

基于图像传感器的亚健康脉搏信号研究*

□张爱华** 毛蕴娟

(兰州理工大学电气工程与信息工程学院 兰州 730050)

摘要:本文旨在探索人体亚健康状态的脉搏信号的特点,为亚健康诊断及疾病的早期发现和预防提供客观依据。研究使用自主研发的脉搏图像传感器,分别采集健康人员和亚健康人员的脉搏图像信号,对其进行图像处理以及提取脉宽、脉长、脉管轴心位移等特征。通过对结果的对比研究和分析,探明亚健康人员的脉宽和脉长均比健康人员的大,且亚健康人员的脉管轴心位移比健康人员的轴心位移波动大。研究表明,健康人员和亚健康人员的脉搏特征有明显的差异。

关键词:亚健康 信号采集 特征提取 脉搏图像

一、引言

亚健康是指处于健康和疾病之间的一种临界状态,机体尚无器质性病变,仅有某些功能性改变的灰色状态,又称第三状态。据世界卫生组织统计,全球约有 35%~50%的成年人处于亚健康状态。它已成为 21 世纪人类健康的主要威胁。

中医是我国传统医学瑰宝,而脉诊是中医诊断至关重要的一个环节^[1-2]。在传统脉学理论和中医切脉经验的基础上,应用现代检测技术和信号分析方法形成了当代的中医脉图。通过信息检测技术获取脉搏信号中蕴涵着的亚健康状态特征已成为亚健康研究的一个新方法。

二、脉搏图像采集系统

我们从仿生学角度出发,结合中医切脉时“最佳

取脉压力”原理和薄膜网格受力变形时的空间位移测量原理,提出基于图像化的脉象采集新方法,并研制出了脉搏图像传感器^[3]。探测触头与皮肤接触面采用理化性较好的薄膜制成,接触面制成直径为 30mm 的圆形,薄膜内侧印制有相互联结的方形网格。探测触头中压缩空气的压力模拟指内压力,可以连续调节并利用气压表进行显示。采用螺旋测微仪调节弹簧弹力,控制固定探测触头与手臂接触点的压力状况,使探测触头与手臂接触面间的作用力达到一个平衡状态,在此状态下,安放于探测触头上方的 CCD 摄像头能够采集到薄膜随脉搏搏动的清晰图像,脉搏的跳动幅度最明显。摄像头经 USB 接口直接与计算机通讯,进行数据转换与图像处理。CCD 摄像头由 Point Grey 公司生产的高速工业级相机 DR2-08S2M-EX-CS(1/3 英寸)搭配 COMPUTAR 公司的 M0814-MP 镜头组成。脉搏图像传感器如图 1 所示。

脉搏图像传感器工作过程:先向传感器密封头

收稿日期:2009-11-04

修回日期:2010-01-25

* 国家科学技术部等 14 部委和广东省人民政府共同主办的“2009’传统医药国际科技大会暨博览会”第九分会——“‘治未病’健康工程与健康服务产业”论文,该论文为大会学术委员会评选的优秀论文;国家自然科学基金面上项目(30670529):脉搏触觉信息检测及其与心电信号的融合研究,负责人:张爱华。

** 联系人:张爱华,教授,博士生导师,主要研究方向:生物医学信号检测与处理,E-mail:lutzhangah@163.com。

82 [World Science and Technology/Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica]

中充以一定压强的气体,使连接在传感头的网格薄膜微微鼓起,受试者将右手手腕放置于薄膜下,桡动脉与薄膜接触,调节螺旋测微仪使手腕与薄膜接触的压力强度保持在某一平衡状态,此时,从连接于计算机的数据采集界面中可以看到薄膜上最明显的网格随脉搏跳动的动态图像信息。

三、脉搏数据采集

数据采集分为两部分:健康状态的脉搏数据采集和亚健康状态的脉搏数据采集。

首先,使用问卷调查的方法对在校身体健康的20~25岁的大学生和研究生进行问卷调查,根据得分情况,确定健康状态的受试者(A组)以及亚健康状态的受试者(B组)。A、B两组分别使用脉搏图像传感器采集脉搏图像信号。

实验选择在晴朗的天气进行,于早晨8:00点开始,受试者进入室内通风状况良好,温度、湿度适中的无人干扰实验室,填表,测量身高、体重等,以确定受试者当天生理状况良好。准备工作结束后,坐在舒适的椅子上,处于自然放松状态,采集受试者的脉搏图像信息,并进行保存。脉搏图像采集频率为30帧/秒,图像的分辨率为640×480。

四、脉搏波形的获取及特征提取

1. 脉搏波形获取

由透镜成像原理可知,当CCD靶面与透镜之间的相对位置固定时,物体在成像系统允许景深范围内移动,则其成像尺寸随物距而改变^[4]。自制传感器的薄膜随脉搏跳动而产生形变与位移,这种形变与位移被薄膜上的网格的变化所记录,分析网格的变化,提取脉管径向离面位移信息^[9]。



图1 脉搏图像传感器

Harris角点检测算法是基于图像灰度的角点检测算法^[6],具有很好的定位性能和鲁棒性^[7]。它通过计算像素所在位置灰度的梯度检测角点,如果像素所在位置的水平、垂直两个方向灰度梯度的绝对值都比较大,则判定该像素位置为角点。

应用Harris角点检测算法对每帧网格图像进行处理,求取图像中的角点。各帧图像中对角点跟踪:计算当前帧所有检测到的角点坐标与前一帧已确定角点坐标间的欧氏距离,取距离值最小时的角点为当前帧中与前一帧中已知角点的对应角点。以此类推,直到最后一帧图像。当这些角点被检测出来并进行了帧间跟踪匹配之后,就可以由这些角点得到对角线长、周长、面积等考察量。由实验证明,用面积作为考察量得到的脉搏波形效果比较好,因此,选择面积作为参考量来提取脉搏波形。

图2所示的波形,横坐标为帧数,纵坐标为脉搏径向离面位移,单位为mm。

应用上述算法提取受试者A(健康)、B(亚健康)的桡动脉脉搏的波形曲线,如图2所示。每一个小网格都可以提供一条完整的脉搏波形曲线。这里分别取其中一个网格的波形曲线来做说明。

2. 特征提取

基于脉搏三维波形提取特征。对每个受试者的每帧图像,选取横向和纵向共 $9 \times 10 = 90$ 个小网格,计算每个小网格的面积在900帧中的变化,根据透镜成像原理得出离面位移。通过对每帧图像的90组脉搏波形进行处理,并进行三维重构,在脉搏的三维图像的基础上,提取脉搏的脉宽、脉长、脉幅、脉管轴心位移等脉搏特征。

(1) 脉宽。

假设脉搏跳动次数为70次/min,那么每秒钟跳动70/60次,约1.17次,如此可判断每秒钟可以出现脉搏的一个跳动周期,通过对30帧脉搏的三维图像的分析 and 标记,可以得出脉搏的一个跳动周期中的峰值点的坐标和幅度。

脉宽表示脉管径向脉搏的作用范围,反映在图像表面即某时刻图像点阵列数据的分布情况。定义脉宽:在脉管径向上,当脉搏波形曲线数值从最高点下降到自身1/2高度时的两个点之间的跨度。

图3(a)为健康状态下的某受试者第51帧时刻的经过3次样条插值之后的脉搏三维图像,幅值为0.6336mm。此帧时刻是30帧中的峰值点所在的帧。峰

值点所在的空间坐标为(6.557, 4.007, 0.6336), 在脉宽方向上最高点下降到自身 1/2 时的两个点的空间坐标为(6.557, 3.416, 0.3145)、(6.557, 4.544, 0.3394), 根据上述定义可以得到脉宽为 4.544-3.416=1.128mm。

图 3 (b) 为亚健康状态下的某被试者经过 3 次样条插值之后第 152 帧时刻的脉搏三维图像, 幅值为 0.0193mm。此帧时刻是 30 帧中峰值点所在的帧, 此刻的峰值点空间坐标为(4.013, 4.113, 0.0193), 在脉宽方向上最高点下降到自身 1/2 时的两个点的空间坐标为(4.013, 3.219, 0.009729)、(4.013, 5.106, 0.009793), 根据上述定义可以得到脉宽为 5.106 - 3.219 = 1.887mm。

(2)脉长。

脉长表示脉管轴向脉搏的作用范围, 反映在图像表面即某时刻图像点阵行数据的分布情况。定义脉长: 在脉管轴向上, 当脉搏波形曲线数值从最高点下降到自身 1/2 高度时的两个点之间的跨度。

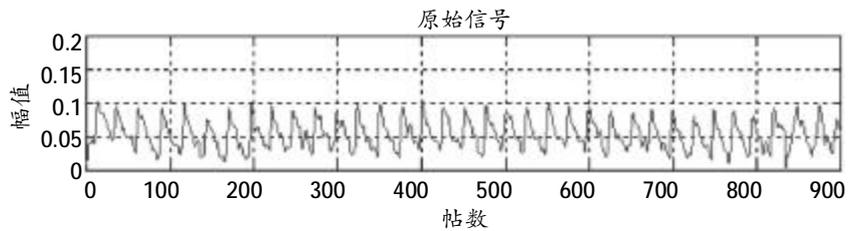
图 3(a) 为健康状态下的某受试者经过 3 次样条插值后第 51 帧时刻的脉搏三维图像。峰值点所在的空间坐标为(6.557, 4.007, 0.6336), 在脉长方向上最高点下降到自身 1/2 时的两个点的空间坐标为(0.3117, 5.651, 4.007)、(0.2997, 7.463, 4.007), 根据上述脉长定义可以得到脉长为 7.463-5.651=1.812mm。

图 3(b) 为亚健康状态下的某受试者经过 3 次样条插值之后第 152 帧时刻的脉搏三维图像。峰值点空间坐标为(4.013, 4.113, 0.0193), 在脉长方向上最高点下降到自身 1/2 时的两个点的空间坐标为(1.278, 4.113, 0.009441)、

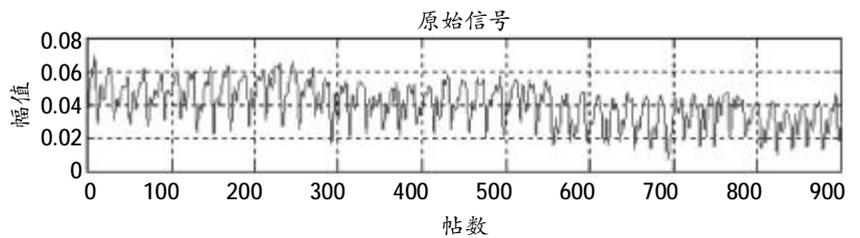
(7.305, 4.113, 0.01024), 根据上述脉长定义可以得到脉长为 7.305-1.278=6.027mm。

(3)脉管轴心位移。

脉管在血液的流动中并不是静止的, 在血液由心脏流动到手腕的过程中, 它随着心脏的跳动是有一定的滑动的。根据不同时刻脉搏三维图像中最高

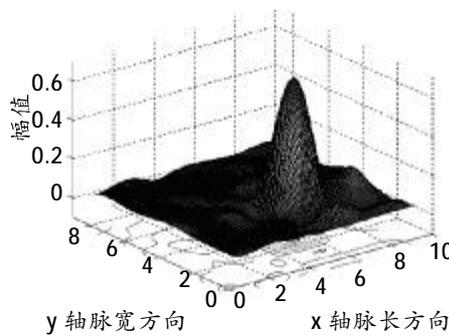


(a) 受试者 A(健康)的某一小网格的脉搏波形

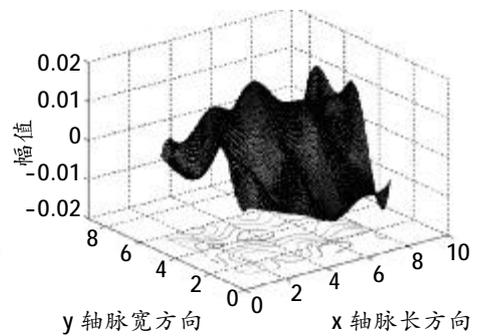


(b) 受试者 B(亚健康)的某一小网格的脉搏波形

图 2 脉搏波形

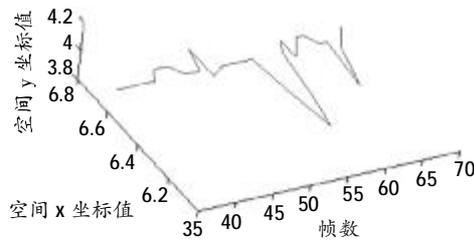


(a) 健康状态的脉搏三维图像

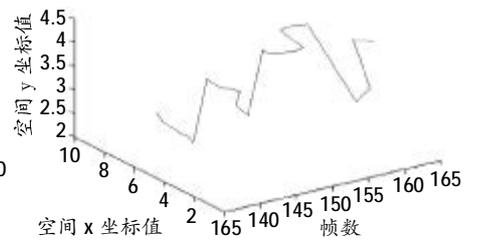


(b) 亚健康状态的脉搏三维图像

图 3 某帧脉搏三维图像



(a) 某健康受试者的脉管轴心位移曲线



(b) 某亚健康受试者的脉管轴心位移曲线

图 4 被试者的轴心位移曲线

点的空间坐标的不同,就可以得到脉管随着时间的推移,它是轴心位移的轨迹。

根据健康状态下的某受试者在 35~64 帧幅值最高点时的空间坐标,可以得到空间中的一条曲线,表示健康状态下某受试者的脉管在这 30 帧中的轴心位移轨迹。如图 4(a)所示。

根据亚健康状态下的某受试者在 135~164 帧之间幅值最高点时的空间坐标,可以得到空间中的一条曲线,表示亚健康状态下某受试者的脉管在这 30 帧中的轴心位移轨迹。如图 4(b)所示。

从图 4(a)可以看出,健康状态下,轴心位移曲线的波动不是很大,脉搏跳动比较平稳,脉管轴心位移的变化很小。而从图 4(b)可以看出,亚健康状态下的人脉管轴心位移的变化是比较大的。健康状态和亚健康状态脉管轴心位移的差异很大。

五、结果与结论

健康和亚健康受试者的脉搏图像分析结果表明,亚健康状态下,脉搏跳动比较急促,频率比较高,

脉搏跳动的幅度比较小,但是脉宽和脉长却明显比健康人的大;健康状态下,脉搏跳动比较平缓,频率较低,脉搏跳动的幅度比较大,脉宽和脉长比较小;此外,亚健康状态下的脉搏的重搏波很明显。

可见,应用脉搏图像传感器获取脉搏特征,可以有效地检测亚健康状态。

参考文献

- 1 何素荣,刘世斌.临床脉图诊断学.北京:人民军医出版社,2003.
- 2 费兆馥.现代中医脉诊学.北京:人民卫生出版社,2003.
- 3 张爱华,朱亮,周义勇.图像化脉象采集装置的研制.传感技术学报,2006,19(4):1261~1263.
- 4 Tay, C.J., Quan, C., Huang, Y.H., et al. Digital image correlation for whole field out-of-plane displacement measurement using a single camera. Optics Communications, 2005,251: 23~36.
- 5 张爱华,郭卫刚,李永平.基于网格图像的多点脉搏信息获取与三维重构.中国医疗器械杂志,2008,32(3):179~182.
- 6 闫龙,赵正旭,周以齐.图像质量对 Harris 角点检测的影响研究.山东大学学报(工学版),2006,36(5):21~22.
- 7 P.Tissainayagam, D. Suter. Assessing the performance of corner detectors for point feature tracking applications. Image and Vision comput-

Study of the Pulse Signal of the Sub-health Status with An Image Sensor

Zhang Aihua, Mao Yunjuan

(College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: With the fast social development, the accelerating life pace and the improved living quality, higher standards are putting forward to evaluate the health status. Consequently the key of modern medical treatment is shifting from disease diagnosis and treatment to disease prevention and control. This study aimed to explore the features of the human sub-health pulse signals to provide an objective basis of sub-health diagnosis as well as its early detection and prevention. Pulse image signals were collected by a self-made pulse image sensor. Image processing was conducted, and features were extracted, including the pulse width, length and vascular axis displacement. The contrastive analysis of the collected data showed that the sub-health subjects had larger pulse width and length than the healthy ones, together with a more fluctuant vascular axis displacement. The results showed that the pulse features are significantly different between the healthy and sub-health subjects.

Keywords: Sub-health; Signal acquisition; Feature extraction; Pulse image

(责任编辑:李沙沙,责任译审:张立崑)