

蟾蜍心脏节律与神经调控

2021年04月19日

摘要

使用新解剖蟾蜍心脏标本，以 BL-420N 生物信号采集仪记录蟾蜍心肌收缩程度与第一导联，探究蟾蜍心跳心电的活动规律，以及交感迷走混合干对心脏节律的调节功能。

关键词

交感迷走混合干、心脏节律、期前收缩、代偿间歇

0.引言

通过记录蟾蜍心脏活动，学习心脏搏动与心电关系、以及交感迷走混合干对心脏节律的支配效应。

1.材料与方法

1.1.材料

- 蟾蜍（体长 $\approx 8cm$ ）
- BL-420N生物信号采集仪与配套分析软件
- 刺激线（2头）、数据线（3头）
- 张力换能器
- 计滴电极、保护电极

1.2.方法

- 取蟾蜍进行手术，结扎左侧交感迷走混合干，右侧未作结扎，暴露心脏。
- 以 $8V$ 、 $10Hz$ 的高强度刺激交感迷走混合干 $26s$ ，后以 $2V$ 、 $3Hz$ 低强度刺激同样时长；交换频率后再次刺激。
- 设置采样速度设为 $1kHz$ ，并为张力换能器和记录电极分别设置 $500Hz$ 和 $1kHz$ 低通滤波。
- 对心脏心房处进行 $8V$ 、 $1ms$ 单刺激，记录张力活动。

2.结果

2.1.无额外刺激时心电波形与心脏搏动同步

为确保实验中手术未对蟾蜍心脏节律相关生理结构造成损毁，我们同时记录了手术后蟾蜍心脏搏动与心电图波形，结果如图 1所示。

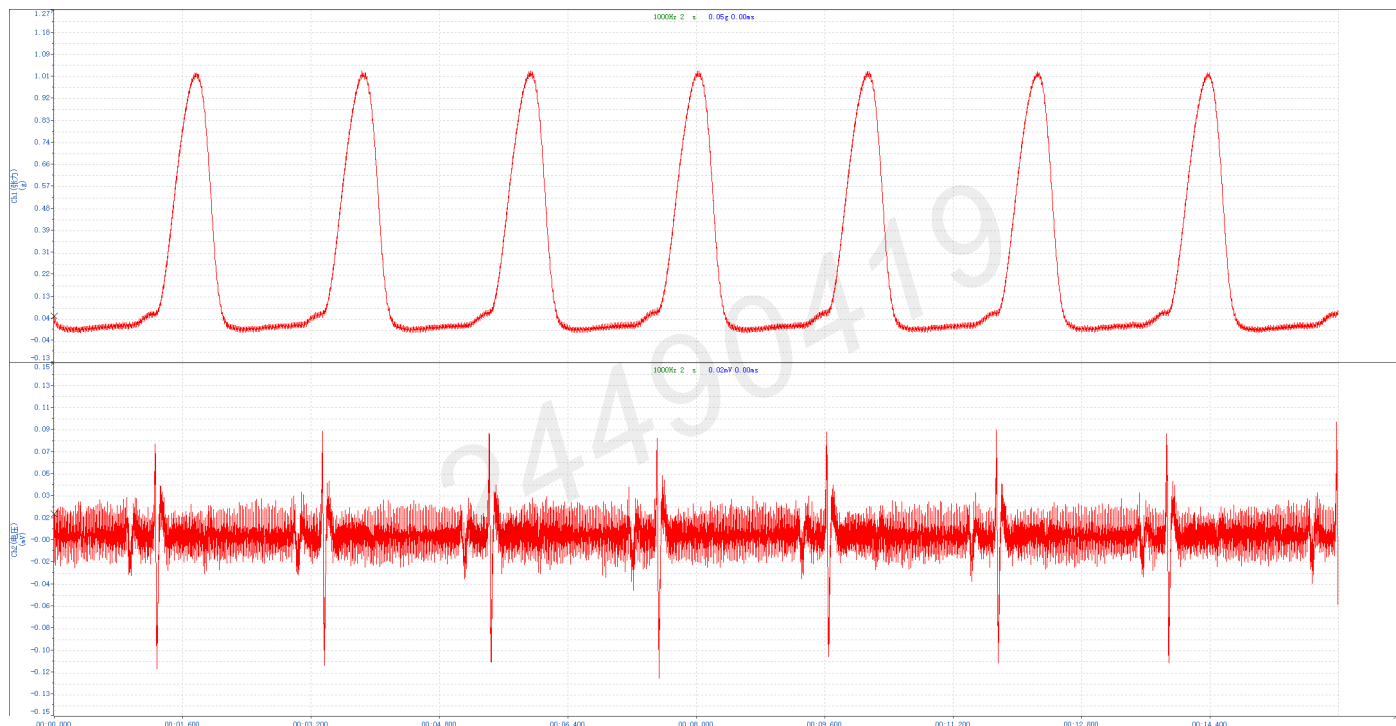


图 1: 心搏心电同步波形图

上: 心脏搏动波形图; 下: 心电波形图

图中所见，心电波形图中每个周期有明显两个小波群，波群波峰分别对应上方心搏图中心房收缩与心室收缩起始，说明手术后蟾蜍心脏生理活动仍可继续，且心搏与心电的同步率较好，是下述实验分析的基础。

2.2.不同类型期前刺激与不应期关系

对于一个正常的心动周期，如果我们给予一个额外的刺激，那么其可能落在：1) 心房心室均舒张；2) 心房收缩；3) 心房舒张、心室收缩；4) 心室舒张 共四种情况^[1]，可能诱发期前收缩乃至代偿间隙^[2]。实际实验结果如图 2所示。

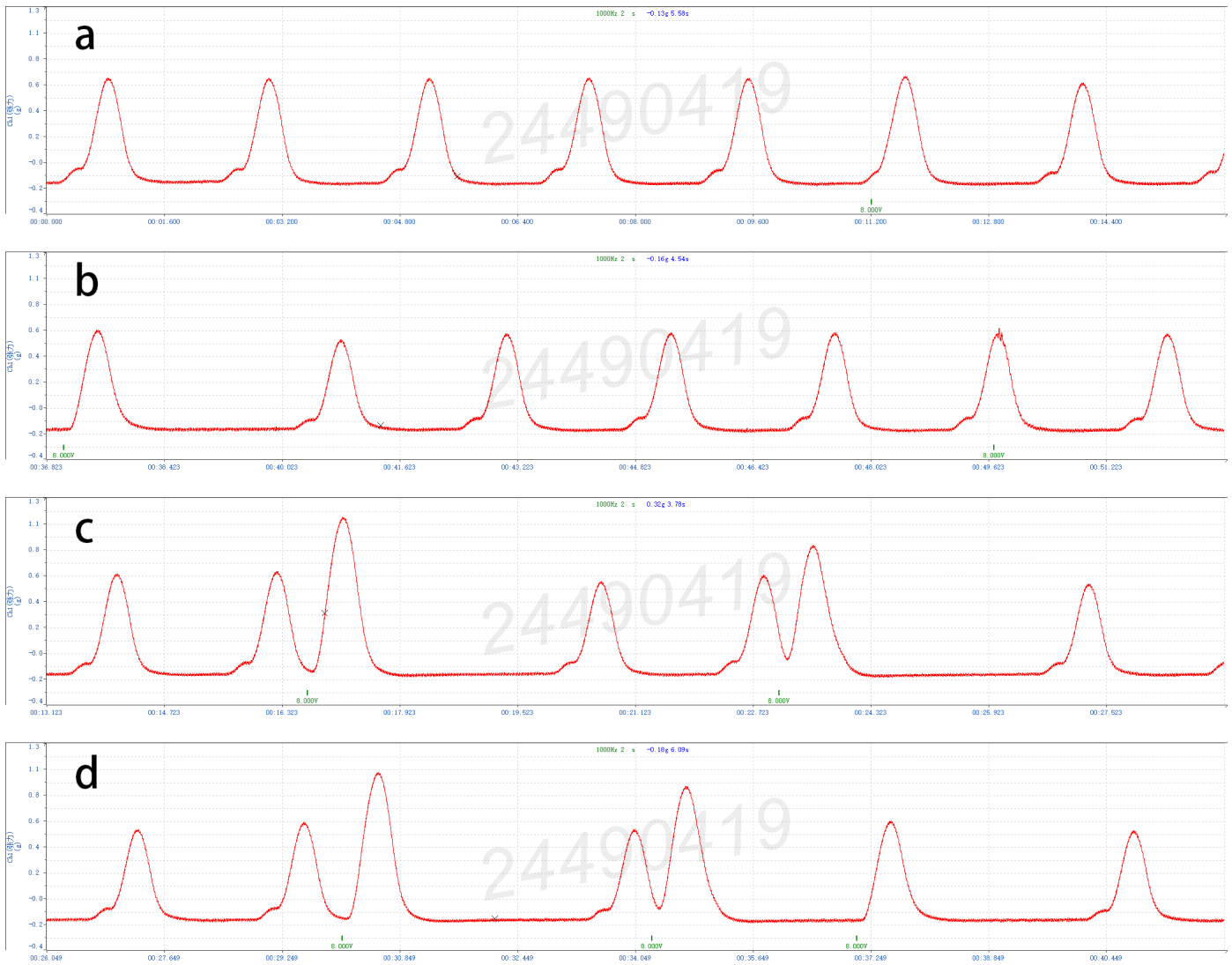


图 2: 不同类型期前刺激对心脏搏动的影响

a: 前五个心搏为正常波形, 单刺激落在心房收缩期, 无期外收缩; b: 第一个单刺激落在心房收缩期前, 引发心室期外收缩与不完全性代偿间隙, 第二个单刺激落在心室收缩与舒张期中点, 无期外收缩; c: 两个单刺激均落在心室舒张期末, 引发心室期外收缩与完全性代偿间隙; d: 第三个单刺激落在舒张期, 引发心室期外收缩与不完全性代偿间隙

我们没有观测到仅发生期外收缩而无代偿间隙的情况; 但观察到所有期外收缩都无明显心房心室收缩的区分, 详见讨论。我们还可以以心房收缩起始 (与心电波峰匹配) 为起始, 计期外收缩强度与间隔时长的关系, 从而推的不应期长度的范围。本实验中共有 31/32 个有效刺激 (一个无可区分的心房收缩起始点), 统计结果见图 3。

Stimulated Contractility Force(CF) to Refractory Period(RP) length

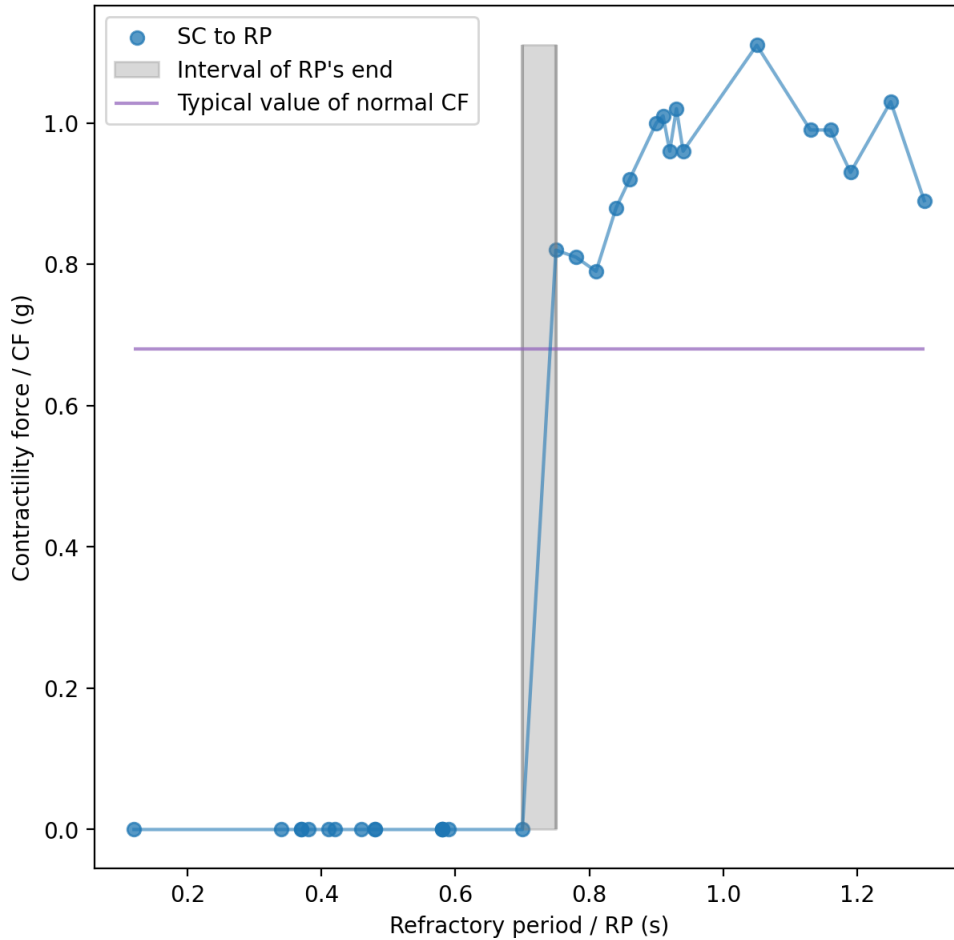


图 3: 期外收缩力-相对时长图

蓝色散点: 结果中期外收缩力对不应期间隔时长作图; 灰色区域: 不应期时长范围在 0.70 ~ 0.75s 之间; 紫色水平线: 正常心搏收缩力的典型值

因此可以推得不应期长约为 0.70 ~ 0.75s, 此间隔时间内给予实验强度的额外刺激将不引起期外收缩。

2.3. 交感迷走混合干对心脏节律的调控

对右侧交感迷走混合干施加等时长 (~ 26s)、强度频率均不等的刺激, 结果如图 4所示。

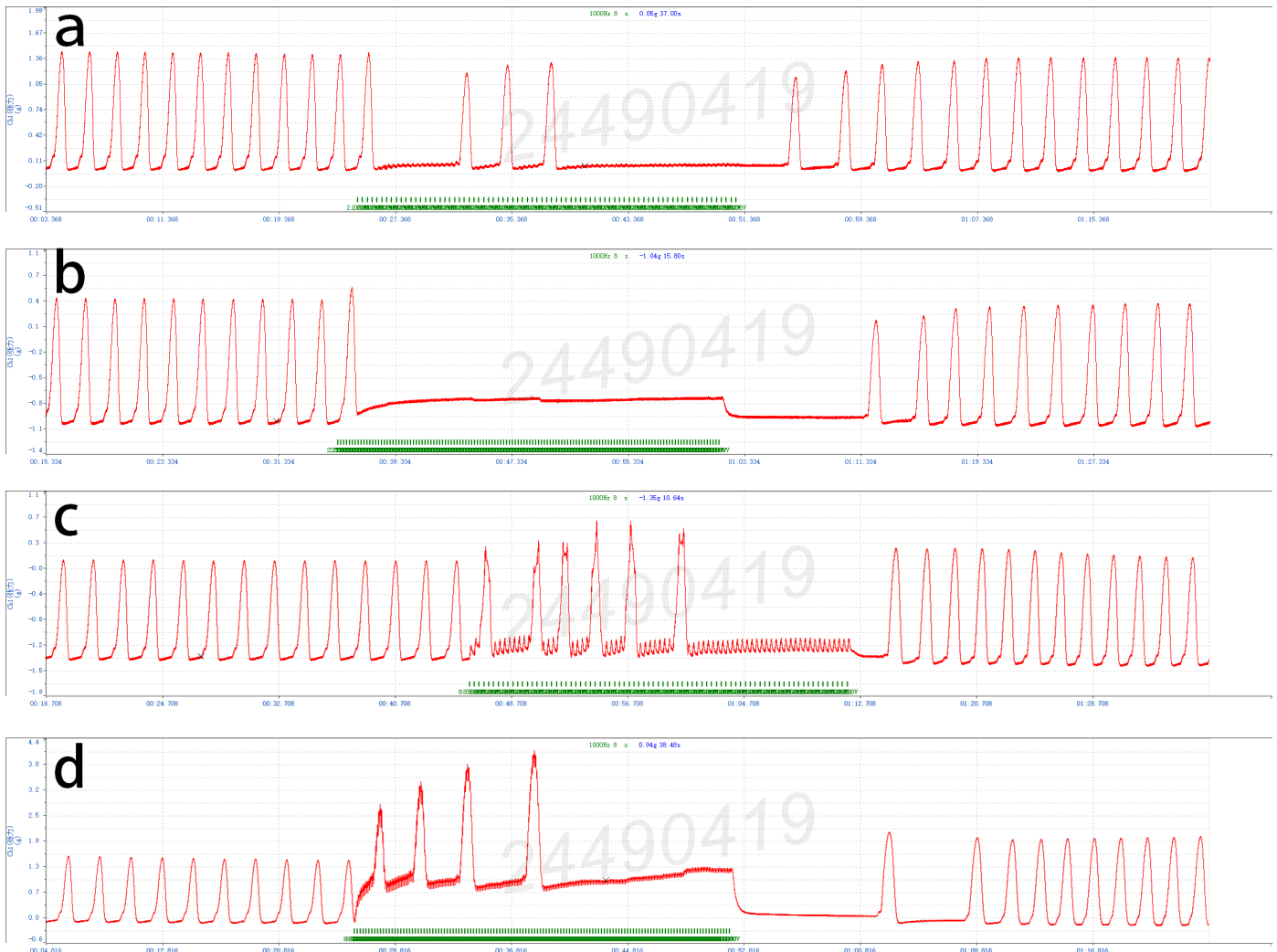


图 4: 右侧交感迷走混合干对心脏节律的调控

a:
2V, 3Hz 刺激, 有明显迷走效应, 心率变缓、力度减弱; b:
2V, 10Hz 刺激, 有明显迷走效应, 心脏停搏, 但交感效应不明显, 仅有基线抬高; c:
8V, 3Hz 刺激, 有明显迷走效应, 心率减缓, 同时伴有交感效应, 搏动力度增大; d:
8V, 10Hz 刺激, 有明显迷走效应与交感效应

由此可得, 不管是刺激的频率还是强度, 交感神经的阈值均明显高于迷走神经, 导致在低频率或者低强度刺激下主要表现形式为迷走效应, 只有当同时增大强度与频率时才能有效触发交感神经。类似的结果在被结扎后的左侧交感迷走混合干中也能观察到, 见图 5。

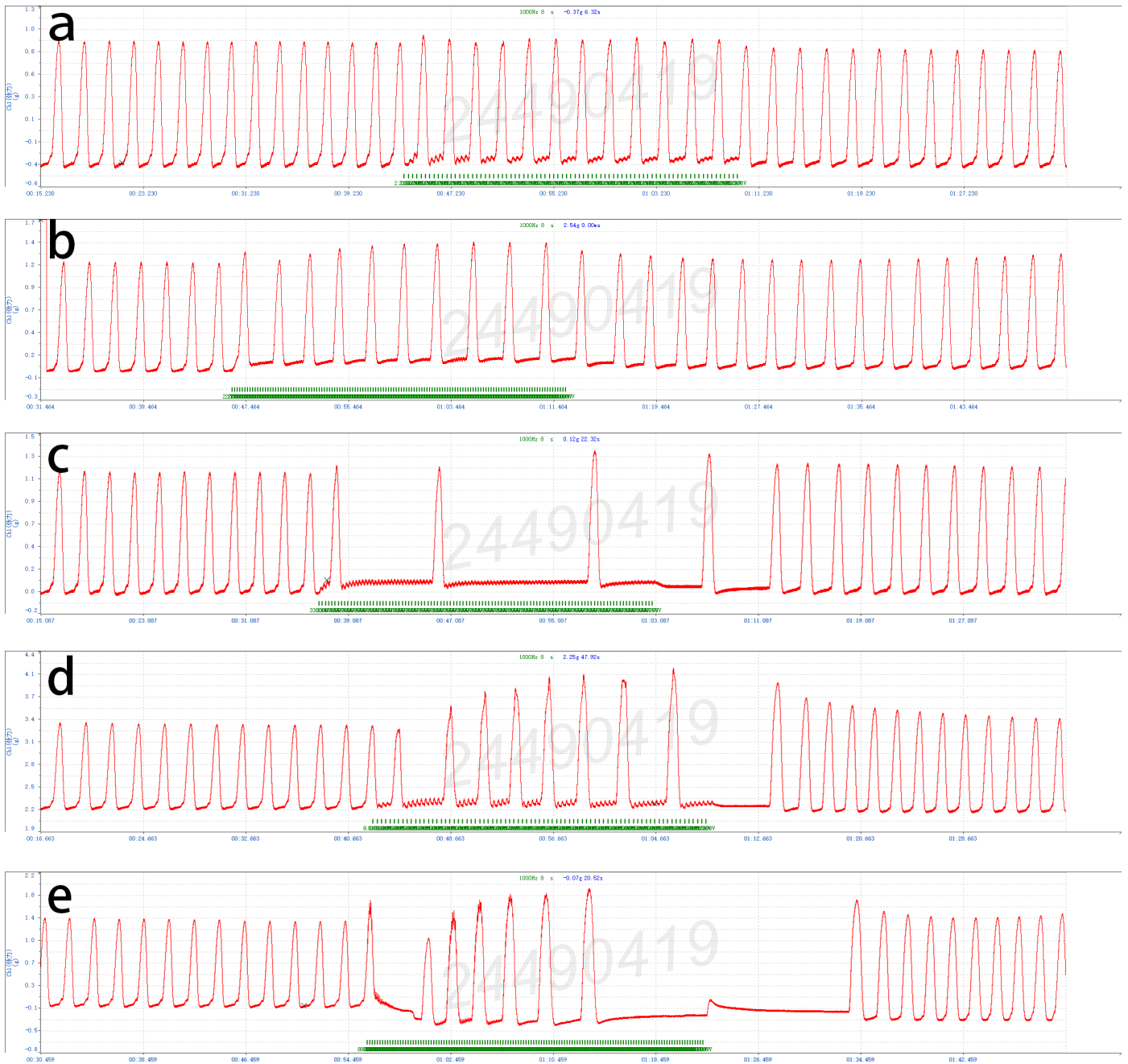


图 5: 左侧交感迷走混合干对心脏节律的调控

a: 2V, 3Hz 刺激, 无明显现象; b: 2V, 10Hz 刺激, 可观察到迷走效应与交感效应, 但均不明显; c: 3V, 4Hz 刺激, 有明显迷走效应, 心率变缓、波动力度减弱; d: 8V, 3Hz 刺激, 有明显迷走效应和交感效应, 心率减缓, 同时搏动力度增大; e: 8V, 10Hz 刺激, 有明显迷走效应, 可推得有交感效应

左侧神经由于被结扎, 因此我们无法推断是体侧差异还是结扎引入的差异, 光从结果而言, 左侧交感迷走混合干的刺激阈值均要高于右侧 (同等强度刺激下效应的强度弱于右侧)。同时我们观察到两次实验中在刺激开始后均有均匀分布的小峰, 详见讨论。

3.讨论

3.1.期外收缩无明显心房心室收缩的区分

在正常的心脏节律中, 心房到心室的兴奋传到需要经过房室结^[3]传导, 而在经过房室结时会明显减慢, 避免心房和心室同时收缩; 而在此实验中, 猜想可能为刺激强度过大, 导致电信号跨过房室结传导至心室, 致使结果中两者区分不明显; 或有可能为强刺激抑制窦房结工作, 转而由房室结起搏, 而这又受强刺激控制, 表现上心房心室同步收缩。

3.2.刺激交感迷走混合干时心搏波形有均匀小峰

从结果来看, 因为只有在刺激存在时在能观察到小峰, 且大致与刺激频率对应, 因此可以推断此现象产生与我们所给的刺激有关。部分解释是在给予交感迷走混合干刺激时, 肩胛处及周围的肌肉均会受到刺激, 产生收缩, 进而牵拉到蛙身, 影响实验张力的测量。但见图 4c、d 可知, 在同样的高强度下, 低频率刺激反而会产生更为明显的小峰, 所以我们推断该小峰还包含了心房纤颤的

部分^[4]。由于心室肌肉的不应期更长，因而在心室节律维持低频率的情况下，心房会产生快速的收缩，而在刺激频率合适时能与心房刺激收缩的频率同调，因而记录到的收缩力更强；而当刺激频率过高时，心房收缩的频率跟不上，导致收缩不完全，因而张力较小。

3.3.图 5e 刺激前中后三段基线强度有明显偏差

此部分结果的原因未明，排除人为因素干扰后，可能为高强度刺激同样影响到了肩胛附近肌肉，导致从刺激开始到结束的过程中，蛙身产生了小幅滑动位移，因此在刺激前后张力基线下降了 $\sim 0.2g$ 。而为何在刺激过程中张力基线下降则暂未明了，不排除为结扎可能存在的影响，需要后续实验取对同侧交感迷走混合干进行结扎与不结扎的对照试验，并尽可能排除对无关肌肉的刺激。

参考资料

- [1] WIKIPEDIA. Premature heart beat[Z/OL](2021-04). https://en.wikipedia.org/wiki/Premature_heart_beat.
- [2] 百度百科. 代偿间隙[Z/OL](2020-12). <https://baike.baidu.com/item/%E4%BB%A3%E5%81%BF%E9%97%B4%E6%AD%87>.
- [3] WIKIPEDIA. Atrioventricular node[Z/OL](2021-01). https://en.wikipedia.org/wiki/Atrioventricular_node.
- [4] WIKIPEDIA. Atrial fibrillation[Z/OL](2021-04). https://en.wikipedia.org/wiki/Atrial_fibrillation.