两种可穿戴式心率测量设备原理的简要介绍

1 引言

心率，指心脏每分钟跳动的次数。心率值是反映心脏健康状况的重要生理指标，跑步时的心率值是跑者了解自身跑步水平的重要参数之一。并且，由于可穿戴设备具有便携性好、 操作方便等特点，能测量心率的可穿戴设备广受跑者欢迎。目前，可穿戴式心率测量设备主要有心率带——使用心动电流测量法，和心率测量手环——使用光电容积脉搏波描记法( photoplethysmography, PPG) 。本文将对它们做简要介绍。

2 心动电流测量法

2.1 原理

心率带是目前为止市面上测量心率较精准的可穿戴设备。它模拟医院里的心电仪，原理是心动电流测量。心脏在每个心动周期中，由起搏点、心房、心室相继兴奋，伴随着无数心肌细胞动作电位变化，这些规律性的神经信号表现为有节奏的电信号，在扩散到体表后可以被电极类仪器监测记录，即心电信号。感应器的极片位于胸带前方两侧，使用者带上胸带后，胸带内的极片采集锻炼者的心动电流波动幅度，测量心肌收缩的电信号，在通过无线传输技术发送给心率表转化为便于观察的心跳数值。

这种测量心率方法的优点是测量准确，可在运动中持续精准监测心率。

2.2 缺点及改进方法

一、佩戴不舒适。由于心电信号的波长较长，通常要求测量仪器的两片电极紧贴皮肤，分处于躯干空间上相隔较远的两个位置，比如胸上较远的两点、左右手等，因此对使用者的自由运动阻碍较大，难以做到小型化、穿戴便捷化。

二、易受电磁干扰。心率带两侧的电极测量皮肤中的心动电流或者电势的周期变化，而这个电流非常微小，很容易受到干扰。第一个干扰就是皮肤中的其他电流噪音信号，比如紧张的肌肉也可以产生比较大的电流噪音。 防止的方法是让心率带接近心脏部分，也就是男性离乳头下方小于2厘米的位置，或者女性乳房的下边缘。第二个干扰就是心率带电极与皮肤的位移摩擦产生噪音信号。这个干扰在运动中尤其显著，表现特征为心率表显示的数字忽高忽低。为此传统的心率硬带在导电橡胶处往往设计成类似轮胎的波纹来增加摩擦阻力，减少移动。 在心率信号的采集的抗干扰能力上，柔性织物心率软带和硬带相比有很大的优势，因为柔性薄膜电极可完美地贴合人体胸部轮廓，大大增加了电极和皮肤的接触面积。 其次，和所有光滑表面一样，薄膜电极沾水后对皮肤有很强的吸附性，可以紧密吸附于皮肤，极大地减少运动中摩擦产生的电信号干扰。

3 光电容积脉搏波描记法

3.1 概述

心率测量手环使用反射式光电法。心脏搏动引起毛细血管和动脉、静脉容积呈规律性改变，对可见光的反射呈波动性，这波动的频率可记录为心率信号。设备通常利用特定绿色波长的发光LED向手腕发射出可见光，光敏传感器接受手臂皮肤的反射光并感测到光场强度的变化，换算为心率。

这种测量心率方法的优点是简便，设备佩戴舒适，大部分智能手环、智能手表等可穿戴设备都采取此方法。

3.2 原理

人体心室周期性的收缩和舒张导致主动脉的收缩和舒张,使血流压力以波的形式从主动脉根部开始沿着整个动脉系统传播,这种波称为脉搏波。脉搏波所呈现出的形态、强度、速率和节律等方面的综合信息,很大程度上反映出人体心血管系统中许多生理病理的血流特征。

根据朗伯-比尔定律,物质在一定波长处的吸光度和它的浓度成正比，当恒定波长的光照射到人体组织上时,通过人体组织吸收、反射、衰减后测量到的光强在一定程度上反映了被照射部位组织的结构特征。血液是高度不透明的液体，光在一般组织中的穿透性要比在血液中大几十倍。一般情况下，当光子穿越介质时，因能量被吸收而导致的强度衰减可描述为：I=I0e-axe，式中I0是入射光强，a是与组织结构相关的吸收系数（哺乳动物的a值在0.1至100之间），x是沿光轴方向的坐标长度,e是光子能量。

人体的皮肤、骨骼、肉、脂肪等对光的反射为固定数值，一般不发生改变。而人体中毛细血管、动脉和静脉随着脉搏跳动而发生容积的变化。当心脏收缩时外周血容量达到最大数值，此时血管容积扩张，其吸收光的能力增强，检测到光的强度最小。当心脏扩张时，外周血容量少，血管容积收缩，光吸收量少，检测到光的强度最大。因此光接收器接收到的光强度呈脉动性变化。将光强度的变化通过模数转换器转换为电信号，对信号进行处理、加工、完善，即可得到心率。 这种技术称为光电容积脉搏波描记法。

由于以下几个特点：皮肤的黑色素、皮肤上的水份会吸收大量波长较短的光；红光和接近红外的光相比其他波长的光更容易进入皮肤组织；进入皮肤组织的绿光、黄光易被血红蛋白吸收， 总体来说大部分可穿戴设备采用绿光为光源。但是考虑到皮肤情况的不同（肤色、汗水），高端产品会根据情况自动使用换绿光、红光等多种光源。

3.3 缺点及应对措施

光电式心率测量设备最大的技术障碍是如何将生物特征信号从各种干扰中分离出来。

一、光线干扰。反射式光电法中要检测的反射光是十分微弱的。自然光、人造光等外来光源会干扰光敏传感器对反射光的检测。通过滤波处理、时域分析和频域分析等各种算法可减少误差。如何获得高品质的PPG信号是各可穿戴设备厂商竞争的重点。

二、运动干扰。在稳定状态下，反射式光电法表现良好，但使用者开始运动，离心力将使得血液量出现变化；血管收缩压与离心力在血液中交互作用，难以分辨血管中的血量，因此可能降低心率数据的准确度。利用设备上可测量运动的加速计，与光信号结合，通过算法将处理后的信号叠加到PPG波形上，可生成持续的、运动容错的心率数据。

三、肤色问题。人类拥有多种肤色。不同的肤色对光的吸收是不同的，每一种肤色有不同的吸光图谱。这意味着光电式心率测量设备传感器捕获的光的强度和波长取决于穿戴者肤色。同样，皮肤上的纹身也会影响心率测量。

4 结语

两种心率测量设备各有优劣。心率带可持续准确测量运动中心率，但佩戴不舒适；心率测量手环穿戴舒适，而心率测量准确性有所欠缺。专业的跑者可能会选择心率带，以对自己的心率有更充分准确的认识；一般的跑者可能会选择时尚性更好、功能更多样的智能手环。希望本文能为厂商改进产品、为读者了解设备原理有所帮助。

5 参考文献

1. Heart Rate Variability：Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use— Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology，Circulation，March 1, 1996，Vol 93, Issue 5

2. 智能手环心率测量系统的设计— 孙超，王游司，陈洪燕，卢宇(内江师范学院，四川 内江 641000))

3. 光电型脉搏传感器的原理及其应用—张先绪，长春理工大学

4. 几种心率监测实现的方法和原理— OFweek可穿戴设备网

5. 光学心率测量原理—https://blog.csdn.net/