

光刺戟에 대한 역돔의 心電圖

金榮起 · 梁龍林

釜慶大學校

(2002년 5월 28일 접수)

Response of Electrocardiogram of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* to Light Stimuli

Young-Ki KIM and Yong-Rhim YANG

Pukyong National University

(Received May 28, 2002)

Abstract

The authors examined the response of electrocardiogram(ECG) of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [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 in 16~18 °C.

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

1. Nile tilapias reached a stable condition 3 minutes after anesthesia. In stable condition, the heart rate average was 47.6beat/min by day and 45.1beat/min by night. And the action potential average was 1.04μV by day and 1.24μV by night.
2. The heart rate average by three levels of light stimuli was,
 - ① In stimulus condition, in case of 10 lux 39.7beat/min by day and 38.2beat/min by night, in case of 100 lux 38.7beat/min by day and 36.9beat/min by night, and in case of 400 lux 36.8 beat/min by day and 35.8beat/min by night.
 - ② In recovery condition, in case of 10 lux 47.1beat/min by day and 46.0beat/min by night, in case of 100 lux 47.2beat/min by day and 45.6 beat/min by night, and in case of 400 lux 48.1beat/min by day and 46.6beat/min by night.
3. The action potential average by three levels of light stimuli was,
 - ① In stimulus condition, in case of 10 lux 1.22μV by day and 0.71μV by night, in case of 100 lux 0.63μV by day and 0.90μV by night, and in case of 400 lux 1.39μV by day and 1.63μV by night.
 - ② In recovery condition, in case of 10 lux 1.26μV by day and 1.59μV by night, in case of 100 lux 2.63μV by day and 3.65μV by night, and in case of 400 lux 2.52μV by day and 3.67μV by night.

서론

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 연구되고 있다.

어류의 心電圖에 대한 연구는 Oets(1950)가 뱀장

어, *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.

物理的 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) 등과 心電圖 도출방법의 검토(難波 等, 1973), 어종에 따른 어체표면의 측정부위별 心電圖(難波, 1996) 등이 보고된 바 있다.

한편, 어류의 心搏數에 관한 연구는 저산소 상태에서 心搏數(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 心搏數(Randall, 1962 ; 山光 · 板澤, 1988b), 산소량에 따른 心搏數(Priede and Young, 1977 ; Lucas *et al.*, 1991), 수온에 따른 心搏數(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 心搏數(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 心搏數(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 연속적인 心電圖를 刺戟 전(癱醉狀態, 安定狀態)과 刺戟 후(刺戟狀態, 回復狀態)로 구분하여 비교 분석한 연구는 찾아보기 어려운 실정이다.

본 연구에서는 光刺戟에 따른 어류의 心電圖를 晝間과 夜間으로 구분 조사하여, 癱醉額과 光刺戟이 어돔에게 미치는 영향을 구명하고, 光을 이용한 어업에서의 집어와 위협에 필요한 적정 光刺戟을 추정하고, 활어 수송시 어류에게 영향을 줄 수 있는 외부 光에 대한 자료와 光을 이용한 어류의 행동제어기술에 응용할 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 材料 (試魚)

실험어는 부경대학교 양식장에서 서식하고 있는 체장이 14~20 cm인 역돔, *Oreochromis niloticus* [Linnaeus]를 100미 이상 선별 채집하여, 2개의 사육수조(170×35×45 cm)에 분산하여, 15일 이상 적응시킨 다음 실험에 사용하였으며, 수조내의 수질관리는 순환여과식 장치에 냉온각기(SY200A)와 에어펌프(AP-60L)를 장착하여 수질관리하였고, 실험수온 범위는 16~18 ℃로 유지하였다.

전극삽입은 실험어를 1 : 3000로 희석한 癱醉額(과학축산, MS-222) 속에서 5분간 마취시킨 후, 리드선($\phi=0.75$ mm, $l=1$ m)이 연결된 전극(한방용침 : $\phi=0.25$ mm, $l=3$ cm)을 심장 기전력의 영향이 미치는 위심장 우측에 ⊕ 전극, 좌측에 ⊖ 전극을 가능한 한 같은 부위에 각각 삽입하여 전형적인 心電圖 파형이 나오게 하였다.

실험수조는 두께 0.5 cm인 투명아크릴 수조(36×30×22 cm)와 그 내부에 실험어를 안착시킬 수 있는 조립식 Fish-holder(25×20×13 cm)를 설치하여, 실험어의 체장에 따라 길이와 폭을 조절할 수 있도록 하였다. 실험수조의 앞쪽에는 光刺戟源을 설치하였고, 실험실은 두께 0.1 cm인 합석판으로 외부 전자파를 차단하고 암막처리하였다.

光刺戟源은 10 개의 전구(1.98 W, 18 V)를 방열 및 반사용 알루미늄 판에 부착한 것으로, 실험어의 眼球에서부터 5~40 cm범위까지 이동이 가능하도록 하였다. 점등 전구의 개수와 刺戟源의 거리를 조절하여, 실험어의 안구에 도달하는 光刺戟의 세기가 10, 100, 400 lux인 3가지 刺戟源으로 선정하였다. 光源의 전압은 A.C.자동전압조정기(태일자동제어공업, SX100)와 D.C.자동전압조정기(King-Shill, XCP-84)를 사용하여 전압을 안정시켜 刺戟源을 일정하게 유지하였으며, 소형수증조도계(Minolta, T-1)를 이용하여 光刺戟源의 세기를 조절하였다.

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 3가지 光刺戟(10, 100, 400 lux)에 대하여 晝間과 夜間으로 구분하여 3회 이상 각각 조사하였다.

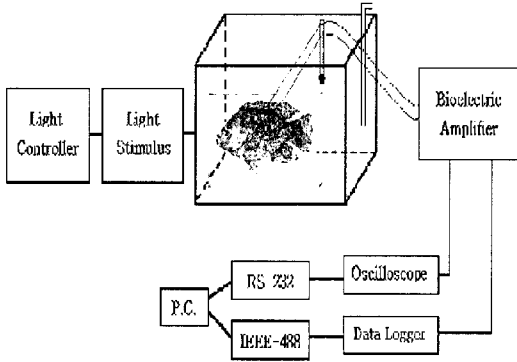


Fig. 1. Flow-chart of ECG equipments.

心電圖의 측정은 실험어에 삽입된 전극에서 나오는 신호를 Bioelectric Amplifier에서 10^3 배 증폭하여 Oscilloscope와 Data Logger에 동시에 각각 전송하는데, Oscilloscope에 전송되는 신호의 파형이 정상적인지를 판별하여 RS-232를 걸쳐 85,000 bps로, Data Logger에 전송되는 신호는 IEEE-488를 걸쳐 750,000 bps로 각각 P.C.에 저장하였다. 이때, Bioelectric Amplifier는 2 sec, 100 Hz, 0.1 mV/DIV로, Oscilloscope는 1 sec, 0.5 V로, Data Logger는 0.1 sec, 100 mV로 각각 설정하였다.

心電圖의 분석은 각 실험 조건에서 연속적으로 측정된 60분간의 心電圖를 刺戟 전인 癡醉狀態(心博數가 서서히 증가하는 狀態 : 0~3분)에서 安定狀態(心博數가 급격히 증가하다가 거의 일정하게 유지되는 狀態 : 3~30분)까지의 30분간과, 刺戟 후인 刺戟狀態(心博數가 급격히 감소하여 거의 일정하게 유지되는 狀態 : 30~35분)에서 回復狀態(心博數가 급격히 증가하여 거의 일정하게 유지되는 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, 生體電位는 실험어가 흥분하거나 활동할 때 체내에서 일어나

는 이온의 이동 및 활동전위의 전달에 의하여 발생하는 전위를 μV 로 나타낸 것이다.

그리고 P.C.에 저장된 生體電位 수치는 소프트웨어 HP BenchLink Data Logger와 Microsoft Excel 7.0를 사용하여 10초 간격으로 평균하여 절대치로 처리 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 초기 상태의 心電圖

光刺戟을 가하기 전(0~30분)인 癡醉狀態(0~3분)에서 安定狀態(3~30분)까지의 心電圖를 晝間과 夜間으로 구분 조사한 역동의 心博數는 Fig. 2와 같고, 生體電位는 Fig. 3과 같다.

Fig. 2에서 心博數는 시간이 경과함에 따라 증가하다가 비교적 큰 변동이 보이지 않았는데, 癡醉狀態인 0~3분(3분간)은 급격히 증가하였고, 安定狀態인 3~30분(27분간)에서 3~17분은 다소 증가하였으나, 17~30분은 큰 변동이 없는 경향을 보였다.

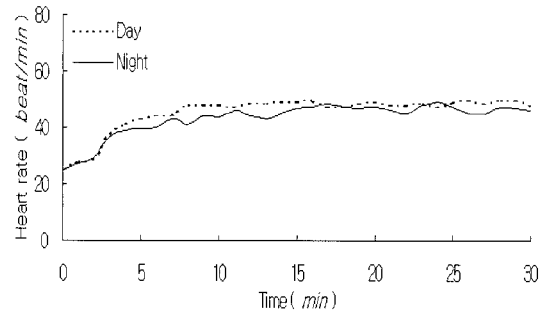


Fig. 2. Variation of heart rate under stable condition.

平均心博數는 癡醉狀態(3분간)에서 晝間에 29.7 beat/min, 夜間에 29.5 beat/min로, 晝·夜間에 거의 같았고, 安定狀態(27분간)에서는 晝間에 47.6 beat/min, 夜間에 45.1 beat/min로, 晝間에 다소 높았으며, 癡醉狀態에서의 平均心博數가 安定狀態보다 낮았다.

心博數 변화폭은 癡醉狀態(3분간)에서 晝間에 17.1beat/min (23.1~40.2 beat/min), 夜間에 16.6 beat/min (23.8~40.4 beat/min)로, 晝·夜間 차이는 거의 없었고, 安定狀態 (27분간)에서는 晝間에 13.7beat/min (38.7~52.4 beat/min), 夜間에 15.7

beat/min (35.0~50.7 beat/min)로, 夜間에 다소 컸으며, 癡醉狀態에서의 心博數 변화폭이 安定狀態보다 컸다.

그리고 癡醉狀態(16~18℃)에서 安定狀態로 회복되는 시간이 역돔은 3분이 소요되었는데, 향어, *Cyprinus carpio*(梁·金, 2001)는 5분이 소요되어, 역돔이 향어보다 癡醉狀態에서 회복이 빠른 어종이라고 생각된다.

어류의 心博數는 魚類生理生態學(川本, 1975)에 의하면, 두툽상어, *Scyliorhinus torazame*는 16~65 beat/min, 홍어, *Raja kenogei*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 보고된 바 있고, 향어의 安定狀態(16~18℃)의 心博數는 晝間에 58.4~69.5 beat/min, 夜間에 58.8~72.0 beat/min(梁·金, 2001)라고 보고된 바 있다. 일반적으로 활동성이 적은

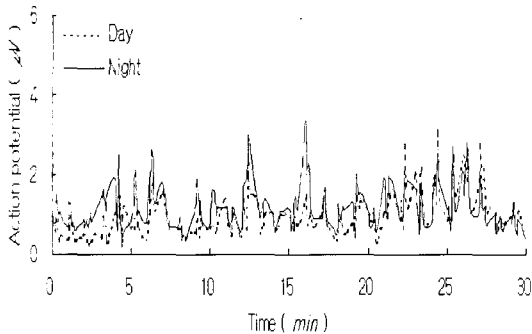


Fig. 3. Variation of action potential under stable condition.

어류는 心博數가 낮고, 활발한 어류는 心博數가 높으므로, 역돔은 다른 어종에 비해 心博數가 낮아 활동성이 적은 어종에 속한다고 생각된다.

Fig. 3에서 生體電位는 시간이 경과함에 따라 뚜렷한 증감 추세를 보이지 않고 계속 변동하였는데, 癡醉狀態인 0~3분(3분간)은 증가하였고, 安定狀態인 3~30분(27분간)에서 3~26분은 다소 증가하다가, 26~30분은 감소하는 경향을 보였다.

平均生體電位는 癡醉狀態(3분간)에서 晝間에 0.53 μV , 夜間에 1.02 μV 로 夜間에 더 높았고, 安定狀態(27분간)에서는 晝間에 1.04 μV , 夜間에 1.24 μV 로 晝·夜間의 차이는 거의 없었으며, 癡醉狀態에서의 平均生體電位가 安定狀態보다 낮았다.

生體電位 변화폭은 癡醉狀態(3분간)에서 晝間에 0.76 μV (0.22~0.98 μV), 夜間에 1.03 μV (0.59~1.62 μV)로 夜間에 컸고, 安定狀態(27분간)에서는 晝間에 2.88 μV (0.26~3.14 μV), 夜間에 3.17 μV (0.21~3.38 μV)로 夜間에 컸으며, 癡醉狀態에서의 生體電位 변화폭이 安定狀態보다 작았다.

2. 光刺戟에 따른 心博數

3가지 光刺戟(10, 100, 400 lux)을 5분간(30~35분) 가한 후인 刺戟狀態(30~35분)에서 回復狀態(35~60분)까지의 心電圖를 晝間과 夜間으로 구분 조사한 역돔의 心博數는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 光刺戟에 대한 心博數는 시간이 경과함에 따라 비교적 큰 변동이 보이지 않았는데, 刺戟狀態인 30~35분(5분간)에서 30~31분은 급격히 감소하였고, 31~35분은 거의 일정하였으며, 回復狀態인 35~60분(25분간)에서 35~36분은 급격히 증가하였고, 36~60분은 큰 변동이 없는 경향을 보였다.

刺戟別 平均心博數는 刺戟狀態(5분간)에서 10 lux인 경우 晝間에 39.7 beat/min, 夜間에 38.2 beat/min였고, 100 lux인 경우 晝間에 38.7 beat/min, 夜間에 36.9 beat/min였으며, 400 lux인 경우 晝間에 36.8 beat/min, 夜間에 35.8 beat/min로, 平均心博數는 光刺戟의 세기가 강할수록 낮았고, 夜間보다 晝間이 더 높았다.

한편, 回復狀態(25분간)에서는 10 lux인 경우 晝間에 47.1 beat/min, 夜間에 46.0 beat/min였고, 100 lux인 경우 晝間에 47.2 beat/min, 夜間에 45.6 beat/min였으며, 400 lux인 경우 晝間에 48.1 beat/min, 夜間에 46.6 beat/min로, 平均心博數는 光刺戟의 세기에 따른 차이는 뚜렷하지 않았고, 夜間보다 晝間에 더 높았으며, 刺戟狀態보다 回復狀態의 平均心博數가 더 높았다.

刺戟別 心博數 변화폭은 刺戟狀態(5분간)에서 10 lux인 경우 晝間에 3.2 beat/min(38.3~41.5 beat/min), 夜間에 2.5 beat/min(37.0~39.5 beat/min)였고, 100 lux인 경우 晝間에 3.0 beat/min(37.2~40.2 beat/min), 夜間에 5.2 beat/min(34.3~39.5 beat/min)였으며, 400 lux인 경우 晝間에 4.5 beat/min(34.8~39.3 beat/min), 夜間에 4.6 beat/min(34.2~38.8 beat/min)로, 心博數 변화폭은 光刺戟의 세기와 晝·夜間에 따른 차이가 크지 않았다.

한편 回復狀態(25분간)에서는 10 lux인 경우

光刺戟에 대한 역돔의 心電圖

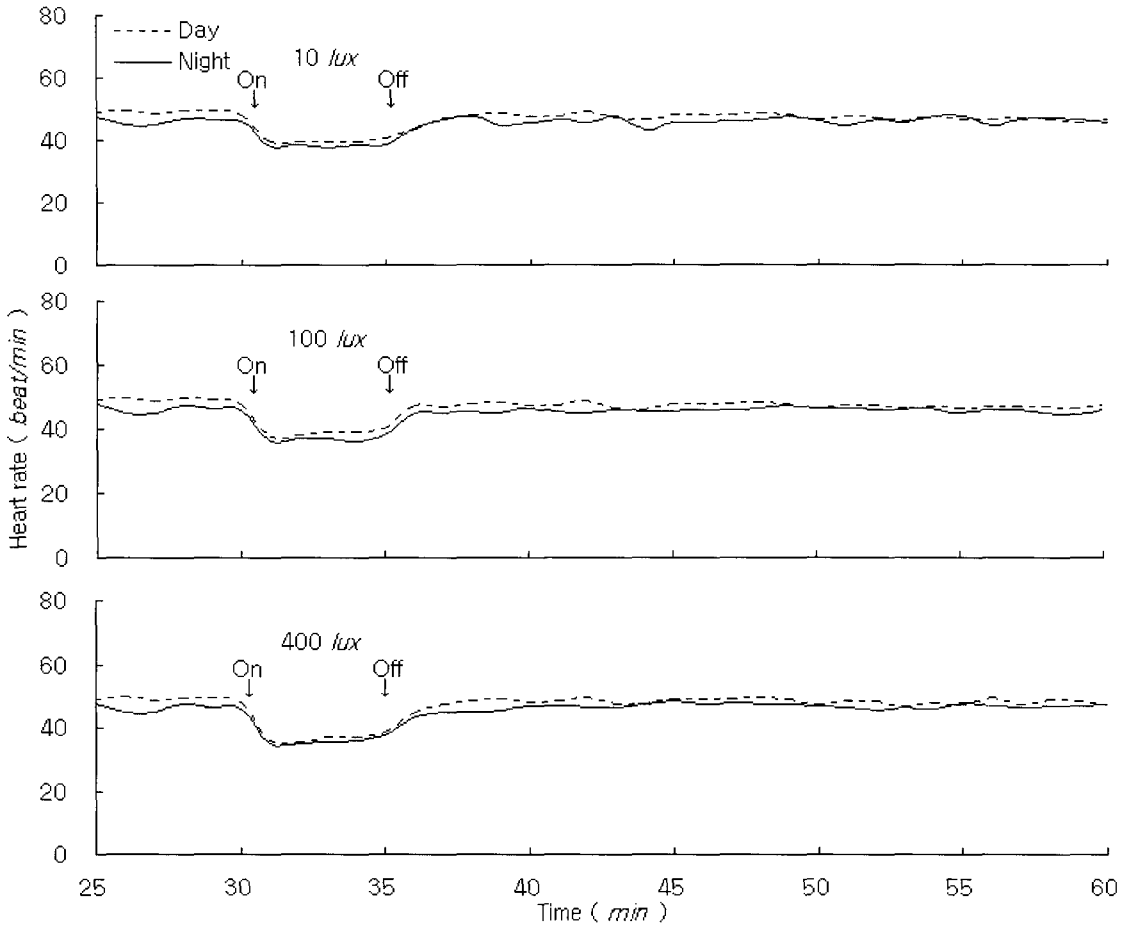


Fig. 4. Variation of heart rate after illumination for 5 minutes by the three levels of light stimuli.

晝間에 7.6 beat/min(42.6~50.2 beat/min), 夜間에 6.5 beat/min(42.5~49.0 beat/min)였고, 100 lux인 경우 晝間에 4.6 beat/min(45.2~49.8 beat/min), 夜間에 6.8 beat/min(42.0~48.8 beat/min)였으며, 400 lux인 경우 晝間에 7.5 beat/min(43.1~50.6 beat/min), 夜間에 7.7 beat/min(42.6~50.3 beat/min)로, 心博數 변화폭은 光刺戟의 세기와 晝·夜間에 따른 차이가 크지 않았으며, 刺戟狀態보다 回復狀態의 心博數 변화폭이 더 컸다.

3. 光刺戟에 따른 生體電位

3가지 光刺戟(10, 100, 400 lux)을 5분간(30~35분) 가한 후인 刺戟狀態 (30~35분)에서 回復狀態 (35~60분)까지 心電圖를 晝間과 夜間으로 구

분 조사한 역돔의 生體電位는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 光刺戟에 대한 生體電位는 시간이 경과함에 따라 뚜렷한 증감 추세를 보이지 않고 계속 변동하였는데, 刺戟狀態인 30~35분(5분간)은 큰 변동이 보이지 않았지만, 回復狀態인 35~60분(25분간)은 큰 변동이 있는 경향을 보였다.

刺戟別 平均生體電位는 刺戟狀態(5분간)에서 10 lux인 경우 晝間에 1.22 μV , 夜間에 0.71 μV 였고, 100 lux인 경우 晝間에 0.63 μV , 夜間에 0.90 μV 였으며, 400 lux인 경우 晝間에 1.39 μV , 夜間에 1.63 μV 로, 平均生體電位는 光刺戟의 세기에 따른 차이가 있었지만, 晝·夜間 차이는 크지 않았다.

한편 回復狀態(25분)에서는 10 lux인 경우 晝間에 1.26 μV , 夜間에 1.59 μV 였고, 100 lux인 경우 晝間에 2.63 μV , 夜間에 3.65 μV 였으며, 400 lux인

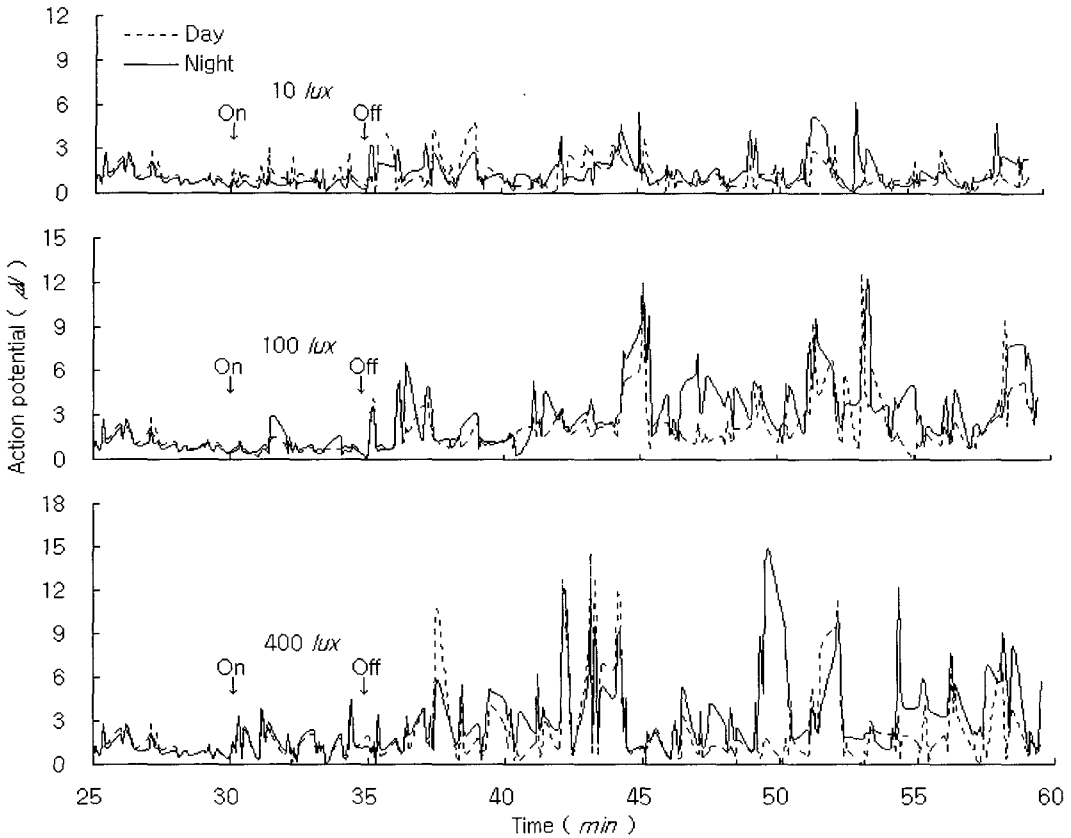


Fig. 5. Variation of action potential after illumination for 5 minutes by the three levels of light stimuli.

경우晝間에 2.52 μV , 夜間에 3.67 μV 로, 平均生體電位는 光刺戟의 세기에 따른 차이가 있었지만, 晝·夜間 차이는 작았으며, 刺戟狀態보다 回復狀態의 平均生體電位가 더 높았다.

刺戟別 生體電位 변화폭은 刺戟狀態 (5분간)에서 10 lux인 경우 晝間에 2.95 μV (0.05~3.00 μV), 夜間에 1.38 μV (0.13~1.51 μV)였고, 100 lux인 경우 晝間에 1.29 μV (0.18~1.47 μV), 夜間에 2.75 μV (0.18~2.93 μV)였으며, 400 lux인 경우 晝間에 4.38 μV (0.01~4.39 μV), 夜間에 4.31 μV (0.13~4.44 μV)로, 生體電位 변화폭은 光刺戟이 400 lux인 경우가 10 lux, 100 lux인 경우보다 컸고, 晝·夜間 차이는 작았다.

한편, 回復狀態 (25분)에서는 10 lux인 경우 晝間에 4.73 μV (0.10~4.83 μV), 夜間에 5.99 μV (0.22~6.21 μV)였고, 100 lux인 경우 晝間에 12.40 μV (0.11~12.51 μV), 夜間에 11.96 μV (0.26~12.22 μV)

였으며, 400 lux인 경우 晝間에 14.41 μV (0.03~14.44 μV), 夜間에 14.46 μV (0.28~14.74 μV)로, 生體電位 변화폭은 光刺戟의 세기가 강할수록 매우 컸고, 晝·夜間 차이는 거의 없었으며, 刺戟狀態보다 回復狀態의 生體電位 변화폭이 더 컸다.

60분간 연속적으로 心電圖를 측정하는 동안 실험어는 0~6 회 搖動하였고, 1회 搖動은 5~10초 동안 지속되었으며, 光刺戟을 받고 난 후에 搖動의 회수가 많았고, 光刺戟의 세기가 강할수록 搖動의 회수가 증가하는 경향을 보였다.

搖動은 癡醉狀態(3분간)와 刺戟狀態(5분간)에서 일어나지 않았고, 安定狀態(27분간)에서는 0~2회 일어났고, 回復狀態(25분간)에서는 0~4회 일어났다.

3가지 光刺戟(10, 100, 400 lux)에 대한 역동과 항어(梁·金, 2001)의 回復狀態 心電圖를 비교해 보면, 역동의 晝·夜間 心博數 변화폭과 生體電

位 변화폭이 향어에 비해 작게 나타므로, 본 실험 어인 역돔은 향어보다 光刺戟에 크게 놀라지 않고, 晝·夜間에 비교적 비슷한 生理週期를 가지고 있다고 생각된다.

요 약

光刺戟에 대한 역돔, *Oreochromis niloticus* [Linnaeus]의 心電圖를 구명하기 위하여, 16~18℃ 수온에서 어체내에 전극을 삽입하여 3가지 光刺戟 (10, 100, 400 lux)에 대한 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. 역돔은 癡醉 후 3분 뒤에 安定狀態에 도달하였고, 安定狀態에서 平均心搏數는 晝間에 47.6 beat/min, 夜間에 45.1 beat/min였고, 平均生體電位는 晝間에 1.04 μ V, 夜間에 1.24 μ V로 나타났다.
2. 刺戟別 平均心搏數는
 - ① 刺戟狀態에서, 10 lux인 경우 晝間에 39.7 beat/min, 夜間에 38.2 beat/min였고, 100 lux인 경우 晝間에 38.7 beat/min, 夜間에 36.9 beat/min였으며, 400 lux인 경우 晝間에 36.8 beat/min, 夜間에 35.8 beat/min로 나타났다.
 - ② 回復狀態에서, 10 lux인 경우 晝間에 47.1 beat/min, 夜間에 46.0 beat/min였고, 100 lux인 경우 晝間에 47.2 beat/min, 夜間에 45.6 beat/min였으며, 400 lux인 경우 晝間에 48.1 beat/min, 夜間에 46.6 beat/min로 나타났다.
3. 刺戟別 平均生體電位는
 - ① 刺戟狀態에서, 10 lux인 경우 晝間에 1.22 μ V, 夜間에 0.71 μ V였고, 100 lux인 경우 晝間에 0.63 μ V, 夜間에 0.90 μ V였으며, 400 lux인 경우 晝間에 1.39 μ V, 夜間에 1.63 μ V로 나타났다.
 - ② 回復狀態에서, 10 lux인 경우 晝間에 1.26 μ V, 夜間에 1.59 μ V였고, 100 lux인 경우 晝間에 2.63 μ V, 夜間에 3.65 μ V였으며, 400 lux인 경우 晝間에 2.52 μ V, 夜間에 3.67 μ V로 나타났다.

문 헌

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.
- Holetion, 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 rainbowtrout, *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 bio-energetics 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 μ Variant 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) : 魚の行動生理學と漁法, 恒星社厚生閣版, 74~85.
- 難波憲二・村地四郎・河本眞二・中野義久 (1973) : 魚類の心電圖に関する研究-I 心電圖導出方法の検討, 廣島大學水産學部紀要, 12, 147~154.
- 山光俊一・板澤靖男 (1988a) : 急激な水温低下がコイの心電圖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) : コイの心拍數, 心電圖および呼吸機能に對する癱醉劑 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) : 電氣ショックに對する魚類の反應, *水産工學*, 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), 905~911.
- 安永一・有元貴文 (1994) : ストロボの威脅效果に關する行動生理學的研究-I. スロボ光に對するマアジの回避行動, *日水誌*, 60, 713~718.

光刺戟에 대한 역동의 心電圖

- 野村 晉一・茨木弟介・廣瀬稔・白旗總一郎 (1972) : 魚類心電圖用テレメータの反應に關する研究-I 遊泳時の心拍數と心臟反射について, 日水誌, 38, 1105~1117.
- 梁龍林・金榮起 (2001) : 光刺戟에 대한 鱈어의 心電圖, 韓國漁業技術學會誌, 37, 124~132.
- 川本信之 (1975) : 魚類生理生態學, 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.