

# 遊泳運動에 의한 잉어의 心拍數變化

安 永 一 · 有 元 貴 文\*

釜山水産大學校 · \*東京水産大學

(1994年 10月 1日 接受)

## Heart rate change of carp *Cyprinus carpio* during swimming activity

Young - Il AN and Takafumi ARIMOTO\*

National Fisheries University of Pusan

\*Tokyo University of Fisheries, Japan

(Received October 1, 1994)

Exercise physiology of fish was studied by means of Electro-cardio-gram(ECG) technique with wired electrode system. Effects of swimming activity on the heart rate change for carp *Cyprinus carpio* was observed and analysed under swimming speeds among 1~3 Body Length/s and swimming durations of 10 and 60 minutes in the flume tank. The heart rate increase during swimming activity was observed in higher speed and longer duration conditions. The exercise effect on the heart rate continued even after fish stopped swimming. The time for recovery after exercise was tended to be elongated with the higher exercise condition.

### 緒 論

어류의 유영운동을 파악한다는 것은 어구·어법의 연구에 있어서 대단히 중요하며, 어류 생리학적인 면에서도 흥미 있는 과제이다. 어류의 유영행동에 관한 연구로는 생태학, 유체역학, 생화학의 분야는 물론, 운동생리학에 의한 최대유영속도 추정이나 체측근의 乳酸과 ATP를 이용한 유영운동에 의한 피로 측정 등, 어류의 유영행동에 관해서 많은 연구가 보고되고 있다. 그러나 심전도를 이용한 운동생리학 분야에서는 Priede<sup>1)</sup>, Stevens and Randall<sup>2)</sup> 등의 석조송어 *Salmo*

*gairdneri*에 대한 연구가 있으나, 다른 분야에 비해 대단히 뒤떨어져 있다.

유영속도와 지속시간은 유영능력을 결정하는 중요한 요소이며<sup>3)</sup>, 유영속도는 고기체형, 수온 등과 같은 물리적 요인과 심전도의 변화, 體側筋의 筋活動, 代謝 등의 생리 및 생화학 요인과 밀접한 관계가 있다.

한편, 어류의 심전도는 의학·임상분야에서 병의 진단수단으로써 이용되고 있는 육상동물의 심전도에 비해서 그 연구가 대단히 늦지만, 콘트라스트역치<sup>4)</sup>, 청각역치<sup>5)</sup>, 온도지각<sup>6)</sup> 등의 연구에서 자극효과의 강약을 나타내는 지표로써 이용되어

았다. 본연구에서는 수생동물의 수영운동 계측 실험에 잘 사용되는 회류수조를 이용해서, 실험조건으로 수영속도와 지속시간을 설정하여, 각 조건에 대한 잉어 *Cyprinus carpio*의 심박수의 변화를 조사하였다.

### 材料 및 方法

실험어는 체장 10 cm와 15 cm의 잉어를 사용하였고, 사육수온과 실험수온은  $15 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 조절하였다.

실험은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 小型回流水槽(西日本流體技研製, FVR-G5)를 이용하여 1992년 1~2월에 행하였다. 실험어의 心膜腔에 전극을 장착하고, 12시간 이상 안정시킨 후, 실험어를 회류수조의 수로(70L×20W×30Hcm)로 이동하여 다시 30~60분간 순용시키는데, 심박수가 안정시의 상태와 거의 같다고 판단된 후 실험을 개시하였다. 유속은 프로펠라식 소형 유속계(三光精機, SV-101)로 측정하였고, 체장 10 cm 잉어에 대해서 1BL/s(10 cm), 체장 15 cm에 대해서는 1, 2, 3BL/s(15, 30, 45 cm)의 유속조건에서 실험을 행하였다. 실험시간은 체장 15 cm의

경우, 안정시간 10분, 지속시간 10분, 회복시간 30분으로 計 50분간을 1 회로 하였다. 또한, 체장 10 cm의 경우는 안정시간 10분, 지속시간 60분, 회복시간 30분의 計 100분간의 2가지로 설정하였다. 실험은 각 유속에 대해서 실험어를 교체하여 3회씩 행하였다. 심박수는 前報<sup>7)</sup>와 같이 生體電位增幅器(日本光電, SEN-6102), 디지털스토레지스코프(岩痛電子, DS-6612C)를 이용해서 실험시간동안 매 5초간의 심전도로 부터 심박수를 연속 기록하였다. 또한 각 실험조건에 대해서 1회씩, 실험 종료후의 심박수의 회복과정을 조사하기 위하여, 30분 마다 1분간의 심전도를 270분에 걸쳐서 컴퓨터로 기록하여 분석하였다.

### 結果 및 考察

유영운동에 의한 심박수의 변화의 기록한 예를 Fig. 2에 나타내었다. 위 그림(A)는 지속시간을 일정하게 하고 수영속도를 변화시켰을 때의 심박수의 변화, 아래 그림 (B)는 일정한 수영속도상에서 지속시간을 변화시킨 경우의 심박수의 변화를 나타내고 있다. 안정시의 심박수는 개체에 따라 차이를 보이지만, 대개 20~40회/分(평균 29회/分)이

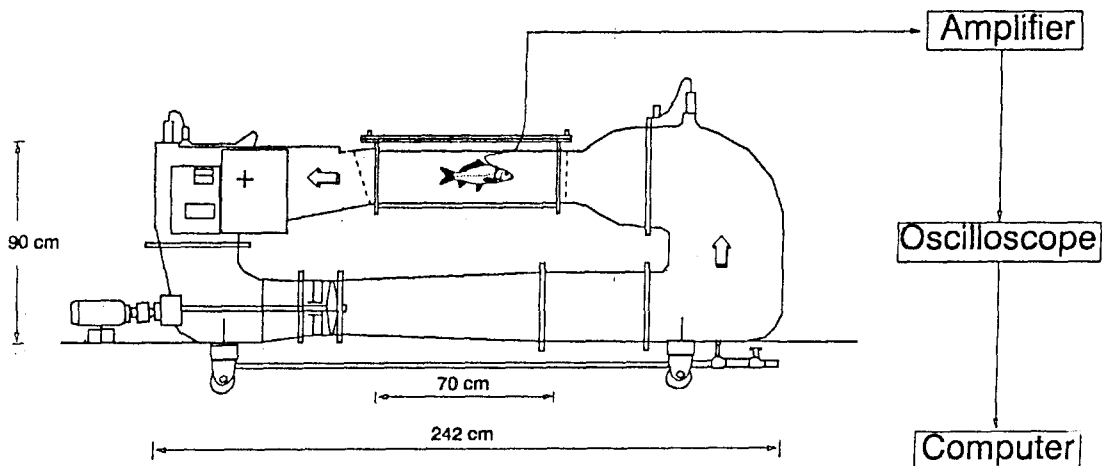


Fig. 1. Arrangement of experimental apparatus for recording of ECG during swimming trials.

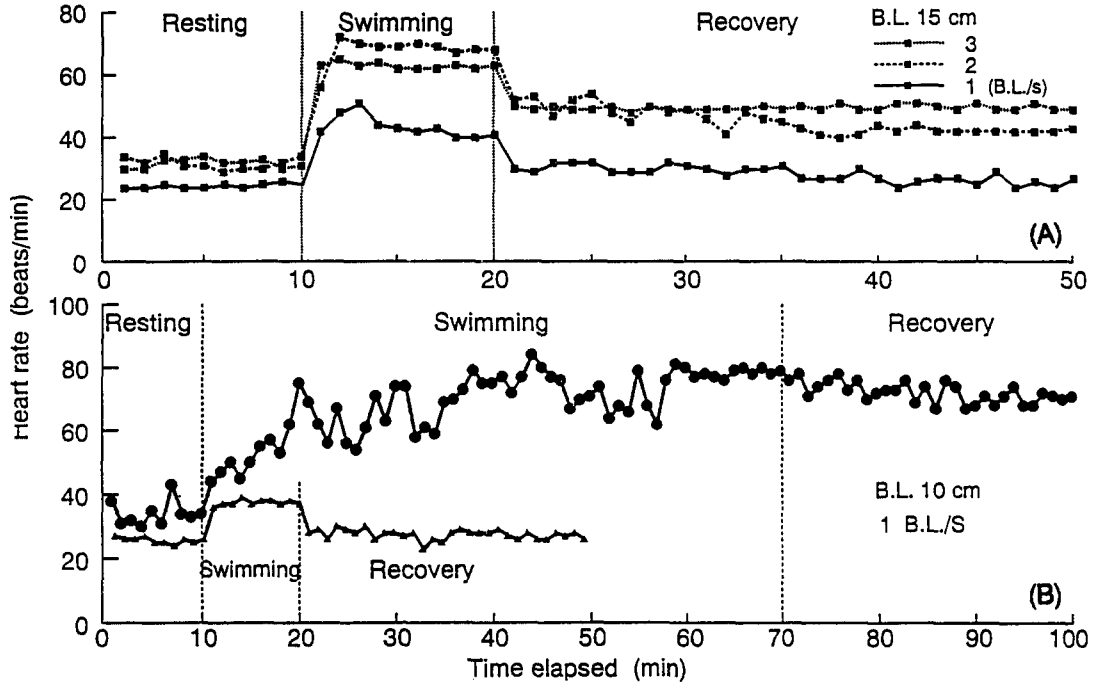


Fig. 2. Example of heart rate change in carp at different swimming speeds(A) and swimming durations(B).

었다. 유영운동에 의한 심박수는 증가하는데, 안정시의 2배 이상 증가한 경우는 운동후 30분이내에서 회복되지 않았다. 지속시간 10분, 유영속도 1BL/s의 경우, 유영시의 평균심박수는 46회/분로 안정시보다 약 1.8배 증가하였으나, 대체로 심박수의 증가가 적고, 유영후에는 거의 안정시의 수준으로 빠르게 회복되었다. 여기에서 유영시의 평균심박수는 유영직후 2분간의 심박수를 제외하고 계산하였다. 유영속도 2, 3BL/s의 경우는 73, 70회/분로 안정시보다 약 2.3배로 급속히 증가하여 1BL/s의 유영속도보다 현저하게 증가하였다. 이 때의 심박수는 최대 76회/분에 달하였고, 운동후에는 1BL/s의 경우와 달리 단시간내에 회복되지 않고 안정시 보다 높은 상태가 지속되었다. 한편, 유영속도 1BL/s의 경우에서 지속시간을 60분으로 길게 하였을 때의 심박수는 84회/분까지 서서히 증가하였고, 유영후에도 지속시간 10분, 2, 3BL/s의 유영속도와 같이 안정시보다 현저하게 증가한 상

태가 지속되었으며, 유영운동 후 30분 이내에서는 안정시의 상태로 회복되지 않았다. 이와같이 심박수의 회복과정은 유영운동이 종료해서도 심박수는 즉시 안정시의 상태로 회복되지 않았다(Fig. 3). 유영속도 1BL/s의 경우는 Fig. 2, 3에서와 같이 유영운동 후 30분이내에서 회복되었지만, 유영속도 2, 3BL/s의 경우는 약 120분 경에 안정시의 상태로 회복되었다. 그러나, 지속시간의 60분의 경우는 약 210분 후에 안정시의 상태로 회복되는 경향을 보였지만, 어느 경우보다 심박수가 약간 높은 상태였으며, 완전히 회복되지 않았다.

위와같은 유영운동에 따른 심박수의 증가를 심박증가율(acceleratory ratio)으로써 구하여, 유영운동과의 관계를 Fig. 4에 나타내었다.

$$\text{Acceleratory ratio} = \frac{H_{\max} - H_0}{H_0} \times 100(\%)$$

단, Hmax는 유영시의 最大心拍數이고, H0는

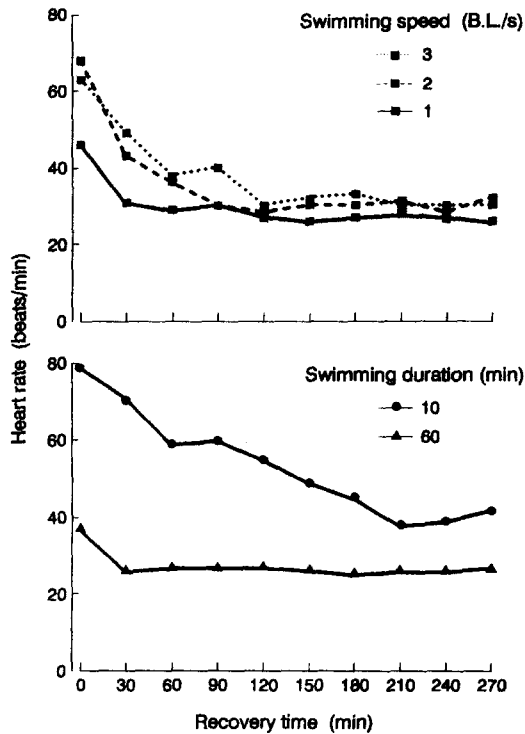


Fig. 3. Heart rate recovery with time elapsed after swimming exercise according to the different speeds and durations.

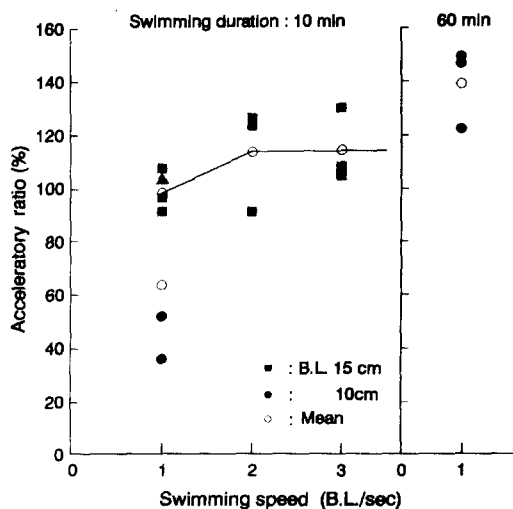


Fig. 4. Acceleratory ratios of heart rate according to the different exercise condition.

안정시의 平均心拍數를 나타낸다. 심박증가율은, 유영속도가 높거나 지속시간이 긴 경우에 높았다. 지속시간 10분, 유영속도 2, 3BL/s의 경우는 113.8%, 114.2%로, 1BL/s의 98.2%의 경우보다 높았다. 또한 1BL/s의 유영속도에서도 지속시간을 60분으로 길게 한 경우, 평균 심박증가율은 139.1%로 지속시간 10분의 경우(63.5%, 체장 10 cm)보다 약 2.2배 높았다. 한편, Priede<sup>1)</sup>는 석조송어의 유영운동과 심박수와와의 관계에서, 0.6~2.0BL/s의 범위에서는 유영속도의 증가에 따라 심박수는 증가하였으나, 2BL/s 이상에서는 거의 일정하다고 보고하였다. 본 실험에서도 지속시간 10분의 경우에서, 2BL/s의 심박증가율은 1BL/s의 경우보다 높으나, 3BL/s의 경우와 거의 같은 경향을 나타내었고, 심박증가율은 지속시간에 따라 달랐다. 이상으로, 유영속도와 지속시간에 따라 심박증가율은 달라지며, 유영속도가 낮더라도 지속시간이 길면 심박증가율은 높아지며 어류의 심장에 주는 부담은 크다고 할 수 있겠다.

한편, 운동강도와 지속시간의 곱으로 나타내는 운동량( $\Sigma EX$ )은 심박수(HR)를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>8)</sup>.

$$\Sigma EX = \%HR_{max} \times T$$

$$\%HR_{max} = \frac{\text{운동시HR} - \text{안정시HR}}{HR_{max} - \text{안정시HR}} \times 100$$

여기에서, T는 지속시간,  $HR_{max}$ 는 최대심박수,  $\% HR_{max}$ 는 운동강도이다. 최대심박수에는 실험조건, 성숙도에 따라 상당한 개체차가 있겠지만, 여기에서는 안<sup>9)</sup>이 나타낸 128회/분로 하였다. 그 결과, 지속시간 10분 1, 2, 3BL/s에서의 평균운동량은 각각 34%×10분(25%×10분, 체장 10 cm), 62%×10분, 58%×10분이었다. 한편, 지속시간 60분의 평균운동량은 40%×60분으로 본 실험조건에서 최대의 운동량을 나타내었다. 또한 운동량이 클수록 운동종료후의 회복에 요하는 시간은 길어짐을 알 수 있다.

어류는 심한 유영운동을 할 경우, 언젠가는 波勞에 달하여서 유영불능 상태로 된다. 이와같은

어류의 피로에 대해서, 유영운동과 筋活動에 관한 연구도 행하여지고 있다<sup>10)</sup>. 유영속도에 따라서 體側筋의 血合筋과 普通筋을 사용하게 되는데, 普通筋은 빠른 유영에는 적합하지만 장시간 유영하기에는 부적합하고, 血合筋은 빠른 유영에는 부적합하지만 장시간 유영하기에는 필요 불가결한 근육인 것으로 알려져 있다<sup>11), 12)</sup>. 또한 Alexander<sup>13)</sup>는 체장 13 cm의 잉어가 3BL/s(0.4m/s)이하의 속도에서 血合筋만을 사용한다고 보고 하였다. 따라서, 본 실험의 조건인 지속시간 10분, 1~3BL/s의 유영속도에서는, 실험어가 血合筋을 사용하였다고 판단되며, 피로에는 이르지 않았다고 생각된다.

### 要 約

심전도측정의 수법을 이용한 잉어 *Cyprinus carpio*의 운동생리실험에서, 1~3BL/s의 유영속도와 10, 60분의 지속시간에 대한 유영운동의 효과를 비교 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 유영운동중의 심박수는 유영속도가 높고, 지속시간이 긴 조건에서 증가하였다.
2. 심박수에 대한 유영운동의 효과는 유영 종료후에도 지속되었다.
3. 유영운동후의 회복시간은 운동량이 증가할수록 길어지는 경향이였다.

### 參考文獻

- 1) Priede, I. G.(1974) : The effect of swimming activity and section of the vagus nerves on heart rate in rainbow trout. J. Exp. Biol., 60, 305 - 319.
- 2) Stevens, E. D. and D. J. Randall(1967) : Changes in blood pressure, heart rate and breathing rate during moderate swimming activity in rainbow trout. J. Exp. Biol., 46, 307 - 315.
- 3) Tsukamoto, K., T. Kajihara and M.

- Nishiwaki(1975) : Swimming ability of fish. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 41, 167 - 174.
- 4) Anthony, P. D.(1981) : Visual contrast thresholds in the cod *Gadus morhua* L. J. Fish Biol., 19, 87 - 103.
  - 5) Schellart, N. A. M. and R. J. A. Buwalda(1990) : Directional variant and invariant hearing thresholds in the rainbow trout. J. Exp. Biol., 149, 113 - 131.
  - 6) Iriki, M., M. Seiko, M. Nagai, K. Tsuchiya(1976) : Effects of thermal stimulation to the spinal cord on the heart rate in cyprinid fishes. Comp. Biochem. Physiol., A 53, 61 - 63.
  - 7) 安永一·有元貴文(1994) : ストロボ光に對するマアジの回避行動. 日水誌, 60(6).
  - 8) 波多野義郎(1992) : -運動·生理·生化學·榮養- 圖說·運動の仕組みと應用(中野昭一編), 醫齒藥出版社, 東京, pp. 235 - 248.
  - 9) 安永一(1993) : 威嚇光刺激に對する魚類の反應とその制御に關する基礎的研究. 博士學位論文, 東京水産大學, 東京, pp. 75.
  - 10) Xu, G., T. Arimoto and M. Inoue(1993) : The measurement of muscle fatigue in walleye pollock(*Theragra chalcogramma*) captured by trawl. Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 745 - 751.
  - 11) 塚本勝己(1984) : プリの血合筋と普通筋の遊泳運動における役割. 日水誌, 50, 2025 - 2030.
  - 12) Bone, Q.(1966) : On the function of the two types of myotomal muscle fibers in elasmobranch fish. J. Mar. Biol. Assoc. UK., 46, 321 - 349.
  - 13) Alexander, R. M.(1992) : 生物と運動 バイオメカニックスの探究(東昭). 日經サイエンス社, 東京, pp. 181 - 208.