

浙江大学

ZHEJIANG UNIVERSITY



《生物医学信号处理》 实验报告

姓名 _____

学号 _____

实验名称 心电信号采集与分析系统

实验地点 玉泉创客中心

指导老师 郑婧、余馨琳、裘利坚

上交日期 November 6, 2025

1 实验目的与任务

1.1 实验目的

- (1). 掌握信号预处理与频谱分析技术。
- (2). 应用心电图采集、信号处理与分析的实际技能。
- (3). 应用所学知识识别和解决与心电图信号异常相关的问题。

1.2 实验任务

- (1). 学习心电图信号检测设备的原理与基本操作。
- (2). 心电图信号采集、信号处理与分析。

以两种不同的采样率采集 10 秒的心电图信号，并讨论采样率对信号的影响。

使用不同的连接方法（例如导联 I、II 和 III）采集心电图信号，并分析其影响。

采用贴片、吸盘、夹子对心电图信号的影响。

观察不同条件下（包括躺下、站立、运动前后）心电图信号的变化。

2 实验原理

2.1 ADS1292R

ADS1292R 是 TI 公司的一款医用级 ADC 芯片，它主要应用在医疗仪器 (心电图 ECG), 可以监护患者以及病人护理和健身监视器。ADS1292R 集成了心电采集所需要的部件，方便设备小型化。它的功耗极低，使得可以作为长时间监控成为可能。而且输入参考噪音低，共模抑制比高。

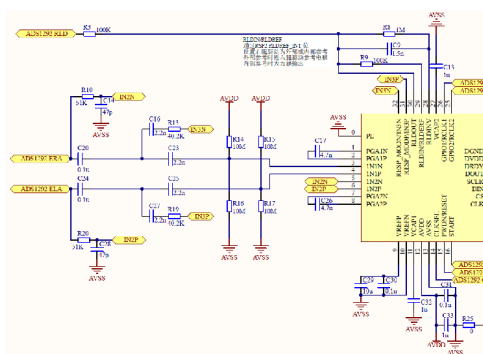


图 1: ADS1292R 电路图

2.2 心电信号

心电信号记录了心脏每一次跳动中规律的电学活动周期：它始于心房的除极，形成 P 波，随后激动在房室结内延迟传导形成了 P-R 间期，之后心室的快速除极产生了高耸的 QRS 波群，标志着心室开始收缩；紧随其后，代表心室缓慢复极的 ST 段和代表快速复极的 T 波先后出现，共同完成了心室的电活动恢复，而整个心室从除极到完全复极所历经的时间则为 Q-T 间期。通过这些特征性波形与间期的连续变化，心电信号为评估心脏节律、心肌状态及传导通路功能提供了至关重要的依据。

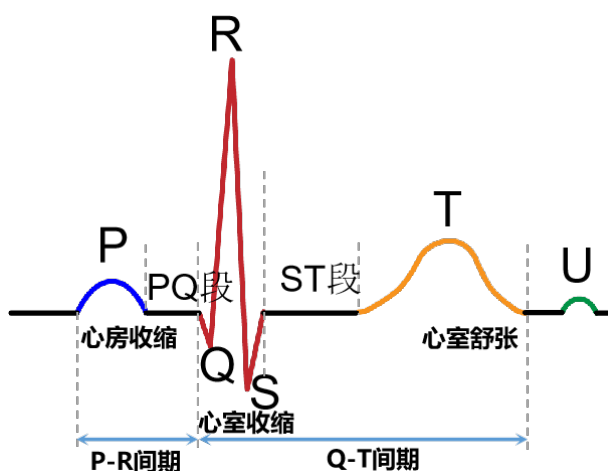


图 2: 心电信号图

3 主要仪器设备

计算机、MATLAB2025a 软件、心电信号检测设备

4 操作方法与实验步骤

4.1 连接并调试设备

- (1). 安装 CH340USB 串口驱动（附件-软件-1），为计算机能识别端口；
- (2). 使用 TYPEC 线模块供电，DS1 白色电源指示灯常亮，模块上电自动进入初始化状态，初始化成功后，DS2 红灯闪烁；
- (3). 打开串口调试助手（附件-软件-2），波特率调整为 460800，选择对应的串口，16 进制显示，可接收到串口数据。

4.2 连接电极

使用肢体夹连接电极，分别接至左手、右手手腕和右脚脚腕（先用这三个点位观测信号）

4.3 数据采集

- (1). 关闭其他串口通讯软件，双击 ecg-app（或者在 Matlab-APP 中选择）；
- (2). 串口设置：点击连接设置，选择对应的串口和波特率 (460800)；
- (3). 采样率设置：10-2000；首次选用 1000 默认固件采样率为 2000，可通过此 app 更改选取数据量，进而改变实际采样率
- (4). 数据文件名更改：避免多次采集数据重叠。每次采集完再对应文件夹下会生成.mat 数据文件，双击或者使用 load 函数即可读取
- (5). 开始采集：点击 “Start” 按钮；结束测量点击 “Stop”

4.4 数据分析

MATLAB 的数据分析代码如下

```
1 load("ecg_signal_01.mat");
2 data=ecg_signal(:,3);
3 fs = 500; % 确定数据采样率;
4 N = length(data); % 数据长度
5 time = (0:N-1)/fs; % 创建时间轴
6 % 绘制曲线图
7 plot(time, data);
8 xlabel('时间 (秒)');ylabel('幅值(V)');title('原始信号');
9 grid on;
```

5 实验结果和分析

5.1 采样率对采集心电信号的影响

采样率为 500 时，测得的心电信号如图

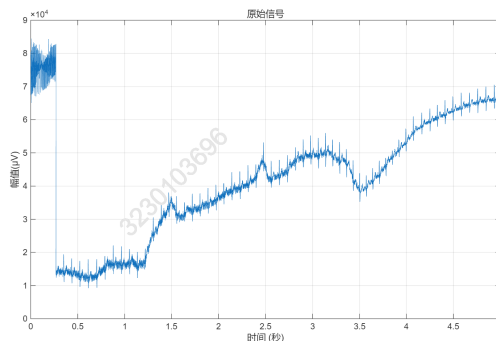


图 3: 采样率为 500 的心电信号

采样率为 1000 时，测得的心电信号如图

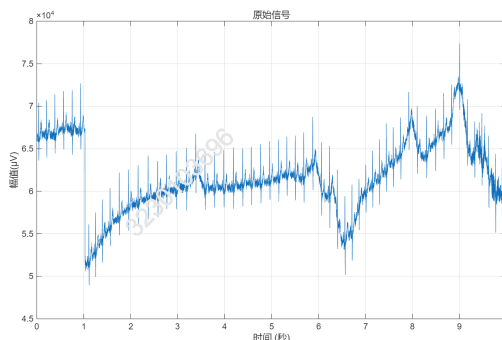


图 4: 采样率为 1000 的心电信号

当采样率为 500 Hz 时，心电信号的波形整体能够反映出主趋势，但细节部分存在一定的失真与平滑现象，波峰和波谷的形态不够尖锐，同时在明显的变化位置可能出现欠采样导致的信息缺失。

而采样率提高到 1000 Hz 后，波形的细节刻画更加清晰，能够更准确地反映快速变化的成分，尤其是心电信号中的高频细节和突变位置呈现更加真实，波形的平滑失真明显减少。但高采样率也意味着需要更多的存储空间和计算资源，同时对后续的数据处理提出更高要求。

因此，在实际采集心电信号过程中，需要在采样率与系统资源之间权衡，既保证波形完整与细节精确，同时避免不必要的冗余。

5.2 不同连接方法对心电信号的影响

导联方式 1 测得的心电信号如图

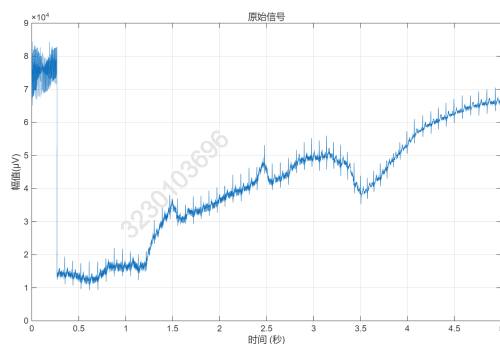


图 5: 导联方式 1 测得的心电信号

导联方式 2 测得的心电信号如图

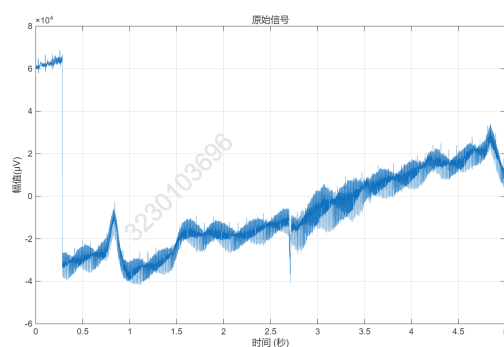


图 6: 导联方式 2 测得的心电信号

导联方式 3 测得的心电信号如图

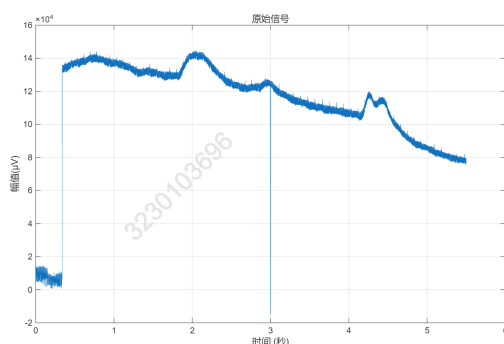


图 7: 导联方式 3 测得的心电信号

导联方式 1 对应标准 I 导联，测量的是左臂与右臂之间的电位差，从波形看，整体趋势较为平稳，但在起始与波峰位置存在一定零漂现象，可能与系统直流漂移、环境干扰或被测者轻微动作有关。

导联方式 2 对应标准 II 导联，记录的是左下肢与右臂之间的电位差，信号幅度显著提高，波形变化更为明显，能够更好地反映心脏电活动的主要方向，因此在临床常用于心电测量，但仍可观察到零漂和高频噪声，说明系统噪声与动作伪差的影响依然存在。

导联方式 3 对应标准 III 导联，记录的是左下肢与左臂之间的电位差，信号整体幅度下降且波形失真较为明显，中间出现突变和波形断续，说明该导联方向与心脏电矢量的主要方向夹角较大，导致有效信号采集较弱，同时可能存在电极接触不良或瞬时干扰。

综合来看，导联方式不仅决定了心电信号幅度和波形特征，还会影响信噪比和测量稳定性，零漂和伪差则是采集心电时常见的噪声来源，应通过改善系统屏蔽、稳固电极及减小被测者动作来降低影响。

5.3 夹子、贴片、吸盘等方式对心电信号的影响

使用夹子测得的心电信号如图

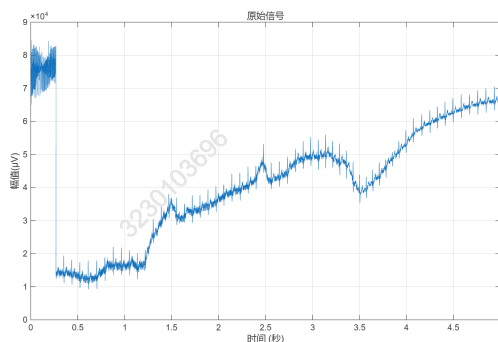


图 8: 采用夹子测得的心电信号

使用贴片测得的心电信号如图

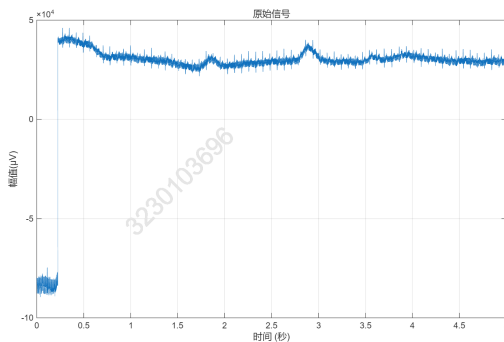


图 9: 采用贴片测得的心电信号

使用吸盘测得的心电信号如图

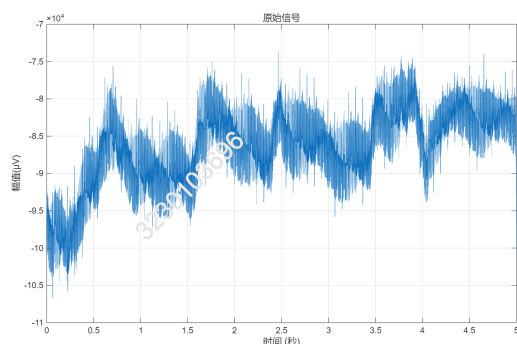


图 10: 采用吸盘测得的心电信号

采用夹子测量时，信号波形基本能反映心电活动的整体趋势，但容易出现零漂现象，且有轻微的平滑失真，这可能与夹子固定的稳定性及接触面积较小有关。

采用贴片时，信号明显更稳定，波动较小，说明贴片能够提供较好的皮肤接触和固定效果，减少由于被测者细微动作或电极松动引起的噪声。

而吸盘方式的信号波形中噪声成分较多，波形起伏中夹杂着多处跳变，可能由吸盘与皮肤接触不均匀或因吸力不足导致电极在测量过程中轻微位移造成，其抗运动干扰能力相对较差。

综合来看，电极固定方式直接影响心电信号的信噪比和稳定性，较稳固、贴合皮肤的方式能有效减少系统零漂和伪差，提高测量的准确性。

5.4 运动状态对心电信号的影响

静坐时，测得的心电信号如图

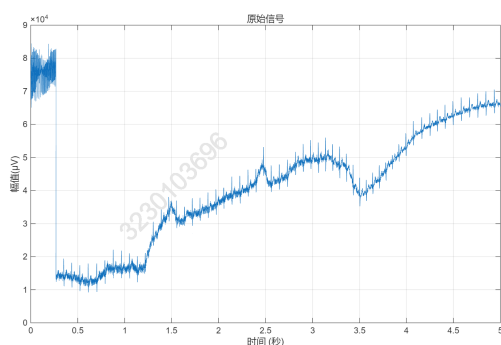


图 11: 静坐时测得的心电信号

站立时，测得的心电信号如图

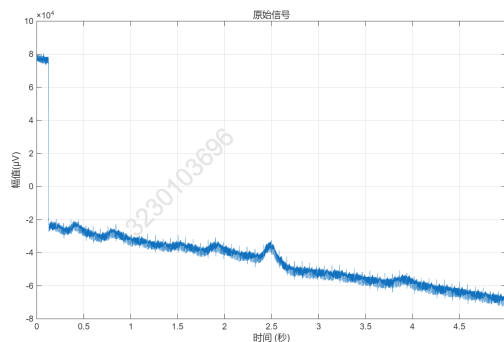


图 12: 站立时测得的心电信号

运动时，测得的心电信号如图

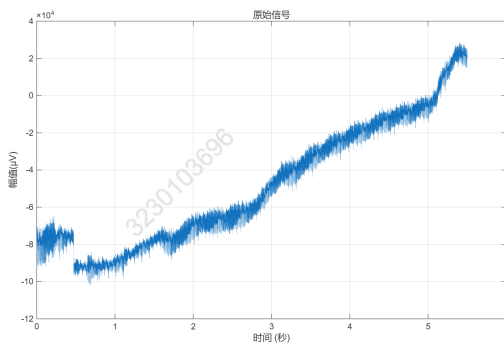


图 13: 运动时测得的心电信号

躺下时，测得的心电信号如图

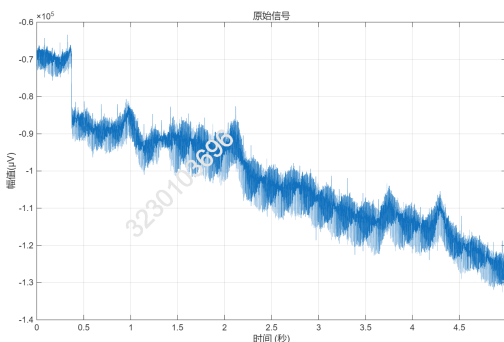


图 14: 躺下时测得的心电信号

静坐状态下的信号相对平稳，波形主要反映心脏电活动的正常节律，噪声成分较少。

站立状态下，信号呈现缓慢漂移，可能与重心改变导致的电极接触压力变化以及肌肉轻度收缩有关。

运动状态下，信号大幅漂移并且叠加了明显的高频噪声和波形失真。

躺下状态下，信号幅度相对较低，并存在一定的零漂。

总体来看，静止状态，尤其是静坐，是获取高质量心电信号的最佳条件，而运动会引起显著的噪声，需要在采集过程中结合合适的固定方式和信号处理手段来抑制干扰。

6 心得与讨论

通过本次实验，我对心电信号的采集、处理以及影响因素有了更深入的理解。实验中使用了 ADS1292R 生物电信号采集芯片，其高分辨率和低噪声特性为获取较高质量的 ECG 数据提供了硬件基础。然而，在实际测量过程中，采样率、导联方式、电极固定方式以及被测者运动状态都会对结果产生明显影响。

在采样率测试中发现，较低采样率（500 Hz）能够满足基础心电分析需求，但较高采样率（1000 Hz）可以在波形细节上提供更好的分辨率，有助于观察快速变化的信号细节。然而过高的采样率会增加数据量与存储压力，因此需要在信号细节与系统资源之间进行平衡。

不同导联方式对 ECG 波形的幅值和形态有显著不同。I 导联信号较平稳但存在轻微零漂，II 导联具有最大幅度且波形最清晰，是临床常用的主要导联，而 III 导联与心脏主要电矢量夹角较大，信号幅度不足、波形失真更明显。这说明导联选择应结合采集目的与信号质量要求。

贴片电极在实验中表现出最佳的稳定性和信噪比，夹子容易受到细小动作影响产生零漂，吸盘则在接触均匀性和抗运动干扰方面相对较差。在实际应用中，应根据测量场景选择合适的固定方式，并保证皮肤清洁及电极稳固。

运动状态对心电采集影响尤为明显。静坐时信号最稳定，站立会产生缓慢基线漂移，运动状态下信号波形受高频噪声和基线大幅漂移影响而失真，躺下状态信号幅度较低但噪声减少。由此可见，为获得高质量 ECG 数据，应优先选择静止状态，并结合硬件屏蔽与软件滤波抑制干扰。

总体而言，本次实验不仅验证了不同参数和条件下心电信号采集的差异，还加深了对 ECG 测量系统各环节的认识。在未来的改进中，针对零漂和运动伪差问题，可以进一步优化硬件电路的抗干扰设计，并在软件中采用自适应滤波、基线校正等算法提升信号质量。