

## 명태의 행동제어용 심전도 도출에 관한 연구

박용석\* · 이창현\*\* · 이유철 · 서두옥\*\*

\* 제주도청 해양수산과, \*\* 제주대학교 어업학과

### On the Study of Electrocardiography of the Walleye Pollock for the Behavioral Control

Yong-Seok Park\*, Chang-Heon Lee\*\*, Yu-Cheol Lee and Du-Ok Seo\*\*

\* Dept. of Maritime and Fisheries, Cheju Provincial Government,

\*\* Ocean Science Collage of Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

In the walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, which has a heart with a strong electromotive force, the ECGs were found to be recordable by electrodes placed in the water from fish's body. The day on the experiment, fish was operated on in order to install a leading-out bipolar electrode. This electrode was used for recording of the cardio-signal of the fish on a digital storage oscilloscope. The electrode was made from a fish hook which was re-shaped according to the shaped of fish heart and body surface. This hook was then connected to the lead-code insulated with paint, and the connecting part was covered with paint. The pointed end was stripped off slightly for conduction of electricity and the another pointed edge was used for hooking the electrode into the chest cavity. QRS complex of the ECG was marked. The amplitude of QRS complex was about 0.1~1mV.

This method enabled us to observe the heart beat rate of the walleye pollock under least disturbed state. Ordinary heart beat rate was not quite regular. Very slight stimulation was enough to bring about cardiac inhibition, which was also accompanied by a considerable reduction in the amplitude of the QRS. After rough treatment, such as sound stimulus or electric shock, the heart beat rate showed remarkable decrease, reaching a value a few times lower than the normal level.

**Key words** : walleye pollock, electrocardiography, stimulus, beat rate

### 서론

인류가 개발해온 수산생물 생산기술은 그 행동을 제어함으로써 달성된다. 여기에서 어업은 수권의 생물생산을 인간이 이용하는 유일한 구체적인 수단이며, 식물 채취 및 수렵과 함께 인류 역사와 더불어 옛날부터 전승된 기술이다. 그러나 식물

채취가 농업에, 그리고 수렵업이 지금은 산업으로서의 목축업으로 변화한 것처럼 수산생물 생산기술도 다음 단계로 진척될 가능성이 있으며, 그 하나의 방향으로써 증양식 기술을 포함한 해양목장의 구상을 들 수 있다. 그것은 넓은 해양의 생산력을 국지적으로 증대시키는 것이지만, 적어도 가능성은 넓히는 것으로서 주목을 받고 있다. 또,

어획이라는 기술이 21세기에는 타 생물생산 산업과 마찬가지로 단계적으로 수확이라는 길로 나아갈 것이다. 그러므로, 한정된 해양공간 안에서 어류에게 적합한 해양환경을 제공하면서 그 행동을 제어하여 필요로 하는 어류의 단백질 생산량을 안정적으로 공급해야 하는 문제가 대두되고 있으므로, 어류의 행동제어 기술이 주목을 받고 있는데, 그 유망한 기술 중의 한 가지는 어류의 청각과 음향을 이용하여 행동을 제어하는 음향순치인 것이다. 그 기초 자료를 마련하기 위한 수단인 어류의 청각정보를 산출하는 것이다 (黒木敏郎, 1985; 上城義信, 1991).

따라서, 해양목장에서 유용한 어류를 음향순치하여 행동을 제어할 때와 고밀도 양식에서 양식의 건강관리와 수질 오락이 어류에 미치는 영향 등을 파악하기 위하여 병태생리학적인 목적에서 어류의 심전도를 해석하고 있다 (山森 등, 1971). 저자 등은 명태의 청각정보 산출용 심전도 (Electrocardiogram, ECG) 도출 기법에 대해서 논의하고자 한다.

### 재료 및 방법

명태는 日本의 홋카이도의 훈카만(噴火灣)에 설치된 정치장에서 어획한 것으로 홋카이도대학(北海道大學) 수산학부 부속 수산실험소에서 축양하였으며, 실험수조에서 1개월 이상 순치시킨 후에 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 명태의 체중은 330~690 g, 체장은 350~482 mm였다.

도출장치 심전도의 도출장치는 Fig. 1에 보이는 바와 같이 구성하였다. 심전도 도출용 전극은

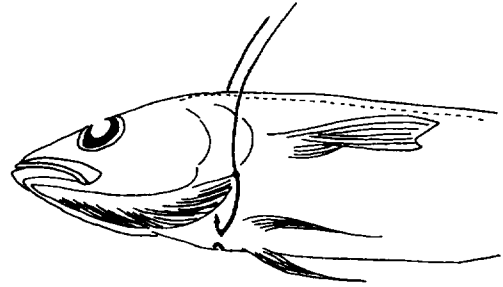


Fig. 2. Illustration of walleye pollock with inserted electrodes into chest cavity.

시판되는 낚시를 페인트로 피복한 후 낚시 끝을 약간 노출시켜서 어류의 위심강에 삽입하는 방식의 매물형 전극을 사용하였으며, 낚시의 꼭지부와 리드선(0.12mm×10가닥)을 납땜하여 연결한 후에 접합부를 페인트로 피복하여 사용하였다. 또한, 이것을 위심강에 삽입하는 방법을 Fig. 2에 나타내었다. 이 전극을 만능 2-4현상 메모리 오실로스코프(日本光電, VC-10)로 증폭해서, 심전위의 출력전압을 디지털스토리지 오실로스코프(菊水電子製, COM7201A)에 입력하여, 심전도의 파형을 관찰하였다. 또, 필요로 하는 심전도의 파형의 수치 데이터는 GP-IB보드를 거쳐서 컴퓨터에 전송하여 도시하였다.

도출방법 본 연구에서 사용한 심전도의 도출방법에 관한 일람표를 Table 1에 정리하였다. 매물형 전극을 위심강 안에 삽입하기 위하여 처치할 때에 농도 0.02%의 메틸 안식향산으로 실험어를 마취시켜서, 실험어의 정상적인 자세가 무너질 시점에서 꺼내어 처치하였다. 이 처치는 모식적으로 나타낸 그림(Fig. 2)에서 명확하듯이 위에서 서술

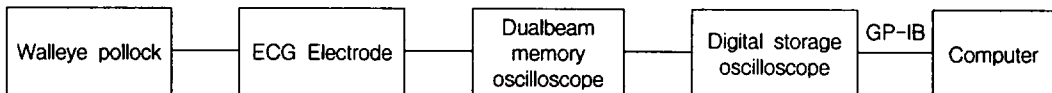


Fig. 1. Block diagram of apparatus used for recording ECG of walleye pollock.

Table 1. Materials and methods used for recording ECG

Lead	Electrode	Electrode emplacement	Fish
Bipolar L.	Hook	Chest cavity	Walleye pollock

한 낚시 바늘로 만들어진 전극이 바로 위심강 안의 좌우에 삽입되도록 하기 위한 것이다. 즉, 실험어의 가슴지느러미 약간 앞쪽에서 심실측면에 가급적 접근할 수 있도록 위심강 안에 낚시 바늘을 삽입하였다.

심전위의 크기는 0.1~1 mV였다. T파는 거의 모든 실험례에서 양성을 보였지만, 그 중에는 T파가 거의 확인되지 않는 개체도 있었다. 이것은 전극과 심장의 상대적인 위치 관계에 의존하는 것이라고 생각된다.

### 결 과

실험 결과 명태의 심전도는 기선의 동요가 적고 안정된 상태였다. Fig. 3은 본 실험으로부터 얻어진 명태의 전형적인 심전도로써, P, Q, R, S, T파로 구성되어 있다. 여기에서 심박간격으로는 심전도의 R파와 R파의 시간 간격을 나타낸다.

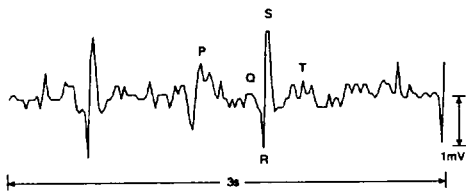


Fig. 3. Electrocardiogram(ECG) of walleye pollock by bipolar lead from chest cavity. ECG is composed of P, Q, R, S and T wave. Time scale is 3 s.

Fig. 4는 실험어가 안정된 상태에 있을 때의 심전도로써, 파형은 P 파가 양성, 또는 양-음성의 이상성을 보였으며, QRS군을 보였다. 명태를 마취시켜서 케이지 안에 수용하고 나서 2~3시간 이내는 심박간격이 약 1.6 s였지만, 환경에 충분히 순응하면 간격은 약 2.0 s가 되었다. QRS군의

### 고 찰

자극을 수용하는 감각기관은 시각, 청각, 미각, 촉각(피부감각, 촉선기관)이 있으며, 이것들은 기능별로 광수용체, 음수용체, 화학수용체, 열수용체, 평형수용체, 원격수용체, 근접수용체로 분류된다. 그런데, 어류의 행동을 분류할 때 어류가 태어나면서부터 가지고 있는 생득적 행동과 태어난 후에 경험으로 체득하는 후천적 행동의 두 가지로 분류할 수 있다. 생득적 행동은 반사, 주성, 본능으로 분류할 수 있으며, 후천적 행동은 학습과 지능으로 분류할 수 있다. 해양목장에서 음향으로 어류의 행동을 제어하기 위해서 사전에 파악해 두는 청각에 관한 정보는 후천적 행동인 조건반사 학습을 이용하여 얻고 있다. 즉, 자극원으로써 전기자극과 음향을 반복적으로 어류에게 부여하면, 이것들을 촉각 및 음수용체의 감각기관에서 받아들인다. 이 자극은 감각신경인 전달계를 거쳐서 대뇌의 중추신경계로 전달되면 학습과정을 거쳐서 운동신경이 작용하여 심장박동에 변화가 나타나게 되는 것이다.

병태생리학적 또는 생태학적인 연구에서 어류를 손상시키지 않고 또 구속하지 않고 자유롭게 유영시키면서 도출하는 것이 가장 이상적이다. 山

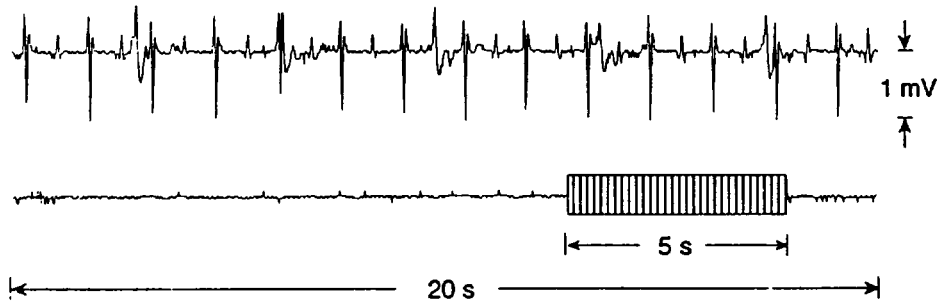


Fig. 4. ECGs of walleye pollock bipolar lead chest cavity.

森 등(1971)은 장어가 원통 안을 선호하는 성질을 이용하여 원통 안에 전극을 놓고 자연적인 상태에서 심전도를 도출하였다. 그러나, 이 방법은 아가미운동에 의한 기선의 동요, 장어가 원통 안에서 위치를 바꿀 때마다 심전도에 변화가 나타나고, 해수 중에는 해수가 다량의 전해질을 포함하고 있기 때문에 도출이 어려우며, 정밀한 파형의 해석에는 불충분하다. 또 심장기전력이 약한 어종이라든지 또는 원통 안에 들어가지 않는 유영성이 풍부한 명태에는 적용하기 어렵다. NOMURA *et al.* (1969)은 매몰형 전극으로 위심강에서의 쌍극도출법을 개량하여 자유 유영 중의 심장기전력이 작은 어종의 심전도의 도출에 성공하였으며, 필자 등도 아가미 운동의 영향이 적은 해산어인 명태의 심전도의 도출에 성공하였다. 본 방법에서 전극을 삽입할 때 어체, 특히 심실을 손상시키기 쉬우므로, 주의하지 않으면 안된다. 또, 전극을 삽입할 때 그 위치를 육안으로 확인할 수 없으므로, 전극을 엄밀히 목적으로 하는 부위에 위치시키는 것이 상당히 곤란하다. 따라서 심장기전력이 좋은 심전도의 파형을 얻기 위해서는 위심강 안에 전극을 정확하게 위치시키는 것이 관건이라고 할 수 있다. 심전도 도출용 전극이 위심강에 정확하게 위치하고, 또 접지가 잘 되었을 경우에는 기선의 상하 운동이 소멸하므로 심전위의 변화가 적은 P파 및 T파의 존재도 확인되었다.

본 실험에서는 낚시 바늘과 리드선을 전극으로 활용하였지만, 해수에서는 전극 부분의 부식이 빠르며, 전극으로 사용된 낚시 바늘과 리드선의 연결부에서 절단되어 버리는 경우도 있었으므로, 해산어로부터 장기간 계속해서 도출할 때에는 보다 강도가 높고 부식하기 어려운 전극이 필요하다고 생각된다. 그렇지만, 이 도출 방법은 이상과 같은 난점이 있더라도, 어류의 병태생리학적 연구, 또는 청각 등의 운동생리학적 연구에 널리 활용할 수 있다.

한편, 어류의 심장은 미주신경의 억제적 지배를 받아서 미주신경이 긴장 상태에 있으므로, 평상시 심박 빈도는 고유값보다도 낮은 수준에서 유지되고 있다. 이것은 본 실험에서 측정된 명태의 평상시의 심장 박동수가 적출된 신경 지배를 벗어난 심장 박동수보다 상당히 낮은 것으로부터 알릴 수 있다. 또 감각자극에 기인하여 미주신경을 개재한 심장반사도 아주 예민하게 일어나는 것이 알려졌다. 예를 들면 실험실에 입실하는 사람의 발소리라든가 순음과 미소한 전기자극에 의하여 Fig. 5처럼 심장박동이 일시적으로 정지하였다 (朴 등, 1995a ; 朴 등, 1995b). 이와 같이 반사적 정지 후의 심박수가 자극을 부여하기 전에 비해서 상당히 감소하였으며, 자극 종료 후에 심박수가 차츰 회복되는 것이 관찰되었다. 이 현상은 미주신경의 억제 작용이 증가하면 심장자동중

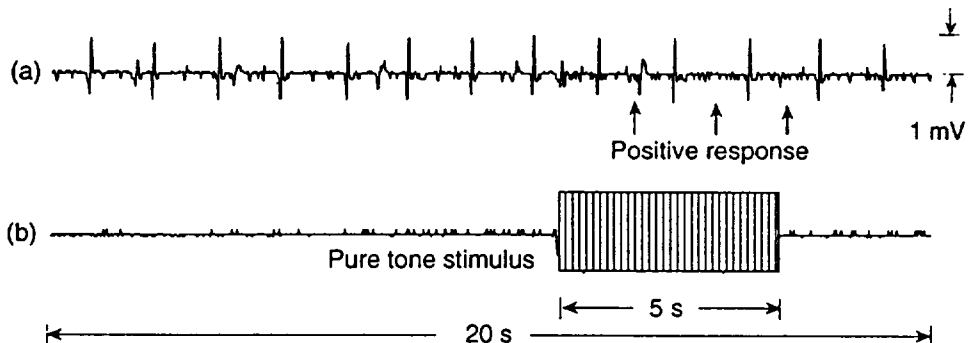


Fig. 5. Oscillographic recordings showing typical cardiac responses (upper trace) to pure tone stimulus (lower trace). Lower time scale is 20 s.  
 (a) The positive response usually involved an inhibition of the second and/or third heart beat following the onset of the tone. Arrows show the increase in time between heart beats while projecting the pure tone stimulus.  
 (b) Pure tone stimulus.

추의 흥분 주기만이 아니라, 심장 안의 흥분전달이 현저하게 영향을 받고 있기 때문이라고 해석된다 (古河, 1993).

전기자극 또는 음향자극을 부여함으로써 간단하게 심장반사를 나타나게 할 수 있지만, 위심강 안에 전극을 삽입하여 심전도를 도출하는 방법은 마취, 전극의 장착에 수반되는 상해, 리드 선에 의한 자유유영의 방해 등으로 영향을 받아서 어류의 반사가 둔화되는 것을 생각할 수 있다. 그렇지만, 미약한 감각자극으로도 심장반사를 촉발시킬 수 있으므로, 반대로 이것을 이용하여 각종 감각자극에 대한 명태의 역치를 측정할 수 있다고 생각된다.

## 요 약

쌍극도출법으로 명태의 심전도를 도출하기 위하여 실험하기 전날 미리 실험어를 처치하였다. 심전도 도출용 수중전극은 실험어의 체표면의 굴곡부를 따라서 전극을 도출할 수 있도록 낚시 바늘로 제작하였다. 이 낚시 바늘을 페인트로 절연한 리드선에 연결하였으며, 연결 부위도 페인트로 절연하였다. 낚시 끝은 수중전극이 도출되도록 피복을 약간 벗겼으며, 낚시 바늘 끝을 실험어의 위심강에 삽입하였다. 그 결과 인위적인 영향을 제거한 상태에서 수중전극으로 명태의 체내로부터 심장박동 기전력을 확인하였으며, 이 심전위를 디지털 스토리지 오실로스코프에 기록할 수 있었다. 심전도는 QRS의 복합 파형으로 나타났으며, 전위는 0.1~0.1mV였다.

실험어가 진동음을 청취하면, 심박간격이 벌어졌으며, 소리자극과 전기자극을 조합하여 학습을 시키면, 미약한 소리자극만 주어도 정상시의 심박간격보다 벌어져서, 심박수가 줄어드는 것이 확인되었다.

## 문헌

- 古河太郎, 1993. 魚の音感覺. 日本音響學會誌, 49(6), 421-428.
- 灘波憲二, 村地四郎, 河本眞二, 中野義久, 1973. 魚類の心電圖に關する研究-I. *J. Fac. Fish. Anim. Husb.*, Hiroshima Univ., 12, 147-154.
- NOMURA, S., IBARAKI, T. and SHIRAHATA, S., 1969. *Jap. J. vet. Sci.*, 31, 135-147.
- 黒木敏郎, 1985. 海洋牧場における計測と魚群の制御. 計測と制御, 24(3), 195-200.
- 朴容石, 飯田浩二, 向井 徹, 櫻井泰憲, 1995a. 스키투우그라의聽覺閾値. 日水誌, 61, 159-163.
- 朴容石, 飯田浩二, 梨本勝昭, 1995b. 스키투우그라의聽覺閾値とスペクトラムレベル比. 日水誌, 61(6), 847-853.
- 山森邦夫, 羽生 功, 日比谷 京, 1971a. ウナギ心電圖の水中電極による導出. 日水誌, 37(2), 94-97.
- 山森邦夫, 羽生 功, 日比谷 京, 1971b. ウナギ體表心電圖の單極導出法. 日水誌, 37(2), 90-93.
- 上城義信, 1991. 音響馴致システムによる魚群制御. 日水誌, 28(1), 65-70.