

## ❖ 医学物理与工程学

## Correction of cardiac axial movement during myocardial perfusion SPECT imaging

XU Ying-jie<sup>1</sup>, CAO Wen-tian<sup>1\*</sup>, WANG Rong-fu<sup>2</sup>, ZHANG Yan-yan<sup>3</sup>, ZHANG Chun-li<sup>2</sup>,  
ZHANG Wei-fang<sup>3</sup>, LUO Jian-wei<sup>4</sup>, CHEN Wen-bo<sup>4</sup>

(1. Beijing Key Laboratory of Medical Physics & Engineering, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Department of Nuclear Medicine, Peking University First Hospital, Beijing 100034, China;

3. Department of Nuclear Medicine, Peking University Third Hospital, Beijing 100191,

China; 4. Shenzhen Basda Medical Apparatus Co., Ltd, Shenzhen 518172, China)

**[Abstract]** **Objective** To correct the cardiac axial movement during myocardial perfusion SPECT imaging, in order to reduce the motion-artifact's influence on diagnosis. **Methods** Visual inspection of motion of the heart was done by means of cine of the raw data, sonogram and cyclogram. By cross-correlation, the camera angles were localized at which the motion occurred and determine the suggested correction for the motion. By means of visual inspection, the correction was modified and verified. Based in the correction at this stage, the images were reconstructed. The final motion correction was then determined by means of maximize the cross-correlation between the projection from the reconstructed image and the measured projection. **Results** Myocardial phantom showed that the motion of the phantom can be revealed at an accuracy of 3 mm for various kinds of axial motions. Motion artifacts on myocardial perfusion SPECT images were effectively improved. **Conclusion** This approach can be used to provide non-subjective, accurate, quantitative, and visual means of axial motion correction in myocardial perfusion SPECT imaging.

**[Key words]** Myocardial perfusion imaging; Tomography, emission-computed, single-photon; Artifacts; Correction

## 心肌 SPECT 灌注显像的心脏轴向移动校正

许英杰<sup>1</sup>, 曹文田<sup>1\*</sup>, 王荣福<sup>2</sup>, 张燕燕<sup>3</sup>, 张春丽<sup>2</sup>, 张卫方<sup>3</sup>, 罗建威<sup>4</sup>, 陈文波<sup>4</sup>

(1. 北京大学医学物理和工程北京市重点实验室, 北京 100871; 2. 北京大学第一医院

核医学科, 北京 100034; 3. 北京大学第三医院核医学科, 北京 100191;

4. 深圳市贝斯达医疗器械有限公司, 广东 深圳 518172)

**[摘要]** **目的** 对 SPECT 心肌灌注显像中心脏的轴向移动进行校正, 以最大限度地降低运动伪影对诊断的影响。 **方法** 通过电影、正弦图和回旋图显示, 实现对心脏移动可视的定性评估; 通过帧与帧之间的互相关函数方法, 找出位移角度, 对投影的校正给出建议值; 经可视评估后, 确定投影移动校正的初值; 根据移动校正的初值重建图像, 通过对重建图像的投影与采集投影的互信息分析, 最后计算出投影移动校正。 **结果** 心肌模型实验表明, 本方法能够精确地复现模型的轴向运动, 位置误差小于 3 mm, 经校正后重建图像改善明显。 **结论** 本方法具有客观、精确、可视的优点, 可精确确定和校正 SPECT 心肌灌注显像中心脏的轴向移动。

**[关键词]** 心肌灌注显像; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子; 伪影; 校正

**[中图分类号]** R817-33 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2012)12-2252-05

**[基金项目]** 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2011CB707701)、北京市共建项目(JD100010609)。

**[作者简介]** 许英杰(1988—), 男, 河南洛阳人, 硕士。研究方向: 医学物理和工程。E-mail: xyj052489@126.com

**[通讯作者]** 曹文田, 北京大学医学物理和工程北京市重点实验室, 100871。E-mail: cao@pku.edu.cn

**[收稿日期]** 2012-03-12 **[修回日期]** 2012-05-22

SPECT 心肌灌注显像采集的时间较长,采集过程中受检者身体移动、呼吸、内脏运动等因素都会造成心脏的移动,使重建图像中出现移动伪影,影响诊断。据统计<sup>[1]</sup>,心肌灌注断层显像采集过程中,约 25% 的受检者会发生不同程度的体位移动。心脏的移动可能导致心肌血流灌注影像出现缺损而导致假阳性<sup>[2]</sup>。因此,对心脏移动进行监测和校正十分重要。

常用的心脏移动校正方法包括互相关函数法<sup>[3]</sup>、发散方方法<sup>[4]</sup>、二维拟合法<sup>[5]</sup>和投影再投影法<sup>[6]</sup>。对于垂直于探测器方向移动的校正,有研究者<sup>[7]</sup>采用纯相位相关方法。本研究改进投影再投影法,在基于相邻角度投影相关性的初步校正基础上,通过重建再投影与采集投影互信息匹配的方法,对 SPECT 心肌灌注心脏轴向移动进行校正,并观察这种新方法对于心脏刚性轴向平移的校正效果。本研究不涉及帧内移动问题的解决。

### 1 原理与方法

**1.1 一般资料** 采用 Philips Skylight 型 SPECT,在心肌模型中注射<sup>99m</sup>Tc 1 mCi,注射 30 min 后进行心肌灌注显像,探头旋转从右前斜 45°到左后斜 45°,帧间角度间隔 6°,共采集 32 帧。选用低能高分辨准直器,采集矩阵为 64×64,放大倍数为 1.46,每帧采集 20 s。

因灌注缺陷受移动时间、幅度、方向、种类和探头数量等因素的影响<sup>[8]</sup>,故在设计验证数据时,对各种组合均进行了验证。移动时间分为扫描初期、中期和后期三种;移动幅度分为小位移(≤5 mm)、中位移(≤10 mm)和大位移(>10 mm)三种;限定移动方向为轴向;移动种类则分为突然运动和连续运动两种。模型验证时,手工移动模型,通过固定

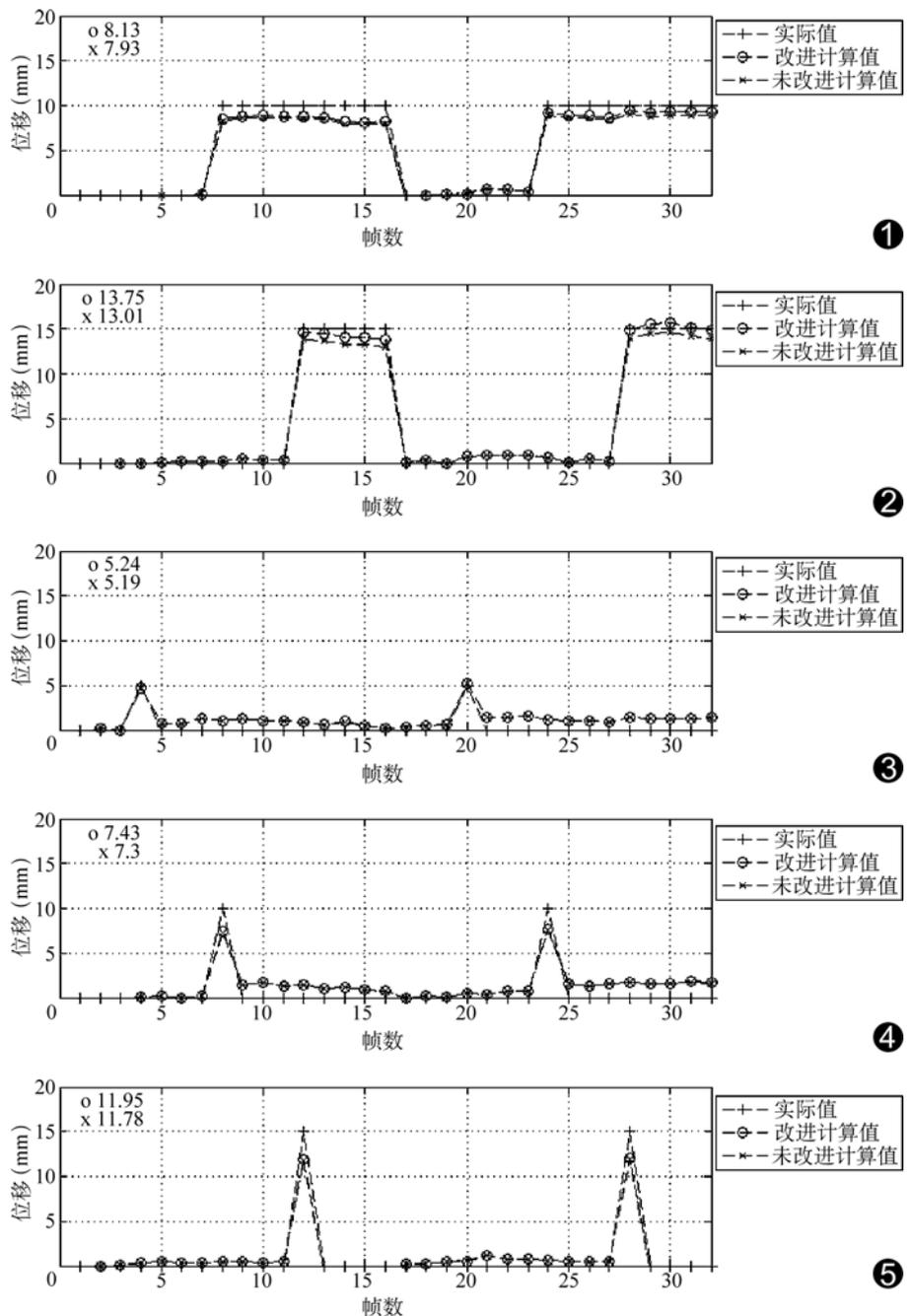


图 1 从第 8 帧开始加偏移,检测位移与设定位移的对比 图 2 从第 12 帧开始加偏移,检测位移与设定位移的对比 图 3 第 4 帧单帧移动 5 mm 实验检测位移与设定位移的对比 图 4 第 8 帧单帧移动 10 mm 实验检测位移与设定位移的对比 图 5 第 12 帧单帧移动 15 mm 实验检测位移与设定位移的对比

在检查床上的标尺来确定实际移动的大小。

**1.2 图像处理** 本研究在 Matlab 7.0 上编程实现。数据处理、分析分为三部分内容:可视定性评估、探测位移以及确定位移。

#### 1.2.1 可视定性评估 定性判断是否存在移动。

(1) 电影显示:以电影方式显示采集的投影图。

采用往复放映方式,若连续图像间心脏位置有跳动,则存在位移。

(2) 正弦图显示:对心脏上下缘之间的所有层面绘制正弦图,以观察模型移动。正弦图上出现毛刺样伪影或横向断痕为有位移,断痕宽度越大,位移越大,条数越多,位移次数越多<sup>[9]</sup>。

(3) 回旋图显示:与正弦图类似,将投影数据中的一列数据按投影角度顺序放在一起,即为回旋图<sup>[10]</sup>。为观察整体效果,也可将各列求和后绘制总体的回旋图,可清晰展现轴向的明显移动。

1.2.2 探测位移 采用互相关函数法<sup>[3]</sup>初步估计发生位移的角度、位移的大小,并对投影进行初步校正,以使据此重建的结果受位移的影响较小。

1.2.3 确定位移 对初步校正的投影进行重建再投影,与实际投影进行互信息分析,精细确定位移值。该位移与重建前校正值相差 $<0.5\text{ mm}$ 时,认为校正满意;否则以新偏移值进行校正,重复本步骤。

采用滤波反投影法,用 Butterworth 滤波器重建图像,不加衰减校正。

## 2 结果

2.1 模型验证 在结果中将计算得到的与实际位移误差最大的位移标注出来。

2.1.1 单次移动实验 用于模拟采集过程中从某帧开始以后的投影均有同样位移的情况。本研究对第 2 帧开始直到最后一帧开始的情况均进行了模拟。图 1、2 给出了模拟的几种情况的探测结果。综合所有模拟结果,不管移动发生在哪一帧,本方法对单次移动的校正的误差均小于 3 mm。与未改进的投影再投影法相比,当位移幅度较大时,采用本方法能获得更精确的位移值。

2.1.2 单帧移动实验 用于模拟采集过程中仅某帧有位移的情况。本研究对第 1 帧开始直到最后一帧移动的情况均进行了模拟。图 3~5 给出了几种情况的

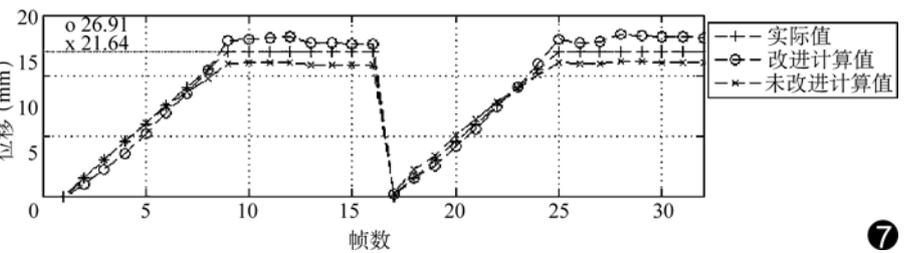
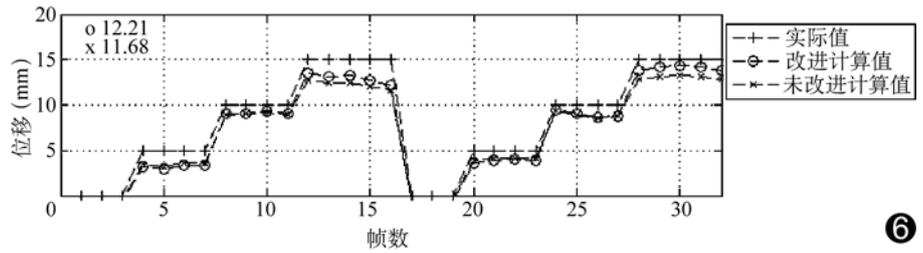


图 6 多次移动实验检测位移与设定位移的对比 图 7 心脏持续匀速运动实验检测位移与设定位移的对比

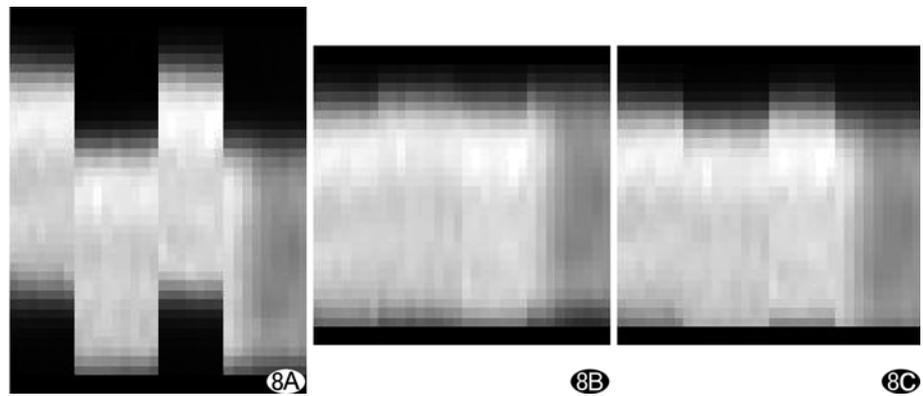


图 8 校正前后回旋图 经过校正,回旋图中不再断痕,轴向运动得到有效校正,与未改进的投影再投影法相比,校正后的回旋图效果更好 A. 未经校正; B. 采用本文方法校正; C. 采用未改进的投影再投影法校正

探测结果。综合所有模拟结果,不管单帧移动发生在哪一帧,本方法对单帧移动的校正的误差均小于 3 mm。对于单帧移动,本方法与未改进的投影再投影法结果一致。

2.1.3 多次移动实验 用于模拟采集过程中发生多次移动的情况。第 1~3 帧不加偏移,第 4~7 帧加偏移 5 mm,第 8~11 帧加偏移 10 mm,第 12~16 帧加偏移 15 mm 的校正结果见图 6。综合多种情况的模拟结果,对心脏多次移动的情况,本方法单帧移动的校正的误差小于 3 mm。与未改进的投影再投影法相比,当位移幅度逐步变大时,本方法能获得更精确的位移值。

2.1.4 心脏持续匀速运动 在<sup>201</sup>Tl 运动/再分布心肌断层中,受检者运动后马上采集断层图像,采集过程

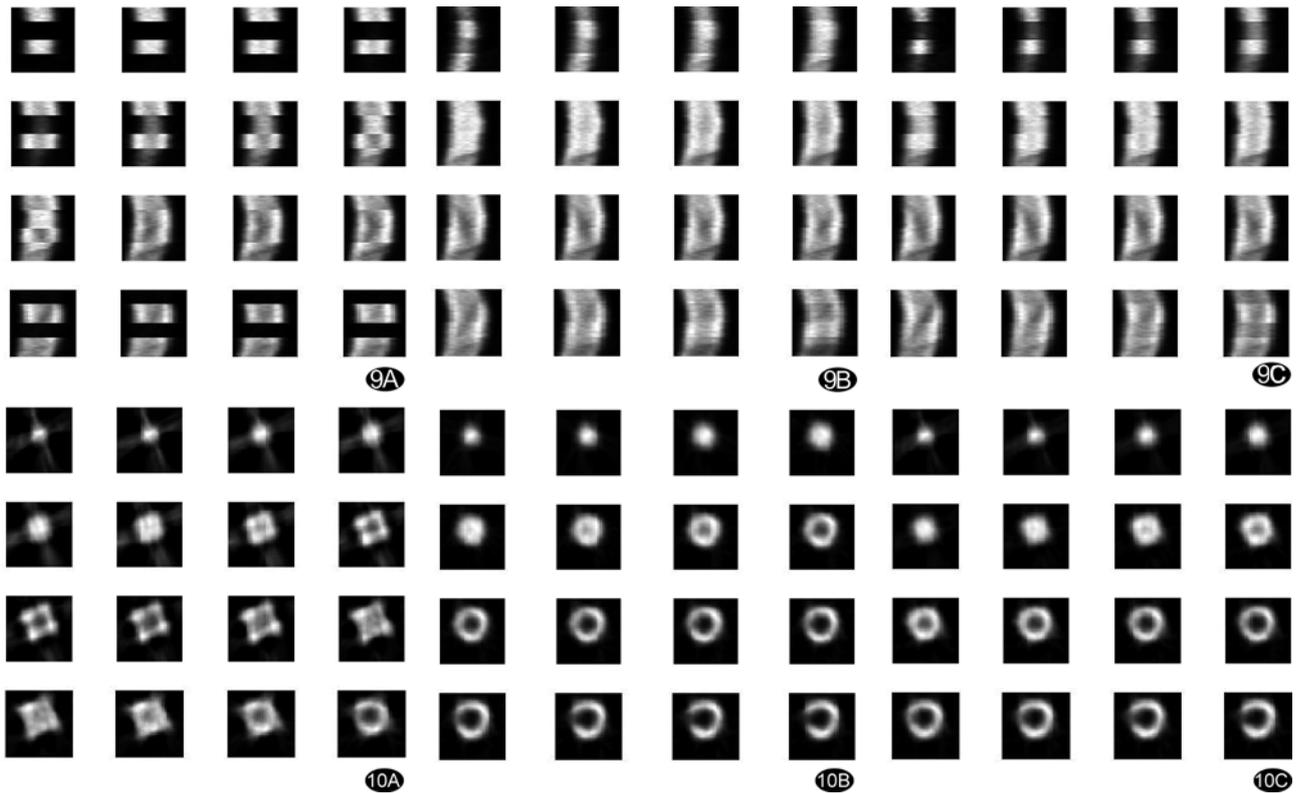


图 9 校正前后的正弦图 经过校正,原本移出心脏边缘的投影数据被纠正,正弦图中不再有缺损,横向断痕也得到明显改善,与未改进的投影再投影法相比,校正后的正弦图有一定改善 A. 未经校正; B. 采用本文方法校正; C. 采用未改进的投影再投影法校正 图 10 校正前后重建图 经过校正伪影得到有效去除,图像质量得到明显改善,与未改进的投影再投影法相比,校正后的重建图像有一定改善 A. 未经校正; B. 采用本文方法校正; C. 采用未改进的投影再投影法校正

中纵膈和心脏慢慢升高到原来位置,会出现“上爬”的移动伪影<sup>[11]</sup>。上爬现象导致心肌下壁和基底下膈壁灌注缺损。心脏持续匀速运动就是模拟这种上爬现象。本实验用于模拟采集过程中心脏持续匀速运动的情况。以每帧偏移增加 3 mm 的速度(运动到 24 mm 停止),图 7 为偏移的校正结果。对心脏的持续匀速运动,本方法单帧移动的校正的误差均小于 3 mm;对于连续移动,本方法与未改进的投影再投影法效果一致。

2.2 校正的可视性评估 在采集过程中,从第八帧开始,将模型移动 24 mm,给出校正前后的回旋图、正弦图以及重建结果(图 8~10)。

### 3 讨论

对于心肌灌注显像采集过程中单纯由于身体移动导致的刚性心脏平移,目前主要有基于硬件的校正和软件校正有两种方法。

基于硬件的校正:通过在受检者体表安装探测装置,探测其身体位置的变化,然后通过迭代重建算法对所探测的数据进行移动校正。但这种方法不能探测心脏的“上爬”移动,同时还需要相关的配套设施,采集过

程也相对复杂,使其应用有限<sup>[6]</sup>。

软件校正方法包括手工校正方法和单纯利用投影图像进行的自动和半自动的校正方法。手工校正方法通过视觉评估心脏的移位,手工移动投影图像进行校正,一般通过对投影图像进行电影显示,动态观察、逐帧分析。手工校正方法以轴向心脏偏移是否大于 5 mm 作为判断心脏有无移动的标准<sup>[12]</sup>,主观性强,逐帧手工校正的随意性较大。

单纯利用投影图像进行的自动和半自动的校正方法包括互相关函数法、发散方方法、二维拟合法等,由于非均匀组织衰减等原因,临床应用效果并不满意。投影再投影自动校正方法根据采集投影和再投影计算位移值的方法进行校正,是目前比较成功的方法,也是临床应用最多的校正方法。

投影再投影方法根据采集投影和重建结果的投影计算值(以下简称为再投影)计算位移值,假设经过多角度反投影平均的重建结果中的移动效应因平均或求和而降低,其成立条件是用于重建的投影数据是在无移动处上下小范围跳动,重建使这种移动被抵消掉,但

是这种假设并不一定成立。本研究是对投影再投影方法的改进,再投影是对基于初步校正后的投影进行重建的结果,以此保证再投影的图像中的移动效应被降至最低。

虽然本方法可校正移动伪影,但在实际工作中,要减小误差,采集过程中仍应尽可能消除或减少位移,如使用枕头、臂托、膝盖托保证受检者的舒适<sup>[13]</sup>,采取一定的固定措施固定胸腔、手臂等。在条件许可的情况下,发现受检者移动时,应重新采集;在处理采集图像以后再让受检者离开。但对于图像采集工作已经完成、存在体位移动的患者,如果因为各种原因无法重新采集图像,则应利用准确、便捷的移动校正方法,去除心脏位移造成的影响,以最大限度地保证图像质量。

### [参考文献]

- [1] Botvinick EH, Zhu YY, O'Connel WJ, et al. A quantitative assessment of patient motion and its effect on myocardial perfusion SPECT imaging. *J Nucl Med*, 1993, 34(2):303-310.
- [2] Eisner R, Churchwell A, Noever T, et al. Quantitative analysis of the tomographic thallium-201 myocardial bullseye display: Critical role of correcting for patient motion. *J Nucl Med*, 1988, 29(1):91-97.
- [3] Eisner RL, Noever T, Nowak D, et al. Use of cross-correction function to detect patient motion during SPECT imaging. *J Nucl Med*, 1987, 28(1):97-101.
- [4] Geckle WJ, Frank TL, Links JM, et al. Correction for patient and organ movement in SPECT: Application of exercise thallium-201 cardiac imaging. *J Nucl Med*, 1988, 29(4):441-450.
- [5] Cooper JA, Neumann PH, McCandless BK. Detection of patient motion during tomographic myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med*, 1993, 34(8):1341-1348.
- [6] Bai C, Maddahi J, Kindem J, et al. Development and evaluation of a new fully automatic motion detection and correction technique in cardiac SPECT imaging. *J Nucl Cardiol*, 2009, 16(4):580-589.
- [7] Ando R, Ogawa K. Correction of patient movement with a phase-only correlation method in a SPECT study. [2012-02-20]. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5874194&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5874194&tag=1)
- [8] Matsumoto N, Berman DS, Kavanagh PB, et al. Quantitative assessment of motion artifacts and validation of a new motion-correction program for myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med*, 2001, 42(5):687-694.
- [9] 戚忠智,田蓉.位移对双探头 SPECT 心肌显像质量的影响及校正. *四川大学学报:医学版*, 2011, 42(3):392-396.
- [10] Sarkar S, Oghabian MA, Mohammadi I, et al. A linogram/sinogram cross-correlation method for motion correction in planar and SPECT imaging. *IEEE Trans Nucl Sci*, 2007, 54(1):71-79.
- [11] 李小花,陈盛祖. SPECT 心脏显像的伪影识别与校正技术. *国外医学:放射医学核医学分册*, 1998, 22(3):112-117.
- [12] 杨波,张桂先.心脏移动校正技术在心肌灌注断层显像中的应用. *中华核医学杂志*, 2001, 21(4):250, 252.
- [13] 程旭.心肌灌注显像常见伪影分析. *国外医学:放射医学核医学分册*, 2004, 28(3):117-120.

## 《医学影像设备与工程》已出版

由甘泉、王骏主编的高等医学院校教材《医学影像设备与工程》由江苏大学出版社出版发行 (ISBN: 978-7-81130-375-9)。该书邀请院校、医院及相关企业的有关专家以及临床工程的一线人员组成编委会,内容涵盖了医学影像设备结构、原理、电路分析、故障检修、质量控制等 17 个章节,本书在对传统知识进行梳理的基础上,增加了医学影像设备的最新信息,力求在内容上与新设备、新技术同步并与临床接轨。

该书图文并茂,约 60 万字,330 页,适合于医学影像诊断、医学影像技术、生物医学工程、医疗器械等专业使用。

欲购此书者请联系信箱:ganquan5706@163.com

