

2023 年

“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛

第二阶段

C题 心脏危险事件

心脏的每一次搏动都伴随着心脏的电生理活动。心脏的起搏点通过放电,使电流传导到每个心肌纤维,接收到电信号后,相应的心肌纤维完成一次收缩,心脏也就随之搏动一次。而心脏的电信号可以传导到体表皮肤,并且不同体表部位所检测到电信号表现不同。这样,在体表的特定部位放置电极,通过心电图机,可以记录到心电数据。对患有严重心脏疾病的人来说,心电的实时监测是检测心律失常的重要手段。

为使心电监测更加有效,心电图机应当在心电图产生异常时能够做到实时报警。所以我们需要在很短时间内对心律失常进行正确的判断。我们在已有的心电图数据中找到了一些有代表性的片段,其中有正常心搏,也有多种心律失常的情况。每个片段长度为 2 秒。在数据文件中,我们记录的是心电波形的功率谱密度,从 0 Hz 到 180 Hz,频率间隔为 0.5 Hz。也就是第一行记录的是 0 Hz(直流分量)的数据,第二行记录的是 0.5 Hz,第三行记录的是 1 Hz,依此类推。

第一阶段问题:

1. 请你和你的团队建立有效的数学模型,将所给的数据文件进行分类。除正常心搏外,请将心律失常的情况分为不同的类别,并指明类别的总数;
2. 请给出每种心律失常类型的判断标准,以便我们能够核实判断方法的生理学意义,并将判断方法应用到临床监测设备上;

3. 某些类型的心律失常一旦发生,心脏立即失去供血功能,此时病人的情况极为危急。另外一些类型的心律失常则不会如此危险,我们可以有稍多一些的救治时间。请参考正常的心搏过程,估计每种心律失常情况的危险程度,按照危险程度对数据文件进行粗略的排序或分级。

第二阶段问题: 心电数据经过专家的仔细判读,被分成了几个心律失常的类别。数据文件根据判读结果进行了重新的命名。并根据其危险程度分为 6 个级别,危险程度依次递降:

1. 危及生命的心律失常,需要立即抢救:心室扑动(VFL);心室颤动(VF)。
2. 危及生命的心律失常:尖端扭转型室性心动过速(VTTdP)。
3. 威胁生命的室性心律失常:高频室性心动过速(VTHR)。
4. 有潜在危险的室性心律失常:低频室性心动过速(VTLR);室性早搏二联律(B);高度室性异位搏动(HGEA);室性逸搏心律(VER)。
5. 室上性心律失常:心房颤动(AFIB);室上性心动过速(SVTA);窦性心动过缓(SBR);一级传导阻滞(BI);结性心律(NOD)。
6. 无显著危险的以及正常的窦性心律:窦性心律伴束支阻滞(BBB);伴单次期外收缩的窦性心律(Ne);正常窦性心律(N)。

问题 1: 我们希望对危险程度构造一个分类算法并部署在心电图机上,当遇到对生命有威胁的情况时可以发出告警。对危急情境的判断时间不能超过 2 秒,所以只能使用数据集中的数据进行验证(数据集中的每个数据文件都由时长为 2 秒的心电片段处理而来),而且如需提取数据的时域特征,不允许对数据在时域上进行周期延拓等操作。当然判断时间可以比 2 秒更短。对威胁级别的判断降低 1 级(如将 3 级误判为 4 级)称为轻微误判,降低 2 级及以上(如将 3 级误判为 5 级)称为严重误判,升高 1 级称为轻微虚警,升高 2 级或以上称为严重虚警。我们至少要求,对最危急的情境(第 1,2 级),判断的灵敏度(sensitivity)和特异度(specifity)均不能低于本数据集能计算的最大值(即使用本数据集无法算出其与 1 的区别)。对其他危险等级的情境,请你和你的团队根据医疗实际(可以使用以上给出的概念),对算法的性能提出合理的要求。并建立有效的数学模型,构造分类算法满足此要求。

问题 2: 我们希望在问题 1 的基础上,进一步对不同类型的心律失常进行判别。最终的判别算法要满足问题 1 中的要求,并在每个危险级别中进行具体的分类。请你和你的团队建立合理的数学模型以构造对不同类别心律失常的分类算法,并对算法的性能作出详细的评述。