成像质量的重要因素,对于提高冠脉细小分支、支架和斑块细节的显示能力至关重要。国内 16 层螺旋 CT 开展心脏检查通常使用 1.25 mm 层厚在 10 s 左右完成整个心脏扫描,虽然能显示一些冠脉的分支,但对多级分支的显示和支架细节的评估还存在局限。最新的 64 层容积 CT 使用 0.625 mm 层厚在 5 s 内完成整个心脏扫

描,避免了屏气后心率波动的影响,提高了心脏检查的成功率和影像质量。同时,利用一些新的图像重组算法(如共轭重组算法等)能得到更高的空间分辨率。这方面的对比研究我们也将利用心脏动态体模进一步开展。

通过以上的介绍和心脏动态体模的实验结果可以看到,新型心脏动态体模能够真实地模拟心脏的运动以及心脏和冠脉的生理情况,可用于心脏影像质量的定量分析以及冠脉病变诊断临床应用的基础性探讨,对于确立多层螺旋 CT 在心脏成像方面的地位、提高心脏检查的成功率和心脏影像质量是必不可少的。随着心脏动态体模研究的深入开展,它必将为 MSCT 心脏冠脉成像作出贡献。

参考文献

- 1 萧毅,田建明,王培军,等. 多层螺旋 CT 冠状动脉造影的扫描技术及临床应用. 中华放射学杂志, 2002, 36: 357-361.
- 2 毛定彪,滑炎卿,王鹏鹏,等. 心率与重建相位窗对多层螺旋 CT 冠状动脉造影图像质量的影响. 中华放射学杂志, 2004, 38: 521-524.
- 3 Cury RC, Ferencik M, Achenbach S, et al. Accuracy of 16-slice multi-detector CT to quantify the degree of coronary artery stenosis: assessment of cross-sectional and longitudinal vessel reconstructions. Eur J Radiol, 2006, 57: 345-350.
- 4 Achenbach S, Meissner F, Ropers D, et al. Overlapping cross-sections significantly improve the reproducibility of coronary calcium measurements by electron beam tomography: a phantom study. J Comput Assist Tomogr, 2001, 25: 569-573.
- 5 Schroeder S, Flohr T, Kopp AF, et al. Accuracy of density measurements within plaques located in artificial coronary arteries by X-ray multislice CT: results of a phantom study. J Comput Assist Tomogr, 2001, 25: 900-906.
- 6 Wicky S, Rosol M, Hamberg LM, et al. Evaluation of retrospective multisector and half scan ECG-gated multidetector cardiac CT protocol with moving phantoms. J Comput Assist Tomogr, 2002, 26: 768-776.
- 7 Wicky S, Rosol M, Hoffmann U, et al. Comparative study with moving heart phantom of the impact of temporal resolution on image quality with two multisector electrocardiography-gated computed tomography units. J Comput Assist Tomogr, 2003, 27: 392-398.
- 8 Kopp AF, Ohnesorge B, Becker C, et al. Reproducibility and accuracy of coronary calcium measurements with multi-detector row versus electron-beam CT. Radiology, 2002, 225: 113-119.
- 9 Horiguchi J, Nakanishi T, Tamura A, et al. Technical innovation of cardiac multirow detector CT using multisector reconstruction. Comput Med Imaging Graph, 2002, 26: 217-226.
- 10 Horiguchi J, Shen Y, Akiyama Y, et al. Electron beam CT versus 16-MSCT on the variability of repeated coronary artery calcium measurement in a variable heart rate phantom. AJR, 2005, 185: 995-1000.

(收稿日期:2006-06-19)

(本文编辑:张晓冬)

作者: 祁吉, 沈云, 吴胜勇, 葛夕洪, 姜滨
作者单位: 祁吉, 吴胜勇, 葛夕洪, 姜滨 (300192, 天津医科大学附属第一中心医院), 沈云 (日本东京女子医科大学)
刊名: 中华放射学杂志 **ISTIC PKU**
英文刊名: CHINESE JOURNAL OF RADIOLOGY
年, 卷(期): 2006, 40 (9)
被引用次数: 25次

参考文献(10条)

1. 萧毅, 田建明, 王培军, 秦永文, 薛宏, 李晓兵, 王敏杰, 左长京, 曾浩, 崔恒武 多层螺旋CT冠状动脉造影的扫描技术及临床应用[期刊论文]-中华放射学杂志 2002 (4)
2. 毛定飏, 滑炎卿, 王鸣鹏, 张国桢, 吴威岚, 胡非, 葛晓俊, 丁其勇 心率及重建相位窗对多层螺旋CT冠状动脉造影图像质量的影响[期刊论文]-中华放射学杂志 2004 (5)
3. Cury RC; Ferencik M; Achenbach S Accuracy of 16-slice multi-detector CT to quantify the degree of coronary artery stenosis: assessment of cross-sectional and longitudinal vessel reconstructions 2006
4. Achenbach S; Meissner F; Ropers D Overlapping crosssections significantly improve the reproducibility of coronary calcium measurements by electron beam tomography: a phantom study 2001
5. Schroeder S; Flohr T; Kopp AF Accuracy of density measurements within plaques located in artificial coronary arteries by X-ray multislice CT: results of a phantom study 2001
6. Wicky S; Rosol M; Hamberg LM Evaluation of retrospective multisector and half scan ECG-gated multidetector cardiac CT protocol with moving phantoms 2002
7. Wicky S; Rosol M; Hoffmann U Comparative study with moving heart phantom of the impact of temporal resolution on image quality with two multisector electrocardiography-gated computed tomography units 2003
8. Kopp AF; Ohnesorge B; Becker C Reproducibility and accuracy of coronary calcium measurements with multi-detector row versus electron-beam CT 2002
9. Horiguchi J; Nakanishi T; Tamura A Technical innovation of cardiac multirow detector CT using multisector reconstruction 2002
10. Horiguchi J; Shen Y; Akiyama Y Electron beam CT versus 16-MSCT on the variability of repeated coronary artery calcium measurement in a variable heart rate phantom 2005

本文读者也读过(10条)

1. 郭潦, 葛英辉, 史大鹏, 温泽迎, 沈玉祥, 余淑华, 袁建军 64层螺旋CT心脏双期扫描对诊断左房血栓及血栓前状态的应用研究[会议论文]-2009
2. 閻谦, 田建明, XIA Qian, TIAN Jian-ming 64层螺旋CT心脏延迟增强扫描在评价存活心肌中的应用[期刊论文]-中国医学影像技术 2008, 24 (8)
3. 孟小茜, 赵亮, 姜其钧, 于红, 刘士远, 肖湘生, MENG Xiao-xi, ZHAO Liang, JIANG Qi-jun, YU Hong, LIU Shi-yuan, XIAO Xiang-sheng 64排螺旋CT心脏扫描在显示非心房颤动患者肺静脉和左心房结构中的价值[期刊论文]-中国心血管杂志 2009, 14 (6)
4. 郑君惠, 黄美萍, 巫梓斌, 茹光藤, ZHENG Junhui, HUANG Meipin, Wu Zibin, RU Guangteng 64排螺旋CT冠状动脉成像技术的体模实验[期刊论文]-国际医药卫生导报 2006, 12 (18)

5. [唐笑先, 刘兰佩, 李健丁, Tang Xiaoxian, Liu Lanpei, Li Jianding](#) 64-层螺旋CT在心脏冠状动脉成像中的应用现状与进展[期刊论文]-实用医学影像杂志2006, 7(5)
6. [霍天龙, 杜湘珂, 李剑颖, 沈云, 廖静敏](#) 64层VCT冠状动脉成像的实验研究[期刊论文]-临床放射学杂志2007, 26(11)
7. [郑君惠, 梁长虹, 黄美萍, 刘辉, 巫梓斌, ZHENG Jun-hui, HANG Chang-hong, HUANG Mei-ping, LIU Hui, WU Zhi-bin](#) 体模实验优化64层螺旋CT冠状动脉成像参数设置[期刊论文]-岭南心血管病杂志2008, 14(1)
8. [陈红, 刘斌, 赵红, 周勇, 余永强, 廖静敏, CHEN Hong, LIU Bin, ZHAO Hong, ZHOU Yong, YU Yong-qiang, LIAO Jing-min](#) 64层螺旋CT在不同心率情况下对不同直径冠状动脉测量准确性的评价——心脏体模模拟实验[期刊论文]-中国医学影像技术2008, 24(6)
9. [仲海, 邵广瑞, 赵坤, 孙凤国, 李朝华, 廖静敏, 曹会志](#) 模拟冠状动脉的初步实验结果分析[期刊论文]-实用放射学杂志2009, 25(9)
10. [吕滨](#) 多排螺旋CT心脏冠状动脉成像的临床应用[期刊论文]-中国医刊2006, 41(2)

引证文献(29条)

1. [陈振华, 刘辉, 黄美萍](#) 64层螺旋CT 3种不同心脏重建算法对冠状动脉图像质量的影响[期刊论文]-广东医学2011(05)
2. [段晓岷, 蒋玲, 路春兰, 曾津津, 孙国强](#) 多层螺旋CT在小儿先天性心血管畸形中的应用[期刊论文]-临床放射学杂志2008(05)
3. [周勇](#) 心率波动下64排螺旋CT冠状动脉成像实验及临床研究[学位论文]硕士 2008
4. [杜祥颖, 郭宁, 李鹏雨, 王艳, 李坤成](#) 冠状动脉CT血管成像评价临界狭窄准确性的体模研究[期刊论文]-首都医科大学学报 2013(03)
5. [朱昭环, 朱应礼, 葛高华, 卢道延, 黄伟, 徐益明, 朱建邦](#) 64层螺旋CT冠状动脉成像临床应用[期刊论文]-医学影像学杂志 2009(09)
6. [罗银灯, 赵建农, 郭大静, 吴伟, 敬永勇, 倪卫国, 沈霞, 卞晓](#) 16层螺旋CT冠状动脉成像的临床价值[期刊论文]-重庆医科大学学报 2009(12)
7. [李欣](#) 急性胸痛综合症的64层螺旋CT成像研究[学位论文]硕士 2009
8. [葛夕洪, 廖静敏, 吴胜勇, 姜滨, 温连庆, 沈云, 祁吉](#) 心率不稳定时3种不同重建算法对影像质量的影响: MSCT动态心脏体模研究[期刊论文]-实用放射学杂志 2007(06)
9. [霍天龙, 杜湘珂, 廖静敏](#) 定量评估64层螺旋CT血管成像与DSA显示冠状动脉狭窄的能力和可靠性[期刊论文]-中华放射学杂志 2007(10)
10. [费晓璐, 李坤成, 杜祥颖, 白玫, 刘彬, 李鹏雨](#) 64排螺旋CT不同剂量条件下心脏成像质量的物理量化评价[期刊论文]-中国医疗设备 2011(06)
11. [白燕, 陈正光, 王荣峰, 陆萍](#) 多层螺旋CT诊断复杂型先天性心脏病[期刊论文]-中国介入影像与治疗学 2009(06)
12. [罗银灯, 赵建农, 李杰, 谢微波, 曹新山, 吴伟, 敬永勇, 沈霞, 廖静敏, 陈垦](#) 心率波动对16层CT冠脉成像图像质量的影响及对策(心脏体模模拟实验)[期刊论文]-实用放射学杂志 2007(12)
13. [于明川, 费胜民, 李静](#) 不同图像后处理技术评价冠状动脉狭窄静态模型中血管狭窄程度[期刊论文]-中国医学影像技术 2010(09)
14. [罗银灯, 赵建农, 李杰, 谢微波, 曹新山, 吴伟, 敬永勇, 沈霞, 廖静敏, 陈垦](#) 16层螺旋CT冠状动脉成像图像质量相关影响因素分析及最佳扫描条件选择(心脏体模模拟实验)[期刊论文]-临床放射学杂志 2007(12)

15. [李坤成](#) [正确认识64层螺旋CT冠状动脉成像的临床价值](#)[期刊论文]-[中华放射学杂志](#) 2007(10)
16. [杜祥颖](#), [郭宁](#), [李鹏雨](#), [王艳](#), [李坤成](#) [斑块性质和血管管径对64排CT冠状动脉成像显示血管狭窄准确性影响的体模研究](#)[期刊论文]-[中国医疗设备](#) 2013(07)
17. [郭宁](#) [影响64排螺旋CT冠状动脉成像质量因素的体模研究](#)[学位论文]硕士 2008
18. [郝洪波](#) [多排螺旋CT不同剂量心脏扫描参数对图像质量的影响](#)[期刊论文]-[中国医学装备](#) 2014(12)
19. [曹厚德](#) [山水相依见葱茏:《中华放射学杂志》与医疗企业的合作](#)[期刊论文]-[中华放射学杂志](#) 2013(z1)
20. [费晓璐](#), [李坤成](#), [严汉民](#) [冠状动脉CTA成像中高对比剂增强效果对狭窄成像准确度影响的量化评价研究](#)[期刊论文]-[中国医疗设备](#) 2008(10)
21. [夏平](#), [郝敬明](#), [王涛](#), [胡春艾](#), [赵宝忠](#), [夏有生](#), [徐青松](#) [应用变速扫描提高64层螺旋CT冠状动脉成像图像质量](#)[期刊论文]-[中国医学影像技术](#) 2011(04)
22. [周勇](#) [心率波动下64排螺旋CT冠状动脉成像实验及临床研究](#)[学位论文]硕士 2008
23. [周勇](#) [心率波动下64排螺旋CT冠状动脉成像实验及临床研究](#)[学位论文]硕士 2008
24. [罗银灯](#) [CT冠脉成像实验研究及临床应用](#)[学位论文]硕士 2007
25. [陈圆圆](#) [新型心脏动态体模的设计与临床应用](#)[学位论文]硕士 2009
26. [梁开运](#) [风湿性心脏病64层CT冠状动脉成像质量控制研究](#)[学位论文]硕士 2010
27. [罗银灯](#) [CT冠脉成像实验研究及临床应用](#)[学位论文]硕士 2007
28. [罗银灯](#) [CT冠脉成像实验研究及临床应用](#)[学位论文]硕士 2007
29. [王升平](#) [不同浓度造影剂在64排CT冠状动脉血管造影中的比较研究](#)[学位论文]硕士 2007

引用本文格式: [祁吉](#), [沈云](#), [吴胜勇](#), [葛夕洪](#), [姜滨](#) [新型心脏动态体模及其在多层螺旋CT心脏扫描中的应用](#)[期刊论文]-[中华放射学杂志](#) 2006(9)