

등 · 물 · 학 · 논 · 단

## 온도변화와 근수축기능



최인호

1977~1981 연세대학교 이과대학 생화학과(학사)  
 1983~1985 Dept. of Life Science, Indiana State Univ.(석사)  
 1985~1989 Dept. of Life Science,  
 Indiana State Univ.(Ph.D.)  
 1989~1991 Dept. of Biology,  
 Univ. of Pennsylvania(Post-Doc)  
 1991~1994 연세대학교 문리대학 생물학과 교수  
 1994~현재 연세대학교 문리대학 생명과학과 교수

동물이 자율적으로 운동하고 행동하는 현상은 초기 생물학자들에게 비상한 관심의 대상이었다. 흥분성 조직의 전기적 특성과 수축기능에 관한 과학적인 연구가 시작된 이후 지금까지 백년 이상의 세월이 지났지만 아직도 온도 변화에 대한 근수축 기능의 적응성을 연구하는 것은 근수축의 생화학적 기작이나 운동과학에 관련된 다양한 질문들이 완전히 해결되지 못한 때문이다. 초기의 근육생리학자들은 근육수축 작용을 기계론에 기초한 화학반응의 차원에서 이해하려고 애썼으며, 이러한 이해를 토대로 오늘날 스포츠과학, 생체운동역학, 그리고 재활의학으로 응용의 폭을 넓혀가고 있다. 한편 자연 속에서 동물의 생태학적 상호작용을 연구하는 행동학자들은 동물의 운동능력이 끊임없이 변화하는 서식지 온도에 어떻게 적응해 왔는지에 주목해 왔다. 포식자의 위협과 경쟁자의 압박을 극복하면서 자신의 서식지에서 높은 생존률과 생식률을 유지하려면 서식지 여건의 변화, 특히 온도의

큰 변화에도 불구하고 적절한 운동능력을 발휘할 수 있어야 하기 때문이다. 이렇게 생리학적으로 그리고 생태학적으로 중요한 의미를 지니는 근육 기능의 온도 적응성에 관해 본 논고에서는 최근까지 저자가 연구해 온 동물 몇 종들을 중심으로 일반적인 경향을 고찰해 보고자 한다.

온도의 변화에 따른 생화학 또는 생리학적인 반응을 측정해 보면 어느 온도(범위)에서 최고의 기능을 나타내는 최적온도(범위)를 얻을 수 있게 된다. 동물의 운동기능이 온도에 대한 적응성을 지니는지를 알기 위해서는 근수축의 최적온도가 그 개체의 일상 체온(또는 서식지 온도)에 잘 맞추어 조정되어 있는지를 확인하면 된다. 근수축 기능 중에서 근력(tetanic force)은 운동(일)을 하게 하는 동력(power)의 주 요소가 되기 때문에, 근력에 대한 온도 적응성을 연구하는 것이 운동기능과의 관계를 탐구하는 첫 출발점이 될 수 있을 것이며 생리학적인 또 생태학적인 의의도 크다고 할 것이다. 운동과학적인 측면에서 볼 때, 사람의 다리 근육의 일상 온도는 중심 체온보다 약 2~3°C 정도 낮은 것으로 알려져 있다. 만약 다리근육의 근력이 중심 체온에서 최고치를 나타낸다고 한다면 운동경기 전 선수들이 적절한 기초운동을 하는 것이 왜 중요한지를 이해할 수 있을 것이다. 골격-근-건의 물리적인 유연성을 증대시키는 이유 이외에도 근력의 증대 효과를 내는 warming-up의 중요성이 여기에 있는 것이다. 다른 예로서 어떤 동물이 근력의 최적온도보다 높은 온도범위에서 체온을 유지하고 있다면 그 동물은 평소 늘 저운동기능상태(sub-optimal condition)에서 활동하고 있다고 볼 수 있다. 이렇게 저운동 여건에서 활동하는 동물들은 생존에 필요한 다른 기능들을 최고로 유지하기 위해 운동기능을 어느 선에서 희생하고 있다고 해석할 수 있다. 즉, 높

은 체온을 유지함으로써 소화기능을 증대시키거나 체내에 침입한 항원에 효과적으로 대항할 수 있거나, 또는 더 빨리 성장할 수 있는 점 등 생존에 유리한 다른 이유가 있을 것이라는 해석들이 그것이다.

철새 종에 속하는 어린 새들은 알에서 갓 깨어났을 때 체온조절 기능이 발달되지 못하여 근본적으로 변온동물의 체온변화 모습을 보이며, 운동기능도 거의 발달되지 못해 어미새가 품어주고 먹이도 날라다 주어야 생존이 가능한 동물들이다. 반면 대부분 가금류들은 알에서 깨어나면서부터 운동기능과 체온조절 능력이 잘 발달되어 있어 생존에 필요한 기본적인 행동이 가능한 동물들이다. 작은 철새 종 중의 한 무리인 미국산 blackbird(*Agelaius phoeniceus*)를 모델로 하여 어린 새끼들의 체온을 측정해 본 결과, 깨어난 지 하루째(1d) 된 새는 30~42°C의 넓은 범위를 보였고, 팔일째(8d) 된 새는 39~43°C의 좁은 범위를 보였다. 그리고 가금류의 일종인 매추라기(*Colinus virginianus*)의 체온은 갓 깨어난 새끼 때부터 38~43°C의 좁은 범위 내에서 잘 조절하는 것을 알 수 있었다. 이들의 비복근 근력을 온도 범위 15~43°C 사이에서 측정해 보았을 때 1d blackbird의 경우에는 최적온도가 20~43°C의 비교적 넓은 범위를 보이는 반면, 8d blackbird와 매추라기 새끼들의 경우에는 그 범위가 30~43°C 사이로 보다 좁게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이들의 운동기능을 보면 1d blackbird의 경우에는 25~43°C의 넓은 최적온도범위에서 구식행위(begging response)를 보였으나, 8d blackbird와 어린 매추라기 새끼의 경우에는 40~43°C의 매우 좁은 범위에서만 식이행위가 가능한 사실을 알 수 있었다. 이러한 점으로 볼 때 근력이나 운동기능이 이들의 평소 체온에 조정되어 있음을 알 수 있다.

동면 동물인 박쥐의 경우는 위에서 설명한 어린 blackbird들이 보이는 체온범위와 정반대의 양상을 보여주어 비교학적인 측면에서 매우 흥미로운 연구대상이 된다. 온대 지역의 박쥐들에게는 연중 체온이 여름철의 활동시간인 아침과 저녁 시간을 제외하고는 10~15°C 정도에서 유지된다. 동면하는 동안 이들의 체온은 월동지인

동굴 내의 온도보다 약간 높은 9~12°C 정도에서 유지되는 것을 알 수 있다. 여름동안 휴지상태에 있을 때는 역시 15°C 정도의 낮은 체온을 보이지만, 비행을 하는 활동시간에는 체온이 40°C까지 올라가는 것을 측정할 수 있다. 이렇게 “겨울”박쥐와 “여름”박쥐의 체온 범위가 다르다면 이들의 근수축 작용 또한 이들의 체온범위와 일치하는 적응 추세를 보여야 할 것이다. 최근 본 저자의 연구실에서 박쥐의 비행근의 하나인 이두박근을 사용하여 얻어낸 실험결과를 보면 과연 위에서 본 일반 경향을 확인할 수 있었다.

즉, 10°C 정도의 낮은 체온을 보이는 겨울박쥐의 비행근은 10~20°C 범위에서 최대의 근력을 보이다가 25°C 이상에서 빠른 룰로 근력이 줄어드는 것을 보여주었다. 반면, 15~40°C까지

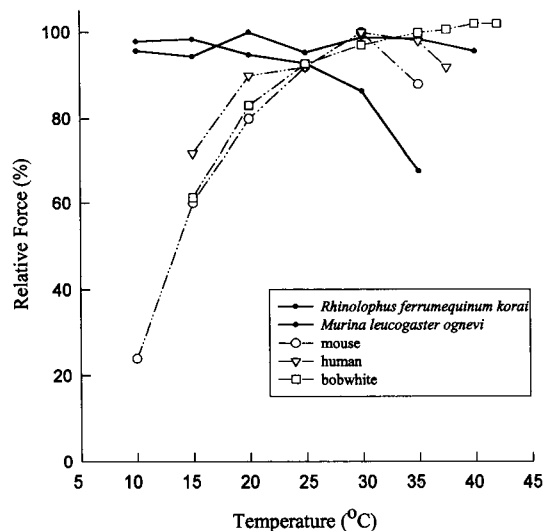


Fig. 1. Relative tetanic force measured in bats (dark circle, summer bat: *Murina leucogaster ognevi*, winter bat: *Rhinolophus ferrumequinum korai*, Cho *et al.*, in press), mouse(open circle, Lannergren and Westerblad, 1987), human(inverted open triangle, Ranatunga *et al.*, 1987) and northern bobwhite(open square, Choi and Bakken 1991) as a function of muscle temperature. Relative force is computed by dividing the actual values by the absolute values of each individual at a standard temperature at which most individuals showed their maximal function.

넓은 체온범위를 보여주는 여름박쥐의 경우에는 무려 10~40°C 사이의 매우 넓은 최적온도범위를 보였다. 낮은 온도에서 강한 근력을 발생시킬 수 있는 능력이 행동의 측면에서 어떤 의의가 있는지를 알아 보기 위해 체온을 변화시키며 이들의 행동을 관찰해 보았다. 그 결과 박쥐들은 8°C 정도의 낮은 체온에서도 이빨로 깨무는 행동이 가능하였고 20°C 정도의 체온에서는 약하나마 날개짓이 가능하였으며, 23°C 정도에서는 눈에 떨 정도로 몸을 떨수(shivering) 있으며, 26°C 또는 그 이상에서는 안정된 비행을 할 수 있음을 확인하였다. 대부분의 비동면성 동물들이 35°C 아래로 체온이 내려갈 경우 몸이 굳어 정상적인 행동이 어렵고 30°C 아래로 내려갈 경우 사실상 모든 운동기능이 마비되는 현상과 비교할 때, 낮은 체온에서도 박쥐들이 운동기능을 활발하게 낼 수 있는 이유는 이들의 비행근이 낮은 온도에서도 강한 근력을 발생시킬 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 겨울박쥐의 근력이 낮은 온도에서 최대로 나타나는 것과 여름박쥐의 근력이 넓은 온도범위에 걸쳐 나타나는 이유를 밝히기 위해서는 앞으로 생화학적인 측면(isoenzyme activity and genetic control)과 생태학적인 측면(포식자 공격에 대한 방어, 배설 및 수분 흡수를 위한 비행 등)을 모두 고려하여 연구하여야 할 것이다.

종합적으로, 최근까지 많은 연구자들이 근력과 온도 사이의 관계를 연구한 결과들을 본 연구자의 실험결과와 비교하여 Fig. 1에 나타내었

다. 그림에서 알 수 있듯, 37~42°C 사이에서 체온을 보이는 사람, 생쥐, 그리고 메추라기의 경우에는 근력에 대한 최적온도가 그 체온 주위에 맞추어져 나타나고 있다. 꼭 같은 원리로서 10~15°C의 체온을 보이는 겨울 박쥐의 경우와 15~40°C 정도의 넓은 체온을 보이는 여름박쥐의 경우에는 근력의 최적온도가 각각의 체온 범위에 잘 맞추어 나타나는 것을 볼 수 있다.

#### 참고문헌

- Cho, Y.M., Y.K. Oh, N.P. Jung, H.C. Shin, and I. Choi. Contractile function of a flight muscle over the range of hibernation temperature in bats. *Korean J. Zool.* (in press).
- Choi, I. and G.S. Bakken. 1991. Locomotion and muscle function during postnatal development of the northern bobwhite(*Colinus virginianus*): effect of body temperature. *Physiol. Zool.* 64: 653-672.
- Lannergren, J. and H. Westerblad. 1987. The temperature dependence of isometric contractions of single, intact fibers dissected from a mouse at different temperatures. *J. Physiol. Lond.* 390:285-293.
- Ranatunga, K.W., B. Sharpe, and B. Turnbull. 1987. Contractions of a human skeletal muscle at different temperatures. *J. Physiol. Lond.* 390:383-395.