

光刺戟에 대한 향어의 心電圖

梁龍林·金榮起

釜慶大學校

(2001년 4월 13일 접수)

Response of Electrocardiogram of Mirror Carp, *Cyprinus carpio* to Light Stimuli

Yong-Rhim YANG and Young-Ki KIM

Pukyong National University

(Received April 13, 2001)

Abstract

The authors examined the response of electrocardiogram(ECG) of Mirror carp, *Cyprinus carpio* [Linnaeus] to light stimuli. The experiments were performed in such a way that three levels of light stimuli (10, 100, and 400 lux) were given to fishes with an electrode inserted into their bodies and then their ECGs were recorded continuously for 60 minutes.

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

1. Mirror carps reached a stable condition 5 minutes after anesthesia. In this condition, the average heart rate was 64.9 *beat/min* by day and 65.3 *beat/min* by night. And the average action potential was 36.9 *nV* by day and 32.9 *nV* by night.
2. The average heart rate by three levels of light stimuli was,
 - ① In a stimulus condition, in case of 10 lux 68.7 *beat/min* by day and 46.0 *beat/min* by night, in case of 100 lux 53.4 *beat/min* by day and 44.1 *beat/min* by night, and in case of 400 lux 53.2 *beat/min* by day and 40.1 *beat/min* by night.
 - ② In a recovery condition, in case of 10 lux 67.9 *beat/min* by day and 57.2 *beat/min* by night, in case of 100 lux 68.8 *beat/min* by day and 61.0 *beat/min* by night, and in case of 400 lux 69.6 *beat/min* by day and 63.6 *beat/min* by night.
3. The average action potential by three levels of light stimuli was,
 - ① In a stimulus condition, in case of 10 lux 59.1 *nV* by day and 24.0 *nV* by night, in case of 100 lux 26.8 *nV* by day and 45.6 *nV* by night, and in case of 400 lux 71.7 *nV* by day and 14.4 *nV* by night.
 - ② In a recovery condition, in case of 10 lux 38.8 *nV* by day and 27.3 *nV* by night, in case of 100 lux 29.0 *nV* by day and 39.3 *nV* by night, and in case of 400 lux 66.1 *nV* by day and 21.4 *nV* by night.

緒 論

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

어류의 心電圖에 대한 연구는 Oets (1950)가 뱀장어 (*Anguilla vulgaris*)의 어체표면에 전극을 부착하여 心電圖를 기록한 것을 시작으로, Otis *et al* (1957)가 금붕어 (*Carassius auratus*)의 어체내에 전극을 삽입하여 心電圖를 조사한 후부터, 여러 刺戟에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

물리적 刺戟에 의한 어류의 心電圖 연구로는 레이저 광선 시인역치(川村 等, 1991), 콘트라스트 역치(Hester, 1968 : Anthony, 1981), 자외선 감도 특성(Hawryshyn and Beauchamp, 1985), 편광능력(Kawamura *et al*, 1981), 편광감도(Hawryshyn and Mcfarland, 1987), 전기감수성(山森, 1992), 청각역치(Buerkle, 1967 : Schellart and Buwalda, 1990 : Karlsen, 1992a, 1992b), 어종에 따른 어체표면의 측정부위별 心電圖(難波, 1996) 등이 보고된 바 있다.

한편, 어류의 心博數에 관한 연구는 저산소에서 心博數(Satchell, 1960 : Shelton and Randall, 1962 : Holetion and Randall, 1967 : Marvin and Burton, 1973 : Weintraub, 1975 : Wood and Shelton, 1980 : Nanba *et al*, 1987), 마취제에 의한 心博數(Randall, 1962 : 山光 · 板澤, 1988b), 산소량에 따른 心博數(Priede and Young, 1977 : Lucas *et al.*, 1991), 수온에 따른 心博數(Nomura and Ibaraki, 1969 : Heath and Hughes, 1973 : Iriki *et al.*, 1976 : 山光 · 板澤, 1988a : Vera and Priede, 1991 : Matikainen and Vornanen, 1992), 유영운동시의 心博數(Stevens and Randall, 1967 : 野村 等, 1972 : Hanyu *et al.*, 1979 : 安 · 有元, 1994), 光과 音 刺戟을 장시간 받은 무지개송어 (*Oncorhynchus mykiss*)의 心博數(小島 · 添田, 1997) 등이 보고된 바 있다.

이들 心電圖 연구는 어류의 일시적인 心電圖를 조사 보고한 것으로, 어체내에서 측정된 心電圖를

痲醉狀態, 安定狀態, 刺戟狀態, 回復狀態로 구분하여 연속적으로 도출한 연구는 찾아보기 어려운 실정이다.

본 연구에서는 향어의 체내에 전극을 삽입하여, 光 刺戟에 따른 心電圖를 晝間과 夜間으로 구분하여, 연속적으로 조사 분석하여, 光 刺戟이 어류에 미치는 영향을 구명하고, 光을 이용한 어업에서의 집어와 위협에 필요한 적정 光 刺戟을 추정하고, 光을 이용한 어류의 행동제어기술에 응용할 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

材料 및 方法

1. 材料 (試魚)

실험어는 부경대학교 양식장에서 서식하고 있는 체장이 10~20 cm인 향어, *Cyprinus carpio* [Linnaeus]를 100 미 이상 선별 채집하여, 2 개의 사육수조 (170×35×45 cm)에 분산하여, 15 일 이상 적응시킨 다음 실험에 사용하였으며, 수조내의 수질 관리는 순환여과식 장치에 냉온각기 (SY200A)와 에어펌프 (AP-60L)를 장착하여 수질관리하였는데, 실험수온 범위는 16~18°C로 유지하였다.

1) 전극삽입

전극삽입은 실험어를 1 : 3000로 희석한 마취액 (MS-222) 속에서 5 분간 마취시킨 후, 전극 (한 방용 침 : $\phi 0.25\text{ mm}$, $l=3\text{ cm}$)에 리드선 ($\phi=0.75$, $l=1\text{ m}$)이 연결된 전극을 심장 기전력의 영향을 잘 받는 위심강의 우측에 ⊕전극, 좌측에 ⊖전극을 가능한 한 같은 위치에 각각 삽입하여 전형적인 心電圖 파형이 나오게 하였다.

2) 실험수조

실험수조는 두께 0.5 cm인 투명아크릴 수조 (36 L×30 W×22 H cm)와 그 내부에 실험어를 안착시킬 수 있는 조립식 Fish-holder (25 L×20 W×13 H cm)를 설치하여, 실험어의 크기에 따라 길이와 폭을 조절할 수 있도록 하였다. 실험수조의 앞쪽에는 光 刺戟源을 설치하고, 옆쪽에는 어류에 장착하는 전극의 리드선이 측정기기와 연결되어

있다. 실험실은 두께 0.1 cm인 합석판으로 외부 전자파를 차단하고 암막처리하였다.

3) 光 刺 戟 源

光 刺 戟 源은 전구 (1.98 W, 18 V) 10 개를 알루미늄 판에 부착한 것으로, 刺 戟은 실험어의 시각에서부터 5~40 cm 범위까지 이동이 가능하도록 하였다. 점등 전구의 개수와 刺 戟源의 거리를 조절하여, 소형수중조도계 (Minolta, T-1)를 이용하여, 실험어의 시각이 있는 지점에서 10, 100, 400 lux인 3가지 刺 戟源을 설정하였다. 光源의 전압은 A.C.자동전압조정기 (태일자동제어공업, SX100)와 D.C.자동전압조정기 (King-Skill, XCP-84)를 사용하여 전압을 안정시켜 刺 戟源을 일정하게 유지하였다.

2. 實 驗 方 法

실험은 실험어를 실험수조에서 30분간 암순응시킨 후, 마취시켜 전극을 삽입하고, Fish-holder에 안착시킨다(Fig. 1). 光 刺 戟은 어류를 안착시키고 30분이 경과한 후, 실험어의 앞 방향에 光 刺 戟을 5분간 가하고, 실험어의 心 電圖는 안착 후부터 60분간 연속적으로 측정한다. 이와 같은 실험은 3 가지 光 刺 戟(10, 100, 400 lux)에 대하여 晝間과 夜間으로 구분하여 3회 이상 조사한다.

1) 心 電 圖 측 정

心 電 圖의 측정은 실험어에 삽입된 전극에서 나오는 신호를 Bioelectric Amplifier (Nihhon Kohden, AB-601G)에서 증폭하여 Oscilloscope (LeCroy, 9310A)와 Datalog (Hewlett Packard, 34970A)에 동시에 각각 전송하는데, Oscilloscope에 전송되는 신호의 파형이 정상적인지를 판별하여 RS-232의 직렬 포트를 걸쳐 초당 85,000 byte

로, Datalog에 전송되는 신호는 IEEE-488(GP-IB) 인터페이스를 걸쳐 초당 750,000 byte로 각각 P.C.에 저장하였다. 이때, Bioelectric Amplifier는 0.3-2 sec, 30-100 Hz, 0.1-0.2-0.5-1-2 mV/DIV로, Oscilloscope는 1 sec, 0.5 V로, Datalog는 0.1 sec와 100 mV로 각각 설정하였다.

P.C.에 저장된 데이터는 소프트웨어 HP Bench-Link Data Logger와 Microsoft Excel 7.0를 사용하여 10초 간격으로 평균하여 분석 처리하였다.

2) 心 電 圖 分 석

心 電 圖의 분석은 각 실험 조건에서 연속적으로 측정된 60분간의 心 電 圖를 刺 戟 전인 癡 醉 狀 態 (0~5분)에서 安 定 狀 態 (5~30분)까지의 30분간과, 刺 戟 후인 刺 戟 狀 態 (30~35분)에서 回 復 狀 態 (35~60분)까지의 30분간으로 구분하여 心 電 圖의 心 博 數와 生 體 電 位를 비교 분석하였다.

心 博 數는 P-QRS-T파에서 R-R간격을 분당 산출하여 beat/min로 나타낸 것이며, 心 博 數의 빈도분포는 心 博 增 加 率 (A_r)과 心 博 抑 制 率 (I_r)를 식 (1), (2)에서 구하여 비교 분석하였다(安, 1993).

$$A_r = \frac{N_{\max} - N_o}{N_o} \times 100(\%) \quad (1)$$

$$I_r = \frac{N_{\min} - N_o}{N_o} \times 100(\%) \quad (2)$$

단, N_o : 刺 戟 前 平 均 心 博 數, N_{\max} : 刺 戟 中 最 大 心 博 數, N_{\min} : 刺 戟 中 最 小 心 博 數.

生 體 電 位는 실험어의 체내에서 이온의 이동 및 활동전위의 전달에 의하여 발생되는 전위를 nV로 나타낸 것이다.

結 果 및 考 察

1. 초기 상태의 心 電 圖

光 刺 戟을 가하기 전인 0~30분(30분간)의 心 電 圖를 晝間과 夜間으로 구분 조사한 향어의 心 博 數 변화는 Fig. 2 와 같고, 향어의 生 體 電 位 변화는 Fig. 3 과 같다.

Fig. 2 에서 心 博 數의 변화는, 癡 醉 狀 態인 0~5 분(5분간)은 晝 · 夜間 모두 시간이 경과함에 따라

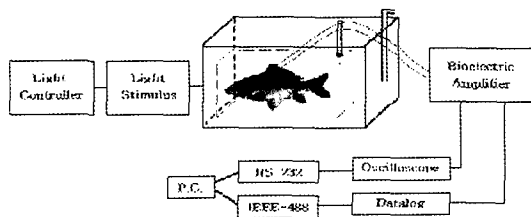


Fig. 1. The flow-chart to measure ECG.

光 刺戟에 대한 향어의 心電圖

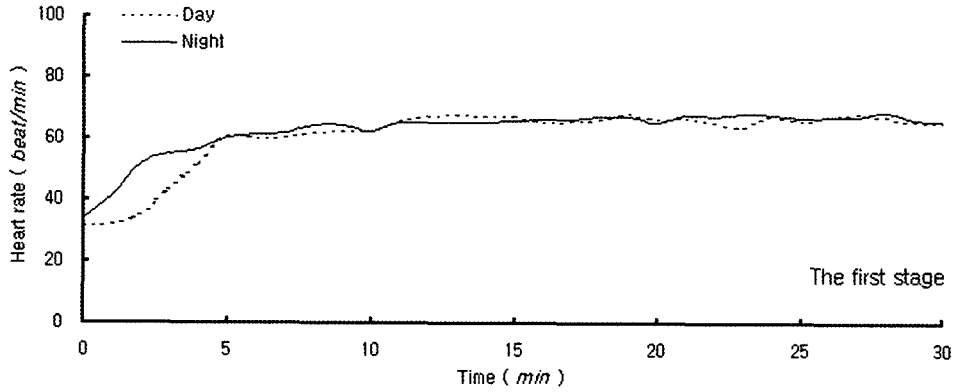


Fig. 2. The average of the Mirror Carp's heart rate

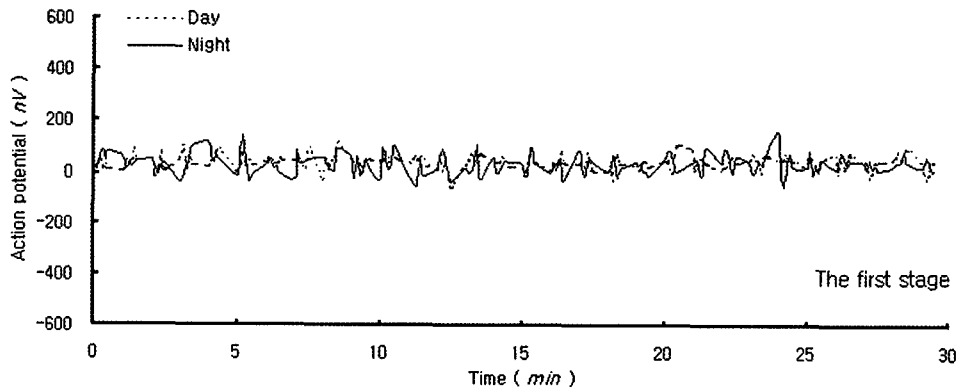


Fig. 3. The average of the Mirror Carp's action potential.

心搏數가 증가하는 경향을 보였고, 安定狀態인 5~30분(25분간)은 晝·夜間 모두 心搏數가 비교적 일정하게 유지하는 경향을 보였다.

癡醉狀態(5분간)에서 平均心搏數는 晝間에 38.4 *beat/min* (30.0~54.8 *beat/min*), 夜間에는 47.2 *beat/min* (32.0~58.0 *beat/min*)로, 晝間보다 夜間에 높았으나, 安定狀態(25분간)의 平均心搏數는 晝間에 64.9 *beat/min* (58.4~69.5 *beat/min*), 夜間에는 65.3 *beat/min* (58.8~72.0 *beat/min*)로, 晝·夜間의 차이는 거의 없었다.

Fig. 3에서 生體電位의 변화는 癡醉狀態인 0~5분(5분간)은 晝·夜間 모두 변화폭이 적었으며, 安定狀態인 5~30분(25분간)은 晝·夜間 모두 변화폭이 다소 차이가 있었지만, 비교적 일정하게 유지하는 경향을 보였다.

癡醉狀態(5분간)에서 平均生體電位는 晝間에

46.6 *nV* (-20.6~100.5 *nV*), 夜間에는 43.1 *nV* (-40.1~121.5 *nV*)로, 安定狀態(25분간)의 平均生體電位는 晝間에 36.9 *nV* (-58.7~114.9 *nV*), 夜間에는 32.9 *nV* (-56.3~161.0 *nV*)로, 夜間보다 晝間에 변화폭의 차가 비슷하였다.

2. 光 刺戟에 따른 心搏數

3가지 光 刺戟을 5분간 가한 후인 30~60분(30분간)의 心電圖를 晝間과 夜間으로 구분 조사한 향어의 心搏數의 변화는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 心搏數는 夜間보다 晝間에 높았고, 刺戟狀態인 30~35분(5분간)은 晝·夜間에 心搏數가 큰 차이를 보였고, 回復狀態인 35~60분(25분간)은 시간이 경과함에 따라 晝·夜間의 心搏數 차이가 점점 줄어드는 경향을 보였다.

刺戟狀態(5분간)에서의 刺戟別 平均心搏數는 10

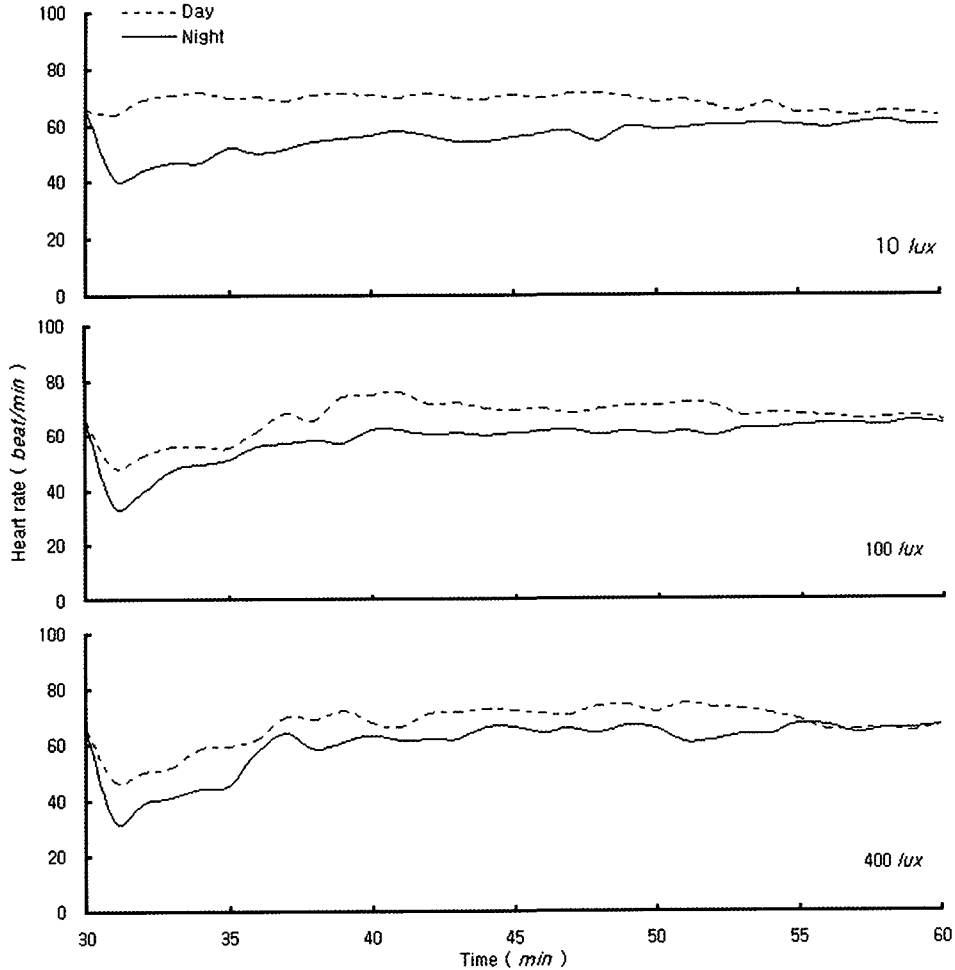


Fig. 4. The average of the Mirror Carp's heart rate for 5 minutes.

lux인 경우 晝間에 68.7 *beat/min* (62.8~72.2 *beat/min*), 夜間에 46.0 *beat/min* (40.0~54.0 *beat/min*)였고, 100 lux인 경우 晝間에 53.4 *beat/min* (46.0~58.0 *beat/min*), 夜間에는 44.1 *beat/min* (33.0~52.0 *beat/min*)였으며, 400 lux인 경우 晝間에 53.2 *beat/min* (44.0~62.0 *beat/min*), 夜間에는 40.1 *beat/min* (30.0~53.0 *beat/min*)로 夜間보다 晝間에 각각 더 높았다. 한편, 心博增加率과 心博抑制率은 10 lux인 경우 晝間에 11.2 %와 -3.2 %, 夜間에 -17.3 %와 -38.7 %로, 100 lux인 경우 晝間에 -10.6 %와 -29.1 %, 夜間에 -20.4 %와 -49.5 %로, 400 lux인 경우 晝間에 -4.5 %와 -32.2 %, 夜間에 -18.8 %와 -

54.1 %로 나타났다.

回復狀態(25분간)에서의 刺戟別 平均心博數는 10 lux인 경우 晝間에 67.9 *beat/min* (62.0~71.9 *beat/min*), 夜間에 57.2 *beat/min* (46.5~65.0 *beat/min*)였고, 100 lux인 경우 晝間에 68.8 *beat/min* (60.0~76.0 *beat/min*), 夜間에 61.0 *beat/min* (55.0~65.6 *beat/min*)였으며, 400 lux인 경우 晝間에 69.6 *beat/min* (59.0~77.4 *beat/min*), 夜間에 63.6 *beat/min* (52.0~69.0 *beat/min*)로 夜間보다 晝間에 각각 더 높았다.

한편, 3가지 刺戟에 대한 心博數의 빈도분포인 心博增加率은 晝間이 夜間보다 컸으며, 心博抑制率은 夜間이 晝間보다 더 컸다.

刺戟狀態(5분간)에서의 心博數는 晝間에 10 lux의 경우를 제외하고는 晝·夜間 모두 安定狀態의 心博數 (65.1 beat/min)보다 낮았다. 回復狀態에서의 心博數는 晝間에는 安定狀態의 心博數 (64.9 beat/min)보다 다소 높았고, 夜間에는 安定狀態의 心博數 (65.3 beat/min)보다 낮았고, 刺戟別로는 刺戟이 강할수록 다소 높았고, 晝間보다 夜間에 다소 낮았는데 시간이 경과함에 따라 安定狀態의 心博數에 가까워지는 경향을 보였다.

어류의 정상시의 心博數는 川本(1975)에 의하면, 두툽상어 (*Scyliorhinus torazame*)는 16~65 beat/min, 흥어 (*Raja kenজেই*)는 16~50 beat/

min, 뱀장어 (*Anguilla japonica*)는 20~80 beat/min, 대구 (*Gadus macrocephalus*)는 30~40 beat/min, 붕어 (*Carassius carassius*)는 36~40 beat/min라고 보고되고 있다. 일반적으로 운동이 둔한 어류는 心博數가 낮았고, 활발한 어류는 心博數가 높았으므로, 평상시 心博數가 65.1 beat/min인 향어는 다른 어종에 비해 운동이 활발한 어종이라고 생각한다.

3. 光 刺戟에 따른 生體電位

3 가지 光 刺戟을 5 분간 가한 후인 30~60분 (30분간)의 心電圖를 晝間과 夜間으로 구분 조사

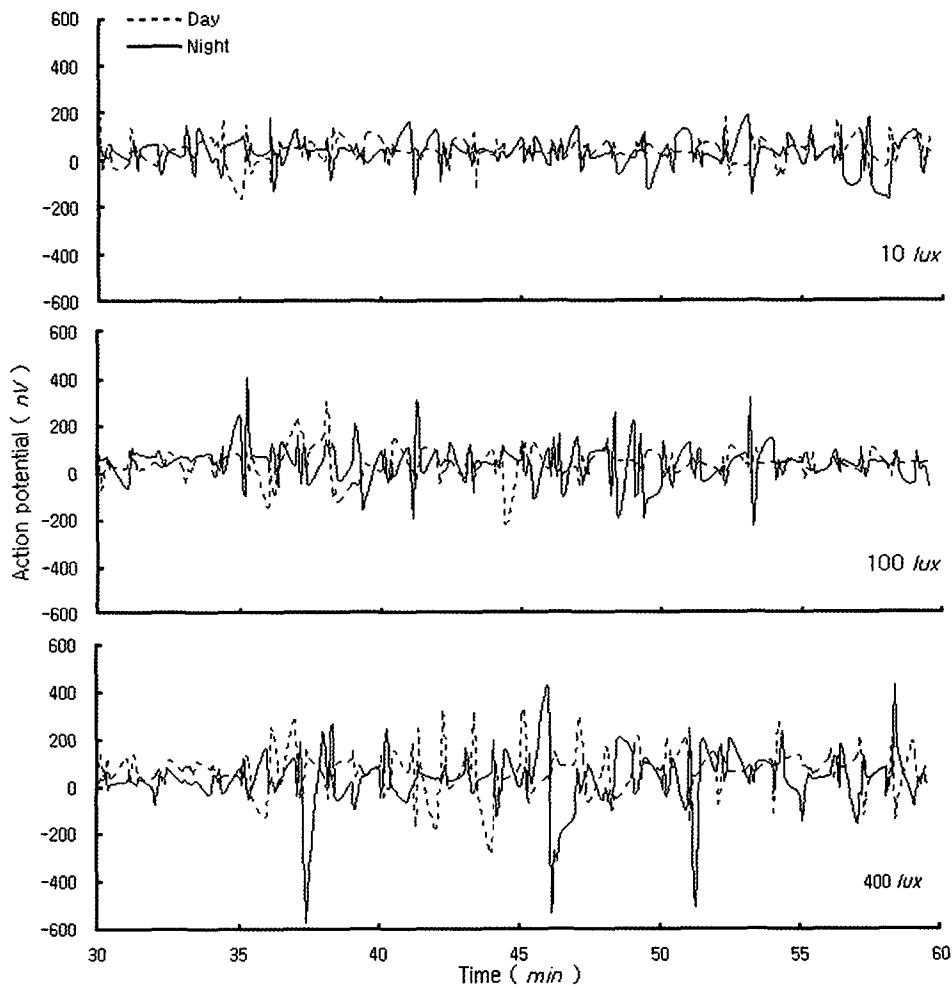


Fig. 5. The average of the Mirror Carp's action potential for 5 minutes.

한 향어의 生體電位 변화는 Fig. 5 와 같다.

Fig. 5 에서 生體電位의 변화는 光 刺戟의 세기가 강할수록 변화폭이 컸으며, 刺戟狀態인 30~35 분(5분간)은 晝·夜間에 변화폭이 다소 차이를 보였으나, 回復狀態인 35~60분(25분간)은 晝間보다 夜間에 변화폭이 더 크게 나타났다.

刺戟狀態(5분간)에서의 刺戟別 平均生體電位는 10 lux인 경우 晝間에 59.1 nV (-30.0~193.1 nV), 夜間에 24.0 nV (-74.1~149.2 nV)였고, 100 ux인 경우 晝間에 26.8 nV (-74.2~88.9 nV), 夜間에는 45.6 nV (-69.8~111.9 nV)였으며, 400 lux인 경우 晝間에 71.7 nV (11.4~132.7 nV), 夜間에는 14.4 nV (-78.5~75.3 nV)로 晝·夜間의 변화폭이 다소 차이를 보였다.

回復狀態(25분간)에서의 刺戟別 平均生體電位는 10 lux인 경우 晝間에 38.8 nV (-163.1~181.4 nV), 夜間에 27.3 nV (-171.3~182.7 nV)였고, 100 lux인 경우 晝間에 29.0 nV (-224.7~298.6 nV), 夜間에는 39.3 nV (-218.3~310.0 nV)였으며, 400 lux인 경우 晝間에 66.1 nV (-273.2~316.5 nV), 夜間에는 21.4 nV (-569.3~425.8 nV)로 晝·夜間의 변화폭이 컸다.

刺戟狀態(5분간)에서의 生體電位는 晝·夜間 모두 安定狀態의 生體電位(晝間: -58.7~114.9 nV, 夜間: -56.3~161.0 nV)와 변화폭이 비슷하였고, 回復狀態에서의 生體電位는 晝·夜間 모두 安定狀態의 生體電位보다 변화폭이 더 컸고, 刺戟別로는 刺戟이 강할수록 변화폭이 컸고, 晝間보다 夜間에 변화폭이 더 컸다.

60분간 연속적으로 心電圖를 측정하는 동안 실험어는 3~8회 정도 搖動하였으며, 1 회 搖動에는 5~20초간 지속되었다. 실험어가 搖動을 치면 生體電位의 변화폭이 매우 컸으며, 搖動의 회수는 실험어에 따라 차이가 있었다. 光 刺戟을 받고 난 후에 搖動의 회수가 많았고, 光 刺戟의 세기가 강할수록 搖動의 회수가 증가하는 경향도 보였다. 搖動은 癡醉狀態(5분간)와 刺戟狀態(5분간)에서는 일어나지 않았고, 安定狀態(25분간)에서는 대개 1~3회 정도였고, 回復狀態(25분간)에서는 2~5회 정도였다.

그리고 향어의 心電圖를 晝間과 夜間으로 구분

비교해 보면, 光 刺戟別 回復狀態에서의 心電圖가 큰 차이를 보여, 향어는 光 刺戟에 대하여 晝·夜間에 다른 生理週期를 가지고 있다고 생각된다.

要 約

光 刺戟에 대한 향어, *Cyprinus carpio* [Linnaeus]의 心電圖를 구명하기 위하여, 어체내에 전극을 삽입하여 3 가지 光 刺戟 (10, 100, 400 lux)에 대하여 心電圖를 晝間과 夜間으로 구분하여 60분간 연속적으로 조사한 心電圖를 狀態別로 분석한 心搏數와 生體電位는 다음과 같다.

1. 향어는 癡醉 후 5분 뒤에 安定狀態에 도달하였고, 安定狀態에서 平均心搏數는 晝間에 64.9 *beat/min*, 夜間에 65.3 *beat/min*였고, 平均生體電位는 晝間에 36.9 nV, 夜間에 32.9 nV로 나타났다.
2. 刺戟別 平均心搏數는
 - ① 刺戟狀態에서, 10 lux인 경우 晝間에 68.7 *beat/min*, 夜間에 46.0 *beat/min*였고, 100 lux인 경우 晝間에 53.4 *beat/min*, 夜間에 44.1 *beat/min*였으며, 400 lux인 경우 晝間에 53.2 *beat/min*, 夜間에 40.1 *beat/min*로 나타났다.
 - ② 回復狀態에서, 10 lux인 경우 晝間에 67.9 *beat/min*, 夜間에 57.2 *beat/min*였고, 100 lux인 경우 晝間에 68.8 *beat/min*, 夜間에 61.0 *beat/min*였으며, 400 lux인 경우 晝間에 69.6 *beat/min*, 夜間에 63.6 *beat/min*로 나타났다.
3. 刺戟別 平均生體電位는
 - ① 刺戟狀態에서, 10 lux인 경우 晝間에 59.1 nV, 夜間에 24.0 nV였고, 100 lux인 경우 晝間에 26.8 nV, 夜間에 45.6 nV였으며, 400 lux인 경우 晝間에 71.7 nV, 夜間에 14.4 nV로 나타났다.
 - ② 回復狀態에서, 10 lux인 경우 晝間에 38.8 nV, 夜間에 27.3 nV였고, 100 lux인 경우 晝間에 29.0 nV, 夜間에 39.3 nV였으며, 400 lux인 경우 晝間에 66.1 nV, 夜間에 21.4 nV로 나타났다.

文 獻

- Anthony, P. D. (1981) : Visual contrast thresholds in the cod *Gadus morhua* L, *J. Fish Biol.*, 19, 87~103.
- Buerkle, U. (1967) : An audiogram of the Atlantic cod *gadus morhua* L, *J. Fish. Bd. Canada*, 24, 2309~2319.
- Hanyu, I., Tsukamoto, K., Yamamori, K., Ngan, P. V. Furukawa, K. and Hibiya, T. (1979) : Simultaneous recording of physiological information from swimming fish, *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 45, 1261~1265.
- Hawryshyn, C. W. and Beauchamp, R. (1985) : Ultraviolet photosensitivity in goldfish; An independent U. V. retinal mechanism, *Vision Res.*, 25, 11~20.
- Hawryshyn, C. W. and Mcfarland, W. N. (1987) : Cone photoreceptor mechanisms and the detection of polarized light in fish, *J. Comp. Physiol. A*, 160, 459~465.
- Heath, A. G. and Hughes, G. M. (1973) : Cardiovascular and respiratory changes during heat stress in rainbow trout (*salmo gairdneri*), *J. Exp. Biol.*, 59, 323~338.
- Hester, F. J. (1968) : Visual contrast thresholds of the goldfish (*Carassius auratus*), *Vision Res.*, 8, 1315~1335.
- Holeton, G. F. and Randall, D. J. (1967) : Changes in blood pressure in the rainbow trout during hypoxia, *J. Exp. Biol.*, 46, 297~305.
- Iriki, M., Murata, S., Nagai, M. and Tsuchiya, K. (1976) : Effects of thermal stimulation to the spinal cord on heart rate in cyprinid fishes, *Comp. Biochem. Physiol.*, 53A, 61~63.
- Karlsen, H. E. (1992a) : The inner ear is responsible for detection of infrasound in the perch (*perca fluviatilis*), *J. Exp. Biol.*, 171, 163~172.
- Karlsen, H. E. (1992b) : Infrasound sensitivity in the plaice (*pleuronectes platessa*), *J. Exp. Biol.*, 171, 173~187.
- Kawamura, G., Shibata, A. and Yonemori, T. (1981) : Response of teleosts to plane of polarized light as determined by the heart beat rate, *Nippon Suisan Gakkaishi.*, 47, 727~729.
- 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.
- Marvin, D. E. Jr. and Burton, D. T. (1973) : Cardiac and respiratory responses of rainbow trout, bluegills and brown bullhead cat fish during rapid hypoxia and recovery under normoxic conditions, *Comp. Biochem. Physiol.*, 46A, 755~765.
- 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.
- Nanba, K., Yamamitsu, S. and Murachi, S. (1987) : Effect of acute hypoxia on ECG and blood pressure in bulbus arteriosus of rainbow trout, *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 53, 1343~1350.
- Nomura, S. I. and Ibaraki, T. (1969) : Electrocardiogram of the rainbow trout and its radio transmission, *Jap. J. Vet. Sci.*, 135~147.
- Oets, J. (1950) : Electrocardiograms of fishes, *Physiologia comp, Oecol.*, 2, 181~186.
- 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.
- Priede, I. G. and Young, A. H. (1977) : The ultrasonic telemetry of cardiac rhythms of wild brown trout (*salmo trutta* L.) as an indicator of bioenergetics and behaviour, *J. Fish Biol.*, 10, 299~318.
- Randall, D. J. (1962) : Effect of an anesthetic on the heart and respiration of teleost fish, *Nature*, 195, 506.
- Satchell, G. H. (1960) : The reflex co-ordination of the heart beat with respiration in the dogfish, *J. Exp. Biol.*, 37, 719~731.
- Schellart, N. A. M. and Buwalda, R. J. A. (1990) : Directional variant and invariant hearing thresholds in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *J. Exp. Biol.*, 149, 113~131.

- Shelton, G. and Randall, D. R. (1962) : The relationship between heart beat and respiration in teleost fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, 7, 237~250.
- Stevens, E. D. and Randall, D. J. (1967) : Changes in blood pressure, heart rate and breathing rate during moderate swimming activity in rainbow trout, *J. Exp. Biol.*, 46, 307~315.
- Vera, L. D. and Priede, I. G. (1991) : The heart rate variability signal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *J. exp. Biol.* 156, 611~617.
- Weintraub, M. J. (1975) : The influence of activity level on bradycardia in trout (*salmo gairdneri*) during hypoxia, *J. Fish Biol.*, 7, 791~796.
- Wood, C. H. and Shelton, G. (1980) : The reflex control of heart rate and cardiac output in the rainbow trout : Interactive influences of hypoxia, haemorrhage, and systemic vasomotor tone, *J. exp. Biol.*, 87, 271~184.
- 難波憲二 (1996) : 魚の行動生理学と漁法, 恒星社厚生閣版, 74~85.
- 山光俊一・板澤靖男 (1988a) : 急激な水温低下がコイの心電図および呼吸機能に及ぼす影響, 日水誌, 54, 751~759.
- 山光俊一・板澤靖男 (1988b) : コイの心拍数, 心電図および呼吸機能に対する麻酔剤 2-フェノキシエタノールの影響, 日水誌, 54, 1737~1746.
- 山森邦夫 (1992) : 電気ショックに対する魚類の反応, 水産工学, 28, 121~126.
- 小島隆人・添田秀男 (1997) : 光と音刺激を長時間受けたニジマスの心拍動, 日水誌, 63(6), p905~911.
- 安永一 (1993) : 威・光刺激に対する魚類の反応とその制御に関する基礎的研究, 博士學位論文, 東京水産大学, 64~112.
- 安永一・有元貴文 (1994) : ストロボの威脅効果に関する行動生理学的研究 - I. ストロボ光に対するマアジの回避行動, 日水誌, 60, 713~718.
- 野村晉一・茨木弟介・廣瀬 昶・白旗總一郎 (1972) : 魚類心電図用テレメータの反応に関する研究 - I 遊泳時の心拍数と心臓反射について, 日水誌, 38, 1105~1117.
- 川本信之 (1975) : 魚類生理生態学, 恒星社厚生閣版, 65~76.
- 川村軍藏・法花正志・荒牧孝行・新村 巖 (1991) : マダイによるHeNeレーザー光線視認, 日水誌, 57, 421~424.