声肌图(SMG)的初步研究

施 俊[1], 郑永平[2], 陈文辉[2], 周康源[1], 陈 昕[2], 何 力[1]
(1. 中国科学技术大学电子工程与信息科学系, 合肥 230027; 2. 香港理工大学赛马会复康工程中心)

摘要: 超声波扫描术可以检查在静态或者动态情况下的人的肌肉,也有报道用超声波扫描术来估计人的手臂或者手的肌肉和神经。但目前还没有研究报道超声扫描肌肉空间变化时得到的图像变化和相应的关节运动之间的关系。我们把超声扫描肌肉时得到的动态超声图像以及从中得到的动态信号称为 声肌图(sonomyography),简写成 SMG。本文提出了 SMG信号的概念,对手腕进行屈伸运动时在前臂采集到的 SMG信号使用图像处理法进行了初步的研究分析,并讨论了其潜在的应用价值。

关键词: 超声波扫描术; 声肌图; 屈伸
中图分类号: TB559 文献标识码: A 文章编号: 1000-3630(2005)01-0029-05

The preliminary study of sonomyography (SMG)

SHI Jun[1], ZHENG Yong-ping[2], CHEN Wen-hui[2], ZHOU Kang-yuan[1], CHEN Xin[2], HE Li[1]
(1. *Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China*;
2. *Jockey Club Rehabilitation Engineering Centre, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China*)

Abstract Sonography has been widely applied to the examination of human muscles in both static and dynamic conditions. Many studies were also reported on the sonographic assessment of muscles and nerves of human and hand. To the authors's knowledge, no study has been reported on the relationship between the dimensional changes of muscles obtained by sonography and the corresponding joint angles. In this paper the dynamic ultrasound image of muscle and the derived dynamic signals, termed sonomyography (SMG), is introduced, and a preliminary analysis of SMG sampled from forearms during wrist flexion-extension is made based on image processing. Potential applications of SMG are mentioned.

Key words: sonography; sonomyography (SMG); flexion-extension

1 引 言

自上个世纪三四十年代超声技术渗透到生物学、医学领域以来,超声成像技术已经广泛的应用于生物医学的研究,临床医学的诊断。超声成像技术可以检查在静态或者动态情况下的人的肌肉[1]。传统上,动态的肌肉检测主要是实现心脏的病理诊断。在过去的几年里,许多研究报道了用超声成像技术来估计人的手臂或者手的肌肉和神经[2,3]。但据我们所知,目前还没有研究报道超声扫描肌肉空间形态变化时得到的超声图像和相应的关节运动之间的关系。我们把超声扫描肌肉时得到的超声图像以及从中得到的动态信号称为 声肌图(sonomyography),简写成 SMG。

本文主要提出了 SMG信号的概念,对手腕进行屈伸运动时从前臂采集到的 SMG信号进行了初步的研究分析,并估计了其潜在的应用价值。

2 背 景 知 识

由于目前我们的 SMG研究的信号主要采集于前臂,在此先简单介绍有关前臂骨骼肌的结构。骨骼是人体固定的部分,肌肉附生于这支架上。每块骨胳肌都由肌腹和肌腱两部分构成。肌腹柔软而有收缩能力,肌腱强韧而无收缩力,位于肌腹的两端。骨骼肌多半附着于两块骨上,至少跨过一个关节,骨骼肌收缩,以关节为轴,使附着的两骨产生位置变化而运动。肌肉的外表因松弛、收缩、伸张而变化,肌

收稿日期: 2004-06-03; 修回日期: 2004-09-03
作者简介: 施俊(1977-),男,江苏人,博士研究生,研究方向: 生物医学信号、超声信号处理

肉动作自松弛转入收缩时,显得更为鼓起,伸直时则拉平。关节的屈伸运动是指关节沿冠状轴进行的运动,相连关节的两骨之间的角度变小称为屈,反之,角度增大称为伸。

前臂由两块骨组成:尺骨和桡骨。尺骨和桡骨一起构成肘关节,但尺骨和腕关节之间没有什么关系。相反地,桡骨对肘部的屈曲不起什么作用,它和腕部的腕骨相接,连结着手。因此,腕关节的屈伸运动主要是和桡骨、桡骨上的骨骼肌(主要是桡侧腕长伸肌)有关。在图(1)中显示的是横向前臂 B超图像,桡骨显示为阴影部分的骨反射,桡侧腕长伸肌(E. C. R)则显示为典型的回波下的背景。

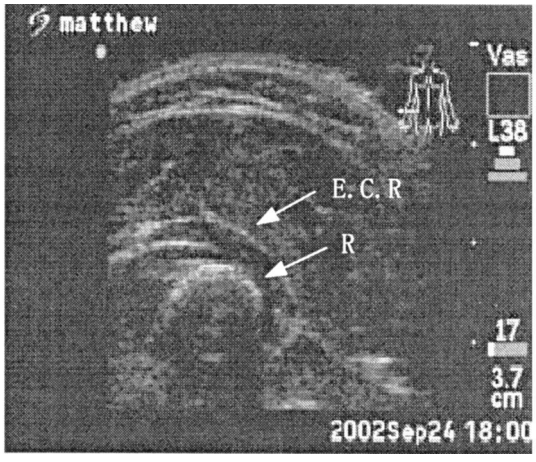


图 1 横向前臂 B超图
E. C R是表示桡侧腕长伸肌的下边界,R表示桡骨

反射型超声利用超声换能器向人体内部发射超声脉冲,遇到组织器官界面时将产生反射或散射脉冲信号,即脉冲回声信号。检测这些回波信号,就能对此种组织器官进行定位,并检测组织的反射特性。当手腕进行屈伸运动时,用反射型超声去探测桡侧腕长伸肌的运动轨迹,就应该能得到桡侧腕长伸肌的运动轨迹和关节屈伸的角度之间的某种关系,也就是说超声扫描肌肉空间形态变化得到的超声图像和相应的关节运动之间存在着一定的关系。

3 实验装置与步骤

实验设备由以下几个部分组成:便携式 B超、带 USB接口的视频捕获设备、4个同步红外照相机及反射小球、两个改装连接在一起的计算机鼠标、一套运动采集分析系统(V icon 370 version 2 6, V ICON m otion system s)和自行开发的信号采集和处理软件。当志愿者开始做手腕屈伸运动时,用两个连接在一起的鼠标中的一个来起始同步化视频捕获设备和 V icon系统去开始采集数据。B超记录的前臂桡侧腕长伸肌超声图像由 USB视频捕获设备数字化以后传到计算机,手腕的运动同时还被 V icon系统采集,该系统用 4个同步红外照相机发出红外的光束去探测轻便的球形(直径为 4mm)反射标记并把记录的反射标记运动轨迹送到计算机。图(2)所示即为实验装置框图。在图(3)中还可以看到一个改装过的三角架被用来固定 B超探头,使它能适应不同的志愿者,固定 B超探头于合适的位置。

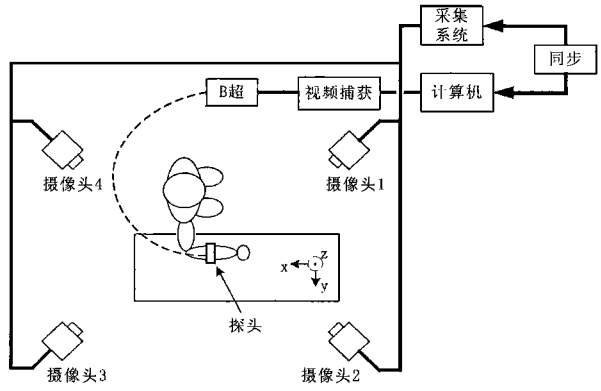


图 2 实验装置示意图

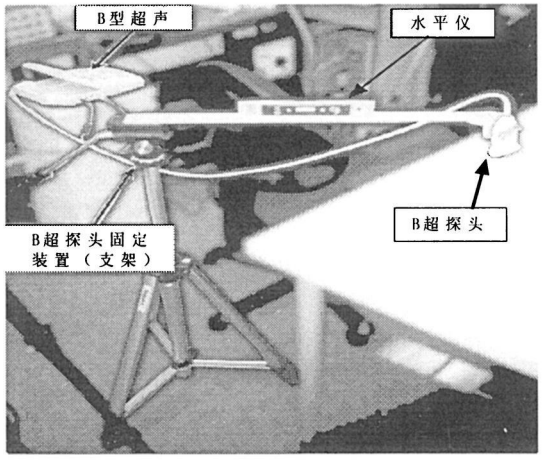


图 3 探头固定装置示意图

实验是在 6个年龄在 22到 28之间的身体正常的志愿者中展开的。实验开始时,志愿者坐在舒适的椅子上,前臂紧贴在桌面,差不多处于 4个照相机的三维空间中心,B超探头横向放置在桡侧腕长伸肌位置。4个反射标记被分别黏附在第三根掌骨顶端、中间和侧面茎突以及前臂的桡骨和尺骨之间的 2/5处,如图(4)所示。这样,通过记录反射标记的空间运动轨迹就可以计算得到手腕的屈伸运动角度

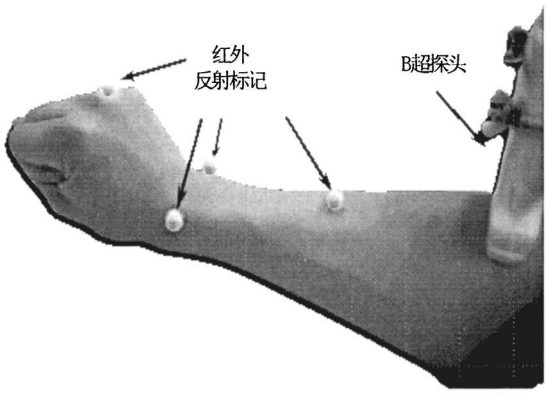


图 4　反射标记位置示意图

了。志愿者被要求在一个音频节拍器 (36拍 /分钟) 的引导下进行重复的手腕屈伸运动。在实验过程中, 尽量保持前臂部分紧贴桌面而不横向移动, 而且保持肘关节固定不动, 只是手腕进行屈伸。每个志愿者在不同的时间进行 3个独立的实验, 在每次实验时执行 3个周期的手腕屈伸运动。

4　数据处理和讨论

图 (5)是一幅典型的从 V icon 系统采集的反射小球运动后计算得到的手腕屈伸角度曲线图, 横坐标表示屈伸运动的时间, 纵坐标表示手腕屈伸的角度值, 图中显示了 3个屈伸运动周期。

M 超图像主要应用于心脏检查, 即当声束穿越心脏各层组织时, 随着心脏有节律地收缩舒张得到有规律的反射光点, 随着水平扫描而展开构成相应的动态曲线。由于我们要观察手腕屈伸角度随时间的变化, 所以可以利用 M 超图像来显示两者之间的关系。图 (6)中左图显示了随机挑选的一个志愿者手腕屈伸运动的 M 超图像, 右图是手腕屈伸运动过程中采集到的一系列 B超图像中的一幅, 选定起始帧某一位置 (图中横线所示的行), 该位置对应的声线信号通常包含有比较明显的桡侧腕长伸肌和桡骨特征信号, 把所有 B超图像中相同行位置的声线信号按照时间顺序一个接一个的排列, 形成一幅以 0到 255的灰度级表示不同超声信号幅度的 M 超图像, 如图 (6)中左图所示, 其中横坐标表示每一帧的扫描时间, 纵坐标表示帧序列。在 M 超图像中, 横坐标的 30处可以看到一条几乎垂直的黑线条, 它对应于 B超探头和皮肤表面的接触面, 由于在实验过程中, 探头和皮肤表面一直紧密结合, 所以呈现为垂直的黑线条, 而实际由于手腕屈伸引起的桡侧腕长伸肌的收缩和伸张, 会使得皮肤表面相对于桌面有高度上的变化, 这时通过坐标变换, 以探头和皮肤表面为参照系, 则桡侧腕长伸肌的收缩和伸张变成相对于皮肤表面位置的变化了。横坐标的 105处对应于桡侧腕长伸肌下沿, 横坐标的 150处对应于桡骨位置, 从这两处的黑色曲线波动可以观察手腕屈伸运动引起的桡侧腕长伸肌在空间位移变化。从图中可以发现, 桡侧腕长伸肌在空间位移变化曲线趋势和由 V icon系统采集后计算的典型的手腕屈伸角度曲线很相似, 这从宏观上表明了两者之间存在一定的关系。

由于 M 超图像只能从总体上观察桡侧腕长伸肌的空间位移变化过程, 所以定量的计算桡侧腕长伸肌在空间位移变化和手腕屈伸角度之间的关系变得很重要。我们对 M 超图像进行了如下的图像处理过程:

1)　3　3均值模板去平滑 M 超图像

2)　直方图均衡

3)　阈值分隔得到一幅二值图像, 如果图像中边缘毛刺比较多, 可以进一步对图像进行腐蚀

4)　对二值图像进行细化, 得到各条边缘的曲线

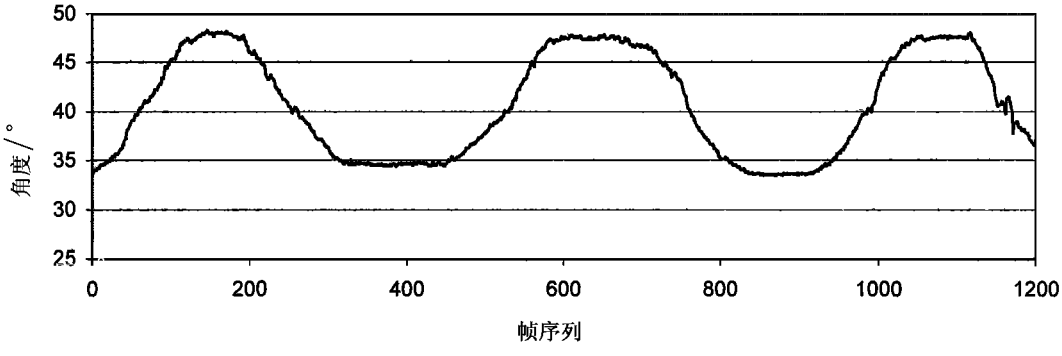


图 5　实验中从 V icon系统采集后计算的典型的手腕屈伸角度曲线

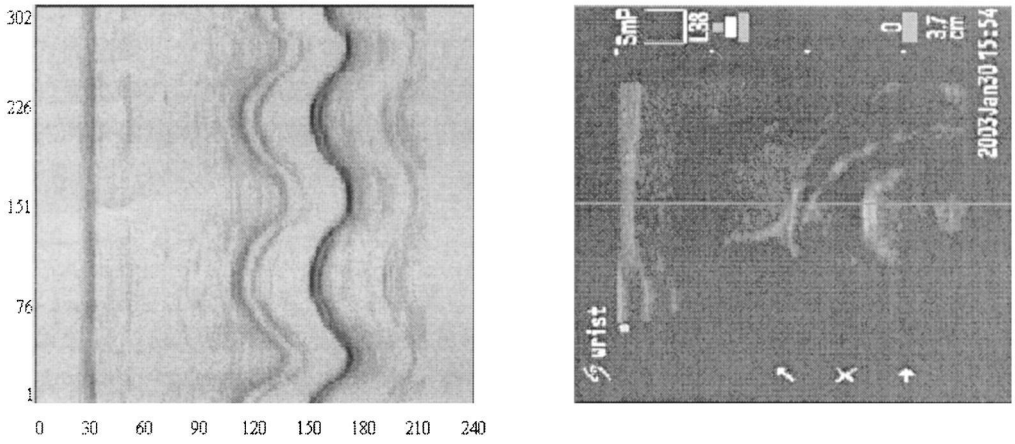


图 6 M 超图像与 B 超图像。其中右图是在手腕屈伸运动过程中采集到的一幅 B 超图像逆时针旋转了 90度, 左边为右图中红线所对应的每一帧 B 超图像中相同行的超声信号转换成的 M 超图像, x轴是每一帧的扫描时间, y轴是帧序列。

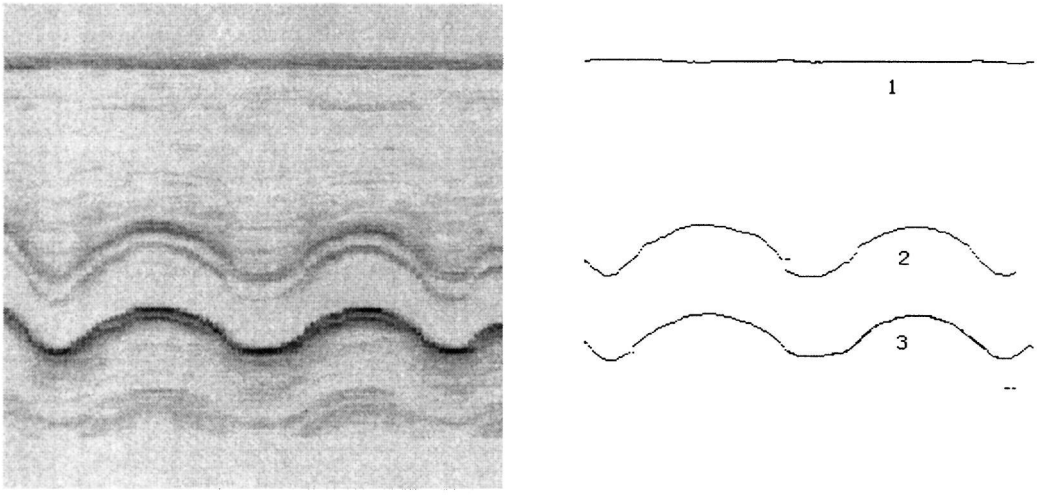


图 7 左图为 M 超图像, 右图为经过 5步图像处理以后得到的曲线图。

5) 使用松弛法对曲线进行连接, 每条曲线只保留其最长一段

我们随机挑选了一位志愿者的数据进行了处理。图 (7)中左图为该志愿者在实验过程中的 M 超图像, 其横轴方向是帧序列, 纵轴方向是每一帧的扫描时间, 右图为对 M 超图像进行上述 5步图像处理以后的结果, 最上面的曲线 1对应于探头和皮肤表面, 最下面 3的曲线对应于桡骨, 中间的曲线 2就是桡侧腕长伸肌的下沿。在曲线 2中间出现了一个间断点, 在原始的 M 超图像中, 该间断点对应位置处的信号比较模糊, 经过多步的图像处理以后, 导致了该间断点的出现。由图中的曲线 2和 3可以发现, 它们曲线形状几乎是一样的, 它们和手腕的角度曲线很相似, 下面我们通过计算来确定桡侧腕长伸肌的运动轨迹和关节屈伸的角度之间的关系。

因为桡侧腕长伸肌是附着于桡骨上的, 我们现在计算桡侧腕长伸肌在手腕运动过程中厚度的变化率, 以初始帧的曲线 1和曲线 3对应点之间的距离为初始肌肉厚度 d, 其后每一帧的两条曲线对应点之间的距离为当前帧的肌肉厚度 d, 则肌肉厚度变化率通过公式 (1)计算:

$$= \frac{d - d}{d} \quad 100\% \qquad (1)$$

由图 (7)左图经过数据提取, 再由公式 (1)计算得到的肌肉厚度变化率曲线如图 (8)所示 (图中星号所示曲线), 图 (8)中还显示了手腕屈伸角度曲线 (图中圆圈所示曲线), 所有志愿者的结果都显示了相似的形状, 整体趋势就是手腕屈伸角度和肌肉厚度变化率很接近。而图 (9)则显示了手腕屈伸角度对肌肉厚度变化率的关系图, 由图中可以发现, 手腕屈

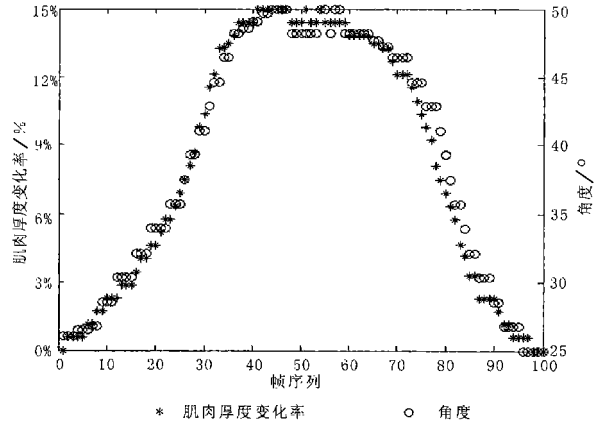


图 8　瞬时手腕屈伸角度值和肌肉厚度变化率曲线

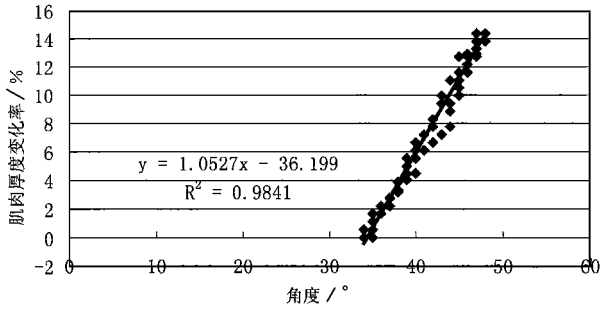


图 9　手腕屈伸角度对肌肉厚度变化率的比例

伸角度和肌肉厚度变化率之间是近似于线性关系。所有志愿者的数据分析都有相似的结果。

自从 1957年发明肌电假肢以来, 基于肌电信号控制算法的假肢已经成为主流[4,5]。在过去的几十年中肌电假肢有了很大的发展, 但也存在一些固有的限制和缺点, 如皮肤阻抗变化 (例如出汗或者有油脂) 对于表明 EMG 信号的影响, 电磁信号对于 EMG信号的影响等, 而 SMG 信号是测量相对位移, 所以这些影响对于 SMG 信号来讲都是不存在的。由上面的分析可以知道, 手腕屈伸角度和肌肉厚度变化率之间是近似于线性关系, 因此, SMG信号具有应用到假肢控制或者其它机器手臂控制领域的可能性。

5　结　论

本文初步研究了超声扫描肌肉空间变化得到的超声图像和相应的关节运动之间的关系。从健全志愿者身上采集到的 SMG 信号通过图像处理以后, 结果表明存在相对一致的手腕角度和肌肉变形比率, 表明了 SMG 控制算法具有潜在的控制领域中的应用价值。目前, 更多的实验也正在进行中, 进一步的实验数据分析结果也将在随后的文章中详细介绍。进一步的研究将寻求更优越的算法来处理 SMG 信号, 探索其在假肢等控制领域中的应用。

参　考　文　献

[1] Van Holsbeeck M T, Introcaso J H. Sonography of muscle[M]. In Van Holsbeek M T and Introcaso J H (Eds) Musculoskeletal Ultrasound, 2nd [M]. Mosby, St Louis, 2001, 23-75.

[2] Nakamichi K, Tachibana S. Restricted motion of the median nerve in carpal tunnel syndrome[J]. Journal of Hand Surgery, 1995, **20**(4): 460-464.

[3] Hough A D, Moore A P, Jone M P. Peripheral nerve motion measurement with spectral Doppler sonography: A reliability study[J]. Journal of Hand Surgery, 2000, **25**(6): 585-594.

[4] Scott R N, Parker P A. Myoelectric prostheses-state of the art[J]. Uoumal of Medical Engineering and Technology, 1988, **12**(4): 143-151.

[5] Zardoshti-Kermani M, Wheeler B C, Badie K, et al. EMG feature evaluation for movement control of upper extremity prostheses[J]. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 1995, **3**(4): 324-333.