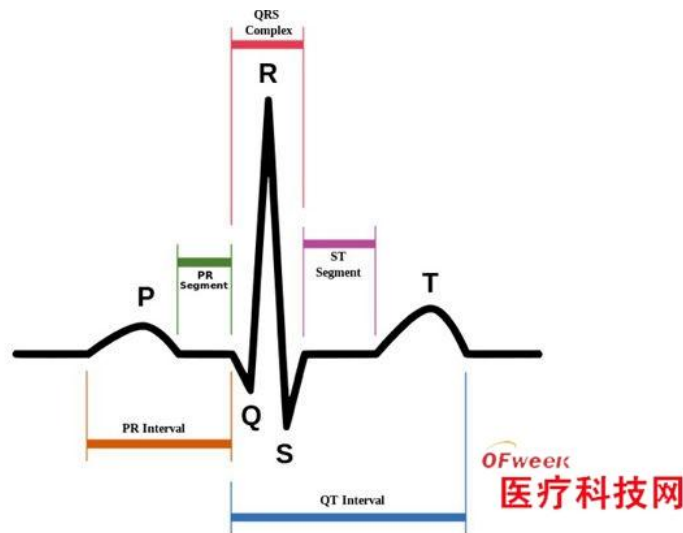


加速度传感器用于心搏图的设计考量

微机电技术（MEMS）的加速度传感器与陀螺仪已经广泛应用于导航与游戏应用，而此类传感器的另一个亮点是健康医疗，当前较流行的应用是测量病人心脏性能的诊断设备，常用测量心脏功能是通过测量心电图，这需要将一系列的电极连与人体接触。

在心率监护仪或者运动设备中，人们可以根据心电图中的 P-QRS-T 波峰信息中的幅度和时序、或者只是 R 波峰的时序等信息，得到复杂的心电向量图，典型的心电图。如图一所示。



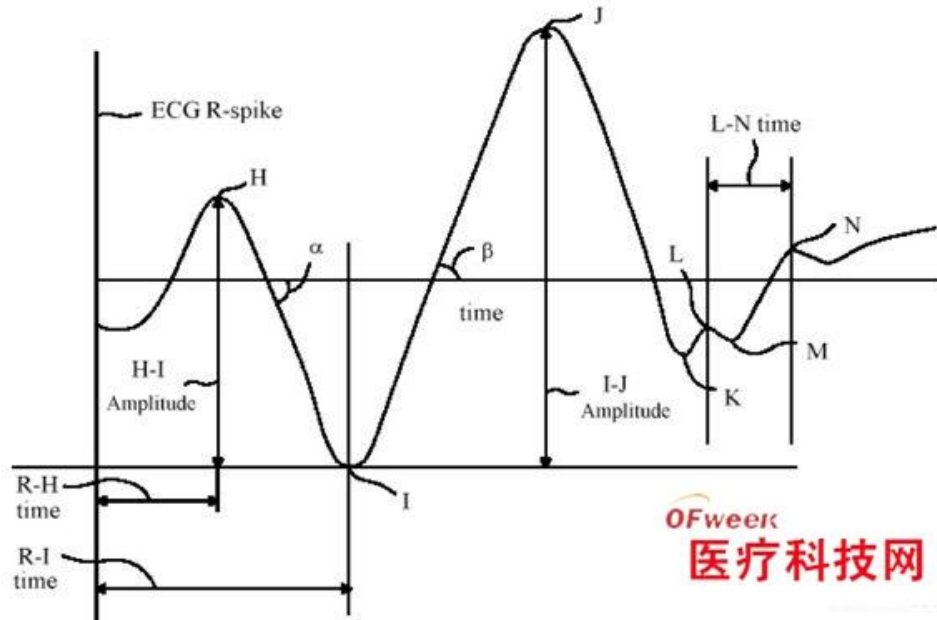
图一：心电图中的 P-QRS-T 波形图

心电图可以给出很多的信息，如心脏的故障或疾病，身体的恢复状态，或者身体和心理的压力状态等等。但是心电图不能很好的测量心脏的泵血功能与容量，另外，心电图测量时，那么多的电极夹在人体上，无形给被测量者压力，从而也影响到测量的准确性。幸运的是有其他的方式测量心脏的功能，如超声波测量仪和投影心搏图，机械的投影心搏图通常滞后 30--40mS。

通过投影心搏图，我们可以通过测量胸部的力和加速度，或者远程的心搏图测量心脏的泵血活动等，得出心脏的机械运动。利用心搏图技术，测量时不需夹戴任何器件，可以在每天的生活状态下实现测量，而且只需在人体直立单轴方向进行测量就足够了，因为这是血液流动的主要方向。

投影心搏图为医疗预言提供全局性分析依据，如探测身体或精神压力，或者早期探测冠心病等。如图 2 中信号的振幅，可以测量出心脏的每搏量及其变异性，从时序可以看出心脏的整体功能以及心率与其变异性。搏量变异性可以很容易地监测呼吸与心率变异性，从而估计康复状态和病人的压力状

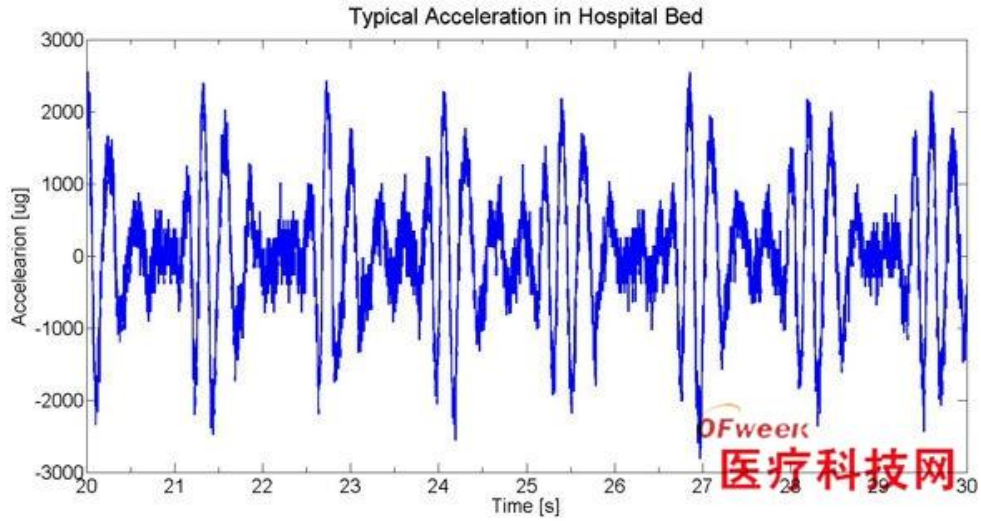
态。图二中的 I 波与 IJ 波幅度可以用于评估某些疾病，如主动脉瓣膜病，冠状动脉疾病，以及分析预期寿命等。



图二：投影心搏图波形

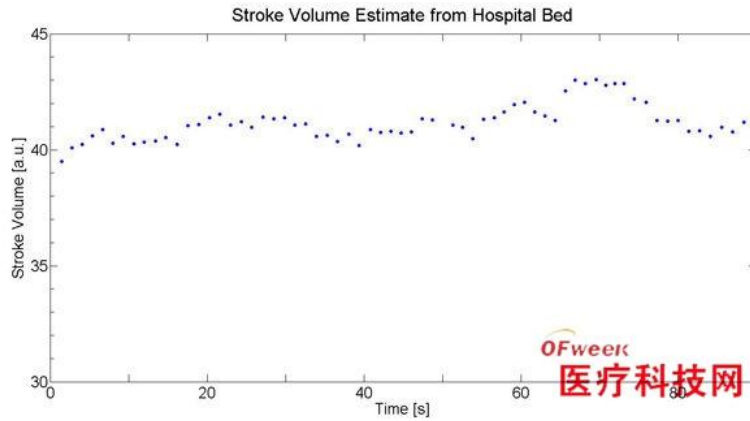
当用加速度传感器测量投影心搏图数据，主要的挑战在于加速度信号水平相对于传感器本身与环境的噪声非常低，以及频率响应与机械谐振等的影响。从病床上测量投影心搏图数据可以测量睡眠活动、身体条件和康复状态等，这样不需要任何电极安装在病人身体上，不会影响病人的舒适度、也不会干扰睡眠。这类的测量可以应用于监测人们因身体可心里引起的睡眠问题，以及监测运动员优化训练效果、避免过度训练。

在最近的一项项目设计中，村田的工程师们分析了病人在病床上的活动，并分离出了心搏图数据，心搏图数据如图三，从中可以看到床的谐振影响到信号，且随时间衰减。而可靠的测量信号在 10mg 范围，这需要加速度传感器的分辨率特别的高，适合此应用的传感器之一是村田的 SCA61T，其噪声密度大约是 $14 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。



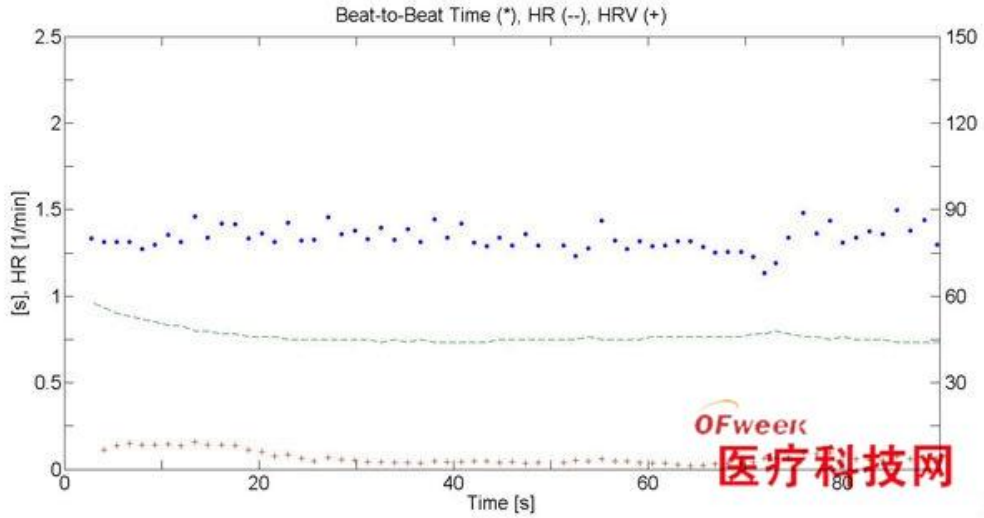
图三：利用村田加速度传感器 SCA61T 采集到的心搏图波形图原始数据

通过先进的滤波算法，可以从病床的谐振与噪声中分离出心搏图数据，如图四估算出的心率和搏量，其中的血搏量是不带单位的数据，它需要进行标定才能等到一个绝对值。图四中的搏量变异性估算得相当准确，它可以用于估算呼吸率。

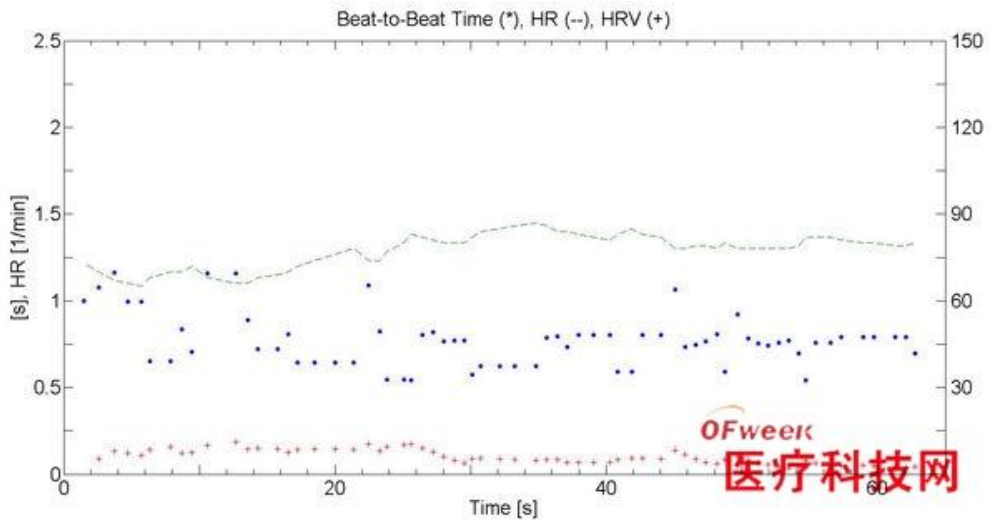


图四：估算的搏量

图四中的点与点之间的时间就是心脏跳动的的时间，心率及心率变异性可以从中计算出来，如图五。村田的工程师也在电子称上使用 SCA61T 测量出相同的心搏图数据，当然，在电子称上因为人的运动，噪声更大，如图六。

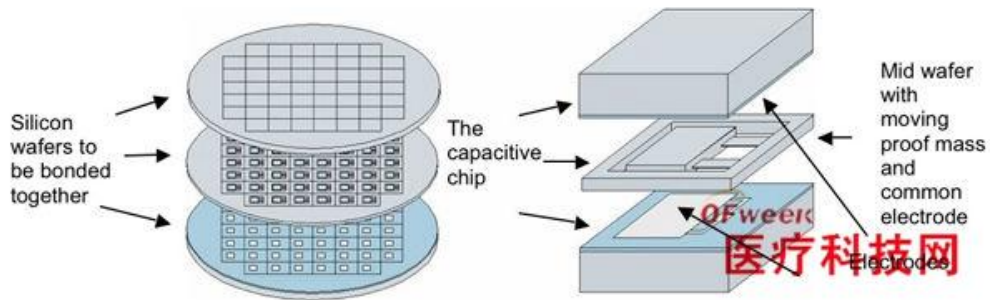


图五：从病床上采集到的心率及其变异性等数据



图六：从电子称上采集到的心率及其变异性等数据

村田的硅 MEMS 技术传感器结合了最好的功能、性能、最小的尺寸和最先进的加工工艺，上面使用的 SCA61T 加速度传感器使用厚的硅晶片，抗振性可以达 70,000g，传感器采用单晶硅结构，不在存在任何的机械迟滞和塑性变形。其稳定的电容性测量原理，可以用于测量高动态测量，传感器具有卓越的信噪比。



图七：加速度传感器传感单元结构图

当着手设计基于心搏图方法的心脏监控系统时，需要考虑加速度传感器要有极低的噪声密度，如 SCA61T 噪声密度仅 $14 \mu g / \sqrt{\text{Hz}}$ ，也就是它的分辨率可以达到 $1\text{mm}/\text{S}^2$ 。另外，避免不必要的谐振频率也是很关键的，如一些机械振动，所以传感器需要控制频率响应，如村田的加速度传感器通过机械阻尼控制频率响应。最后需要考虑的是，还要有先进的信号滤波算法将有用的信号从多种干扰信号中分离出来，村田为此方案提供相应的滤波算法。

如果应用环境中大量的干扰信号与心搏图信号具有相同的幅度、频率、响应顺序，这时需要再加一个相同性能的加速度传感器用于测量环境干扰信号，然后补偿到测量数据中。