



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910104361.X

[43] 公开日 2010年1月6日

[11] 公开号 CN 101617947A

[22] 申请日 2009.7.17

[21] 申请号 200910104361.X

[71] 申请人 重庆医科大学

地址 400016 重庆市渝中区医学院路1号

[72] 发明人 黄晶 郭睿 王志刚 冉海涛  
郑元义 任建丽 尹立雪 郑永平

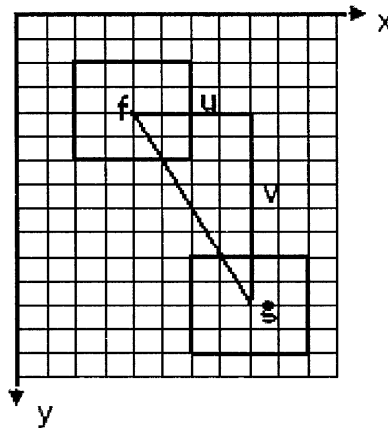
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

## [54] 发明名称

一种基于斑点跟踪技术的心肌纹理自动分析方法

## [57] 摘要

本发明涉及一种基于斑点跟踪技术的心肌纹理自动分析方法，属于医学超声领域。本方法首先在高帧频条件下采集受试对象二维超声心动图用于脱机分析；然后以舒张末的超声心动图图像作为交互式感兴趣区域(ROI)选取的初始帧，使ROI包括心肌，同时排除心外膜或心内膜的灰度信号干扰；当初始帧ROI选取完毕后，运用斑点跟踪技术自动获取ROI内心肌在其余各帧图像中的位置，从而计算相应帧ROI内心肌纹理参数；根据ROI内的纹理变化曲线，计算相应心肌纹理变化的起伏程度。本发明能够有效降低传统手动跟踪计算心肌纹理的工作量，提高处理的时间及数据处理的重复性，同时通过高帧频采样获取心肌纹理的细节变化，有利于更好地理解心肌纹理的意义。



1、一种基于斑点跟踪技术的心肌纹理自动分析方法，该方法主要包括以下步骤：

(1)、在高帧频条件下采集受试者的二维超声心动图图像序列用于脱机分析；

(2)、将舒张末期的超声心动图图像作为交互式感兴趣区域选取的初始帧；

(3)、将双重感兴趣区域置于二维超声心动图的相应心肌区域，其中对双重感兴趣区域的定义如下：

(a)、外侧的矩形感兴趣区域(简称  $ROI_s$ )用于行斑点跟踪获取心动周期中心肌的运动轨迹；

(b)、内侧的感兴趣区域(简称  $ROI_m$ )用于计算相应心肌纹理变化，其中  $ROI_m$  的形状可以根据心肌的形状或不同要求而进行相应调整(椭圆形，矩形，正方形，新月形等)，同时以  $ROI_s$  为中心对  $ROI_m$  的位置进行相应调整，以使  $ROI_m$  能够包括足够的心肌区域，同时排除心内膜或心外膜灰度信号的影响；

(4)、当初始帧感兴趣区域选取完毕后，运用斑点跟踪技术自动获取  $ROI_s$  内心肌在其余各帧图像中的位置，其中包括的步骤如下：

(a)、以初始帧感兴趣区域  $ROI_s$  作为参照，在第二帧的相同位置选取相同大小的感兴趣区域；

(b)、通过斑点跟踪算法计算出与初始帧相关性最大或绝对值差最小的感兴趣区域作为第二帧感兴趣区域内心肌运动的位置；

(c)、以第二帧感兴趣区域为参照，重复(a)-(b)步骤，计算出整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_s$  内相应心肌的运动轨迹；

(5)、其余各帧图像序列中保持  $ROI_s$  和  $ROI_m$  的相对位置不变，获取整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_m$  的位置，从而计算相应帧  $ROI_m$  内心肌的纹理参数；

(6)、若单个感兴趣区域  $ROI_m$  能够实现心肌运动的自动跟踪，同时排除心内膜和心外膜灰度信号的干扰，则实际操作中可以将  $ROI_s$  和  $ROI_m$  简化为单个感兴趣区域  $ROI_m$ ；

(7)、根据感兴趣区域内  $ROI_m$  的纹理变化曲线，计算相应心肌纹理变化的起伏程度。

2、根据上述步骤，该方法的特征主要包括：

(1)、将双重感兴趣区域置于二维超声心动图的相应心肌区域，其中对双重感兴趣区域的定义如下：

(a)、外侧的矩形感兴趣区域(简称  $ROI_s$ )用于行斑点跟踪获取心动周期中心肌的运动轨迹；

(b)、内侧的感兴趣区域(简称  $ROI_m$ )用于计算相应心肌纹理变化，其中  $ROI_m$  的形状可以根据心肌的形状或不同要求而进行相应调整(椭圆形，矩形，正方形，新月形等)，同时以  $ROI_s$  为中心对  $ROI_m$  的位置进行相应调整，以使  $ROI_m$  能够包括足够的心肌区域，同时排除心内膜或心外膜灰度信号的影响；

(2)、当初始帧感兴趣区域选取完毕后，运用斑点跟踪技术自动获取  $ROI_s$  内心肌在其余各帧图像中的位置，其中包括的步骤如下：

(a)、以初始帧感兴趣区域  $ROI_s$  作为参照，在第二帧的相同位置选取相同大小的感兴趣区域；

(b)、通过斑点跟踪算法计算出与初始帧相关性最大或绝对值差最小的感兴趣区域作为第二帧感兴趣区域内心肌运动的位置；

(c)、以第二帧感兴趣区域为参照，重复(a)-(b)步骤，计算出整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_s$  内相应心肌的运动轨迹；

(3)、其余各帧图像序列中保持  $ROI_s$  和  $ROI_m$  的相对位置不变，获取整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_m$  的位置，从而计算相应帧  $ROI_m$  内心肌的纹理参数；

(4)、若单个感兴趣区域  $ROI_m$  能够实现心肌运动的自动跟踪，同时排除心内膜和心外膜灰度信号的干扰，则实际操作中可以将  $ROI_s$  和  $ROI_m$  简化为单个感兴趣区域  $ROI_m$ 。

## 一种基于斑点跟踪技术的心肌纹理自动分析方法

### 技术领域

本发明涉及一种基于斑点跟踪技术的心肌纹理自动分析方法，属于医学超声领域。

### 背景技术

心肌纹理的异常通常与局部心肌状态的改变有关，许多研究运用这一特征评估了不同病理状态下的心肌组织特征，如心肌梗死，肥厚性心肌病，心肌炎等。

然而目前分析心肌纹理变化的方法主要通过逐帧手动调整感兴趣区域的位置，获取心动周期中心肌的运动轨迹，从而测量相应心肌纹理参数。尽管这种方法在临床及研究中得到认可，但是越来越多的认识意识到这种手动跟踪方法在心肌纹理参数的测量中存在繁重的工作量，同时测量参数受操作者个体差异的影响，因此限制了其更好地发展。

为了解决这一技术瓶颈，一种半自动心肌纹理分析方法应运而生。这种方法首先在短轴切面选取一固定矩形感兴趣区域，使其同时包括心内膜和心外膜，然后分析整个心动周期，提取感兴趣区域内的灰度图像组成自定义的时间-运动图像。通过手动勾画时间-运动图像中的心内膜轮廓，获取心动周期中心内膜的运动轨迹曲线，然后调整与该曲线平行的两条曲线，使其包括心肌，同时排除心内膜或心外膜的灰度信号影响，从而自动获取整个心动周期中的心肌纹理变化。虽然这种方法提高了心肌纹理分析的效率，但是其对心肌纹理分析的准确性取决于手动心内膜勾画的精确性，同时该方法忽略了心肌运动的复杂性。

### 发明内容

为了克服现有技术测量心肌纹理参数存在的工作量大及由于个体差异引起的心肌纹理参数测量重复性较低的问题，本发明提出一种基于斑点跟踪的心肌纹理自动分析方法，通过斑点跟踪技术获取感兴趣区域内心肌在整个心动周期中的运动轨迹，从而自动计算出相应帧感兴趣区域内的纹理参数。

本发明提出的基于斑点跟踪技术的心肌纹理自动分析方法，包括以下步骤：

- (1)、在高帧频条件下采集受试者的二维超声心动图图像序列用于脱机分析；
- (2)、将舒张末期的超声心动图图像作为交互式感兴趣区域选取的初始帧；
- (3)、将双重感兴趣区域置于二维超声心动图的相应心肌区域，其中对双重感兴趣区域的定义如下：
  - (a)、外侧的矩形感兴趣区域(简称  $ROI_s$ )用于行斑点跟踪获取心动周期中心肌的运动轨迹；
  - (b)、内侧的感兴趣区域(简称  $ROI_m$ )用于计算相应心肌纹理变化，其中  $ROI_m$  的形状可以根据心肌的形状或不同要求而进行相应调整(椭圆形，矩形，正方形，新月形等)，同时  $ROI_m$  的位置以  $ROI_s$  为中心进行相应调整，以使  $ROI_m$  能够包括足够的心肌区域，同时排除心内膜或心外膜灰度信号的影响；
- (4)、当初始帧感兴趣区域选取完毕后，运用斑点跟踪技术自动获取  $ROI_s$  内心肌在其余各帧图像中的位置，其中包括的步骤如下：
  - (a)、以初始帧感兴趣区域  $ROI_s$  作为参照，在第二帧的相同位置选取相同大小的感兴趣区域；
  - (b)、通过斑点跟踪算法计算出与初始帧相关性最大或绝对值差最小的感兴趣区域作为第二帧感兴趣区域内心肌运动的位置；
  - (c)、以第二帧感兴趣区域为参照，重复(a)-(b)步骤，计算出整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_s$  内相应心肌的运动轨迹；
- (5)、其余帧中保持  $ROI_s$  和  $ROI_m$  的相对位置不变，获取整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_m$  的位置，从而计算相应帧  $ROI_m$  内心肌的纹理参数；
- (6)、若单个感兴趣区域  $ROI_m$  能够实现心肌运动的自动跟踪，同时排除心内膜和心外膜灰度信号的干扰，则实际操作中可以将  $ROI_s$  和  $ROI_m$  简化为单个感兴趣区域  $ROI_m$ ，其中包括的步骤如下：

- (a)、以初始帧感兴趣区域  $ROI_m$  作为参照，在第二帧的相同位置选取相同大小的感兴趣区域；
- (b)、通过斑点跟踪算法计算出与初始帧相关性最大或绝对值差最小的感兴趣区域作为第二帧感兴趣区域内心肌运动的位置；
- (c)、以第二帧感兴趣区域为参照，重复(a)-(b)步骤，计算出整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_m$  内相应心肌的运动轨迹；
- (d)、通过上述步骤获取整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_m$  的位置，从而计算相应帧  $ROI_m$  内心肌的纹理参数；
- (7)、根据感兴趣区域内  $ROI_m$  的纹理变化曲线，计算相应心肌纹理变化的起伏程度。

利用本发明提出的基于斑点跟踪技术的心肌纹理自动分析方法，与传动手动测量方法相比，具有良好的 consistency，然而自动分析方法每帧处理时间可以缩短 98%以上；传统手动测量方法中，相同操作者测量同一数据变异和不同操作者测量相同数据的变异性在 8%和 13%左右，然而只要初始帧感兴趣区域的位置不变，自动分析方法能够完全重复出心动周期中心肌纹理参数的变化。该自动方法的引入，为临床推广心肌纹理参数评估心肌活性提供了必要的条件。

## 附图说明

图 1 为本发明运用的左室短轴切面的实例，其中置于左室后壁上的两个矩形框为选取的双重感兴趣区域，外侧感兴趣区域为  $ROI_s$ ，用于行斑点跟踪获取感兴趣区域内的心肌在心动周期中的运动轨迹；内侧感兴趣区域为  $ROI_m$ ，用于计算相应帧心肌纹理参数，在整个心动周期中其与  $ROI_s$  的位置相对固定，同时在初始帧感兴趣区域选取时， $ROI_m$  需包含心肌区域，并排除心内膜或心外膜灰度信号的影响。

图 2 为本发明使用的斑点跟踪技术原理图，为了简便起见，初始帧和相邻帧通过统一的坐标系表示，其中  $f(x, y)$  和  $g(x+u, y+v)$  分别为初始帧和相邻帧的感兴趣区域， $(u, v)$  为初始帧感兴趣区域在相邻帧中移动的位移。

图 3 为本发明提出的基于斑点跟踪技术心肌纹理自动分析方法获取的心动周期中心肌纹理变化图。

图 4 为本发明提出的基于斑点跟踪技术心肌纹理自动分析方法获取的心动周期中心肌纹理 ( $MGL_a$ ) 和传统手动方法测得的相应心动周期心肌纹理 ( $MGL_m$ ) 的线性回归分析。

图 5 为本发明提出的基于斑点跟踪技术心肌纹理自动分析方法获取的心动周期中心肌纹理 ( $MGL_a$ ) 和传统手动方法测得的相应心动周期心肌纹理 ( $MGL_m$ ) 的一致性分析 (Bland-Altman 分析)。

图 6 为本发明提出的基于斑点跟踪技术心肌纹理自动分析方法 ( $T_a$ ) 和传统手动方法 ( $T_m$ ) 测量相同图像序列每帧所需的时间比较。

图 7 为传统手动方法 ( $T_m$ ) 对相同图像序列的测量，相同操作者 (A) 和不同操作者 (B) 之间的重复性比较。

## 具体实施方式

本发明提出的基于斑点跟踪技术的心肌纹理自动分析方法，其具体步骤为：

(1)、在高帧频条件下采集受试者的二维超声心动图图像序列用于脱机分析。本发明实施例中，用常规心脏探头对受试对象进行检查，同时连接心电图各导联记录心电活动，然后将帧频调为 81 帧/秒，成像深度设为 10cm，调整时间增益、灰度总增益、聚焦及其他成像条件于一恰当的范围，固定上述参数设置，观察不同切面(左室胸骨旁长轴，乳突肌短轴，四腔心切面等)的二维超声图像序列并连续采集 5 个心动周期，数据以 avi 或 DICOM 格式存储于超声主机，然后拷贝入个人电脑用于脱机分析；

(2)、将舒张末期的超声心动图图像作为交互式感兴趣区域选取的初始帧，其中舒张末期超声心动图图像的选取以获取的心电图为标准，并定义为 R 波的起始点；

(3)、将双重感兴趣区域置于二维超声心动图的相应心肌区域，如图 1 所示，外侧矩形感兴趣区域(简称  $ROI_s$ )用于行斑点跟踪获取心动周期中心肌的运动轨迹；内侧感兴趣区域(简称  $ROI_m$ )用于计算相应心肌纹理变化，其中  $ROI_m$  的形状可以根据心肌的形状或不同要求而进行相应调整(椭圆形，矩形，正方形，新月形等)，在初始帧中， $ROI_m$  的位置以  $ROI_s$  为中心进行相应调整，以使  $ROI_m$  能够包括足够的心肌区域，同时排除心内膜或心外膜灰度信号的影响；

(4)、当初始帧感兴趣区域选取完毕后，运用斑点跟踪技术自动获取  $ROI_s$  内心肌在其余各帧图像中的位置；

(5)、其余帧中保持  $ROI_s$  和  $ROI_m$  的相对位置不变，获取整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_m$  的位置，从而计算相应帧  $ROI_m$  内心肌的纹理参数，计算心肌纹理参数的公式可以采取公开文献的任意一种方法，如灰度共生矩阵，小波分析，游程长度分析，分形模型等，本实施例使用的纹理参数为感兴趣区域内  $ROI_m$  的平均灰度；

(6)、若单个感兴趣区域  $ROI_m$  能够实现心肌运动的自动跟踪，同时排除心内膜和心外膜灰度信号的干扰，则实际操作中可以将  $ROI_s$  和  $ROI_m$  简化为单个感兴趣区域  $ROI_m$ ，其中包括的步骤如下：

(a)、以初始帧感兴趣区域  $ROI_m$  作为参照，在第二帧的相同位置选取相同大小的感兴趣区域；

(b)、通过斑点跟踪算法计算出与初始帧相关性最大或绝对值差最小的感兴趣区域作为第二帧感兴趣区域内心肌运动的位置；

(c)、以第二帧感兴趣区域为参照，重复(a)-(b)步骤，计算出整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_m$  内相应心肌的运动轨迹；

(d)、通过上述步骤获取整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_m$  的位置，从而计算相应帧  $ROI_m$  内心肌的纹理参数；

(7)、根据感兴趣区域内  $ROI_m$  的纹理变化曲线，计算相应心肌纹理变化的起伏程度，如图 3 所示的曲线即为在高帧频采样条件下纹理参数之一的平均灰度在心动周期中的变化，本实施例中心肌纹理变化的量化通过以下公式实现：

$$CVI = \frac{MGL_{ED} - MGL_{ES}}{MGL_{ED}} \times 100\%$$

其中 CVI 为心肌纹理周期性指标(Cyclic variation index)， $MGL_{ED}$  为心动周期舒张末期感兴趣区域  $ROI_m$  内的平均灰度， $MGL_{ES}$  为心动周期收缩末感兴趣区域  $ROI_m$  的平均灰度。本实施例中舒张末期定义为心电图 R 波起点，而收缩末定义为左室心腔最小和 T 波峰值附近。

上述方法中追踪感兴趣区域内心肌在其余各帧中位置的方法是基于斑点跟踪技术，其过程包括以下步骤：

(1)、以初始帧感兴趣区域  $ROI_s$  作为参照，如图 2 所示  $f(x,y)$  即为初始帧感兴趣区域，从第二帧的相同位置选取相同大小的感兴趣区域  $ROI_s$ ，如图 2 所示  $g(x+u, y+v)$  即为第二帧的感兴趣区域；

(2)、通过斑点跟踪算法计算出与初始帧  $f(x,y)$  相关性最大或绝对值差最小的感兴趣区域  $g(x+u, y+v)$  作为第二帧感兴趣区域内心肌运动的位置，其中第二帧中感兴趣区域内心肌移动的位移为  $(u, v)$ ，本实施例中运用归一化互相关系数判断相邻帧感兴趣区域的最适位置，相应公式为：

$$C(x, y) = \frac{\sum_{(u,v) \in W} [g(x+u, y+v) - g_m][f(x, y) - f_m]}{\sqrt{\sum_{(u,v) \in W} [g(x+u, y+v) - g_m]^2 \sum_{(u,v) \in W} [f(x, y) - f_m]^2}}$$

(3)、以第二帧感兴趣区域为参照，重复(1)-(2)步骤，以此类推，计算出整个心动周期中感兴趣区域  $ROI_s$  内相应心肌的运动轨迹，需要注意的是参照帧感兴趣区域  $f(x,y)$  在整个心动周期并非和初始帧选取的一样，

需根据追踪到的相邻帧感兴趣区域实时更新。

根据本发明提出的基于斑点跟踪技术的心肌纹理自动分析方法所获取的连续性心肌纹理变化,与传统手动方法获取的相应数值行散点图分析表明本发明提出的自动心肌纹理分析方法与传统方法所获取的心肌纹理参数具有很好的线性相关性(图 4),进一步行一元回归分析得出上述方法获取的结果具有如下关系

$$MGL_m = 0.95 \times MGL_a + 3.59 \quad (R=0.916)$$

其中  $MGL_a$  为本发明提出的自动分析方法获取的感兴趣区域内的平均灰度,  $MGL_m$  为传统方法测定的相应感兴趣区域内的平均灰度,上述结果表明本发明提出的自动分

析方法与传统方法测得的结果相关性高。通过 Bland-Altman 分析自动分析方法与传统方法在测量心动周期中心肌纹理参数的一致性,由图 5 所示,横坐标为两种方法测得的纹理参数的平均值,定义为

$$\frac{MGL_a + MGL_m}{2}$$

纵坐标为相应纹理参数的差值,定义为  $MGL_a - MGL_m$ ,多数散点集中在均值附近,一致性范围为  $(\text{Mean} \pm 1.96\text{SD}) 0.90 \pm 21.63$ ,仅有小于 5%的散点落在了  $\pm 1.96\text{SD}$  之外,可以认为本发明提出的基于斑点跟踪技术自动获取的心肌纹理参数与传统方法检测的结果一致。

然而传统方法进行逐帧心肌纹理分析,每帧图像序列测量所需时间为  $2.41 \pm 0.24 \text{ s}$ ,通过本发明提出的基于斑点跟踪的自动方法对相同图像序列进行分析所需时间为  $0.04 \pm 0.02 \text{ s}$  ( $P < 1.4\text{E}-10$ ),相应帧的处理时间得到了显著的降低,提高了心肌纹理分析的效率(图 6)。同时在传统方法中,相同操作者测量同一数据变异和不同操作者测量相同数据的变异性在 8%和 13%左右(图 7),然而只要初始帧感兴趣区域的位置不变,本发明提出的自动分析方法能够完全重复出心动周期中心肌纹理参数的变化,因此该自动方法能够进一步提高心肌纹理测量的重复性。本发明提出的基于斑点跟踪的自动分析方法为临床推广心肌纹理参数评估心肌功能提供了必要的条件。

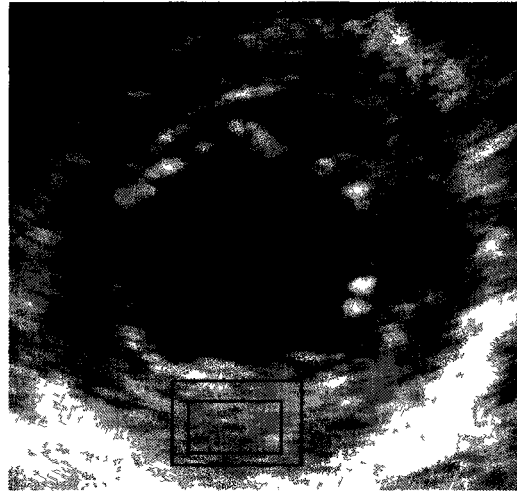


图 1

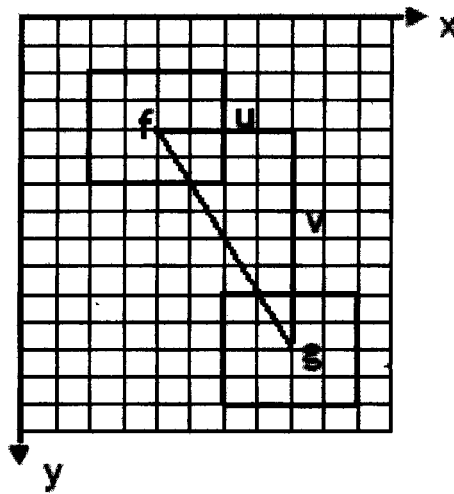


图 2

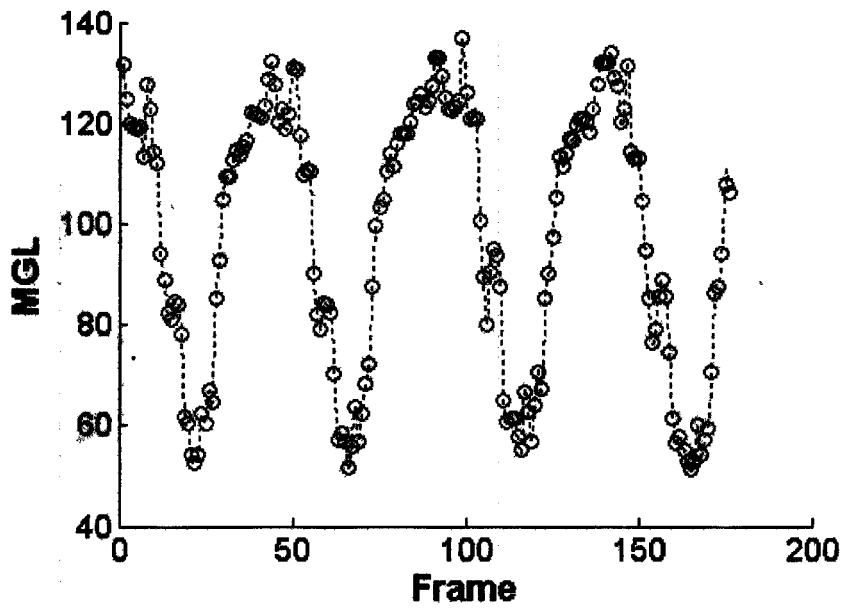


图 3

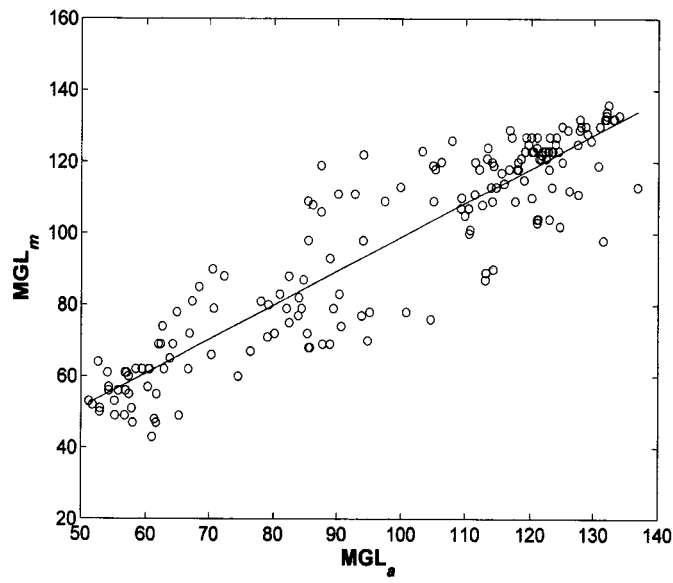


图 4

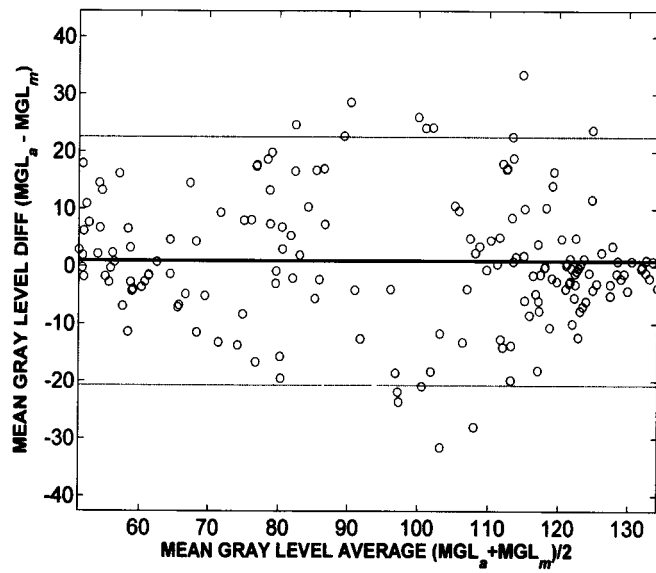


图 5

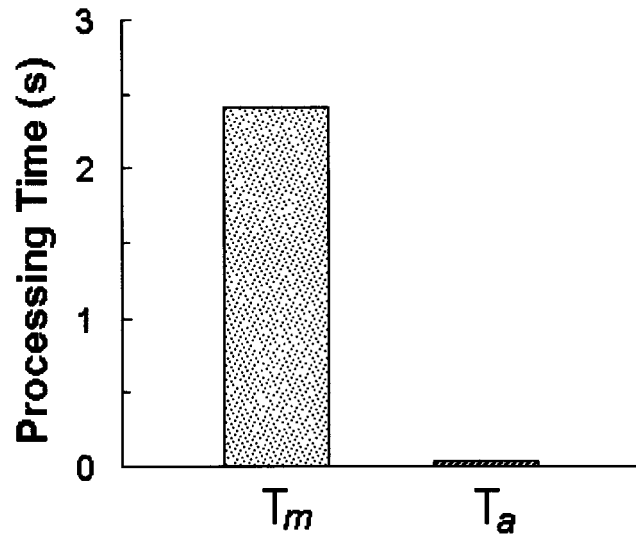


图6

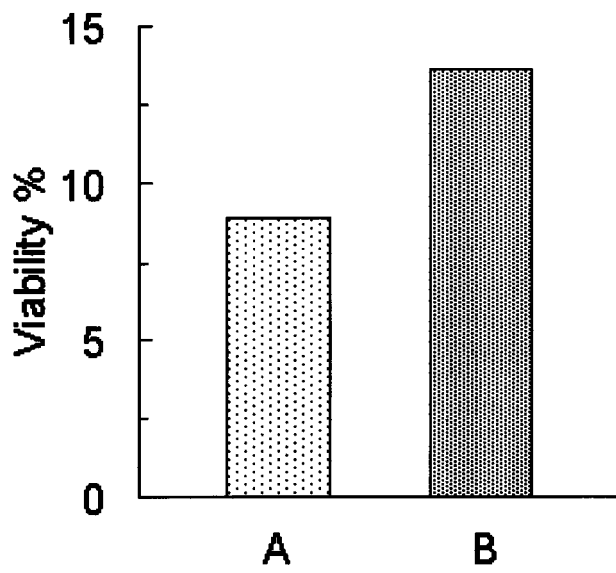


图7

专利名称(译)	一种基于斑点跟踪技术的心肌纹理自动分析方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN101617947A</a>	公开(公告)日	2010-01-06
申请号	CN200910104361.X	申请日	2009-07-17
[标]申请(专利权)人(译)	重庆医科大学		
申请(专利权)人(译)	重庆医科大学		
当前申请(专利权)人(译)	重庆医科大学		
[标]发明人	黄晶 郭睿 王志刚 冉海涛 郑元义 任建丽 尹立雪 郑永平		
发明人	黄晶 郭睿 王志刚 冉海涛 郑元义 任建丽 尹立雪 郑永平		
IPC分类号	A61B8/00		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明涉及一种基于斑点跟踪技术的心肌纹理自动分析方法，属于医学超声领域。本方法首先在高帧频条件下采集受试对象二维超声心动图用于脱机分析；然后以舒张末的超声心动图图像作为交互式感兴趣区域(ROI)选取的初始帧，使ROI包括心肌，同时排除心外膜或心内膜的灰度信号干扰；当初始帧ROI选取完毕后，运用斑点跟踪技术自动获取ROI内心肌在其余各帧图像中的位置，从而计算相应帧ROI内心肌纹理参数；根据ROI内的纹理变化曲线，计算相应心肌纹理变化的起伏程度。本发明能够有效降低传统手动跟踪计算心肌纹理的工作量，提高处理的时间及数据处理的重复性，同时通过高帧频采样获取心肌纹理的细节变化，有利于更好地理解心肌纹理的意义。

