

# 겨울철 개구리 (*Rana temporaria*)의 $\text{Na}^+$ 이온 대사

연세대학교 의과대학 생리학교실

이 중 우 · 강 두 희

=Abstract=

## $\text{Na}^+$ Metabolism in the Frog in the Winter Time

Joong Woo Lee and Doo Hee Kang

Department of Physiology, Yonsei University College of Medicine  
Seoul, Korea

$\text{Na}^+$  balance was studied in *Rana temporaria*, which hibernates in fresh water in the winter time.  $\text{Na}^+$  uptake rate, skin  $\text{Na}^+$  loss rate, urinary  $\text{Na}^+$  loss rate and  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  adenosine triphosphatase (ATPase) were measured at two different temperatures  $1\sim 2^\circ\text{C}$  and  $20\sim 24^\circ\text{C}$  respectively.

The results obtained were as follows:

1.  $\text{Na}^+$  uptake rates in the frog in an artificial pond water (APW) were found to be  $8.28\pm 0.73$  and  $2.19\pm 0.37 \mu\text{Eq/g/day}$  at  $20\sim 24^\circ\text{C}$  and  $1.0\sim 2.5^\circ\text{C}$  respectively.
2.  $\text{Na}^+$  loss rate through the frog skin to APW were found to be  $4.26\pm 0.72$  and  $0.93\pm 0.21 \mu\text{Eq/g/day}$  at the same temperatures.
3. Mean rates of urinary  $\text{Na}^+$  loss at  $20\sim 24^\circ\text{C}$  and  $3\sim 4^\circ\text{C}$  were found to be  $3.02\pm 0.73$  and  $0.78\pm 0.13 \mu\text{Eq/g/day}$  respectively.
4. The activities of  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  activated ATPase of frog skin fragments were found to be  $258\pm 39.4$  and  $49.6\pm 7.1 \mu\text{M Pi/g protein/hr}$  at  $24^\circ\text{C}$  and  $2^\circ\text{C}$  respectively.

From the above results, it may be concluded that frogs can take up enough  $\text{Na}^+$  through the skin from APW exceeding skin loss plus urinary loss at  $1\sim 2^\circ\text{C}$ . It is suggested that  $\text{Na}^+$  transport across frog skin is closely related with  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  ATPase since  $Q_{10}$  of  $\text{Na}^+$  uptake is much similar to that of the activities of  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  ATPase.

### I. 서 론

개구리가 살고 있는 담수의  $\text{Na}^+$ 농도는 약  $0.2\text{mEq/L}$ 이며, 개구리혈장  $\text{Na}^+$ 농도는 약  $100\text{mEq/L}$ 로써 500배 이상의 농도 차이가 있으나, 개구리는 담수로부터 피부를 통하여 능동적으로  $\text{Na}^+$ 을 체내로 이동시키고 있다 (Krogh, 1937; Greenwald, 1971; Greenwald, 1972). 뿐만 아니라 개구리는 피부나 노를 통하여  $\text{Na}^+$ 을 배설함으로써 체액의 삼투압을 일정하게 조절하고 있다.

개구리 *Rana temporaria*는 겨울동안에 물속에서 월동하는데, 이는 개구리가 수온이  $1\sim 2^\circ\text{C}$ 에서도  $\text{Na}^+$ 을 능동적으로 이동시킬 수 있기 때문에 생존할 수 있

리라 생각되나 이에 대한 업적들이 보고된 바가 없다. 따라서 저자들은 담수와 같은 조성을 가진 인공담수 (artificial pond water)에 개구리를 넣고  $1\sim 2^\circ\text{C}$  및 실온( $20^\circ\text{C}$ )에서  $\text{Na}^+$ 섭취율, 피부를 통한  $\text{Na}^+$ 소실율, 노를 통한  $\text{Na}^+$ 소실율 및  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  ATPase 활성도를 측정하여  $\text{Na}^+$ 평형의 양상을 관찰하였다.

### II. 실험방법

#### 1. 실험동물

서울근교 얼음이 얼어있는 담수속에서 잡은, 체중  $15\sim 40\text{g}$  되는 개구리(*Rana temporaria*)를 우물물에 담그어 실험전까지  $4^\circ\text{C}$ 되는 냉장조에 두었다.

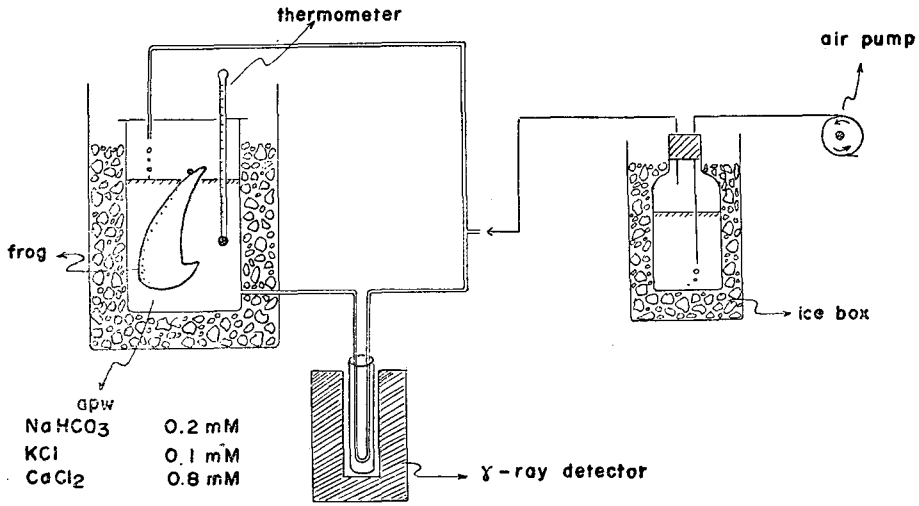


Fig. 1. Schematic representation of the experiment.

2. 실험기구

그림 1에 도시된 바와 같은 용기에 300 ml의 인공적 담수(artificial pond water 이하 APW)를 넣고 이 용기 외부에는 APW의 온도가 일정하게 유지되게 더운 물 또는 얼음을 채우게 해 두었다. APW의 조성은 Alvarado & Kirschner(1969)등이 사용한 0.2 mM NaHCO<sub>3</sub>, 0.1 mM KCl, 0.8 mM CaCl<sub>2</sub>로써 이때 Na<sup>+</sup>농도는 우리가 담수에서 측정 한 Na<sup>+</sup>농도와 거의 같았다.

이 APW는 용기 아래에 뚫린 관을 통하여  $\gamma$ -선 측정기로 들어가서, 그 방사능이 측정된 후 위로 올라오게 되고, 공기 펌프에 의하여 다시 원위치로 돌아가 계속 순환하게 하였다. 이때 Na<sup>22</sup>가 개구리 몸안으로 혹은 APW쪽으로 이동됨에 따라 변화하는 APW의 방사능을  $\gamma$ -선측정기에 의하여 매 10분마다 8분씩 측정하였다. 이하의 모든 실험은 APW 온도 1.0~2.5°C(cold temperature 이하 CT) 및 20~24°C (room temperature 이하 RT)에서 측정하여 비교하였다.

표 1. Na<sup>+</sup>섭취율 및 소실율

| 온도<br>°C        | Na <sup>+</sup> 섭취율<br>$\mu\text{Eq/g}\cdot\text{day}\pm\text{SE}$ | 피부를 통한<br>Na <sup>+</sup> 소실율<br>$\mu\text{Eq/g}\cdot\text{day}\pm\text{SE}$ | 노를 통한<br>Na <sup>+</sup> 배설율<br>$\mu\text{Eq/g}\cdot\text{day}\pm\text{SE}$ |
|-----------------|--|--|---|
| 1.0-2.5         | 2.19±0.37<br>(7)   | 0.93±0.21<br>(8)   | 0.78±0.13<br>(7)  |
| 20~24           | 8.28±0.73<br>(5)   | 4.26±0.72<br>(7)   | 3.02±0.73<br>(7)  |
| Q <sub>10</sub> | 1.94   |  |   |

( )안은 개구리 수

3. Na<sup>+</sup> 섭취율

300 ml의 APW에 Na<sup>22</sup> 0.0015  $\mu\text{c/ml}$ 를 넣고 섞은 다음 개구리를 미리 실험하고저 하는 온도의 APW에 1~2시간 넣어 두었다가 개구리 복부를 눌러 노를 채취하고, 증류수로 씻어 용기에 넣고 측정을 시작하여 6시간동안 기록하고, APW로부터 소실되는 Na<sup>22</sup>감소 곡선(disappearance curve)을 그렸다.

실험이 끝난 APW는 flame photometer(Baird atomic flame photometer KY-2)에 의해서 Na<sup>+</sup> 농도를,  $\gamma$ -선 측정기(Radiation Instrument Development Laboratory mod RIDL 29-1)로 방사능을 측정하여 Jørgensen(1946)이 사용한 식에 의하여 Na<sup>+</sup> 섭취율을 구했다.

4. 피부를 통한 Na<sup>+</sup> 소실율

개구리 체내에 Na<sup>22</sup> 2 $\mu\text{c}$  (0.2ml)를 복부임과낭에 주사하고 APW에 넣어 2일간 두었다. 실험당일 동위원소가 들어있지 않은 APW를 순환시키다가 위의 개구리를 증류수로 씻어 용기에 넣고 4시간동안 APW에 첨가되어 증가하는 방사능을 측정하여 Na<sup>22</sup>의 증가곡선을 그리고 실험이 끝난후 APW는 분리하여 위의 요령으로 Na<sup>+</sup>농도 및 방사능을 측정하였다. 이 실험이 끝난 개구리는 개구리 체내의 Na<sup>22</sup>의 specific activity를 구할 목적으로 200 ml의 증류수에 넣었다가 2일후에 꺼내고 이 용액에서 다시 Na<sup>+</sup>농도 및 방사능을 측정하였다. 다음 이를 이용하여 Greenwald (1971)가 사용한 식에 의하여 피부를 통한 Na<sup>+</sup>소실율을 구하였다.

계산식

1. Na<sup>+</sup>섭취율(u)

$$u = - \frac{A}{t \log e} \log \frac{y_t}{y_0}$$

A: APW의 Na<sup>+</sup>농도

t: 시간(hr)

y<sub>0</sub>: 개구리를 넣기 전의 APW의 방사능

y<sub>t</sub>: t시간후의 APW의 방사능

2. Na<sup>+</sup>소실율(L)

$$\text{Loss CPM/hr} = \text{Appearance CPM/hr} + \text{Return CPM/hr}$$

$$\text{Return CPM/hr} = \text{uptake } (\mu\text{Eq/hr}) \times \text{SA}_1 \text{ (CPM/}\mu\text{Eq)}$$

$$L = \text{Loss CPM/hr} \times \text{SA}_2 \text{ } (\mu\text{Eq/CPM)}$$

Loss CPM: 손실되는 Na<sup>22</sup> 방사능

Appearance CPM: APW에 나타나는 방사능

Return CPM: 개구리 체내로 다시 섭취되는 방사능

Uptake rate: Na<sup>+</sup> 섭취율(상기 섭취율에서 얻은 수치를 이용했음)

SA<sub>1</sub>: APW의 specific activity

SA<sub>2</sub>: 개구리를 담근 증류수의 specific activity

5. 뇨를 통한 Na<sup>+</sup>배설

500 ml 비커에 APW를 200 ml 씩 넣고, 여기에 개구리를 담근후 3시간마다 꺼내어 방노케하여 뇨를 채취하고 방노시키기 전 및 후의 체중변화를 저울(triple beam balance)로 측정하여 그 차를 뇨량으로 정하고, 이때 받은 뇨의 Na<sup>+</sup>농도를 측정하여 뇨를 통한 Na<sup>+</sup>소실율을 구하였다.

6. Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase 활성도

개구리 피부를 일정량 절제하여 개구리 Ringer 용액에 넣고, homogenizer로 갈아서 cell disruption bomb (Parr Instrument Co.)에 넣어 질소(N<sub>2</sub>)로 800 psi로 가압하여 30분간 두었다가 감압시키면서 세포막을 파괴하여 세포막소절편(membrane fragments)을 얻었다. 20 ml 삼각후라스크에 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase의 활성도를 측정하기 위하여 측정용액(Kang, 1969) 및 세포막소절편을 넣고 Dubnoff incubator에 넣어 2°C 및 24°C에서 ATP를 넣으면서부터 15분간 incubation시킨후, 30% TCA(trichloroacetic acid)를 첨가하여 효소작용을 정지시키고 원심하여 그 상층액에서 유리된 Pi의 양을 Fiske-Subbarow 방법(1925)에 의해서 측정하였다.

Na<sup>+</sup> 섭취실험이 끝난 개구리는 심장천자를 하여 혈

액을 뽑고 혈장을 분리하여 혈장의 방사능을 측정하고 APW의 방사능과 비교하였다.

III. 실험 성적

1. Na<sup>+</sup>섭취율

Na<sup>+</sup>이 APW에서 개구리 체내로 이동되는 양을 측정 한 결과 CT 및 RT에서 각각 2.19±0.37 및 8.28±0.73 μEq/g/day이었다. APW의 온도를 1.0~2.5°C를 택한 것은 겨울철(1월경) 개구리가 살고 있는 담수의 온도를 측정했을 때 이 범위에 들었기 때문이다.

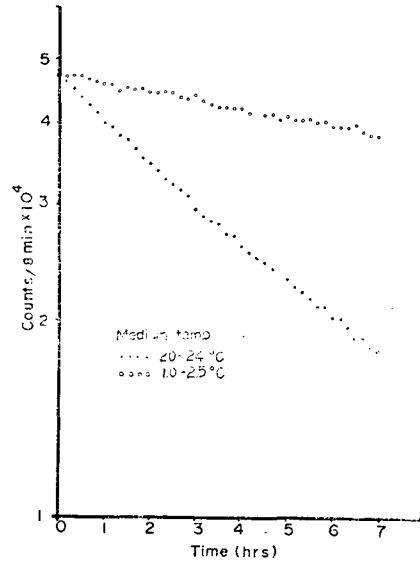


Fig. 2. Na<sup>22</sup> count disappearance curve.

그림 2에서 온도가 낮을 때는 APW 방사능의 감소율이 현저하게 떨어진 것을 볼 수 있고, 시간이 지남에 따라 기울기가 둔해 지는 것을 볼 수 있는데, 이는 개구리 체내로 이동되었던 Na<sup>22</sup>의 일부가 다시 APW 쪽으로 빠져나오기 때문일 것으로 사료된다. 이때 두 온도에서 Q<sub>10</sub>을 계산한 결과 1.94이었다.

2. 피부를 통한 Na<sup>+</sup>소실율

개구리 몸에서부터 피부를 통하여 APW 쪽으로 빠져나오는 Na<sup>+</sup>량을 측정 한 결과 APW의 온도 CT에서는 0.93±0.21 μEq/g/day 이고, RT에서는 4.26±0.72 μEq/g/day 이었다.

그림 3에서 두 곡선을 비교할 때 온도가 낮을 때는 높을 때보다 Na<sup>22</sup> 소실량이 작은 것을 볼 수 있고 두

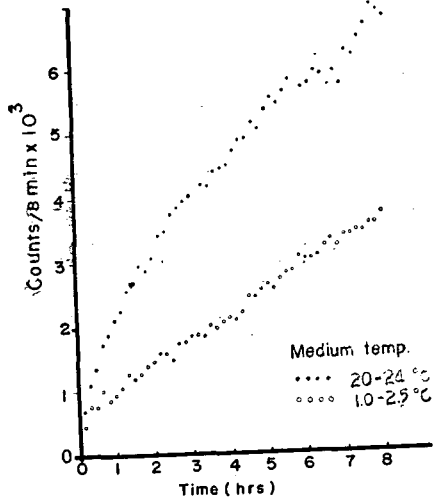


Fig. 3. Na<sup>22</sup> count appearance curve.

곡선에서 다같이 정도 차는 있으나 시간에 따라 APW의 방사능 증가율이 점차 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 APW 쪽으로 나왔던 Na<sup>22</sup>의 일부가 다시 개구리 체내로 섭취되기 때문으로 사료된다. 따라서 소실율을 구할 때는 곡선의 처음 기울기를 이용했다.

표 2. 뇨를 통한 Na<sup>+</sup>배설율

| 온도<br>°C | 뇨 Na <sup>+</sup> 농도<br>mEq/L ± S.E | 뇨 량<br>ml/g·day ± S.E | 뇨를 통한 Na <sup>+</sup><br>배설율 μEq/g·<br>day ± S.E |
|----------|-------------------------------------|-----------------------|--|
| 3~4      | 4.5 ± 0.93<br>(7)                   | 0.191 ± 0.031<br>(7)  | 0.78 ± 0.13<br>(7)                               |
| 20~24    | 7.7 ± 1.47<br>(7)                   | 0.397 ± 0.042<br>(7)  | 3.02 ± 0.73<br>(7)                               |

( ) 안은 개구리 수

3. 뇨를 통한 Na<sup>+</sup> 배설율

개구리 피부를 통하여 Na<sup>+</sup>를 섭취하는 양보다 소실되는 양이 적다면 그 차는 개구리 체내에 보유하고 있던 것 그렇지 않으면 뇨나 변(糞)을 통하여 체외로 내보낼 수 밖에 없다.

따라서 개구리가 형성하는 뇨량이나 뇨의 Na<sup>+</sup>농도는 필요 이상의 Na<sup>+</sup>을 체외로 배설하는 한 수단이 될 것이므로 두 온도에서 측정, 비교했다.

APW의 온도 3~4°C 일때 뇨의 Na<sup>+</sup>농도는 4.5 ± 0.93 mEq/L이며, 뇨량은 0.191 ± 0.031 ml/g/day이다. 20~24°C 일 때는 각각 7.7 ± 1.47 mEq/L 및 0.397 ± 0.042

ml/g/day 로써 Na<sup>+</sup>농도 및 양 모두 20~24°C에서 높았다. 따라서 뇨를 통한 Na<sup>+</sup>소실율은 두 온도에서 각각 0.78 ± 0.13 및 3.02 ± 0.73 μEq/g/day 이었다.

실온에서의 뇨의 Na<sup>+</sup>농도는 Greenwald(1971)가 개구리(*Rana pipiens*)에서 측정한 15 mM/L이나 Middler et al. (1968)이 두꺼비(*Bufo marinus*)에서 측정한 9.0 mM/L 보다는 작으나 Mayer(1909)가 개구리(*Rana esculenta*)에서 측정한 4.6 mM/L 나 Parisons & Alvarado가 도롱뇽(*Ambystoma gracile*)에서 측정한 4.5 mM/L 보다는 큰 값이었다.

4. Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase 활성도

개구리 피부를 통한 Na<sup>+</sup>이동의 기전은 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> activated ATPase의 작용에 의해서 이루어 진다고 추측되고 있는데 (Skou, 1965), 낮은 온도에서도 Na 섭취가 가능한 것이 이런 온도에서도 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase가 작용하기 때문이라 생각해서 양 온도에서 이 효소의 활성도를 측정하여 Na<sup>+</sup>이동과의 연관성 여부를 관찰하였다.

2°C에서는 49.6 ± 7.1 μM Pi/g protein/hr 이고 24°C에서는 258 ± 39.4 μM Pi/g protein/hr 로써, 2°C에서도 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase 활성도가 상당량 있는 것으로 나타났으며, 두 온도에서 Q<sub>10</sub>을 계산한 결과 2.10이었다.

24°C 때의 이 값은 Bonting(1962)등이 측정한 신장, 뇌조직등에서 보다는 작았으나 개구리 피부에서의 값 보다는 컸었다.

표 3. 개구리피부 세포막에서의 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase 활성도

| 온도<br>°C        | Na <sup>+</sup> -K <sup>+</sup> ATPase<br>활성도<br>μM Pi/g protein/hr<br>± S.E | 방사능 비<br>혈장/APW |
|-----------------|--|-----------------|
| 2               | 49.6 ± 7.1<br>(5)  | 9.9             |
| 24              | 258 ± 39.4<br>(5)  | 34.9            |
| Q <sub>10</sub> | 2.10   |                 |

( ) 안은 실험예 수

IV. 고 활

개구리 피부를 통한 Na<sup>+</sup>이동이 능동적 과정이므로 대사억제물질(metabolic inhibitor)등에 의해서 감소되는 것은 잘 알려져 있다(Fuhrman, 1952; Leaf and Renshaw, 1957 a; Leaf and Renshaw, 1957 b).

따라서 본 실험에서 온도가 떨어질 때 Na<sup>+</sup>섭취율이 감소되는 것은 낮은 온도에서 energy 공급을 포함하는

모든 화학반응의 속도가 늦어질 것이기 때문이라 생각된다.

세포막을 통해서  $\text{Na}^+$ 의 능동적 이동은  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  ATPase에 의해서 이루어 진다고 하므로  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  ATPase는 Na-pump의 한 부분이라고 알려져 있다(Dunham & Glynn, 1960; Tosteson et al., 1960; Post et al., 1960; Dunham & Glynn, 1961; Bonting & Caravaggio, 1962; Kingsolving et al., 1963).

본 실험에서도 개구리 피부를 통한  $\text{Na}^+$ 이동이  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  ATPase에 의해서 이루어 지리라 생각하고, 두 온도에서  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  ATPase 활성도를 측정 한 것이다.

효소활성도가 온도의 영향을 받는다는 것은 잘 알려져 있는데, 온도의 변화와  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  ATPase 활성도와와의 관계는 쥐의 뇌조직(Gruener & Avi-Dor, 1966), 금붕어 장조직(Smith, 1967), 토끼의 뇌조직(Priestland & Whittam, 1972), 소의 뇌조직(Priestland & Whittam, 1970)등에서 보고된 바 있다.

이들은 온도의 감소에 따라 효소를 이루고 있는 lipid-protein complex의 구조가 일부 변화되므로써 활성도를 감소시킨다고 하였다.

본 실험의 개구리피부  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  ATPase 활성도가 온도에 따라 크게 차이가 나는 것은 이상의 이유에 기인한다고 생각되나 우리가 흥미롭게 생각한 것은 개구리 피부에서  $2^\circ\text{C}$ 와 같은 낮은 온도에서도  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  ATPase 활성도가 있다는 사실이며, 이것은 개구리가 이렇게 낮은 온도에서도  $\text{Na}^+$ 을 능동적으로 섭취하는 하나의 해결책이 된다고 하겠다.

그러나 온도에 따른 이러한 변화가 어디까지나 가역적이라는 것은 온도를 올려줄 때 효소활성도가 원상으로 회복되는 것으로 봐서 알 수 있다

온도에 따른 세포막 투과도의 변화는 조개근육 barnacle muscle fiber (Dipolo & Latorre, 1972), 민물고기 *Nitella translucens* (Hogg et al., 1968), 오징어 거대축색(Hidalgo & Latorre, 1970), 사람적혈구세포(Shibolet & Gardner, 1971) 등에서 보고 되었는데, 이들은 온도가 감소됨에 따라 세포막의 저항(resistance)이 증가하여 투과도가 감소되고 따라서  $\text{Na}^+$ 유입(influx)이 줄어들었다고 하였다.

본 실험(그림 3)에서도 온도가 낮을 때 개구리 피부를 통하여 빠져나오는  $\text{Na}^{22}$ 가 감소되는 것은 온도에 따른 이러한 세포막의 투과도가 작아지기 때문이라 생각된다.

이런 효과는  $\text{Na}^+$ 이 개구리 피부 바깥쪽에서 체내로 이동될 때도 영향을 주리라 생각된다.

개구리에서 체액의 삼투성 조절은 피부를 통한 물 및 전해질이동과 신장을 통한 뇨형성에 의하여 이루어 지는데, 온도변화에 따른 세포막 투과도의 변화는 피부를 통한 물의 이동 및 뇨형성에도 영향이 있게 된다. 온도와 물의 이동 및 뇨형성과의 관계는 개구리(Hong, 1957; Bodlil & Forster, 1954), 도롱뇽 *Ambystoma* (Parsons and Alvarado, 1968)에서 보고되었으며, 이들은 수온이 실온에서  $5^\circ\text{C}$ 로 떨어질 때 피부를 통한  $\text{H}_2\text{O}$ 의 흡수, 뇨생산 및 사구체여과율(GFR)등이 감소된다고 하였다.

본 실험에서도 온도가 떨어질 때 뇨형성의 감소는 이들의 실험과 비슷한 양상을 볼 수 있었다.

그러나 피부 및 노를 통한  $\text{Na}^+$ 소실율을 합친다 해도 섭취한 양보다는 적은데 그 차이는 피부의 상피세포가 APW에 떨어져 나올 때 그 세포내에 포함될 수도 있겠으며, 섭취된  $\text{Na}^+$ 의 일부가 소화장기내로 이동되어 변(糞)과 함께 배설될 수 있을 것으로 생각된다. 방뇨시키는 중에 변이 조금씩 나온 개구리도 있었으나 변의  $\text{Na}^+$ 양은 측정치 못했다.

같은 담수에 살고 있지만 그 종류에 따라서 섭취율 및  $\text{Na}^+$ 소실율이 다를 수 있다. APW에서 몇가지의 양서류에서 실험결과 도롱뇽 *Amphiuma means* & *Necturus punctatus*를 제외하고는 정상에서는  $\text{Na}^+$ 섭취율이 소실율보다 작다고 보고했으며 (Greenwald, 1972), 개구리 체내의  $\text{Na}^+$ 를 고갈시킨 (depleted) 개구리에서는 섭취율이 소실율보다 크다고 보고했다 (Greenwald, 1971).

그러나 Jørgensen(1949)은 개구리(*Rana temporaria*)나 두꺼비(*Bufo bufo*)에서는  $\text{Na}^+$ 섭취율과  $\text{Na}^+$ 소실율(피부 및 노를 통한 소실)은 어느 정도 평형을 이룬다고 했으며, 탈피하는 개구리에서는 세포막의 투과도가 전체적으로 증가할 뿐만 아니라 그중에서 유출율(out flux)이 더 증가한다고 했다. 이들의 실험은 일년중 어느 계절에 실시했는지는 알 수 없으나, 본 실험에서 사용한 개구리(*Rana temporaria*)는 물속에서 월동하는 종이였으므로 외부로부터 먹이를 취할 수 없는 상태이고 따라서 먹이를 통한  $\text{Na}^+$ 섭취가 불가능하다.

그러므로 피부를 통한  $\text{Na}^+$ 소실이 피부를 통한  $\text{Na}^+$ 섭취율보다 작다는 것은 체액의 삼투성 조절상 당연한 일인지도 모른다. 개구리가 월동하는 전기간을 통해서 볼 때  $\text{Na}^+$ 섭취율은 월동초기에, 피부를 통한  $\text{Na}^+$ 소실율은 월동말기에 각각 더 큰 경향이 있었다.

한편,  $\text{Na}^+$ 섭취율을 측정 한 개구리에서 혈장과 APW의 방사능을 비교해 볼 때,  $2^\circ\text{C}$ 에서도 혈장/APW가

9.9나 된 것은 이러한 온도에서도  $\text{Na}^+$ 이 능동적으로 이동한다는 확증을 보여준다고 하겠다.

온도가 낮아질 때  $\text{Na}^+$ 섭취율이 감소함에 따라  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  ATPase 활성도가 평행하여 감소하는 것도 흥미있는 사실이라 하겠으며, 이때 피부나 노를 통한  $\text{Na}^+$ 소실이 감소하는 것은 이런 조건에서 개구리가 체액의 삼투성 조절을 가능케하는 한 방법이 된다고 하겠다.

또한  $\text{Na}^+$ 섭취 및  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  ATPase 활성도에서 구한  $Q_{10}$ 이 각각 1.94 및 2.10으로 비슷한 값을 나타낸 것은 개구리 피부를 통한  $\text{Na}^+$ 이동이  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  ATPase에 의한 것임을 뒷받침한다고 볼 수 있다.

## V. 결 론

물속에서 월동하는 개구리 *Rana temporaria*가 피부나 노를 통하여 이루어 나가는  $\text{Na}^+$ 평형을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 개구리가 담겨져 있는 용액(APW)의 온도가 20~24°C 및 1.0~2.5°C에서 개구리가 섭취하는  $\text{Na}^+$ 량은 각각  $8.28 \pm 0.73$  및  $2.19 \pm 0.37 \mu\text{Eq/g/day}$ 이었다.

2. 개구리의 피부를 통하여 소실되는  $\text{Na}^+$ 량은 같은 수온에서 각각  $4.26 \pm 0.72$  및  $0.93 \pm 0.21 \mu\text{Eq/g/day}$ 이며, 노를 통하여 소실되는  $\text{Na}^+$ 량은 각각  $3.02 \pm 0.73$  및  $0.78 \pm 0.13 \mu\text{Eq/g/day}$ 이었다.

3.  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  ATPase 활성도는 두 온도에서 각각  $258 \pm 39.4$  및  $49.6 \pm 7.1 \mu\text{M Pi/g protein/hr}$ 이다.

4. 이상의 결과에서, 담수의 개구리는  $\text{Na}^+$ 농도 및 APW의 온도가 낮을지라도  $\text{Na}^+$ 을 능동적으로 섭취할 수 있을 뿐만 아니라 실제로 섭취하는 량과 소실되는 량과는 어느 정도 평형을 이루므로써 살아갈 수 있고,  $\text{Na}^+$ 섭취율 및  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  ATPase 활성도에서 구한  $Q_{10}$ 이 1.94 및 2.10으로 비슷한 값을 나타낸 것은 개구리 피부를 통한  $\text{Na}^+$ 이동이  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  ATPase에 의한 것임을 뒷받침 한다고 볼 수 있다.

## 참 고 문 헌

Alvarado, R.H. and L.B. Kirschner.: *Osmotic and ionic regulation in Ambystoma tigrinum*. *Comp. Biochem. Physiol.* 10:55, 1963.  
Bodil, Schmidt-Nielsen and R.P. Forster.: *The effect of dehydration and low temperature on renal function in the bullfrog*. *J. Cell. and Comp. Physiol.* 44:233, 1954.

Bonting, S.L., Carravaggio, L.L.: *Sodium-potassium activated adenosine triphosphatase in the squid giant axon*. *Nature* 194:1180, 1962.

Bonting, S.L., Caravaggio, L.L. and Hawkins, N.M.: *Studies on sodium-potassium activated adenosine triphosphatase. IV. Correlation with cation transport sensitive to cardiac glycosides*. *Arch. Biochem. Biophys.* 98:413, 1962.

Dipolo, R. and Latorre, R.: *Effect of temperature on membrane potential and ionic fluxes in intact and dialysed barnacle muscle fibers*. *J. Physiol.* 225:255, 1972.

Dunham, E.T. and Glynn, I.M.: *Adenosine triphosphatase activity and ion movements*. *J. Physiol.* 152:61, 1960.

Dunham, E.T. and Glynn, I.M.: *Adenosine triphosphatase activity and the active movements of alkali metal ions*. *J. Physiol.* 156:274, 1961.

Fiske, C.H. and Subbarow, Y.S.: *The calorimetric determination of phosphorus*. *J. Biol. Chem.* 66:375, 1925.

Furhman, F.A.: *Inhibition of active sodium transport in the isolated frog skin*. *Am. J. Physiol.* 171:266, 1952.

Greenwald, L.: *Sodium balance in the Leopard frog (Rana pipiens)*. *Physiol. Zoöl.* 44:149, 1971.

Greenwald, L.: *Sodium balance in amphibians from different habitats*. *Physiol. Zoöl.* 45:229, 1972.

Gruener, N. and Avi-Dor, Y.: *Temperature dependence of activation and inhibition of rat brain adenosine triphosphatase activated by sodium and potassium ions*. *Biochem. J.* 100:762, 1966.

Hidalgo, C. and Latorre, R.: *Temperature dependence of non-electrolyte and sodium permeability in giant axon of squid*. *J. Physiol.* 211:173, 1970.

Hogg, J. Williams, E.J. and Johnston, R.J.: *The temperature dependence of the membrane potential and resistance in Nitella translucens*. *Biochim. Biophys. Acta.* 150:640, 1968.

Hong, S.K.: *Effect of pituitrin and cold on water exchanges of frogs*. *Am. J. Physiol.* 188:

- 439, 1957.
- Jørgensen, C.B., H. Levi and H.H. Ussing: *On the influence of the neurohypophyseal principles on the sodium metabolism in the axolotle (*Ambystoma mexicanum*)*. *Acta Physiol. Scand.* 12: 351, 1946.
- Jørgensen, C.B.: *Permeability of the amphibian skin. II. Effect of moulting of the skin of anurans on the permeability to water and electrolytes*. *Acta Physiol. Scand.* 19:171, 1949.
- Kang, D.H.: *Studies on isolation and calcium binding characteristics of membrane fragments from the rabbit heart*. *Ph.D. thesis*, 1969.
- Kingsolving, C.R., R.L. Post and D.L. Beaver.: *Sodium plus potassium transport adenosine triphosphatase activity in kidney*. *J. Cell. and Comp. Physiol.* 62:85, 1963.
- Krogh, A.: *Osmotic regulation in the frog (*R. esculenta*) by active absorption of Chloride ions*. *Skand. Arch. Physiol.* 76:60, 1937.
- Leaf, A. and A. Renshaw: *Ion transport and respiration of isolated frog skin*. *Biochem. J.* 65: 82, 1957 a.
- Leaf, and A. Renshaw: *The anaerobic active transport by isolated frog skin*. *Biochem. J.* 65:90, 1957 b.
- Mayer, N.: *Adaptation de *Rana esculenta* à des milieux varies. Etude speciale de l'excretion renale de léau et des electrolytes au cours des changements de milieux*. *Comp. Biochem. Physiol.* 29: 27, 1969.
- Middler, S.A., C.R. Kleeman and E. Edwards: *The role of the urinary bladder in salt and water metabolism of the toad, *Bufo marinus**. *Comp. Biochem. Physiol.* 26:57, 1968.
- Parsons, R.H. and Alvarado, R.H.: *Effect of temperature on water and ion balance in larval *Ambystoma gracile**. *Comp. Biochem. Physiol.* 24:61, 1968.
- Post, R.L., Merrit, C.R., Kingsolving, C.R. and Albright, C.D.: *Membrane adenosine triphosphatase as participant in the active transport of sodium and potassium in the human erythrocyte*. *J. Biol. Chem.* 235:1796, 1960.
- Priestland, R.N. and Whittam, R.: *The temperature dependence of activation by phosphatidylserine of the sodium pump adenosine triphosphatase*. *J. Physiol.* 220:353, 1972.
- Priestland, R.N. and Whittam, R.: *The dependence on temperature and phosphatidylserine of adenosine triphosphatase activity of the sodium pump*. *J. Physiol.* 211:22, 1970.
- Shibolet, Shlomo and J.D. Gardner.: *Effect of temperature on sodium transport in human erythrocytes in vitro*. *Am. J. Physiol.* 221:1358, 1971.
- Skou, J.C.: *Enzymatic basis for active transport of  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$  across cell membrane*. *Physiol. Rev.* 45:596, 1965.
- Smith, M.W.: *Influence of temperature acclimatization on the temperature dependence and ouabain-sensitivity of goldfish intestinal adenosine triphosphatase*. *Biochem. J.* 105:65, 1967.
- Tosteson, D.C., R.H. Moulton and M. Blaustein.: *An enzymatic basis for the difference in active cation transport in the genetic types of sheep red cell*. *Federation Proc.* 19:128, 1960.