



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104207804 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 17

(21) 申请号 201410502214. 9

(22) 申请日 2014. 09. 26

(71) 申请人 南京大学

地址 210093 江苏省南京市鼓楼区汉口路
22 号

(72) 发明人 程凯旋 刘晓宙 龚秀芬

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所
(普通合伙) 32249

代理人 陈建和

(51) Int. Cl.

A61B 8/08 (2006. 01)

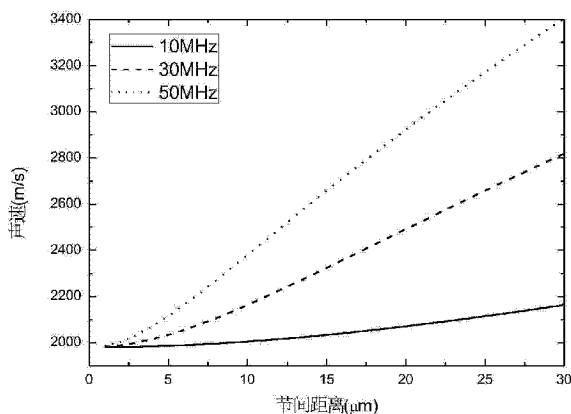
权利要求书1页 说明书3页 附图3页

(54) 发明名称

通过声速与声衰减对生物组织的节间距离进行成像的方法

(57) 摘要

通过声速与声衰减对生物组织的节间距离进行成像的方法,基于纳米力学模型,生物组织材料用一系列节点来表示,这些节点之间间隔一个有限的距离称为节间距离;当节点发生位移时,每个节点的位移增量能由泰勒公式展开,泰勒级数的阶数决定了近似的程度,在生物组织中取 $M = 2$;当组织病变时,节间距离、密度、弹性模量也发生变化,从而引起超声波的声速和声衰减的变化;当组织刚发生病变或病变不明显时,在纳米力学模型中,两者间的声速差值会随声波频率的增加而增大;在病变初期,弹性常数变化很小,但两者的节间距离不同,在某一频率下所表现的声速会存在差值。而且随着频率的增加,随之增加。



1. 通过声速与声衰减对生物组织的节间距离进行成像的方法,其特征是基于纳米力学模型,将生物组织看成是一系列的纳米节点组成,这些节点之间间隔一个有限的距离称为节间距离;当节点发生位移时,每个节点的位移增量能由泰勒公式展开,泰勒级数的阶数决定了近似的程度,泰勒级数多于一项时就是多尺度理论;在生物组织中取 $M = 2$;当组织病变时,节间距离、密度、弹性模量也发生变化,从而引起超声波的声速和声衰减的变化;当组织刚发生病变或病变不明显时,在连续模型中,病变组织的声速相对于正常组织的声速变化不大;但在纳米力学模型中,两者间的声速差值会随声波频率的增加而增大;通过超声波对组织的扫描,由声速和声衰减得到组织的节间距离变化;声速与节间距离的变化成正比例关系,声衰减与节间距离的变化成负比例关系;通过正常组织与病变组织的声速、声衰减的差值图能重现病变体的节间距离的结构变化。

2. 根据权利要求 1 所述的通过声速与声衰减对生物组织的节间距离进行成像的方法,其特征是对于病变组织和正常组织,在组织病变初期,弹性常数变化很小,但正常组织和病变组织两者的节间距离不同,在某一频率下所表现的声速会存在差值;随着超声频率的增加,差值随之增加。

3. 根据权利要求 1 所述的通过声速与声衰减对生物组织的节间距离进行成像的方法,其特征是所使用的计算参数如下:

正常组织:组织密度 $\rho = 1020\text{kg/m}^3$, 组织杨氏模量 $E = 1.43\text{GPa}$, 泊松比 $\sigma = 0.43$, 节点距离 $\eta = 10\mu\text{m}$;

病变组织:组织密度 $\rho = 1020\text{--}1070\text{kg/m}^3$, 组织杨氏模量 $E = 1.43\text{--}1.50\text{GPa}$, 泊松比 $\sigma = 0.43\text{--}0.44$, 节点距离 $\eta = 10\text{--}15\mu\text{m}$ 。

通过声速与声衰减对生物组织的节间距离进行成像的方法

一、技术领域

[0001] 本发明利用纳米力学的理论,通过组织声速和声衰减实现生物组织病变的检测和对组织微观参量节间距离的进行成像。

二、背景技术

[0002] 生物组织病变初期,各种物理参数改变较小,此时利用连续介质模型很难将病变组织与正常组织区分开来。而利用纳米力学模型(DM)引入组织的微观参量节间距离,可通过增大探测频率来扩大病变组织与正常组织间的声速和声衰减的差别,增加检测的准确性,有利于对组织病变的早期发现与治疗。

三、发明内容

[0003] 本发明的目的:采用纳米力学理论,通过声速与声衰减对组织节间距离的变化的检测实现对组织病变初期的检测。

[0004] 本发明的技术方案:通过声速与声衰减对生物组织的节间距离进行成像的方法,基于纳米力学模型,将生物组织看成是一系列的纳米节点组成,这些节点之间间隔一个有限的距离称为节间距离;当节点发生位移时,每个节点的位移增量能由泰勒公式展开,泰勒级数的阶数决定了近似的程度,泰勒级数多于一项时就是多尺度理论;在生物组织中取 $M = 2$;当组织病变时,节间距离、密度、弹性模量也发生变化,从而引起超声波的声速和声衰减的变化;当组织刚发生病变或病变不明显时,在连续模型中,病变组织的声速相对于正常组织的声速变化不大;但在纳米力学模型中,两者间的声速差值会随声波频率的增加而增大;通过超声波对组织的扫描,由声速和声衰减得到组织的节间距离变化;声速与节间距离的变化成正比例关系,声衰减与节间距离的变化成负比例关系;通过正常组织与病变组织的声速、声衰减的差值图能重现病变体的节间距离的结构变化。

[0005] 对于病变组织和正常组织,在病变初期,弹性常数变化很小,但两者的节间距离不同,在某一频率下所表现的声速会存在差值;而且随着声频率的增加,随之增加。

[0006] 本发明所使用的计算参数如下:

[0007] 正常组织:

[0008] 组织密度 $\rho = 1020\text{kg/m}^3$, 组织杨氏模量 $E = 1.43\text{GPa}$, 泊松比 $\sigma = 0.43$, 节点距离 $\eta = 10\mu\text{m}$;

[0009] 病变组织:

[0010] 组织密度 $\rho = 1020\text{--}1070\text{kg/m}^3$, 组织杨氏模量 $E = 1.43\text{--}1.50\text{GPa}$, 泊松比 $\sigma = 0.43\text{--}0.44$, 节点距离 $\eta = 10\text{--}15\mu\text{m}$ 。

[0011] 固体力学模型根据媒质分布情况分为连续模型和离散模型。经典连续介质力学(classical continuum mechanics, CCM)假定媒质是均匀的连续模型。许多生物材料,例如软组织,在细胞量级上具有离散结构特性,当超声频率在相对较低的频段(如 $1\text{--}10\text{MHz}$),超声声波的波长为毫米量级远大于细胞结构的大小,此时 CCM 得到的声波方程与实验结果

较吻合。随着医疗超声频率越来越高,声波波长趋于细胞大小尺度,生物组织的离散性不能被忽略。根据 DM 模型,声衰减也是一个与节间距离和频率有关的函数,在单一频率下,组织的节间距离越大,声波衰减量越小,并且高频的衰减量要比低频衰减的更大。因此,在对组织定征的过程中,节间距离增大,衰减量减小,所以可以通过扫描得到组织声衰减的空间分布,来对节间距离进行成像。

[0012] 对于病变组织和正常组织,假定在病变初期,弹性常数变化很小,但两者的节间距离不同,在某一频率下所表现的声速会存在差值;而且随着频率的增加,随之增加。超声频率越高,病变与正常组织间的声速差越明显。因而可以通过提高超声频率来提高检测的精度,此方法是 CCM 模型所无法实现的。

[0013] 纳米力学(doublet mechanics,DM)是适用于具有离散特性材料的新的弹性理论。在纳米力学理论中,材料可由具有有限间距(节点距离)的球状点表示,每一对点称作一对节点,这些节点之间间隔的有限的距离称为节间距离。每对节点可以发生平移和旋转,节点间的形变可以展开成节点距离的 M 阶泰勒级数。M 并不与数学意义上的精度相关,而是代表着材料的离散程度,M 越大,系统具有更高的离散程度。例如, $M = 1$,此时节点形变只展开成了一阶级数,则节点应变与节点距离无关,DM 退化为 CCM;若 M 为无穷大,材料为具有周期性的布拉维点阵结构。根据有关发现,在生物组织中, $M = 2$ 的多尺度声波波动方程所计算出的色散关系和实验结果最接近。

[0014] 本发明的有益效果:通过提高声波的探测频率使病变组织与正常组织的声速和声衰减差异增大,进而提高检测的准确度;并利用组织的声速与声衰减和节间距离的关系,通过声速和声衰减测量来对组织的节间距离进行成像,从而反映组织的早期病变程度,为生物组织超声定征提供一条新的途径,并且获得了有关参数,可以对生物组织定征参考标准。

四、附图说明

[0015] 图 1 不同频率下组织的声速随节间距离的变化;

[0016] 图 2 不同节间距离下组织的声速差随频率的变化;分别表示节间距离为 $11\mu\text{m}$, $15\mu\text{m}$, $20\mu\text{m}$ 的病变组织与 $10\mu\text{m}$ 的正常组织的声差。

[0017] 图 3 中, (a) CCM 模型下正常组织与病变组织的声速差成像图; (b), (c) 分别是 DM 模型下频率为 10MHz 和 30MHz 时正常组织与病变组织的声速差成像图;

[0018] 图 4 不同频率下组织的声衰减随节间距离的变化;

[0019] 图 5 中, (a) 点状病变结构图, (b)、(c) 点状病变结构的声速和声衰减差成像图 (d) 线状病变结构图, (e)、(f) 线状病变结构的声速和声衰减差成像图。

五、具体实施方式

[0020] 本发明基于纳米力学对组织的病变进行超声测量定征的方法,将生物组织看成是一系列的节点组成,由此获得声波在生物组织中的传播模型。根据此模型,组织发生病变时,节间距离、弹性模量发生变化,从而引起超声波的声速与声衰减的变化,可通过声速和声衰减的变化来判断组织病变的状态。

[0021] 将纳米力学理论应用到超声在离散介质中的传播,对于生物组织,根据大量的实验,计算所使用的参数如下:

[0022] 正常组织:组织密度 $\rho = 1020\text{kg/m}^3$, 组织杨氏模量 $E = 1.43\text{GPa}$, 泊松比 $\sigma = 0.43$, 节点距离 $\eta = 10\mu\text{m}$ 。

[0023] 不正常的病变组织:组织密度 $\rho = 1020\text{--}1070\text{kg/m}^3$, 组织杨氏模量 $E = 1.43\text{--}1.50\text{GPa}$, 泊松比 $\sigma = 0.43\text{--}0.44$, 节点距离 $\eta = 10\text{--}15\mu\text{m}$ 。

[0024] DM 理论中,当材料的离散度 $M > 1$ 时,声速将是一个关于材料的弹性常数,微观参量节间距离和入射声波频率的函数。生物组织中,取 $M = 2$,在弹性常数一定的情况下,此时在不同频率下组织中的声速与节间距离关系如图 1 所示。对于某一特定频率,声速与节间距离具有单调关系,即随着节间距离的增大而增大。而对于固定的节间距离,声速也会随着频率的增大而增大。因此,对于病变组织和正常组织,假定在病变初期,弹性常数变化很小,但两者的节间距离不同,在某一频率下所表现的声速会存在差值。而且随着频率的增加,随之增加。图 2 中的曲线分别表示节间距离为 $11\mu\text{m}$, $15\mu\text{m}$, $20\mu\text{m}$ 的病变组织与 $10\mu\text{m}$ 的正常组织的声差,由此可见频率越高,病变与正常组织间的声速差越明显。因而可以通过提高超声频率来提高检测的精度,此方法是 CCM 模型所无法实现的。

[0025] 通过本发明方法对组织进行扫描,一个 $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ 的组织中有一个块区域发生病变,正常组织的节间距离设为 $10\mu\text{m}$,病变部分的节间距离服从高斯分布,中心处的节间距离为最大值 $15\mu\text{m}$ 。图 3(a) 是 CCM 模型下正常组织与病变组织的声速差成像图, (b), (c) 分别是 DM 模型下频率为 10MHz 和 30MHz 时正常组织与病变组织的声速差成像图。从图中可以看出:在 CCM 模型下病变与正常组织的声速差别很小,但在 DM 模型中声速差会随着频率的增大而变大,从图 3(c) 可以明显看出正常组织和病变的差别。

[0026] 根据 DM 模型,声衰减也是一个与节间距离和频率有关的函数,从图 4 中可以看出,在单一频率下,组织的节间距离越大,声波衰减量越小,并且高频的衰减量要比低频衰减的更大。因此,在对组织定征的过程中,节间距离增大,衰减量减小,所以也可以通过扫描得到组织声衰减的空间分布,来对节间距离进行成像。

[0027] 图 5 是针对不同结构的组织进行扫描得到声速和声衰减图。图 5(a) 是斑点状病变结构的节间距离图像,图 5(b), (c) 分别是斑点状病变结构的声速和声衰减的差值图;图 5(d) 是线状病变结构的节间距离图像,图 5(e), (f) 分别是线状病变结构的声速和声衰减的差值图。从声速成像图和声衰减成像图可见声速与声衰减的变化可以很好的反映出组织的节间距离的变化。

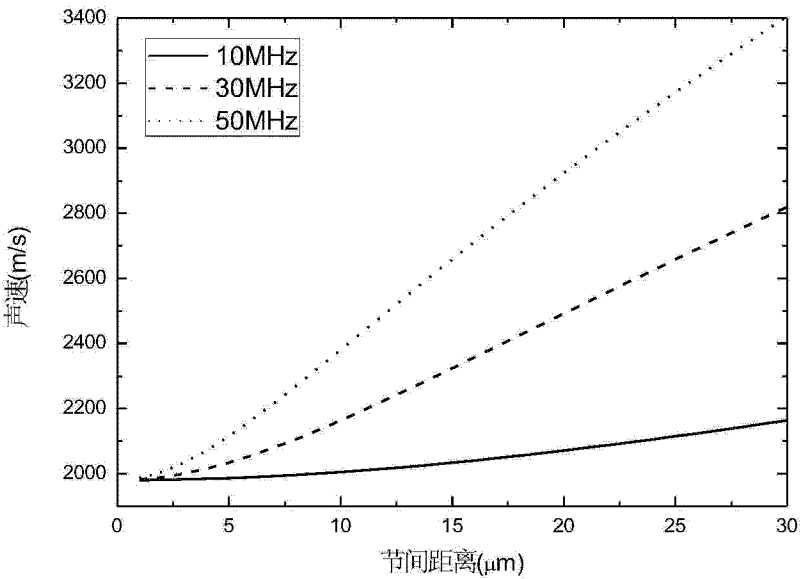


图 1

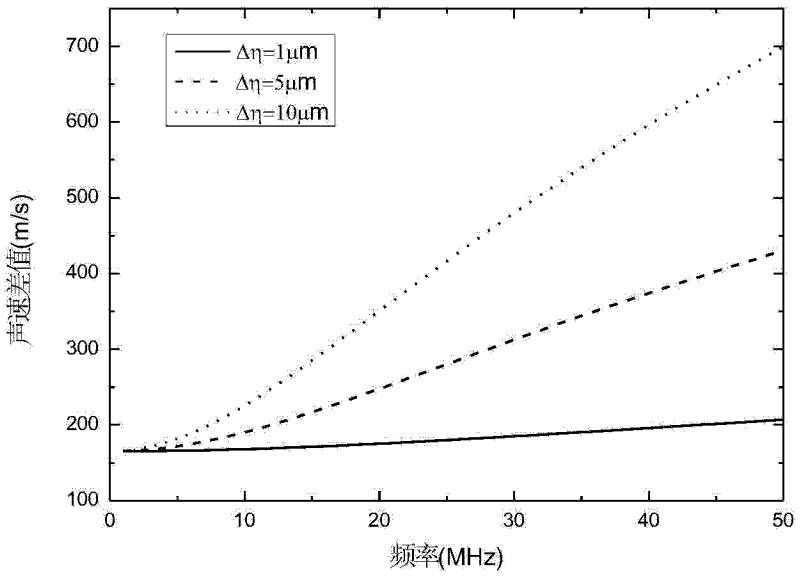


图 2

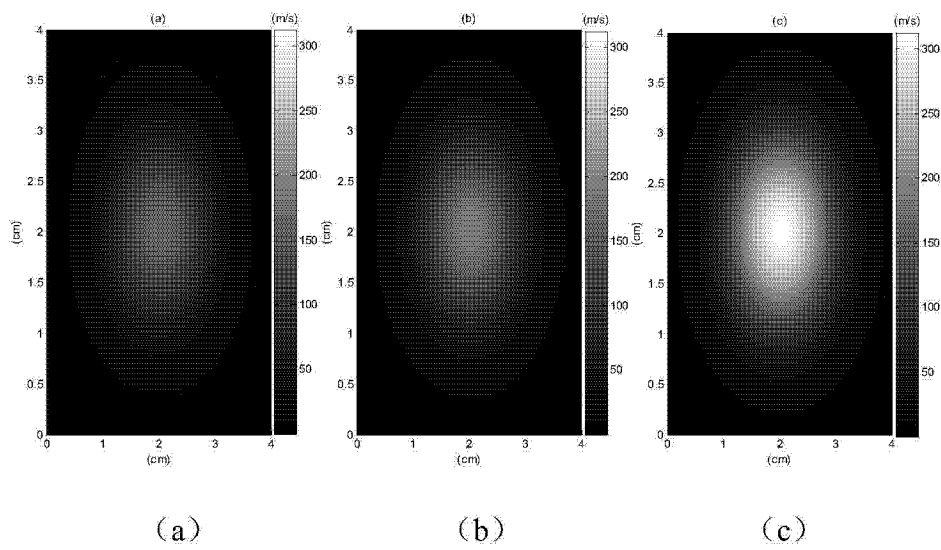


图 3

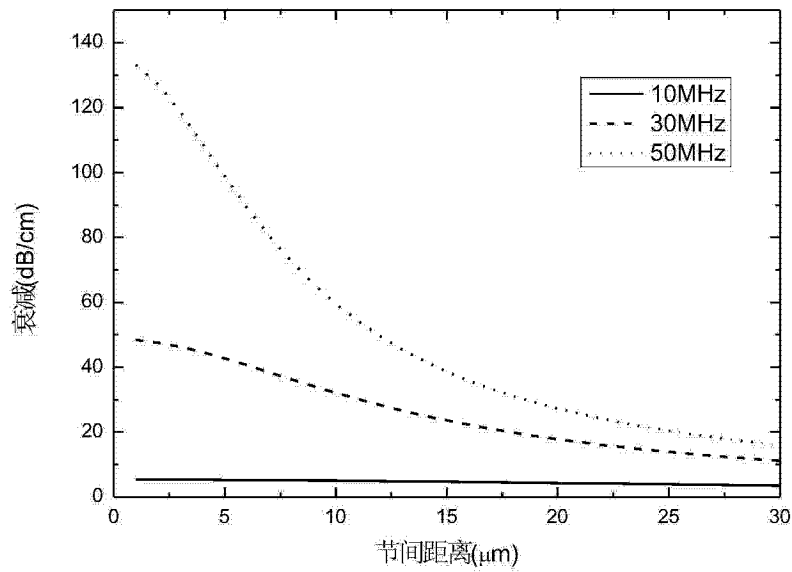


图 4

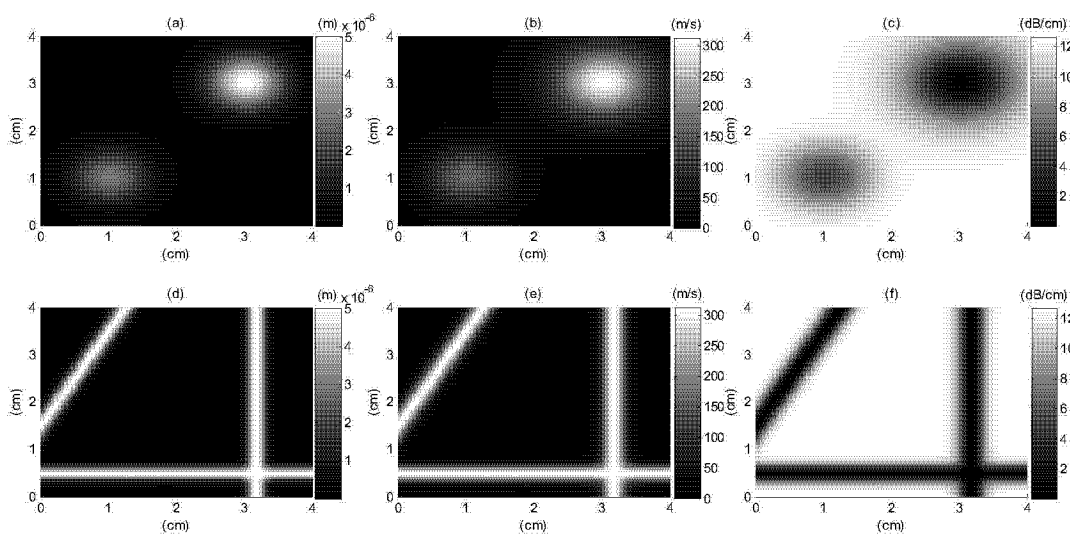


图 5

专利名称(译)	通过声速与声衰减对生物组织的节间距离进行成像的方法		
公开(公告)号	CN104207804A	公开(公告)日	2014-12-17
申请号	CN201410502214.9	申请日	2014-09-26
[标]申请(专利权)人(译)	南京大学		
申请(专利权)人(译)	南京大学		
当前申请(专利权)人(译)	南京大学		
[标]发明人	程凯旋 刘晓宙 龚秀芬		
发明人	程凯旋 刘晓宙 龚秀芬		
IPC分类号	A61B8/08		
代理人(译)	陈建和		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

通过声速与声衰减对生物组织的节间距离进行成像的方法，基于纳米力学模型，生物组织材料用一系列节点来表示，这些节点之间间隔一个有限的距离称为节间距离；当节点发生位移时，每个节点的位移增量能由泰勒公式展开，泰勒级数的阶数决定了近似的程度，在生物组织中取 $M=2$ ；当组织病变时，节间距离、密度、弹性模量也发生变化，从而引起超声波的声速和声衰减的变化；当组织刚发生病变或病变不明显时，在纳米力学模型中，两者间的声速差值会随声波频率的增加而增大；在病变初期，弹性常数变化很小，但两者的节间距离不同，在某一频率下所表现的声速会存在差值。而且随着频率的增加，随之增加。

