



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104116522 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 29

(21) 申请号 201410350795. 9

(22) 申请日 2014. 07. 22

(71) 申请人 陕西师范大学

地址 710062 陕西省西安市长安南路 199 号

(72) 发明人 郭建中 李培畅 刘昕 李霖

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任

公司 61200

代理人 陆万寿

(51) Int. Cl.

A61B 8/00(2006. 01)

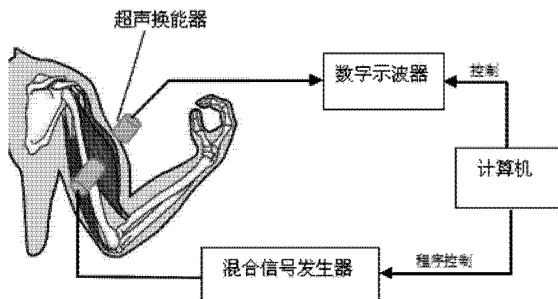
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的装置和方法

(57) 摘要

本发明具体涉及一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的装置和方法,目的在于能够控制发射信号的强弱,经过目标肌肉的超声波对组织无损伤,受到周围环境的无线电的干扰以及受试者本身皮肤脂肪温度的影响小,无需后期处理,所采用的技术方案为:包括以下步骤:首先将两个超声换能器分别固定在目标肌肉两侧;然后调节信号发生器以产生稳定信号,目标肌肉组织处电信号通过输入端超声换能器转换为超声波,超声波经过目标肌肉组织后由输出端超声换能器输出,超声波输入至示波器,完成信号的接收输出;最后控制示波器间隔采集数据并储存,通过计算机计算出超声波输入、输出信号的幅度平均值,计算出两者的比值,将比值与理论幅度比值对比分析,完成肌肉疲劳程度的测量。



1. 一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的方法,其特征在于:包括以下步骤:

首先,将两个超声换能器分别固定在目标肌肉两侧,调节信号发生器以产生稳定信号,目标肌肉组织处电信号通过输入端超声换能器转换为超声波,超声波经过目标肌肉组织后由输出端超声换能器输出,超声波输入至示波器,完成信号的接收输出;

然后,控制示波器间隔采集数据并储存,通过计算机计算出超声波输入、输出信号的幅度平均值,再计算出超声波输入、输出信号的幅度平均值的比值;

最后,利用理论幅度比值公式计算出超声波输入、输出信号的理论幅度比值,将上一步骤得到的幅度平均值的比值与理论幅度比值对比分析,完成肌肉疲劳程度的测量。

2. 根据权利要求1所述的基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的方法,其特征在于:所述的超声波输入、输出信号的理论幅度比值按以下公式计算:

$$A/A_0 = e^{-\alpha(x_0 + 8.09x_0e^{-0.006t} - 6.69x_0e^{-0.093t})}$$

其中,A为输出信号幅度, A_0 为输入信号幅度,t为时间, x_0 为超声波经过的目标肌肉的初始厚度, α 是介质的衰减系数,e为自然对数的底数。

3. 根据权利要求2所述的基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的方法,其特征在于:所述的超声波在肌肉组织横纤维方向传播时,介质衰减系数 α 为 $5.75\text{dB}/\text{cm}^2$ 。

4. 根据权利要求1所述的基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的方法,其特征在于:所述的超声换能器固定在目标肌肉时,在超声换能器与皮肤之间填充耦合剂。

5. 一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的装置,其特征在于:包括两个超声换能器,两个超声换能器分别与信号发生器和示波器连接,信号发生器和示波器均与计算机连接。

一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种肌肉疲劳的测量方法,具体涉及一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的装置和方法。

背景技术

[0002] 肌肉疲劳是肌肉组织的一个重要运动特征,处理不当会严重影响人们的日常生活质量,特别是体育运动的训练效果,并且准确估计肌肉疲劳程度可以减小运动员在比赛训练中受伤的风险。

[0003] 从检测到人体肌肉收缩时产生的电信号开始,这个表面肌电信号就广泛地应用于分析肌肉特征的研究,是目前肌肉疲劳的估计最常用的方法,但是表面肌电信号本身属于微弱的生物电信号,影响其测量精度的因素很多,比如,如果是遥测肌电仪,空间传播的无线电波是影响肌电信号精度的最为突出的问题。肌电测量时,周围环境中可能存在很多无线电干扰,造成肌电信号一定程度上的失真。另外,皮脂厚度和皮肤温度也都会影响到肌电的测量精度。皮脂越厚,电阻越大。不同受试者的皮脂厚度不同,对肌电输出到皮肤表面有着很大的影响。受试者的皮肤温度对肌电信号的影响也很大,研究表明受试者肌肉表面的温度升高,肌电信号的振幅减小,等等这些因素都使得微弱的肌电信号容易淹没在各种噪声当中,从而需要后期的各种精细复杂的处理才能进一步研究分析。

发明内容

[0004] 为了解决现有技术中的问题,本发明提出一种能够控制发射信号的强弱,经过目标肌肉的超声波对组织无损伤,受到周围环境的无线电的干扰以及受试者本身皮肤脂肪温度的影响小,无需后期处理的基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的装置和方法。

[0005] 为了实现以上发明目的,本发明所采用的技术方案为:

[0006] 一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的方法,包括以下步骤:

[0007] 首先,将两个超声换能器分别固定在目标肌肉两侧,调节信号发生器以产生稳定信号,目标肌肉组织处电信号通过输入端超声换能器转换为超声波,超声波经过目标肌肉组织后由输出端超声换能器输出,超声波输入至示波器,完成信号的接收输出;

[0008] 然后,控制示波器间隔采集数据并储存,通过计算机计算出超声波输入、输出信号的幅度平均值,再计算出超声波输入、输出信号的幅度平均值的比值;

[0009] 最后,利用理论幅度比值公式计算出超声波输入、输出信号的理论幅度比值,将上一步骤得到的幅度平均值的比值与理论幅度比值对比分析,完成肌肉疲劳程度的测量。

[0010] 所述的超声波输入、输出信号的理论幅度比值按以下公式计算:

$$[0011] \quad A/A_0 = e^{-\alpha(x_0 + 8.09x_0e^{-0.006t} - 6.69x_0e^{-0.093t})}$$

[0012] 其中,A为输出信号幅度, A_0 为输入信号幅度,t为时间, x_0 为超声波经过的目标肌肉的初始厚度, α 是介质的衰减系数,e为自然对数的底数。

[0013] 所述的超声波在肌肉组织横纤维方向传播时,介质衰减系数 α 为 $5.75\text{dB}/\text{cm}^2$ 。

[0014] 所述的超声换能器固定时,在超声换能器与皮肤之间填充耦合剂。

[0015] 一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的装置,包括两个超声换能器,两个超声换能器分别与信号发生器和示波器连接,信号发生器和示波器均与计算机连接。

[0016] 与现有技术相比,本发明的方法中利用超声换能器置于目标肌肉两侧,通过发射信号,超声波经过目标肌肉组织后,由接收到的信号衰减情况来判断肌肉疲劳程度,采用本发明的方法来估计肌肉疲劳,容易操作,可控制发射信号,接收到的信号清晰,衰减明显,其能量远远强于生物电信号能量,因此受到周围环境的无线电的干扰以及受试者本身皮肤脂肪温度的影响都非常小。经过目标肌肉的超声波对组织是无损伤,将该方法应用于估计肌肉疲劳,可以更好地估计肌肉疲劳程度,从而降低因疲劳过度造成的肌肉拉伤等风险。

[0017] 更进一步,超声换能器与皮肤之间填充耦合剂,充填接触面之间的微小空隙,不使这些空隙间的微量空气影响超声的穿透;其次是通过耦合剂“过渡”作用,使探头与皮肤之间的声阻抗差减小,从而减小超声能量在此界面的反射损失,减少了对测量的干扰,提高了测量的精度。

[0018] 本发明的装置,对于发射的信号可以控制其强弱,经过目标肌肉的超声波对组织无损伤,可实时有效的检测,从而来估计肌肉疲劳程度,结构简单,易于操作。

附图说明

[0019] 图 1 为本发明装置的结构示意图;

[0020] 图 2 为疲劳过程中超声波幅度随时间变化图;

[0021] 图 3 为肌肉疲劳过程中的超声调频信号图,其中 (a) 为 30s 时的响应信号、(b) 为 120s 时的响应信号、(c) 为 210s 时的响应信号、(d) 为 300s 时的响应信号;

[0022] 图 4 为表面肌电信号图;

[0023] 图 5 为不同模型的曲线拟合图,其中 (a)、(b)、(c) 分别为输入端超声换能器中心频率为 2.25MHZ 时的线性函数拟合、二次函数拟合、指数函数拟合;(d)、(e)、(f) 分别为输入端超声换能器中心频率为 5MHZ 时的线性函数拟合、二次函数拟合、指数函数拟合;

[0024] 图 6 为入射频率分别为 1MHZ 、 5MHZ 、 7.5MHZ 的响应信号的平均幅度下降曲线图;

[0025] 图 7 为幅度下降曲线与肌电信号变化规律对比图,其中 (a) 为入射频率为 2.25MHZ 的响应信号幅度下降曲线;(b) 为入射频率为 5MHZ 的响应信号幅度下降曲线;(c) 为入射频率为 2.25MHZ 时同步肌电信号幅度均方根值变化图;(d) 为入射频率为 5MHZ 时同步肌电信号幅度均方根值变化图。

具体实施方式

[0026] 下面结合实施例对本发明做进一步说明。

[0027] 参见图 1,一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的方法,包括以下步骤:首先将两个超声换能器分别固定在目标肌肉两侧,超声换能器与皮肤之间填充耦合剂,耦合剂为医用超声耦合剂;

[0028] 然后调节信号发生器以产生稳定信号,目标肌肉组织处电信号通过输入端超声换能器转换为超声波,超声波经过目标肌肉组织后由输出端超声换能器输出,超声波输入至

示波器,完成信号的接收输出;

[0029] 最后控制示波器间隔采集数据并储存,通过计算机计算出超声波输入、输出信号的幅度平均值,计算出两者的比值,超声波输入、输出信号的理论幅度比值按以下公式计算:

$$[0030] \quad A/A_0 = e^{-\alpha(x_0+8.09x_0e^{-0.006t}-6.69x_0e^{-0.093t})}$$

[0031] 其中,A 为输出信号幅度, A_0 为输入信号幅度,t 为时间, x_0 为超声波经过的目标肌肉的初始厚度, α 是介质的衰减系数,e 为自然对数的底数,将实际比值与理论幅度比值对比分析,完成肌肉疲劳程度的测量。超声波在肌肉组织横纤维方向传播时,介质衰减系数 α 为 5.75dB/cm²。

[0032] 一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的装置,包括输入、输出端换能器,输入端换能器与信号发生器连接,输出端换能器与示波器连接,信号发生器和示波器均与计算机连接,信号发生器为混合信号发生器,输入、输出端换能器分别为超声换能器,示波器为数字示波器。

[0033] 超声波在介质中传播时,会因波前扩展和材料内摩擦以及界面散射造成的超声能量衰减。一般来说,平面声波在介质中沿直线方向传播时,根据比尔—朗伯(Lambert-Beer)定律的推导,其振幅衰减可用如下公式表示:

$$[0034] \quad A = A_0 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

[0035] 式中 A_0 为最初的声波幅度,A 为声波经过 x 距离后的幅度; α 是介质的衰减系数,e 为自然对数的底数。

[0036] 超声图像检测到疲劳过程中肌肉的厚度随时间变化有非线性增加,肌肉厚度的增加量 Δx 与时间 t ($t \leq 30s$) 的关系如下式:

$$[0037] \quad \Delta x = 8.09x_0e^{-0.006t} - 6.69x_0e^{-0.093t} \quad (2)$$

[0038] 式中 x_0 为超声波经过的目标肌肉的初始厚度, Δx 为随着疲劳肌肉厚度的增加量。

[0039] 对于超声传播过程中,如果传输距离增大 Δx ,由式(1)可得:

$$[0040] \quad A = A_0 e^{-\alpha(x_0 + \Delta x)} \quad (3)$$

[0041] 将式(2)代入式(3)得到:

$$[0042] \quad A/A_0 = e^{-\alpha(x_0+8.09x_0e^{-0.006t}-6.69x_0e^{-0.093t})} \quad (4)$$

[0043] 将 x_0 , α 参数值代入式(4),其中,受试者所测右肱二头肌横向厚度取平均 x_0 为 4cm,超声在肌肉组织横纤维方向传播时衰减系数 α 的测量结果为 5.75dB/cm²,那么得到肌肉组织疲劳过程中时间与幅度的函数关系式为:

$$[0044] \quad A/A_0 = e^{-23} e^{-186.07e^{-0.006t}} e^{153.87e^{-0.093t}} \quad (5)$$

[0045] 式(5)中幅度随时间变化如图2所示,可得肌肉组织疲劳过程中幅度衰减近于指数形式的单调减函数。

[0046] 对于衰减系数 α ,测量生物组织声衰减的理论分析中,衰减系数是与声源频率相关的,改变声源频率就可以得到不同频率下生物组织的超声衰减系数,再经过曲线拟合可表示式:

[0047] $\alpha = \alpha_0 f^\beta$ (6)

[0048] 式中, α_0 是衰减常数, β 是指数, 并且在 1MHz ~ 7MHz 频率范围内 β 的值为 1.07 ~ 1.14。由公式 (6) 可知生物组织声衰减系数随入射频率 f 的变化关系, 那么随着 f 增大, 衰减系数 α 越大, 衰减程度随之加强。

[0049] 数据采集: 为达到实际超声能量测量更准确, 选取调频信号为激励来研究其响应的衰减情况。调频信号通过超声换能器及肌肉组织后较稳定, 在接收端的响应不容易受噪声干扰, 便于观察信号变化规律。将两个超声换能器分别置于右肱二头肌两侧, 由铁架台及夹子固定, 在超声换能器与皮肤之间填充医用超声耦合剂。信号发生器产生调频信号连接输入端超声换能器, 经逐渐疲劳的肌肉组织传输至接收端超声换能器, 中心频率为 10MHz, 并由示波器显示波形。计算机编程控制示波器每间隔 15s 采集一次数据, 持续 300s, 整理数据, 采集到响应的调频信号, 以输入端超声换能器中心频率 2.25MHz 为例, 如图 3 所示。

[0050] 作为对比的表面肌电信号数据采集: 利用同步调试多导运动生物电记录分析仪, 连接电极贴片, 用酒精棉轻抹置放电极处皮肤, 以减低电阻, 贴上两张电极贴片, 再选择适当位置贴一张电极贴片作为参考电极, 计算机控制, 与超声信号同步采集 300s, 采集到的表面肌电信号如图 4 所示。

[0051] 结果分析:

[0052] 超声信号衰减拟合曲线的选择: 模型拟合的好坏程度选用确定系数 (R-square) 来衡量, 确定系数的正常取值范围为 0 ~ 1, 越接近 1 表明函数的变量解释能力越强, 模型对数据的拟合也最好。对疲劳过程中调频信号的幅度积分求平均值, 由计算机拟合不同的函数模型, 拟合的线性、二次函数以及指数函数曲线如图 5 所示, 其中图 5(a)、5(b)、5(c) 为输入端超声换能器中心频率为 2.25MHz 时的数据, 图 5(d)、5(e)、5(f) 为输入端超声换能器中心频率为 5MHz 时的数据。可以看出, 当受试者手握力矩杆维持最大自主收缩力矩的 50% 的力, 肌肉逐渐疲劳, 响应信号的幅度衰减。由线性、二次函数、指数函数的表达式, 分别比较三种模型的确定系数发现, 均有指数函数的拟合度最高, 对数据解释能力最强。结合理论分析, 信号幅度衰减近似于一个指数函数形式的衰减。根据这些分析, 我们选择指数形式的拟合方式完成最佳拟合曲线。

[0053] 超声频率变化对衰减的影响: 肌肉组织疲劳的超声波衰减特征实验中, 以调频信号为激励信号, 固定接收端中心频率为 10MHz 的超声换能器, 改变输入端超声换能器中心频率以产生不同入射频率的超声波, 分别取中心频率为 1M、5M、7.5M 的超声换能器进行实验。探索不同的入射波频率对响应的调频信号幅度衰减的影响, 整理分析采集到的数据, 当输入端超声换能器中心频率不同时响应信号的平均幅度曲线如图 6 所示。随时间肌肉逐渐疲劳, 响应信号的幅度都逐渐下降, 趋势均近似指数函数下降。对比发现, 1MHz 时曲线下降率为 4.27%, 下降最为平缓, 5MHz 时下降 55.49%, 而在输入端为中心频率 7.5MHz 的超声换能器时下降 85.10%, 下降趋势最陡, 即衰减程度最大。

[0054] 疲劳过程中超声衰减与肌电信号变化规律的相关性: 实验分析数据, 如图 7(a)、7(b) 所示, 当输入端超声换能器中心频率分别为 2.25MHz、5MHz 时, 超声波经过疲劳的肌肉组织, 由接收端超声换能器接收到的响应信号平均幅度值都在逐渐衰减。如图 7(c)、7(d) 所示, 同步采集的表面肌电信号, 处理数据分析其均方根值变化规律, 当目标肌肉组织逐渐疲劳时, 表面肌电信号的均方根值呈线性增加的趋势。对比图 7 中研究超声衰减与表面肌

电信号变化规律的相关性发现,同步肌肉疲劳实验过程中,随着超声波幅度逐渐衰减,肌电信号均方根值呈线性增长趋势。

[0055] 从这些图中可以看出:

[0056] 超声波幅度在肌肉疲劳过程中的衰减规律:由图 5 可以看出,超声波在逐渐疲劳的肌肉组织中传输后,其幅度逐渐减小,在选择用不同函数模型拟合时,指数函数的确定系数最高,说明超声波幅度衰减满足指数函数形式的衰减。

[0057] 超声频率变化对衰减的影响:由图 6 可以看出,随着肌肉组织疲劳,改变输入端超声换能器中心频率来改变入射超声波频率,同一频率对应的每一条幅度曲线均逐渐下降,随入射频率的增大,不同频率对应的幅度下降曲线变得更陡峭,衰减增强,衰减系数增大,得出在逐渐疲劳的肌肉组织中,随着超声波入射频率的增大,衰减增强。

[0058] 同步采集的表面肌电信号变化规律:由图 7(c)、7(d) 可看出,实验过程中,所采集到的肌电信号均方根值呈线性增长趋势,结合已有研究,验证了超声波经过的目标肌肉组织处于实验所要求的逐渐疲劳状态。

[0059] 疲劳过程中超声衰减与肌电信号变化规律的相关性:分析对比图 7,研究肌肉疲劳过程中超声波衰减特征与肌电信号变化规律的相关性,得出,随着表面肌电信号均方根值线性增加,同步经过目标肌肉的超声波幅度在非线性衰减,并且其衰减形式满足指数函数形式衰减。

[0060] 本发明的方法中利用超声换能器置于目标肌肉两侧,通过发射信号,超声波经过目标肌肉组织后,由接收到的信号衰减情况来判断肌肉疲劳程度,采用本发明的方法来估计肌肉疲劳,容易操作,可控制发射信号,接收到的信号清晰,衰减明显,其能量远远强于生物电信号能量,因此受到周围环境的无线电的干扰以及受试者本身皮肤脂肪温度的影响都非常小。经过目标肌肉的超声波对组织是无损伤,将该方法应用于估计肌肉疲劳,可以更好地估计肌肉疲劳程度,从而降低因疲劳过度造成的肌肉拉伤等风险。

[0061] 本发明的装置,对于发射的信号可以控制其强弱,经过目标肌肉的超声波对组织无损伤,可实时有效的检测,从而来估计肌肉疲劳程度,结构简单,易于操作。

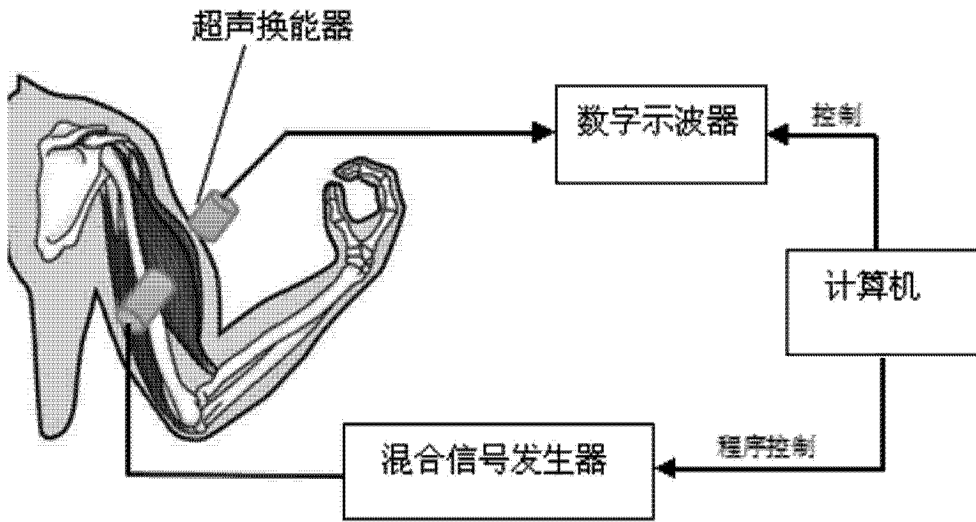


图 1

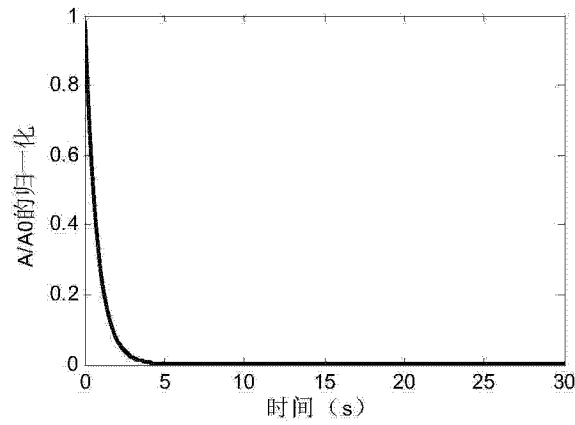


图 2

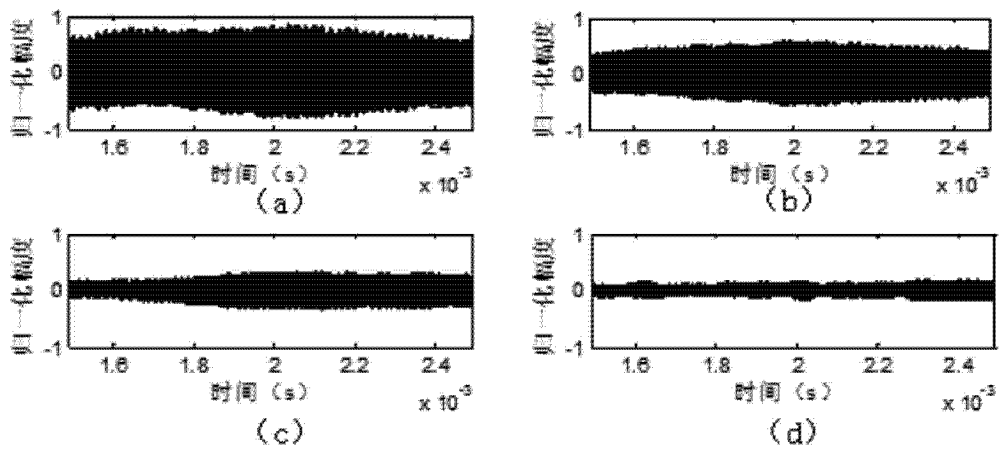


图 3

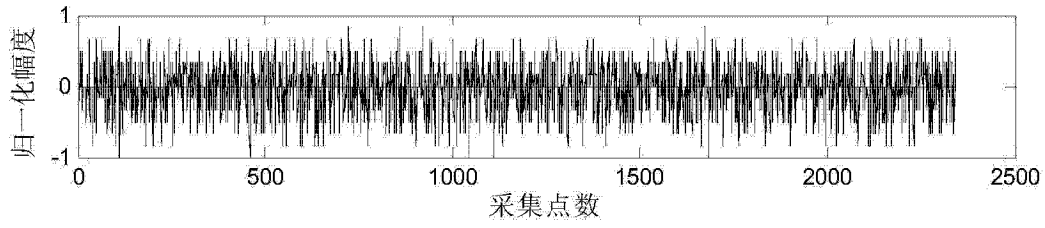


图 4

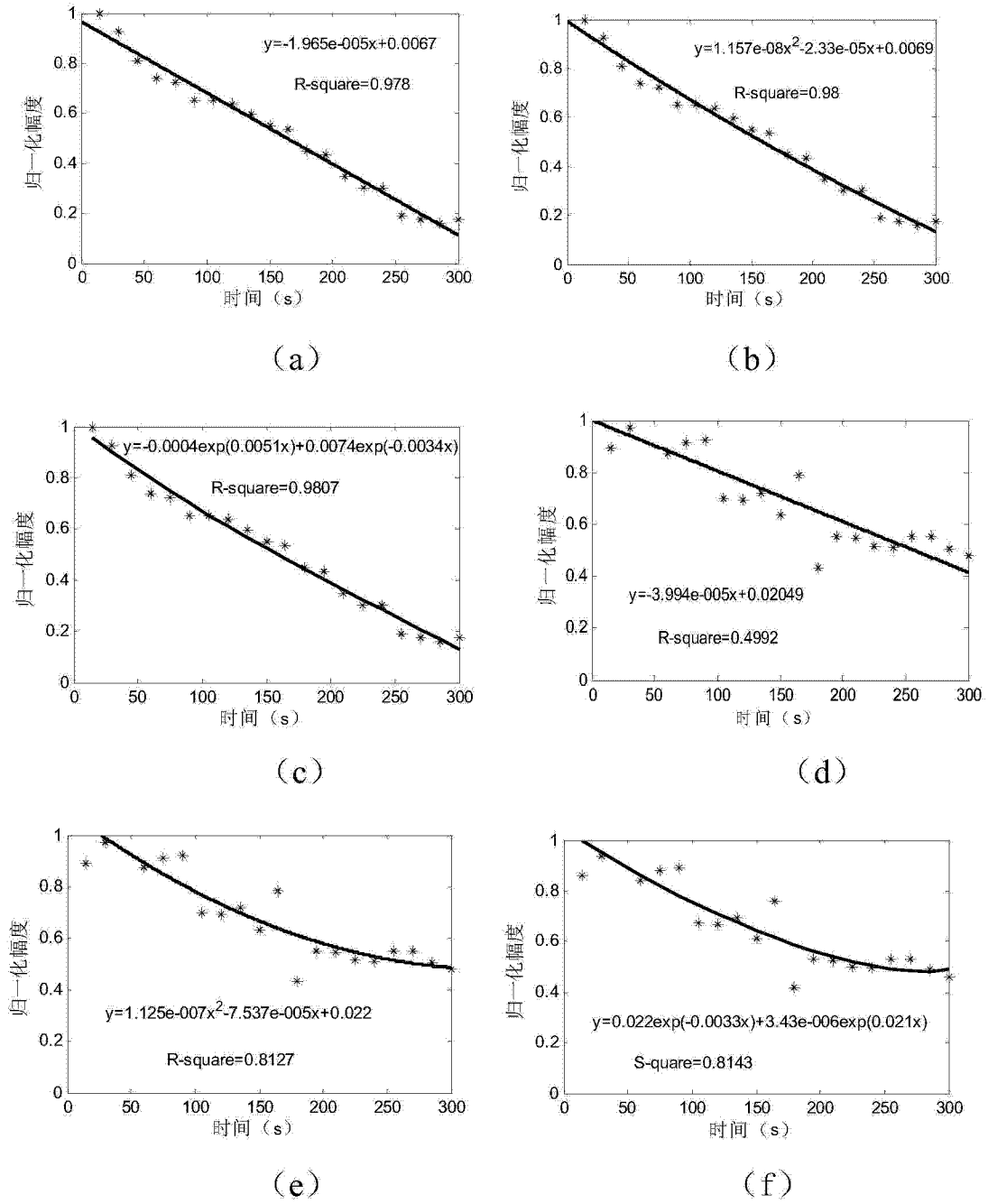


图 5

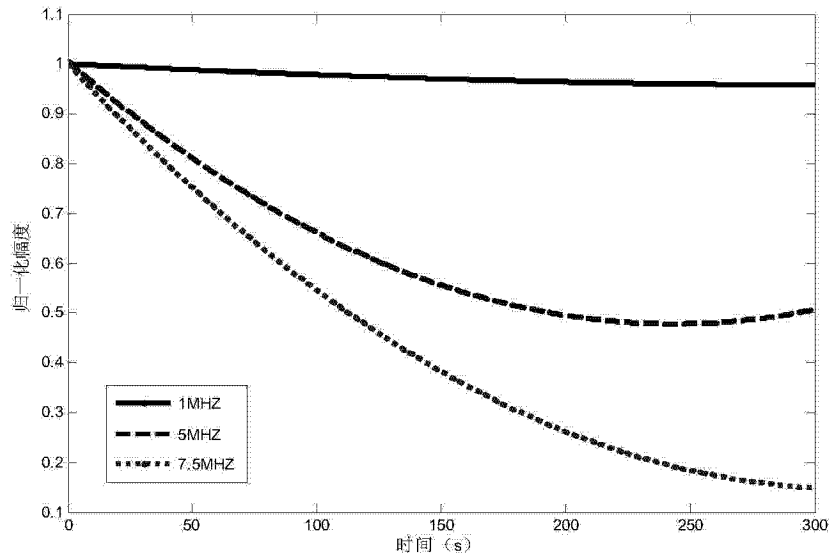


图 6

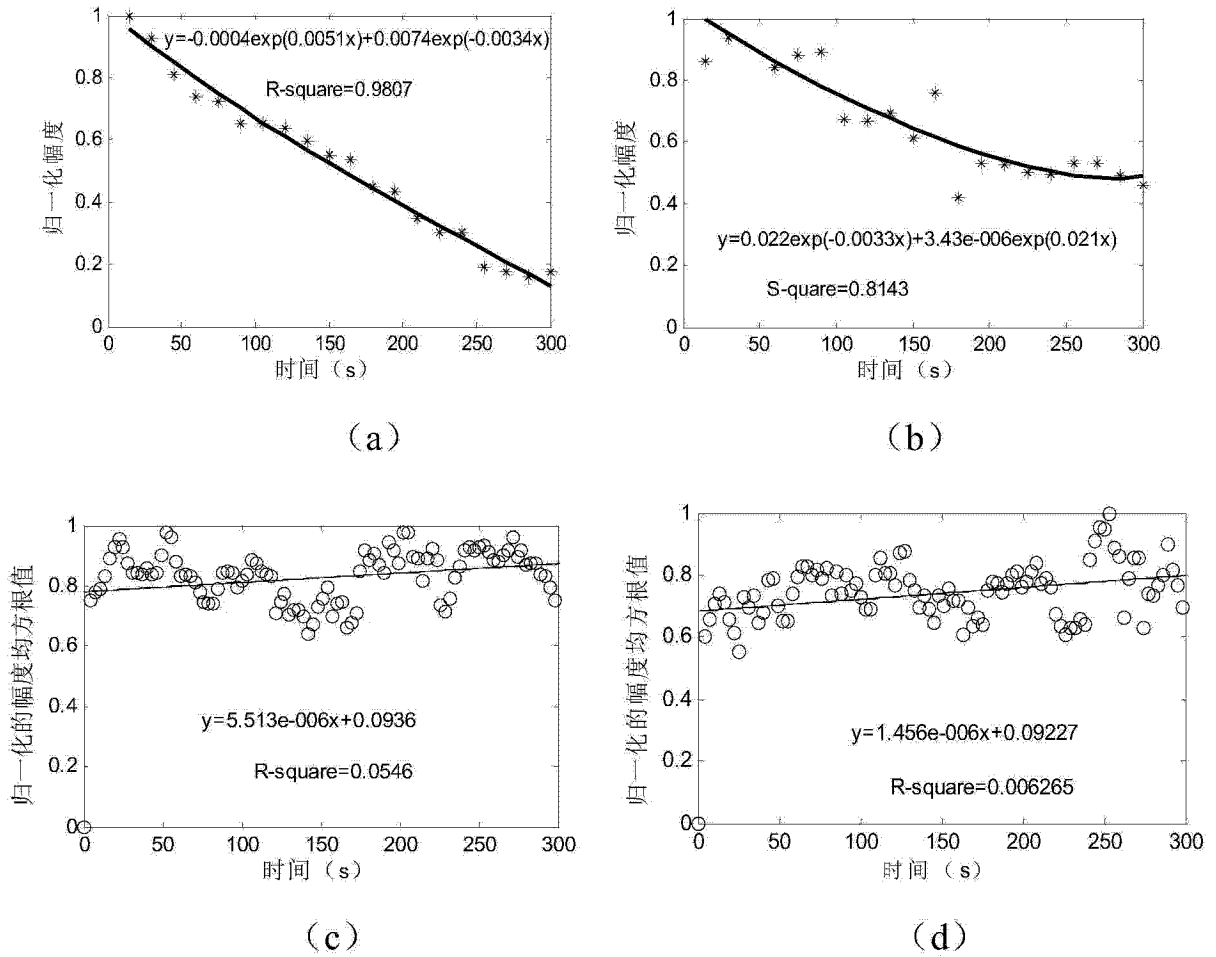


图 7

专利名称(译)	一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的装置和方法		
公开(公告)号	CN104116522A	公开(公告)日	2014-10-29
申请号	CN201410350795.9	申请日	2014-07-22
[标]申请(专利权)人(译)	陕西师范大学		
申请(专利权)人(译)	陕西师范大学		
当前申请(专利权)人(译)	陕西师范大学		
[标]发明人	郭建中 李培畅 刘昕 李霖		
发明人	郭建中 李培畅 刘昕 李霖		
IPC分类号	A61B8/00		
其他公开文献	CN104116522B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明具体涉及一种基于超声波衰减测量肌肉疲劳程度的装置和方法，目的在于能够控制发射信号的强弱，经过目标肌肉的超声波对组织无损伤，受到周围环境的无线电的干扰以及受试者本身皮肤脂肪温度的影响小，无需后期处理，所采用的技术方案为：包括以下步骤：首先将两个超声换能器分别固定在目标肌肉两侧；然后调节信号发生器以产生稳定信号，目标肌肉组织处电信号通过输入端超声换能器转换为超声波，超声波经过目标肌肉组织后由输出端超声换能器输出，超声波输入至示波器，完成信号的接收输出；最后控制示波器间隔采集数据并储存，通过计算机计算出超声波输入、输出信号的幅度平均值，计算出两者的比值，将比值与理论幅度比值对比分析，完成肌肉疲劳程度的测量。

