體長에 따른 향어, *Cyprinus carpio*의 心電圖

金榮起 · 梁龍林 · 安永一*

釜慶大學校, *江原道立大學

(2002년 10월 17일 접수)

Response of Electrocardiogram to Mirror carp, *Cyprinus carpio* of Body Length

Young-Ki KIM, Yong-Rhim YANG and Young-Il AN*

Pukyong National University, *Kangwon Provincial University

(Received October 17, 2002)

Abstract

The authors examined the response of electrocardiogram (ECG) to Mirror carp, *Cyprinus carpio* of body length. The experiments were performed of three classes (10~15, 15~20 and 20~25*cm*) were given to fishes with an electrode inserted into their bodies and then their ECGs were recorded continuously for 30 minutes in 16~18℃.

The results which are divided into by day and by night and then analyzed by fishes' conditions are as follows;

1 In case of body length 10~15 *cm*, the average heart rate 43.4 *beat/min* by day and 45.9 *beat/min* by night, the average action potential 4.38 *μV* by day and 3.64 *μV* by night, in narcotism condition(0~9 *min*). the average heart rate 69.4 *beat/min* by day and 67.4 *beat/min* by night, the average action potential 3.82 *μV* by day and 3.50 *μV* by night, in stable condition(9~30 *min*).

2. In case of body length 15~20 *cm*, the average heart rate 42.2 *beat/min* by day and 45.4 *beat/min* by night, the average action potential 4.13 *μV* by day and 3.95 *μV* by night, in narcotism condition(0~5 *min*). the average heart rate 67.6 *beat/min* by day and 65.3 *beat/min* by night, the average action potential 4.58*μV* by day and 4.61 *μV* by night, in stable condition (5~30 *min*).

3. In case of body length 20~25 *cm*, the average heart rate 47.5 *beat/min* by day and 47.5 *beat/min* by night, the average action potential 4.81 *μV* by day and 4.20 *μV* by night, in narcotism condition(0~4 *min*). the average heart rate 67.5 *beat/min* by day and 64.8 *beat/min* by night, the average action potential 5.31 *μV* by day and 4.90 *μV* by night, in stable condition (4~30 *min*).

緖 論

인간의 심전도(心電圖 Electrocardiogram, ECG)에 대한 연구는 1903년에 Einthoven이 체표면에서 현선전류계(弦線電流計)를 이용하여 심장의 전기적 활동을 기록한 것이 효시가 되어 의학분야에서 활발히 연구되어지고 있다.

어류의 심전도에 대한 연구는 Oets(1950)가 뱀

장어, *Anguilla vulgaris*의 어체표면에 전극을 부착하여 심전도를 기록한 것을 시작으로, Otis *et al.*(1957)가 금붕어, *Carassius auratus*의 어체내에 전극을 삽입하여 심전도를 조사한 후부터, 여러 자극에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

물리적 자극에 의한 어류의 심전도 연구로는 광자극(光 刺戟)에 대한 향어의 심전도(梁・金, 2001)와 광 자극에 대한 역돔의 심전도(金・梁, 2002) 등이 보고한 바 있고, 어류의 심박수(心博數)에 관한 연구는 저산소 상태에서의 심박수(Nanba *et al*, 1987), 마취제에 의한 심박수(山光・板澤, 1988b), 산소량에 따른 심박수(Lucas *et al.*, 1991), 수온에 따른 심박수(Matikainen and Vornanen, 1992) 등이 보고된 바 있다.

어류의 심장은 체강(體腔)의 전방에 있는 위심강(圍心腔) 가운데 위치하고, 정맥혈(靜脈血), 심이(心耳), 심실(心室) 및 동맥원추(動脈圓錐)의 4개 부분으로 되어 있고, 심장벽(心臟壁)은 부분적으로 서로 다른 근육이 발달하였고, 판(瓣)은 관(管)내 주변에 일렬 또는 수열로 되어 혈액의 역류를 방지하는 것으로 되어 있다(川本, 1975).

심전도 파형은 심장의 전기적 활동에 의해서 도출되는 것을 말하는데, 심장의 전기적 활동은 심장세포에 있어서 외측은 전기적으로 양전하를 내측은 음전하를 띠고 있는데, 이때 심장의 정지 상태는 세포막 외측의 양전하와 내측의 음전하가 균형을 이루고 있는 상태(전기적 분극 상태)를 말하며, 심장은 활동을 속개하기 위해서는 많은 혈액량(좌우 관상동맥으로 보충되는 혈액)을 필요로 하고, 이 혈액 중에 포함되어 있는 Ka^{+}, Na^{+}, Ca^{+} 이온이 심근 세포내로 유입 및 유출되는 것으로부터 세포내외의 이온의 평형이 유지되고 깨지면서 나타나는 전기적 현상을 말한다.

어류의 생리생태는 외부 자극인 광, 음, 전기 등과 환경요인인 조도, 수온, 염분, 먹이, 일사량, 조석 등에 따라 달라질 수 있고, 하루 24 시간 주기로 하는 일주기적 어류의 행동은 주간과 야간에 차이가 나며, 체장에 따라서도 차이가 난다고 알려져 있다.

본 연구는 향어의 체장에 따른 심전도를 구명하기 위하여, 어체내에 전극을 삽입하여 주간과 야간을 구분하여 심전도를 도출하였는데, 이들 심전도를 분석하여, 체장에 따른 심박수와 생체전위(生體電位)가 상태별로 어떠한 변화를 보이는지를 밝히고자 한다.

재료 및 방법

실험어는 부경대학교 양식장에서 서식하고 있는 체장 범위가 10~25*cm*인 향어, *Cyprinus carpio* [Linnaeus]를 100미 이상 선별 채집하여, 수온이 16~18℃인 2개의 사육수조(170×35×45*cm*)에 분산시켜 15일 이상 적응시킨 다음 실험에 사용하였다. 실험에는 3가지 체장 범위인 10~15*cm*, 15~20*cm*, 20~25*cm*로 구분하여 사용하였으며, 한번 실험한 실험어는 다시 사용하지 않았고, 수조내의 수질관리는 순환여과식 장치에 냉온각기(SY200A)와 에어펌프(AP-60L)를 장착하여 수질관리 하였고, 실험수조의 수온조절과 어체내 전극 삽입 방법은 金・梁(2002)에서 사용한 방법과 동일하다.

실험은 5분간 마취시킨 실험어에 전극을 삽입하여, 실험수조내의 Fish-holder에 안착시킨 다음, 향어의 전형적인 심전도 파형(Fig. 1)이 나타나면, 안착 후부터 30분간 연속적으로 심전도를 측정하는데, 이와 같은 측정은 주간과 야간으로 구분하여 3회 이상 반복 조사하였고, 실험의 모식도는 Fig. 2와 같고, 심전도의 측정 및 분석 방법은 金・梁(2002)에서 사용한 방법과 동일하다.

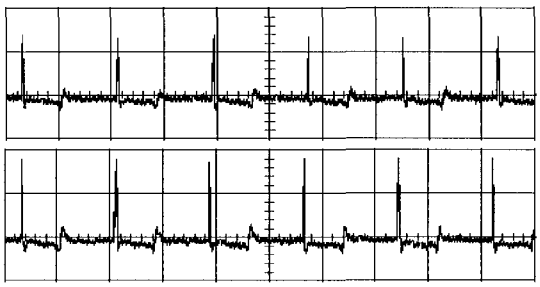

Fig. 1. The standard of the Mirror carp's ECG.

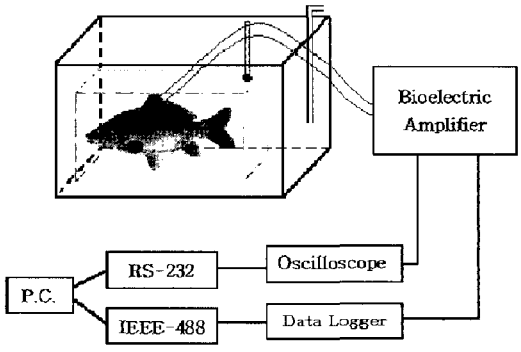

Fig. 2. The flow-chart to measure ECG.

결 과

1. 체장이 10~15 *cm*인 경우

체장이 10~15*cm*인 경우 향어의 심전도를 주간과 야간으로 구분 조사한 30분간의 심박수와 생체전위의 변화는 Fig. 3과 같다.

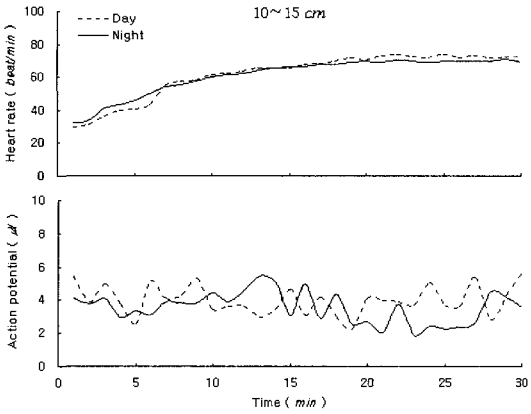

Fig. 3. Variation of the ECG which follows the time.

Fig. 3에서 심박수는 조사시간인 30분간에 걸쳐 시간이 경과함에 따라 서서히 증가하는 경향을 보였고, 생체전위는 계속 증감을 반복하는 경향을 보였는데 시간이 경과함에 따라 증감폭의 차이를 보였다.

마취상태는 0~9분 동안 지속되었는데, 이때 평균심박수는 주간에 43.4 *beat/min*, 야간에 45.9 *beat/min*로 야간에 다소 높았고, 심박수의 변화폭은 주간에 28.7 *beat/min*(29.8~58.4 *beat/min*), 야간에 25.3 *beat/min*(32.1~57.4 *beat/min*)로 주간에 다소 컸다. 그리고 평균생체전위는 주간에 4.38 μV, 야간에 3.64 μV로 주간에 다소 높았고, 생체전위의 변화폭은 주간에 2.91 μV(2.55~5.46 μV), 야간에 1.10 μV (2.97~4.08 μV)로 주 · 야간의 차이는 작았다.

안정상태는 9~30분 동안 지속되었는데, 이때 평균심박수는 주간에 69.4 *beat/min*, 야간에 67.4 *beat/min*로 주간에 다소 높았고, 심박수의 변화폭은 주간에 12.5 *beat/min*(61.2~73.7 *beat/min*), 야간에 10.5 *beat/min*(60.2~70.7 *beat/min*)로 주간에 다소 컸다. 그리고 평균생체전위는 주간에 3.82 μV, 야간에 3.50 μV로 주간에 다소 높았고, 생체전위의 변화폭은 주간에 3.41 μV(2.24~5.66 μV), 야간에 3.54 μV(1.91~5.44 μV)로 주 · 야간의 차이는 작았다.

2. 체장이 15~20 *cm*인 경우

체장이 15~20 *cm*인 경우 향어의 심전도를 주간과 야간으로 구분 조사한 30분간의 심박수와 생체전위의 변화는 Fig. 4와 같다.

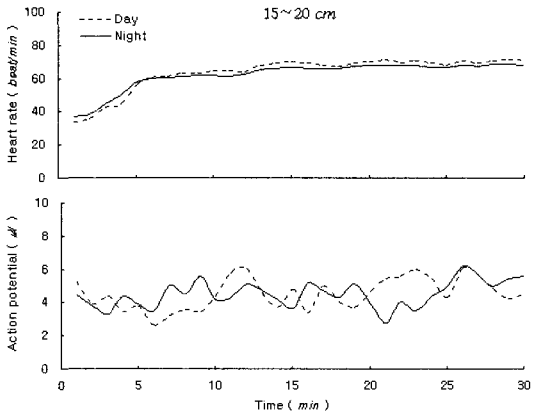

Fig. 4. Variation of the ECG which follows the time.

Fig. 4에서 심박수는 조사시간인 30분간에 걸쳐 시간이 경과함에 따라 서서히 증가하다가 일정해지는 경향을 보였고, 생체전위는 계속 증감을 반복하는 경향을 보였는데 시간이 경과함에 따라 증감폭의 차이를 보였다.

마취상태는 0~5분 동안 지속되었는데, 이때 평균심박수는 주간에 42.2 *beat/min*, 야간에 45.4 *beat/min*로 야간에 다소 높았고, 심박수의 변화폭은 주간에 22.1 *beat/min*(33.4~55.5 *beat/min*), 야간에 20.6 *beat/min*(37.0~57.5 *beat/min*)로 주간에 다소 컸다. 그리고 평균생체전위는 주간에 4.13 μV, 야간에 3.95 μV로 주간에 다소 높았고, 생체전위의 변화폭은 주간에 1.80 μV (3.43~5.23 μV), 야간에 1.14 μV (3.29~4.43 μV)로 주 · 야간의 차이는 작았다.

안정상태는 5~30분 동안 지속되었는데, 이때 평균심박수는 주간에 67.6 *beat/min*, 야간에 65.3 *beat/min*로 주간에 다소 높았고, 심박수의 변화폭은 주간에 10.8 *beat/min* (60.4~71.2 *beat/min*), 야간에 8.8 *beat/min*(60.0~68.8 *beat/min*)로 주간

에 다소 컸다. 그리고 평균생체전위는 주간에 4.58 μV, 야간에 4.61 μV로 주·야간의 차이는 작았고, 생체전위의 변화폭은 주간에 3.45 μV (2.61~6.07 μV), 야간에 3.42 μV (2.73~6.15 μV)로 주·야간의 차이는 작았다.

3. 체장이 20~25 *cm*인 경우

체장이 20~25 *cm*인 경우 향어의 심전도를 주간과 야간으로 구분 조사한 30분간의 심박수와 생체전위의 변화는 Fig. 5와 같다.

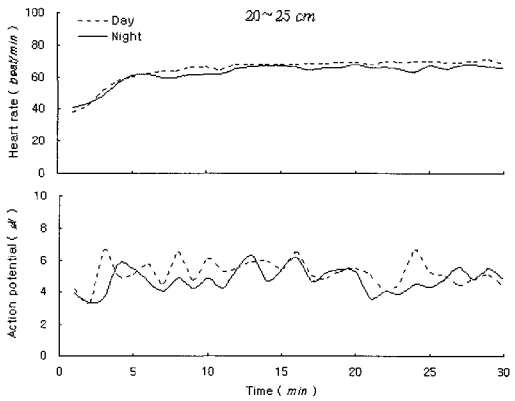

Fig. 5. Variation of the ECG which follows the time.

Fig. 5에서 心博數는 조사시간인 30분간에 걸쳐 시간이 경과함에 따라 서서히 증가하다가 일정해지는 경향을 보였고, 生體電位는 계속 증감을 반복하는 경향을 보였는데 시간이 경과함에 따라 증감폭의 차이를 보였다.

마취상태는 0~4분 동안 지속되었는데, 이때 평균심박수는 주간에 47.5 *beat/min*, 야간에 47.5 *beat/min*로 주·야간의 차이는 없었고, 심박수의 변화폭은 주간에 18.9 *beat/min* (38.5~57.4 *beat/min*), 야간에 14.9 *beat/min* (41.3~56.2 *beat/min*)로 주간에 컸다. 그리고 평균생체전위는 주간에 4.81 μV, 야간에 4.20 μV로 주간에 다소 높았고, 생체전위의 변화폭은 주간에 3.24 μV (3.38~6.62 μV), 야간에 2.35 μV (3.39~5.74 μV)로 주·야간의 차이는 작았다.

안정상태는 4~30분 동안 지속되었는데, 이때 평균심박수는 주간에 67.5 *beat/min*, 야간에 64.8 *beat/min*로 주간에 높았고, 심박수의 변화폭은 주간에 10.4 *beat/min* (60.5~70.9 *beat/min*), 야간에 7.1 *beat/min* (60.8~67.8 *beat/min*)로 주간에 컸다. 그리고 평균생체전위는 주간에 5.31 μV, 야간에 4.90 μV로 주간에 다소 높았고, 생체전위의 변화폭은 주간에 2.58 μV (4.06~6.64 μV), 야간에 2.65 μV (3.64~6.29 μV)로 주·야간의 차이는 작았다.

고 찰

본 연구의 체장에 따른 향어, *Cyprinus carpio*의 심전도를 보면, 마취상태를 유지하는 시간은 체장이 10~15 *cm*인 경우 9분간, 체장이 15~20 *cm*인 경우 5분간, 체장이 20~25 *cm*인 경우 4분간으로 체장이 길어짐에 따라 마취상태를 유지하는 시간은 짧았다. 그리고 마취상태를 유지하는 시간에 관한 연구로, 梁·金(2001)은 향어의 체장이 10~20 *cm*인 경우 5분간이라고 하였고, 金·梁(2002)은 역돔, *Oreochromis niloticus*의 체장이 14~20 *cm*인 경우 3분간이라고 하였다. 따라서 마취상태를 유지하는 시간은 어류의 체장과 어종에 따라 각각 다르게 나타나므로, 물리적인 자극에 대한 심전도 연구를 할 때는 반드시 마취상태를 유지하는 시간을 고려하여 적어도 그 시간 이후에 물리적인 자극을 가해야 된다고 생각한다.

그리고 안정상태에서 체장에 따른 심전도를 보면, 체장이 길수록 평균심박수는 낮게 나타났지만, 평균생체전위는 높게 나타났으며, 안정상태에서 평균심박수는 마취상태보다 20 *beat/min* 정도나 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

어류의 크기와 산소 소비량에 관한 연구로 김(1999)은 틸라피아(역돔)의 산소 소비량은 단위체중이 증가할수록 산소 소비량은 감소하고, 수온이 5℃ 증가함에 따라 산소 소비량은 1.2~2.3배까지 증가하고, 어체 크기가 작고 수온이 높을수록 움직임이 활발하고, 돌발적인 행동을 보였고, 이때 산소 소비량의 변동폭은 최대 250 *mg* O_2*/kg fish/hr*까지 차이가 났다고 하였는데, 본 연구의 실험어인 향어의 경우에도 체장이 작을수록 움직임이 활발하였으며, 특히 안정상태에서 체장이 작을수록 심박수가 높게 나타남을 뚜렷이 알 수 있었고, 1~3회 정도 요동을 치는 경우도 보였는데, 이때 생체전위가 급격히 증가하였다.

요 약

향어, *Cyprinus carpio* [Linnaeus]의 체장에 따른 심전도를 구명하기 위하여, 어체내에 전극을 삽입하여 3가지 체장 범위 (10~15, 15~20, 20~25㎝)에서의 심전도를 주간과 야간으로 구분하여, 16~18℃ 수온에서 30분간 조사한 심박수와 생체전위를 마취상태와 안정상태로 구분비교 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 체장이 10~15㎝인 경우, 마비상태(0~9분)에서의 평균심박수는 주간에 43.4 *beat/min*, 야간에 45.9 *beat/min*였고, 평균생체전위는 주간에 4.38 ㎶, 야간에 3.64 ㎶로 나타났으며, 안정상태(9~30분)에서의 평균심박수는 주간에 69.4 *beat/min*, 야간에 67.4 *beat/min*였고, 평균생체전위는 주간에 3.82 ㎶, 야간에 3.50 ㎶로 나타났다.
2. 체장이 15~20㎝인 경우, 마비상태(0~5분)에서의 평균심박수는 주간에 42.2 *beat/min*, 야간에 45.4 *beat/min*였고, 평균생체전위는 주간에 4.13 ㎶, 야간에 3.95 ㎶로 나타났으며, 안정상태(5~30분)에서의 평균심박수는 주간에 67.6 *beat/min*, 야간에 65.3 *beat/min*였고, 평균생체전위는 주간에 4.58 ㎶, 야간에 4.61 ㎶로 나타났다.
3. 체장이 20~25㎝인 경우, 마비상태(0~4분)에서의 평균심박수는 주간에 47.5 *beat/min*, 야간에 47.5 *beat/min*였고, 평균생체전위는 주간에 4.81 ㎶, 야간에 4.20 ㎶로 나타났으며, 안정상태(4~30분)에서의 평균심박수는 주간에 67.5 *beat/min*, 야간에 64.8 *beat/min*였고, 평균생체전위는 주간에 5.31 ㎶, 야간에 4.90 ㎶로 나타났다.

참고문헌

1) Lucas, M. C., Priede, I. G., Armstrong, J. D., Gindy, A. N. Z. and De Vera, L.(1991) : Direct measurements of metabolism, activity and feeding behaviour of pike, Esox lucius L., in the wild, by the use of heart rate telemetry, Journal of Fish biology 39, 325~345.
2) Matikainen, N. and Vornanen, M. (1992) : Effect of season and temperature acclimation on the function of crucian carp heart, J. exp. Biol. 167, 203~220.
3) Nanba, K., Yamamitsu, S. and Murachi, S.(1987) : Effect of acute hypoxia on ECG and blood pressure in bulbus arteriosus of rainbowtrout, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 53, 1343~1350.
4) Oets, J. (1950) : Electrocardiograms of fishes, Physiologia comp. Oecol 2, 181~186.
5) Otis, L. S., Cerft, J. A. and Thomas, G. J. (1957) : Conditioned inhibition of respiration and heart rate in the goldfish. Science 126, 263~264.
6) 金榮起・梁龍林 (2002) : 光 刺戟에 대한 역돔의 心電圖, 韓國漁業技術學會誌 38, 217~225.
7) 김유희(1999) : 순환여과식 틸라피아 양식장에서의 산소 소비와 대기중 산소의 공급, 부경대학교 수산학박사 학위논문, 34~39.
8) 山光俊一・板澤靖男(1988b) : コイの心拍數, 心電圖および呼吸機能に對する麻醉劑2－フエノキシエタノールの影響, 日水誌 54, 1737~1746.
9) 梁龍林・金榮起(2001) : 光 刺戟에 대한 향어의 心電圖, 韓國漁業技術學會誌 37, 124~132.
10) 川本信之(1975) : 魚類生理生態學, 恒星社厚生閣版, 65~76.