

几种脊椎动物宽频带心电图波形与 心电向量环特点的比较*

祝建平 艾洪滨**

(山东师范大学生命科学学院 济南 250014)

摘要: 对小鼠、家鸽、蟾蜍、鲫鱼4种脊椎动物宽频带心电图Ⅱ导联的波形特点及QRS额面心电向量环的位置、形态特点进行了比较研究。结果发现,(1)宽频带心电图Ⅱ导联QRS波群:小鼠、蟾蜍、鲫鱼QRS波群的主波均向上,而家鸽的主波向下;(2)QRS波群时程(ms):小鼠 8.8 ± 0.9 ,家鸽 36.5 ± 1.4 ,蟾蜍 79.0 ± 11.0 ,鲫鱼 28.3 ± 5.7 ;(3)QRS心电向量环的位置:家鸽的位于 $-90^\circ \sim -180^\circ$ 象限内,这是家鸽心电图Ⅱ导联QRS波群主波向下的根本原因;小鼠、蟾蜍、鲫鱼的均位于 $0^\circ \sim 90^\circ$ 象限内,与它们的QRS波群主波向上相一致;(4)QRS心电向量环的形状:小鼠的QRS向量环较其它3种动物的要大,蟾蜍的最小。鲫鱼的不规则,有的呈三角形,有的呈“8”字形,还有的呈半圆形,这是导致鲫鱼的QRS波群出现较多切迹和扭挫的原因。

关键词: 脊椎动物;宽频带心电图(WFB-ECG);心电向量环;时域值

中图分类号: Q495, Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2004)06-91-05

The Comparative Study on Wide Frequency Band Electrocardiogram and Electrocardiac Vector Loop in Several Vertebrates

ZHU Jian-Ping AI Hong-Bin

(College of Life Science, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: Wide frequency band ECG of lead II and vectorcardiogram in anesthetized mouse, pigeon, toad and crucian were studied. (1) In mouse, toad and crucian, the direction of the main QRS of lead II was upstroke, while in pigeon, the direction of QRS complex was inverted. (2) The durations of QRS(ms) were 8.8 ± 0.9 in mouse, 36.5 ± 1.4 in pigeon, 79.0 ± 11.0 in toad, and 28.3 ± 5.7 in crucian. (3) The position of vector loop in the frontal plane of QRS in pigeon was in the quadrant of $-90^\circ - -180^\circ$, which might explain why the pigeon's main QRS of lead II was contrary to other animals. It laid in the quadrant of $0^\circ - 90^\circ$ in mouse, toad and crucian, in accordance with the direction of main QRS of ECG. (4) The vector loop in mouse was the largest among these animals, while the vector loop was the smallest in toad. Additionally, the vector loop in crucian was abnormal, some being triangle, some being "8"-like, and some being half-round, which might be the reason that there are many notches and slurs on R wave.

Key words: Vertebrate; Wide frequency band ECG; Vectorcardiogram; Time domain

有关脊椎动物心电图波形特点(包括形态、主波方向、时程、幅度等)的研究,国内外已有较多的报道,但大多集中在哺乳类和鸟类。如黄伟秋^[1]、章开训等^[2]对马、牛、羊、鹿、猪、犬、猫、鼠、家兔等动物的心电图做了较为详尽的分析,Sturkie^[3]、Szabuniewicz^[4]、蓝书成等^[5]也分别对鸡、鸭、鹅等鸟类的心电图做了分析;但是对

其它各纲动物心电图的报道则较少,而且他们所用仪

* 山东省自然科学基金资助项目(No. Y2002D18);

** 通讯作者, E-mail: physiology@sdu.edu.cn;

第一作者介绍 祝建平,男,26岁,硕士研究生;研究方向:动物生理学。

收稿日期:2004-04-28,修回日期:2004-09-09

器均为常规心电图仪,扫描速度慢(最快为 50 mm/s),对许多心率快的动物,如小鼠、鸟类等,不能揭示其波形的细微结构特点。对心电向量环的比较研究,则未见报道。艾洪滨等^[6]对家鸽的心电图和心电向量环做了初步的分析,发现家鸽的心电图和心电向量环与小鼠的有着很大的不同。家鸽和小鼠同属恒温动物,它们与其它变温脊椎动物相比,相互间有什么异同?在心电活动上是否存在一些规律性的东西?本文分别以小鼠、家鸽、蟾蜍、鲫鱼作为代表动物,记录了它们的宽频带心电图和额面心电向量环,以进一步探讨心电图波形特点与心电向量环之间的相关关系。为脊椎动物比较生理学以及研究脊椎动物心电活动的演化提供基础资料。

1 材料与方 法

1.1 材料 昆明种小鼠,体重 18~33 g,雌雄不拘,由山东中医药大学实验动物中心提供。家鸽,体重 350~500 g,雌雄不拘;蟾蜍,体重 30~50 g,雌雄不拘,均由济南北园路生物材料供应站提供。鲫鱼,体重 100~200 g,雌雄不拘,由市场购买。

1.2 实验方法

1.2.1 心电信息、心电向量环的采集、记录方法 心电信息的采集仪器为 NHE-1000 型宽频带心电信息检测分析仪(南京新博公司生产),放大 1 000 倍,频率响应 0.05~1 000 Hz,信号经 A/D 转换,由微机采样并分析。心电向量环的记录仪器为 SBR-II 型二线示波器,记录方法参照文献^[7]。

小鼠,室温下,氨基甲酸乙酯(20 mg/10 g 体重)腹腔

注射麻醉,30 min 后背位固定于一木板上进行心电信息的采集和心电向量环的记录、拍摄。记录电极采用针电极(5 号注射针头)插入四肢皮下,首先记录其标准肢导和加压肢导的心电信息,之后用 SBR-II 型二线示波器记录其额面心电向量环并拍照。

家鸽,室温下,氨基甲酸乙酯(1 250 mg/kg 体重)翼静脉注射麻醉,30 min 后,同样背位固定于一木板上,记录电极插入两翼的根部皮下以及两肢的股部内侧皮下,记录其标准肢导和加压肢导的心电信息。心电向量环的记录方法同小鼠。

蟾蜍,室温下,双毁髓,30 min 后进行记录。记录方法同小鼠。

鲫鱼,室温下,无需麻醉,直接背位固定于一深解剖盘中,盘中充水,水位淹没鳃裂,保证鱼的呼吸。将记录电极分别用鳄鱼夹夹在两胸鳍(相当于四足动物的前肢)和两腹鳍(相当于四足动物的后肢)上。待鲫鱼稳定后,即可记录其心电图和心电向量环。

1.2.2 心电信息的分析方法 分析软件为南京大学提供的宽频带心电信息分析系统,以 II 导联为准测量 10 个 R-R 间期求其平均值,作为该只动物的心动周期,以此求出心率。以 QRS 波群的 R 波最高点或 S 波最低点为基准点,选取 5 个 QRS 波群进行叠加。对叠加后的波形,根据动物心动周期(R-R 间隔)的不同,分别以不同的扫描速度和灵敏度进行各项时域值的分析。

本文数据均采用 $\bar{x} \pm SD$ 表示。

2 结 果

2.1 4 种脊椎动物心电图 II 导联的波形特点 小鼠、

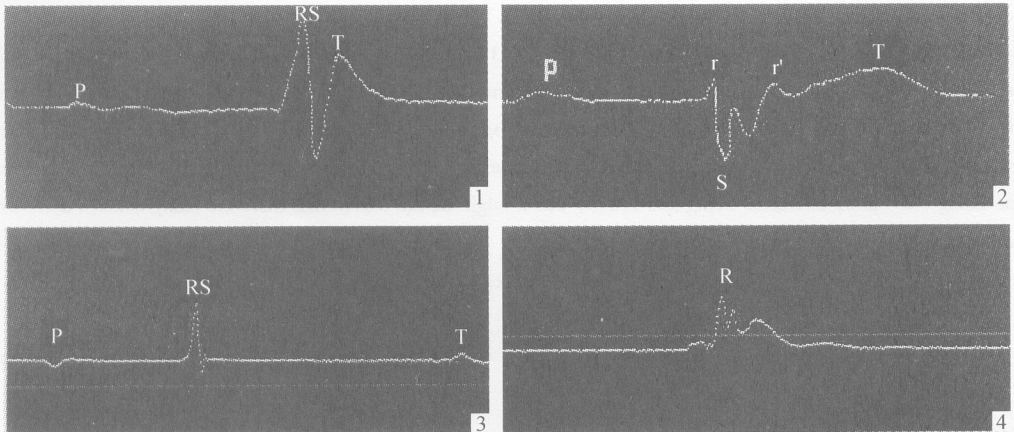


图 1 4 种脊椎动物的 WFB-ECG 波形(Lead II)

1. 小鼠(扫描速度:1 401 mm/s, 灵敏度:20 mm/mV);
2. 家鸽(扫描速度:350 mm/s, 灵敏度:14 mm/mV);
3. 蟾蜍(扫描速度:70 mm/s, 灵敏度:14 mm/mV);
4. 鲫鱼(扫描速度:701 mm/s, 灵敏度:14 mm/mV)

家鸽、蟾蜍的 WFB-ECG II 导联 P 波、QRS 波群、T 波均清晰可辨(图 1:1~3), 鲫鱼仅见清晰的 QRS 波群, P 波和 T 波均不明显(图 1:4)。P 波:小鼠和家鸽的 P 波向上, 而蟾蜍的 P 波倒置; QRS 波群:小鼠、蟾蜍、鲫鱼主波均向上, 而家鸽的主波向下。其中, 小鼠的 QRS 波群呈 RS; 蟾蜍的呈 R_s ; 鲫鱼仅见一较大的 R 波, 且 R 波上存在较多的切迹或扭挫; 家鸽的 QRS 波群呈 rSr' 型(也有的呈 rS), 且 S 波的升支有一大的切迹; T 波:小鼠、家鸽和蟾蜍的 T 波均向上。S-T 段:蟾蜍有较长的 S-T 段, 但小鼠和家鸽则无, 所以其 QRS 波群止点(即 J 点)较难确定。本文规定:以 S 波升支或 r' 波降支转为 T 波突然转折的点作为 J 点, 如无明显的转折点, 则以 S 波升支

或 r' 波降支与基线(P-R 段)的相交点为 J 点。

2.2 4 种脊椎动物的心电向量环特点 小鼠、蟾蜍和鲫鱼的额面 QRS 向量环均位于 $0^\circ \sim 90^\circ$ 象限内, 且在相同的记录参数下, 以小鼠的向量环最大(图 2:1), 蟾蜍的最小(图 2:3); 鲫鱼的 QRS 向量环形状不规则(图 2:4,5), 有的呈三角形, 有的呈“8”字形, 还有的呈现出半圆形; 家鸽的 QRS 向量环则位于 $-90^\circ \sim -180^\circ$ 象限内(图 2:2), 和前三种种动物的 QRS 向量环方向正好相反。

2.3 WFB-ECG II 导联 QRS 波群时域值的比较 4 种动物中, QRS 波群的持续时间, 以蟾蜍的最长, 小鼠的最短, 仅为蟾蜍的 1/9 左右; QRS 波群的峰峰值, 则以蟾蜍的最低, 小鼠的最高, 是蟾蜍的 3 倍多(表 1)。

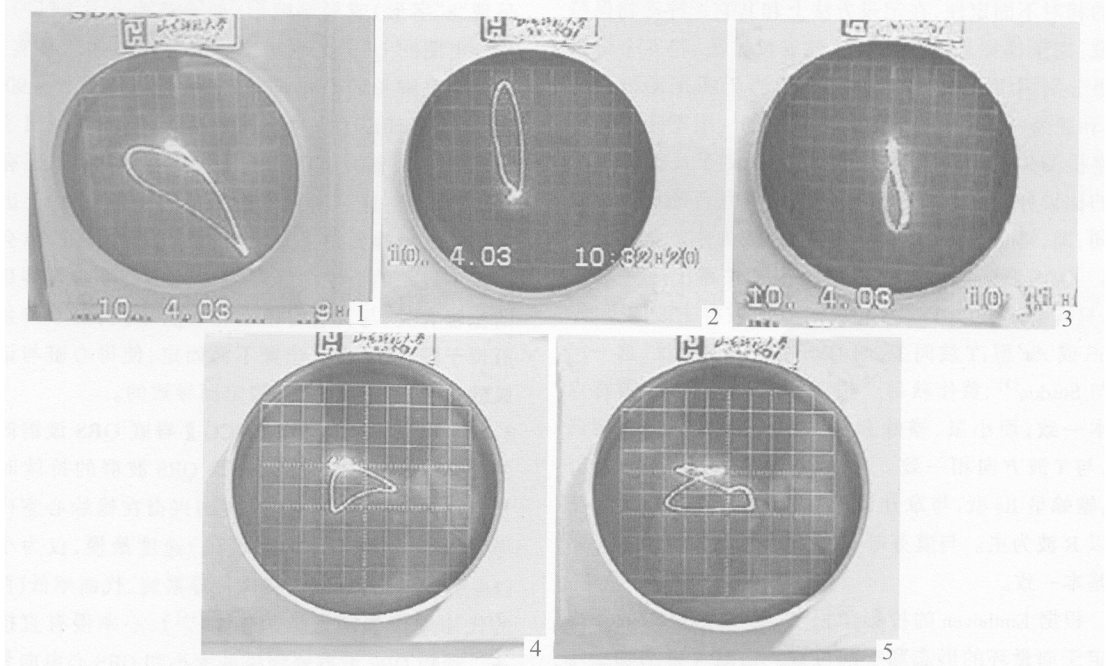


图 2 4 种脊椎动物的额面心电向量环

1. 小鼠, 2. 家鸽, 3. 蟾蜍, 4、5. 鲫鱼; 参数: Y_1 、 Y_2 灵敏度均为 100 mV/cm

表 1 4 种脊椎动物 WFB-ECG II 导联 QRS 波群的各项时域值

	小鼠 ($n=10$)	家鸽 ($n=33$)	蟾蜍 ($n=11$)	鲫鱼 ($n=12$)
心率(次/min)	566 ± 124	186 ± 61	31 ± 9	39 ± 22
QRS 波群持续时间(ms)	8.8 ± 0.9	36.5 ± 1.4	79.0 ± 11.0	28.3 ± 5.7
QRS 波群峰峰值(mV)	1.425 ± 0.327	1.389 ± 0.364	0.451 ± 0.206	0.850 ± 0.477

3 讨论

3.1 鲫鱼的心电图波形与记录方法 因为无四肢, 又是在水中生活, 所以, 迄今为止, 关于鱼类心电图的报道比较少; 而且不同种类的鱼之间在心脏结构、位置等方面都存在着较大的差异, 这就使得许多研究者在记

录不同种鱼的心电图过程中采用的记录方法也不相同。记录电极的安放位置因鱼的种类不同而不同, 导致了不同种鱼的心电图波形、心电信号的大小存在着很大的差异。有的研究者采用 A-B 导程记录法, 如泽崎坦^[2]采用围心腔直视心脏, 用 A-B 导程(相当于第 II 导联)测出了鲤及鲛的心电图, 可以区分出 P 波、QRS 波

群和 T 波,且其 QRS 波群呈 R_s 或 R 型。张国胜^[8]采用双电极接近围心腔法,将两个电极从鱼的腹部刺入,使其接近围心腔外表,记录了深颌虎鱼的心电图,其 QRS 波群呈 qR 型。也有的研究者模拟人的肢体导联的安放方法,如章开训等^[9]以黄鳍为材料,用 4 个连接着心电图机导程线的针灸针分别刺入距黄鳍吻端 6~11 cm,肉眼能见心脏跳动处,记录了黄鳍的标准肢体导联和加压单极肢体导联,结果其 II 导联的 QRS 波群呈 R 型。同时,他们对鲤鱼的心电图也进行了研究^[2],4 个电极分别插入其左右胸鳍和心脏以下的左右胸部,结果发现鲤鱼 II 导联以 R 波为主波。另外,以上作者所用的心电图机均为常规心电图机。本文考虑到鲫鱼心脏位置的相对不固定性,在记录方法上和其它 3 种动物保持一致,完全模拟人的肢体导联的安放方法,将 4 个记录电极分别用鳄鱼夹夹在其胸鳍(相当于四足动物的前肢)和腹鳍(相当于四足动物的后肢)上,用宽频带心电图信息检测分析仪来记录其心电图,以便于几种动物之间的比较分析。本文的结果与其他研究者的结果大体相同,即,鲫鱼 II 导联 QRS 波群以 R 波为主。

3.2 QRS 波群与心电图向量环的相关关系 4 种动物中,只有家鸽 WFB-ECG II 导联的 QRS 波群主波向下,形成 rS 或 rS'型,T 波向上,与 QRS 主波方向相反,这一结果与 Sturkie^[3]、黄伟秋等^[1]报道的鸡、家鸽心电图特点基本一致;而小鼠、蟾蜍和鲫鱼的 QRS 波群主波均向上,与 T 波方向相一致。其中,小鼠的 QRS 波群呈 RS 型,蟾蜍呈 R_s 型,与章开训等^[2]的结果相一致;鲫鱼主要以 R 波为主。与虞芬等^[10]用常规心电图机记录的结果基本一致。

根据 Einthoven 的投影学说^[11],心电图波形的特点决定于向量环的形态和空间位置。由这 4 种动物心电图向量环的空间位置来看,家鸽的心电图向量环位于 $-90^\circ \sim -180^\circ$ 象限内,所以,QRS 向量环在 II 导联轴上的投影主要在负侧,QRS 波群的主波则相应向下;而小鼠、蟾蜍、鲫鱼的向量环皆位于 $0^\circ \sim 90^\circ$ 象限,在 II 导联轴上的投影主要在正侧,因此,QRS 波群的主波均向上。所以,本文的结果与投影学说完全相吻合。Ai Hong-Bin 等^[12]通过对家鸽和小鼠的宽频带心电图和心电图向量环的比较研究证明,家鸽心室的除极化波是由心外膜下心肌向心内膜下心肌扩布,而小鼠心室肌的除极化方向则与家鸽相反,所以二者心电图的主波方向、心电图向量环的位置相反。由此可以推测,蟾蜍和鲫鱼同小鼠一样,心室肌的除极化方向也是由心内膜下心肌向心外膜下心肌方向扩布。但蟾蜍和鲫鱼为低等的脊椎动物,无特殊传导系统^[13],为什么其心室肌的除极化方向也是

由心内膜下心肌到心外膜下心肌?具体的解剖学和电生理学上的证据,尚有待进一步的验证。

由 4 种动物的 QRS 额面心电图向量环的形态来看,家鸽、小鼠和蟾蜍的心电图向量环比较光滑,相应的其 II 导联 QRS 波群上的切迹或扭挫很少。而鲫鱼的心电图,当扫描速度调至 701 mm/ms 时,却出现了常规心电图机所未能记录到的现象:其 II 导联 R 波降支上常常出现较多的切迹或扭挫,且切迹或扭挫数目存在较大的个体差异;同样,其 QRS 向量环的形状既不规则又不光滑,个体间也存在很大不同。宋广纯等^[14]认为,心电图 QRS 波群出现小的挫折,与 QRS 向量环的形状有着很大的关系。一般来说,如果心电图向量环出现扭曲(如呈现“8”字形)或局部畸形(如 QRS 环产生缺口),可以使心电图的 QRS 波产生一些切迹和扭挫。事实上,所观察到的鲫鱼的 QRS 向量环,尽管都位于 $0^\circ \sim 90^\circ$ 象限内,但却呈现出了多种不同的形状,有的呈现出了三角形(图 2:4),有的呈现出了“8”字形(图 2:5),还有的呈现出半圆形,这与所记录的 II 导联 QRS 波群上出现较多切迹或扭挫的结果是相吻合的。鲫鱼之所以会出现形状不规则的心电图向量环,我们认为,可能与鲫鱼心脏的位置有关,与其它脊椎动物有所不同,由于鲫鱼的心脏位于围心腔内,其位置不易固定,使得心脏与记录电极的位置不能保持相对稳定而导致的。

3.3 4 种脊椎动物 WFB-ECG II 导联 QRS 波群时域值的比较 4 种动物中,以蟾蜍 QRS 波群的持续时间最长,达 (79.0 ± 11.0) ms。这表明兴奋在蟾蜍心室内的传导(包括心室肌细胞的除极化)速度最慢,仅为小鼠的 11%,这可能与蟾蜍无特殊传导系统、代谢率低(两栖类的代谢率仅为哺乳类的 10%^[15])、心率慢有直接的关系。动物 QRS 波群峰峰值的大小和 QRS 心电图向量环的大小是相对应的,蟾蜍 QRS 波群的峰峰值在 4 种动物中是最低的,仅为小鼠和家鸽的 1/3。这和蟾蜍 QRS 向量环在 4 种动物中最小,而小鼠的最大是相对应的。但鲫鱼同蟾蜍一样也属于变温动物,在进化上比蟾蜍还低等,代谢率同样很低,心率也很慢,为什么其 QRS 波群的时程 (28.3 ± 5.7) ms 却比蟾蜍短得多?这些问题还有待继续研究。

参 考 文 献

- [1] 黄伟秋,于志铭.常用实验动物心电图特征的分析.见:中国生理学会主编.中国生理学会第二届比较生理学会会议论文摘要汇编.生理通讯,1991(增刊号 1):52.
- [2] 章开训,葛根贤.不同种动物心电图波形的比较.浙江农业大学学报,1991,17(2):127~134.

- [3] Sturkie P D. Avian Physiology. New York: Springer-Verlag Press, 1986, 167 ~ 190.
- [4] Szabuniewicz M. The electrocardiogram of the chicken. *Southwestern Vet*, 1967, 20 (4): 635 ~ 640.
- [5] 蓝书成, 张桂琴. 鸟类心电图的描记. 吉林师范大学学报 (自然科学版), 1990 (2): 42 ~ 50.
- [6] 艾洪滨, 张学英, 祝建平等. 正常家鸽的宽频带心电图时域值和功率谱. 生理学报, 2003, 55(5): 607 ~ 611.
- [7] 解景田, 谢申玲主编. 生理学实验. 北京: 高等教育出版社, 1987, 103 ~ 104.
- [8] 张国胜. 深鰕虎鱼心电图的研究. 大连水产学院学报, 1993, 8(2,3): 66 ~ 70.
- [9] 章开训, 金小军, 杨学伟等. 黄鳝心电图的研究. 四川农业大学学报, 1994, 12(1): 143 ~ 148.
- [10] 虞芬, 王新荣, 童学红等. 逆向激活鲫鱼 Mauthner 细胞对心电图影响的模型建立. 首都医科大学学报, 1998, 19 (3): 266 ~ 267.
- [11] 黄宛主编. 临床心电图学 (第 5 版). 北京: 人民卫生出版社, 1998, 553 ~ 562.
- [12] Ai Hong-Bin, Zhang Xue-Ying, Zhu Jian-Ping. Comparative studies on the wide frequency band electrocardiogram and vectorcardiogram in pigeon and mouse. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 2004 (137): 577 ~ 583.
- [13] 陈守良主编. 动物生理学 (第二版). 北京: 北京大学出版, 1996, 127.
- [14] 宋广纯主编. 临床实用心电向量图学. 北京: 中国科学技术出版社, 1993, 10.
- [15] 李永材, 黄溢明主编. 比较生理学. 北京: 高等教育出版社, 1984, 77.