

광선 및 먹이유무에 따른 *Delichon urbica*의 Melatonin 농도 변화

한 상 진
한림대학교 생명과학부

Melatonin Secretion Changes Upon Lightning and Feeding on the Bird *Delichon urbica*

Sang-Zin Han

College of Lifescience, Hallym University
(Received May 10, 2000)
(Accepted June 26, 2000)

ABSTRACT : Melatonin plasma in Swallows exhibited circadian rhythmical secretions in the LD (Light and dark, 12 : 12) period with and without feeding. But their average difference between at CT6 (Circadian Time) and CT18 was 3.53 ng/ml in LD period with feeding, on the other side 1.60 ng/ml during without feeding. Melatonin concentration at CT6 without feeding incresed from 0.22 ng/ml to 0.93 ng/ml. It is demonstrated that decreasing melatonin secretion may reduce digestive function in order to ready for the migration. While the birds with feeding exhibited circadian rhythmical activity, their activity without feeding was durable. The concentrations of melatonin plasma by refeeding were 1.53 ng/ml at CT6 and 6.07 ng/ml at CT18. Melatonin plasma concentration in the night increased by more than ca. quadruple at day. This results suggest that melatonin regulates metabolism for the return to the normal metabolism condition after migration. After 3 days refeeding melatonin was secreted circadian rhythmically same as the secretions with feeding at beginning.

Key Words : *Delichon urbica*, Feeding, Melatonin

I. 서 론

생물체는 하루주기에 적응하도록 발달되어 있다. 어느 생물개체가 주기적인 환경영향 하에 있다가 실험실과 같은 일정한 조건에 두게 되면 고유의 생체주기를 보이게 된다. 이것은 생체주기가 외부변화에만 의존하는 것이 아니라, 생물개체 스스로가 내재하는 근원주기를 소유하고 있다는 것을 의미한다. 이러한 내재주기는 일주기, 즉 하루주기(circadian; circa = ca. dies = day)로 나타난다. 이는 보통 외부환경에 따라-Zeitgeber-영향을 받아 대략 24시간으로 일치 조절된다. Zeitgeber는 외부환경의 여러 요인마다 구별할 수 있으며, 특히 광선은 거의 모든 생물 종류에 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다(한상진, 1993). 생물체의 생체주기가 Zeitgeber의 명암주기 신호에 따라 생물의 광수용기 시스템을 통과하여 Zeitgeber에 적응되도록 일치되는 것이다. 포유류에서는 광선이 시각기를 통과하여 Zeitgeber

에 적응되게 작동시키는 기관이 Suprachiasma nucleus(SCN) 임이 밝혀졌으나(Aschoff, 1984, 1989), Housesperling(*Passer domesticus*) 같은 일부 조류에서는 송과선으로 확인되었다. 이는 송과선을 제거한 후 활동의 내재주기가 더 이상 나타나지 않는 것으로 알 수 있다(Cassone and Moore, 1987). 결과적으로 송과선과 SCN이 주기조절기로서 서로 일주기 시스템에 영향을 미치어 약 24시간으로 유지되게 작동된다는 확신이 유력하다.

일주기 시스템에 영향을 미치는 송과선의 기능은 tryptophan을 멜라토닌으로 합성하여 광주기에 생체가 적응하도록 하는 중개역할과 그에 따르는 대사기능을 발휘하여 주기를 안정되게 하는 데에 중요한 역할을 하고 있다(Cassone and Moore, 1987).

일주기로 뿐만 아니라 낮의 길이가 달라지는 계절마다 멜라토닌의 분비변화가 나타나는데, 이때 생식, 대사작용, 환노상태, 성장 등의 변화도 보여 신경내분비계를 조절하는 물질이라는 여러 보고가 발표되었다(Stetson and Watson-Whitmyre, 1984). 그러나 이러한 상태를 일반화시킬 수 있

*To whom correspondence should be addressed

을 만큼 모든 동물에서 관찰할 수 있는 충분한 연구가 수행되어 있지 않다. 그러므로 멜라토닌이 이러한 대사변화를 일으키는 호르몬인가를 확인하기 위하여 계절변화에 대하여 뚜렷이 반응을 보이는 철새를 선택하였다. 이 동물들은 환경변화에 의한 Zeitgeber의 영향으로 생리적인 변화가 일어나 이동 준비를 위한 대사작용이 나타날 것으로 철새들이 이동전후 및 이동기간중의 feeding 유무에 따라 이동현상이 유발되는 여부를 조사하는 동시에 멜라토닌의 혈중농도 변화를 확인하여 상관관계를 알아보고자 하는 연구를 실행하였다.

II. 재료 및 방법

실험동물은 생후 3개월 이상 된 수컷 제비(*Delichon urbica*) 6마리를 경기도 포천에서 포획하여 사용하였다. 23°C±0.5°C, LD(12:12, on 06:00 - 18:00) 실험실 조건에 3주간 적응시킨 후 채혈을 하고, 3일간 먹이공급을 중단시키며 다시 채혈을 하였고, 먹이를 재공급한 후에도 채혈을 하였다. 이 실험은 실험조건을 똑같이 하여 2회 반복 실행하였다. 채혈시기는 광주기와 활동주기의 최대와 최저를 고려하여 12시(CT6)와 0시(CT18)에 각각 날개 밑에서 채혈하였고, 4000 rpm, 5분간 원심분리한 후 plasma를 취하여 급속 냉동 보관하였다.

멜라토닌의 정량 변화를 HPLC 분석법(Vieira *et al.*, 1992)을 이용하여 조사하였다. Waters Symmetry C₁₈ column (RP, 3.9×150 mm, 5 μm)을 사용하여 주입량 5 μl씩 분석하였고, 정량은 혈액 1 ml당 함량비로 환산하였다.

농도변화의 유의성은 Wilcoxon-test 및 X²를 이용하여

확인하였다(Siegel, 1956).

III. 결 과

하루 중 활동이 제일 왕성할 시간이라고 추정되는 광주기 시작 후 6시간 되는 시각 CT6과 반대로 수면주기가 시작되는 암주기 시작 후 6시간이 되는 시각 CT18에 채혈하여 멜라토닌 정량을 각각 분석하였다(Fig. 1). 그 결과 멜라토닌의 평균량이 CT6에 0.22 ng/ml, CT18에 3.74 ng/ml로 낮에는 소량으로, 밤에는 대량으로 검출되었다. 그러나 먹이가 없는 시기 중 CT6에는 0.93 ng/ml, CT18에는

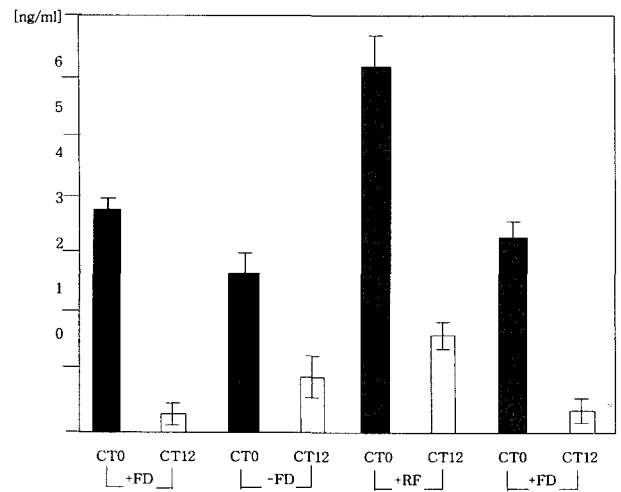


Fig. 1. Melatonin concentrations (ng/ml) in house swallows plasma at CT6 and CT18 with (+FD) or without feeding (-FD) and refeeding (RF). I: Standard error.

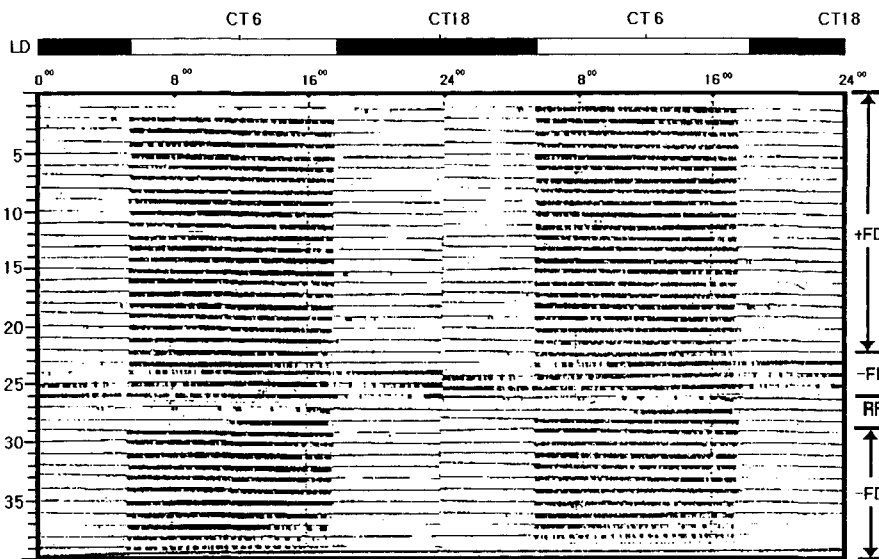


Fig. 2. Actogram of a swallow in LD (12:12) with (+FD) or without feeding (-FD) and Refeeding (RF). Samplings at CT6 and CT18.

2.53 ng/ml의 농도로 역시 낮에는 소량, 밤에는 대량으로 분비되었으나, 먹이가 주어진 시기와는 다르게 낮에는 증가하였고 밤에는 감소하였다($p < 0.05$). 또한 밤낮의 멜라토닌 분비량의 차이도 정상으로 먹이가 공급되는 시기와는 다르게 나타났다. 다시 먹이가 공급되었을 경우 평균 CT6에는 1.53 ng/ml, CT18에는 멜라토닌이 6.07 ng/ml로 분비되어 먹이가 없던 시기와 비교하여 현저히 증가하였으며($p < 0.01$), 특히 암주기는 최대의 수치로 나타났다. 먹이가 재공급되는 실험기간 중에 실험동물 한 마리가 죽었다.

먹이가 다시 공급된 만 3일 후부터 멜라토닌의 평균 분비량이 CT6에 0.27 ng/ml와 CT18에 3.12 ng/ml의 농도로 처음 상태와 유사한 수치로 나타나 역시 먹이가 없는 시기와 대조적으로 분석되었다($p < 0.05$). 또한 먹이가 있을 경우와 없을 경우의 활동상태에도 차이가 있음을 Fig. 2에서 볼 수 있다. 인위적인 명암주기에 맞추어 명주기에는 활동주기, 암주기에는 수면주기로 분명하게 나타났던 하루 활동주기가 먹이가 없을 시에는 명암주기와는 관계없이 지속적인 활동상태를 보여 주었다(Fig. 2). 먹이가 재공급되었을 때에는 활동주기가 역시 명암주기로 뚜렷한 활동과 수면의 주기현상을 재기해 보였다.

IV. 고 찰

제비 Houseswallow(*Delichon urbica*)는 봄철에 한국으로 오고, 겨울이 다가오기 전에 온화한 기후지역인 중국남부나 동남아로 떠나는 대표적인 철새이다. 철새들이 이동 준비를 하기 위하여 여러 가지 활동주기와 생리적인 변화를 보인다는 보고를(Gwinner *et al.*, 1993) 근거로 하여 보통 일주기로 분비되어지는 멜라토닌이 철새들의 이동시기에 나타날 변화에 대해서 조사하였다. 일정한 온도조건에서 자연환경과 비슷한 광주기 조건의 실험초반에는 멜라토닌이 일반적으로 분비되는 것과 마찬가지로 낮에는 소량으로, 밤에는 대량으로 일주기 현상을 보이며 측정되었다. 이는 다른 하등 및 고등동물에서도 나타나는 일주기적인 분비현상이다(Han *et al.*, 1996; Gern *et al.*, 1986). 그러나 실험 3주 후에 3일간 먹이가 주어지지 않았을 때에 멜라토닌의 분비량이 밤에는 낮보다 많은 양으로 분비되거나 먹이가 주어진 일상 현상과는 달리 낮에는 평균 4.2배로 증가하고 밤에는 오히려 약 32% 감소하는 차이가 나타났다. 또한 정상 먹이공급 시기에서 밤과 낮의 멜라토닌 분비량의 차이가 3.53 ng/ml인 반면에, 먹이가 없는 시기에는 1.60 ng/ml의 차이로 45.3% 감소하는 현상을 보였다.

그리고 활동상태가 평상시 보다 증가하는 것이 구별되어졌다(Fig. 2). 이는 인위적으로 먹이를 공급하지 않음이 멜라토닌의 분비를 줄여(혹은 감소와) 활동량의 증가가 이동준비를 유도한다고 판단된다. 유럽의 벌찌르레기의 경우

철새이동 시기에는 소화기관의 작용이 감소한다는 연구보고에 비추어(Beldhuis, 1988), 장시간 먹이를 취하지 않고 비행하는 동안 소화기관의 작용을 최소화하는 데에 멜라토닌이 영향을 미치는 것으로 추정된다. 그뿐 아니라 이동 중에는 당연히 생식작용이 일어나지 않을 것으로 보인다. 실제로 아프리카의 개뿔박쥐과의 검은 딱새는 목적지에 도착한 후에 멜라토닌의 분비감소와 함께 고환의 크기변화와 LH 분비변화가 일어남으로써 생리적으로 이동후 비로소 생식이 가능한 상태로 돌아오는 것을 면밀히 관찰하여 보고한 바가 있다(Gwinner, 1996). 이러한 현상은 설치류의 경우 멜라토닌이 대량으로 분비되는 시기에는 정소 및 고환의 위축으로 생식기에 영향을 미치는 것이 빈번히 관찰된 것으로 미루어 보아(Blask *et al.*, 1984; Laudon *et al.*, 1988), *Delichon urbica*에게도 멜라토닌이 생식 호르몬에도 관여할 것이라고 유추된다.

다시 먹이가 공급되어졌을 경우 주야의 멜라토닌 분비량이 모두 매우 증가한 현상을 보였다. 특히 평상시 CT6에 평균분비량 0.22 ng/ml 보다 약 7배 되는 1.53 ng/ml로 CT6의 농도가 월등히 증가하였고, 또한 CT18에도 평상시 먹이가 공급되었던 시기와 비교하여 약 1.6배 증가된 분비량으로 보아 이동 이후의 절대안정과 재적응에 필요한 대사변화로 사료된다. 이 시기의 활동상태도 Fig. 2에 나타나듯이 즉각 명암주기에 맞추어 주기가 동시화 되어 먹이가 공급되었던 시기의 활동주기와 유사한 현상을 관찰할 수 있다.

먹이가 재공급된 후 3일째에는 밤낮의 멜라토닌 분비량의 차이가 줄어들면서 전체적으로 감소된 현상이다. 이는 실험초기의 먹이가 공급되어졌던 시기와 근사한 양의 멜라토닌이 분비되는 것으로 보아 이동이전과 같은 안정된 상태로 돌아온 것으로 보여진다(Bubenik *et al.*, 1996). Goldhamster에서 확인한 결과, 장기간 암주기 동안에 멜라토닌의 분비가 증가하고, 생식기가 위축되는 반면, 단축된 암주기, 즉 명주기가 다시 길어지면서 멜라토닌의 분비가 감소하고, 동시에 생식기가 활성화 되는 것이 종종 보고되었다(Herbert, 1981). 이와 견주어 먹이가 재공급되는 시기까지 증가한 멜라토닌의 분비가 3일째부터 안정된 시기에서는 멜라토닌의 분비가 감소하면서 생식의 준비가 이루어지는 것으로 추정된다.

멜라토닌은 이와 같이 일반적으로 일주기의 분비로 생체활동에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 철새들의 이동과 같은 계절적인 변화에도 영향을 미치는 근원이 되는 것으로 확인된다. 우선 먹이공급에 따라 멜라토닌의 일주기 분비변화를 초래하게 되며, 활동주기에 대해서도 역시 변화가 일어나고, 이동준비를 위하여 소화작용이 저하될 뿐만 아니라 생식작용도 중지되는 여러 생리적인 복합기작이 일어나는 것으로도 추정된다. 이를 더욱 확실할만한 이동시기와 전후

의 소화작용과 생식기관 및 내분비물질에 대한 구체적인 연구가 앞으로 이루어져야 할 과제로 제시된다.

감사의 말씀

이 연구논문은 1998년도 한림대학교 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Aschoff, J. (1984): Tages- und Jahresuhren zur Orientierung in Raum und Zeit, *Nova acta Leopoldina NF*, **258**, 9-47.
- Aschoff, J. (1989): Temporal orientation: circadian clocks in animals and humans. *Anim. Behav.*, **37**, 881-896.
- Beldhuis, H., Dittami, J. and Gwinner, E. (1988): Melatonin and the circadian rhythms of feeding and perching-hopping in the European starling, *Sturmus vulgaris*. *J. Comp. Physiol. A*, **164**, 7-14.
- Bibbly, S. (1981): Pineal biochemistry: comparative aspects circadian rhythm, *CRC Press, Boca Raton*, **1**, 155-172.
- Blask, D.E., Leadem, C.A. and Stockmeier, C.A. (1984): Differential responsiveness of the reproductive system of blind or melatonin-treated male hamsters to injections of GnRh and/or prolactin, *J. Pineal Res.*, **1**, 149-161.
- Bubenik, G.A., Pang, S.F., Hacker, R.R. and Smith, P.S. (1996): Melatonin concentrations in serum and tissues of porcine gastrointestinal tract and their relationship to the intake and passage of food, *J. Pineal Res.*, **21**, 251-256.
- Cassone, V.M. and Moore, R.Y. (1987): Retiohypothalamic projection and suprachiasmatic nucleus of the house sparrow, *Passer domesticus*, *J. Comp. Neurol.*, **266**, 171-183.
- Gern, A., Duvall, D. and Nervina, J.M. (1986): Melatonin: A discussion of its evaluation and action in vertebrates, *Am. Zool.*, **26**, 985-996.
- Gwinner, E., Schwabl-Benzinger, I., Schwabl, H. and Dittami, J. (1993): Twenty-four hour melatonin profiles in a nocturnally migrating bird during and between migratory seasons, *General and Comparative Endocrinology*, **90**, 119-124.
- Gwinner, E. (1996): Circannual clocks in avian reproduction and migration, *Ibis*, **138**, 47-63.
- Han, S.-Z., Fuhurberg, B. and Harderland, R. (1996): Melatonin and other Methoxyindoles in Yeast, *Saccharomyces cerevisiae*. in *Metabolism and cellular Dynamics of Indoles* (Harderland, R. ed.), Goettingen Uni Press 141-145.
- Herbert, J. (1981): The pineal gland photoperiodic control of the ferret's reproductive cycle, in *Biological Clocks in Seasonal Reproductive cycles* (Follet, & Follet eds.), Wright, Bristol, 261-76.
- Huether, G., Poeggeler, B., Reimer, A. and George, A. (1992): Effects of tryptophan administration on circulating melatonin levels in chick and rats: evidence for stimulation of melatonin synthesis and release in the gastrointestinal tract, *Life Sci.*, **51**, 945-953.
- Laudon, M., Yaron, Z. and Zisapel, N. (1988): N-5-methoxytryptamine, a novel melatonin antagonist: effects on sexual maturation of the male and female rat, *J. of Endocrinology*, **116**, 43-53.
- Pang, S.F. (1985): Melatonin concentrations in blood and pineal gland, *Pineal Res. Review*, **3**, 115-126.
- Reiter, R.J. (1991b): Pineal gland: interface between the photoperiodic environment and the endocrine system. *Trends Endocrinol, Metab.*, **49**, 654-664.
- Saarela, S. and Heldmaier, G. (1987): Effect of photoperiod and melatonin on cold resistance, thermoregulation and shivering/nonshivering thermogenesis in Japanese quail, *J. Comp. Physiol. A*, **157**, 625-633.
- Siegel, S. (1956): Nonparametric statistic: For the Behavioral Sciences, McGraw Hill Book Comp., N. Y., 75-83, 175-179.
- Song, Y. and Pang, S.F. (1992): 2-[¹²⁵I]iodomelatonin binding sites in chicken kidney: characterization and comparison to other avian species, *Biol. Signals*, **1**, 313-321.
- Stetson, M.H. and Watson-Whitmyre, M. (1984): Physiology of the pineal and its hormone melatonin in annual reproduction in rodents in *The Pineal Gland* (Reiter, R. J. ed.), Raven Press, New York, 109-153.
- Takahashi, J.S. and Meneker, M. (1982): Role of the suprachiasmatic nuclei in the circadian system of the house sparrow, *Passer domesticus*. *J. Neurosci.*, **2**, 815-828.
- Vieira, R., Miguez, J., Lema, M. and Aldegunde, M. (1992): Pineal and plasma melatonin as determined by high-performance liquid chromatography with electrochemical detection, *Analytical Biochem.*, **205**, 300-305.
- 한상진(1993): 바이오 리듬의 규명과 응용, 아카데미 서적, 11-15.