

<원 저>

## 광주기 변화에 따른 마우스의 스트레스 호르몬, 면역기능 및 혈액학적 지표에 미치는 영향

박승휴<sup>1,†</sup> · 김일규<sup>1,†</sup> · 김형찬<sup>1,†</sup> · 강미정<sup>1</sup> · 손송이<sup>2</sup> · 이후장<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>의령고등학교, <sup>2</sup>경상대학교 수의과대학 생명과학연구소

(접수: 2015년 4월 1일, 수정: 2015년 5월 28일, 게재승인: 2015년 6월 1일)

### Influence of various photoperiods on stress hormone production, immune function, and hematological parameters in ICR mice

Seung-Hyu Park<sup>1,†</sup>, Il-Gyue Kim<sup>1,†</sup>, Hyung-Chan Kim<sup>1,†</sup>, Mi-Jeong Gang<sup>1</sup>, Song-Ee Son<sup>2</sup>, Hu-Jang Lee<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Uiryong High School, Uiryong 936-803, Korea

<sup>2</sup>College of Veterinary Medicine and Research Institute of Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

(접수: 2015년 4월 1일, 수정: 2015년 5월 28일, 게재승인: 2015년 6월 1일)

**Abstract :** In the present study, the effects of different photoperiods on stress, immunity, and hematological parameters in ICR mice were evaluated. Fifty male ICR mice 7 weeks old (body weight, 27.3 ± 2.5 g) were divided into five groups: DP-0 (0/24-h light/dark cycle), DP-6 (6/18-h light/dark cycle), DP-12 (12/12-h light/dark cycle), DP-18 (18/6-h light/dark cycle), and DP-24 (24/0-h light/dark cycle). During the experimental period, no significant differences in body weight or feed intake were observed between the groups. Hematological analysis revealed that white blood cell, red blood cell, and hemoglobin values for the DP-0 group were significantly different compared to those of the other groups. After 28 days, no significant difference in serum cortisol concentration was observed among the groups, but serum cortisol levels increased in a light exposure-dependent manner. Total serum immunoglobulin G (IgG) concentrations of the DP-0 and PD-6 groups were significantly increased compared to those of the other groups ( $p < 0.05$ ), and serum total IgG levels decreased in a light exposure-dependent manner. Results of the present study indicated that various photoperiods affect hematological parameters and total serum IgG levels in ICR mice while having no significant effects on body weight, feed intake, or cortisol levels.

**Keywords :** cortisol, hematological parameters, ICR mice, IgG, photoperiod

## 서 론

에디슨이 전구를 발명함으로써, 낮으로 한정되었던 인간의 활동은 밤으로까지 확대되었다. 이는 인간의 활동시간과 영역이 자연의 영역을 광범위하게 침범하게 되었음을 의미한다 [34]. 전기를 이용한 현대적인 조명시설이 개발되기 이전에는 야간활동으로 인한 영향은 상대적으로 매우 적었으며, 영향 범위 역시 거주지역 주변으로 한정되었다. 그러나 전기를 이용한 조명기구가 도입되면서, 인간의 야간활동 증가 및 영향 범위가 이전과는 비교할 수 없을 정도로 급격하게 증

가하였다 [16].

전기 조명시설의 도입은 인간의 야간활동에 커다란 이점을 제공하였지만, 동시에 인간의 생체리듬의 교란, 과도한 업무, 건강상의 위해 등 사회적으로 많은 문제를 야기하였다 [12, 26]. 또한, 빛에 노출되는 시간의 증가로 인해, 오랜 진화과정을 통해 자연에 적응한 식물들도 밤 동안에 진행되는 성장, 개화 및 결실 준비 등에 많은 지장을 받게 되었으며 [1], 동물들 역시 지리적 감각의 혼란, 포식자와 먹잇감의 관계 변화, 생리학적 변화, 서식환경 훼손 등 큰 피해를 입게 되었다 [11, 15, 17].

\*Corresponding author

Tel: +82-55-772-2352, Fax: +82-55-772-2308

E-mail: hujang@gnu.ac.kr

†The first three authors contributed equally to this work.

최근 연구에 따르면 [11, 14], 빛 공해가 환경적 변화의 예측과 적응이라는 측면에서, 일상적인 동물의 생물학적 리듬을 어지럽혀, 계절적인 생물학적 리듬까지도 어지럽힐 수 있다고 보고하였다. 사람에게 있어서, 낮과 밤의 변화 주기에서, 밤 동안의 빛은 송과샘에서 수면 리듬과 면역계를 조절하는 멜라토닌의 생산을 억제하고, 생식샘에서 에스트로겐의 합성을 증가시킬 뿐만 아니라 24시간을 주기로 변하는 생물학적 생체주기의 혼란 및 암세포에 대한 저항성을 저하하는 것으로 알려졌다 [4].

Haim 등 [9]은, 마우스를 이용한 실험을 통해, 광주기의 변화는 하루 그리고 일 년 동안의 리듬을 관장하는 세포에 전달되어 송과샘에서 멜라토닌의 생산과 분비를 조절하며, 밤보다 낮 길이가 긴 환경에 적응한 마우스는 낮보다 밤 길이가 긴 환경에 적응한 마우스에 비해 멜라토닌의 분비가 감소하였다고 보고하였다.

빛의 진동, 온도, 지구 자기장, 습도, 낮의 길이(광주기) 등과 같은 다양한 외적 주기적 요인들은 인간의 시간에 대한 주기적 시스템에 영향을 미치게 되는데, 이 중 광주기가 가장 주요한 요인인 것으로 알려졌다 [32].

광주기성은 식물과 동물이 광주기를 측정할 수 있는 능력을 의미한다. 광주기를 측정할 수 있는 생물학적 능력은 생물체가 1년 동안의 시간을 파악할 수 있도록 하며, 계절적으로 적절한 적응을 할 수 있도록 해 준다 [30]. 광주기를 측정할 수 있는 특이적 작용기전은 생물 분류군에 따라 차이가 있으나, 개체들은 일일 광주기의 길이와 낮 길이의 증감 여부에 기초하여 1년의 길이를 정확하게 파악할 수 있는 것으로 알려졌다 [23]. 많은 종의 개체에서 광주기가 바뀌는 연간 사이클은 계절적으로 각인된 유전적 표현형이 환경적 변화에 대한 인식을 제공하여, 각 개체가 계절적 조건을 예측하여 이에 적응할 수 있도록 해준다 [7].

Wistar 랫드를 이용한 기존 연구에서 광주기 중 낮 길이를 줄인 결과, 랫드의 체중 증가의 저해, 고환 발달 억제 그리고 지방 대사의 증가 등이 나타났다고 보고하였다 [10]. 한편, 다양한 종류의 랫드와 설치류를 대상으로 한 연구에서 낮의 길이는 고환의 무게에는 영향을 미치지 않았으나 암컷의 생식선 무게와 호르몬 농도에는 영향을 미친 것으로 보고하였다 [20]. 또한, 실험동물에서 광주기의 변화에 따른 혈중 스트레스 호르몬 농도의 변화를 관찰한 연구에서 광주기의 변화는 골든햄스터 [28]와 흰발붉은쥐(white-footed mice) [25]에서 각각 급성 스트레스와 속박에 의한 스트레스와 같은 혈중 스트레스 호르몬 농도의 변화를 나타내었다고 보고하였다.

기존의 연구에서 광주기의 변화에 따른 실험동물의 생리적 반응에 대한 부분적인 연구는 많이 진행되었으나, 실험동물에 대한 전체적인 생리적 변화, 즉, 체중 및 사료섭취량의 변화, 혈액학적 변화, 혈중 스트레스 호르몬과 면역글로불린의 변화 등에 대한 연구들은 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 ICR 마우스를 대상으로 다양한 광주기의 변화에 따른 사료섭취량 및 체중 변화, 혈액학적 변

화, 혈중 스트레스 호르몬과 총 면역글로불린 G(IgG)의 농도 등에 대해 조사함으로써, 광주기의 변화에 따른 실험동물의 전체적인 생리적 변화에 대한 기초자료를 제공할 목적으로 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 실험동물

7주령의 Specific pathogen free(SPF) ICR 마우스 수컷 50마리(평균체중,  $27.3 \pm 2.5$  g)를 (주양성(대한민국)에서 구매하여, SPF 마우스임을 확인하기 위한 미생물학적 검사를 시행하여 특정 병원체가 없는 것을 확인한 후 실험에 사용하였다. 마우스는 10마리씩을 임의로 선택하여 케이지에 분리하여, 일주일 동안, 광주기 12 h/12 h에서 적응을 시킨 후 실험에 사용하였다. SPF 상태를 유지하기 위해 음수, 사료, 깔짚 등은 모두 고압멸균 후 사용하였으며, 사료와 음수는 자유롭게 섭취하도록 하였다. 사육온도와 습도는 각각  $22 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 과  $50 \pm 10\%$ 로 하였으며, 환기는 자동으로 조절되는 실험동물 사육장치(㈜쓰리샤인, 대한민국)에서 사육하였다.

본 실험은 국립경상대학교의 실험동물윤리위원회의 승인을 받아 본 위원회의 규정에 따라 수행하였다(GNU-150313-M0006).

### 실험군 설정 및 빛의 조절

마우스는 임의로 각 군당 10마리씩 5개 군(DP-0, DP-6, DP-12, DP-18, DP-24)으로 나누어 실험을 진행하였으며, DP-0, DP-6, DP-12, DP-18, DP-24는 200-300 Lux의 조도에서 각각 0, 6(8:00~14:00), 12(8:00~20:00), 18(14:00~8:00), 24시간씩 매일 노출했으며, 실험은 4주 동안 진행하였다. 빛의 차단은 자체 제작한 나무상자(35 cm × 35 cm × 25 cm)를 이용하여, 마우스 케이지를 완전히 씌워서 차단하였다. 실험 시작 전과 실험 시작 후 4일마다 마우스의 체중과 사료섭취량을 측정하여 기록하였다.

### 혈액의 채취

실험동물의 혈액을 채취하기 위하여 실험 종료 12시간 동안 절식을 시킨 후, diethyl ether(Sigma-Aldrich, Switzerland)로 마취시킨 다음, 심장 천공법을 이용하여 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 heparin이 처리된 혈액채취 튜브(BD vacutainer; Becton, Dickinson and Company, USA)에 담아, 일부는 혈액학적 분석을 위해 사용하였고, 나머지는 상온에 1시간 동안 방치한 후,  $1,800 \times \text{g}$ 에서 10분 동안 원심분리하고 혈청을 분리하여 cortisol과 immunoglobulin G(IgG)의 분석에 사용하였다.

### 혈액학적 분석

혈액의 혈구분석은 혈액 자동분석기(Advia 120 hematology analyzer; Bayer, USA)를 이용하여, 백혈구(WBC), 적혈구(RBC), 혈색소(Hemoglobin), 적혈구 용적률(Hematocrit), 평

균 적혈구 용적(MCV), 평균 적혈구 혈색소량(MCH), 평균 적혈구 혈색소 농도(MCHC), 혈소판(platelet) 등을 분석하였다.

### Cortisol 농도 측정

마우스 혈청 내 cortisol 농도는 ELISA kit Cortisol Parameter Assay Kit(R&D Systems, USA)를 구매하여 다음과 같이 측정하였다. Goat anti-mouse polyclonal antibody가 부착된 96-well microplate에, 표준곡선을 작성하기 위해 단계 희석한 cortisol 표준용액을 농도별로 100 µL씩 분주하고, 새로운 well에 마우스의 혈청을 100 µL씩 분주한 다음, cortisol conjugate를 50 µL씩 첨가하였다. 이어서 50 µL의 primary antibody solution을 넣고 96-well microplate를 실온에서 2시간 동안 반응시켰다. 이를 세척용액으로 5번 세척한 다음, 각 well에 200 µL substrate solution을 넣어 주고 실온에서 30분간 반응시켰다. 반응 후, 반응 정지액을 각 well에 50 µL씩 첨가하여 반응을 정지시킨 다음, ELISA reader를 이용하여 450 nm에서 흡광도를 측정하여 표준곡선으로부터 cortisol의 농도를 산출하였다.

### 총 IgG 농도 측정

마우스 혈청 내 총 IgG 농도를 측정하기 위하여 ELISA Kit(Komabiotech, Korea)를 구매하여 사용하였다. IgG capture antibody가 부착된 96-well microplate를 세척용액으로 5회 세척한 후, 표준곡선을 작성하기 위해 단계 희석한 IgG 표준용액을 농도별로 100 µL씩 분주하였다. 이어서 마우스의 혈청을 새로운 well에 100 µL씩 분주한 다음, 96-well microplate를 실온에서 1시간 동안 반응시켰다. 이후 세척용액으로 5번 세척한 다음, detection antibody를 각 well에 100 µL씩 분주하고, 실온에서 1시간 동안 배양하였다. 반응 후, 다시 세척용액으로 5번 세척한 후 발색용액을 100 µL씩 각 well에 넣고 색이 변할 때까지 실온에 놓아두었다. 색의 변화가 나타날 때 반응 정지액을 각 well에 100 µL씩 첨가하여 반응을 정지시키고, ELISA reader를 이용하여 450 nm에서 흡광도를 측정하여 표준곡선으로부터 총 IgG의 농도를 산출하였다.

### 통계분석

통계적 분석은 SPSS 12.0 for windows(SPSS, USA)를

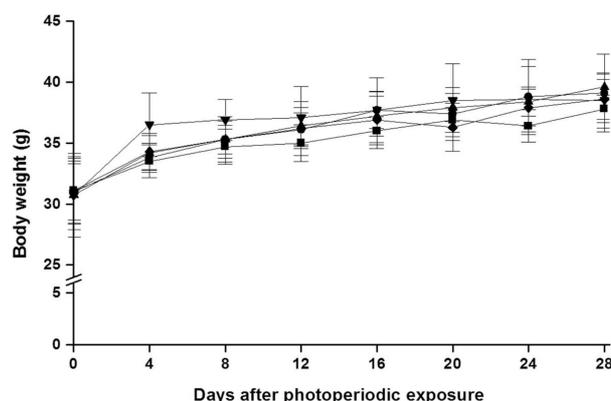
이용하여 실험군 간의 차이를 비교하기 위하여 일원배치분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA)으로 검증하였다. 각 그룹 간의 차이를 검증하기 위하여 Duncan's multiple range test를 이용하여 분석하였고 통계학적 유의수준은  $p < 0.05$ 로 하였다.

## 결 과

### 증체 및 사료섭취량

Fig. 1은 실험 기간 동안 각 군의 마우스 체중 변화를 나타낸 것이다. 실험 기간 동안에 모든 군의 체중은 시간 경과와 함께 증가하는 경향을 나타내었다. 체중 측정 시기에서 각 군 사이에 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다.

Table 1은 실험 기간 동안 각 군의 사료섭취량과 일일사료섭취량을 나타낸 것이다. 실험 8일째와 24일째에 모든 군에서 사료섭취량이 감소하였으나, 이후에 모두 다시 증가하였다. 실험 기간 동안 총 사료섭취량은 DP-12가 가장 높았으며 DP-0이 가장 낮게 나타났으나, 군별 일일사료섭취량에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.



**Fig. 1.** Changes of body weight in male ICR mice exposed to different photoperiod for 28 days. ■, DP-0 (0/24 h light/dark cycle); ●, DP-6 (6/18 h light/dark cycle); ▲, DP-12 (12/12 h light/dark cycle); ▼, DP-18 (18/6 h light/dark cycle); ◆, DP-24 (24/0 h light/dark cycle).

**Table 1.** Feed intake of experimental groups exposed to different photoperiods for 28 days

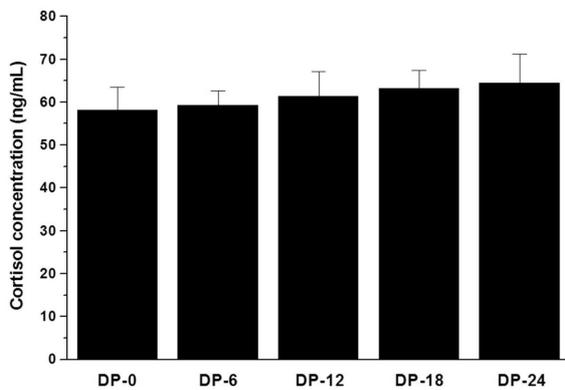
Groups	Days after photoperiodic exposure (g)							Daily feed intake (g)
	4	8	12	16	20	24	28	
DP-0	165.5	143.0	144.2	144.0	139.4	138.0	146.2	18.2 ± 1.16
DP-6	155.7	138.5	143.0	148.2	154.0	144.2	145.8	18.4 ± 0.76
DP-12	173.0	143.2	156.6	149.8	163.2	135.7	160.2	19.3 ± 1.58
DP-18	189.4	135.3	137.4	145.6	162.8	126.8	142.1	18.6 ± 2.65
DP-24	147.8	146.6	157.1	150.0	167.3	141.5	160.7	19.1 ± 1.15

DP-0, 0/24 h light/dark cycle; DP-6, 6/18 h light/dark cycle; DP-12, 12/12 h light/dark cycle; DP-18, 18/6 h light/dark cycle; DP-24, 24/0 h light/dark cycle.

**Table 2.** Hematological analysis of mice exposed to various photoperiods for 28 days

Parameters	Groups				
	DP-0	DP-6	DP-12	DP-18	DP-24
WBC ( $10^3/\mu\text{L}$ )	10.18 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>	10.07 $\pm$ 0.79 <sup>b</sup>	9.72 $\pm$ 0.82 <sup>b</sup>	9.55 $\pm$ 0.71 <sup>bc</sup>	9.43 $\pm$ 0.69 <sup>c</sup>
RBC ( $10^6/\mu\text{L}$ )	8.37 $\pm$ 0.41 <sup>a</sup>	8.18 $\pm$ 0.38 <sup>b</sup>	8.09 $\pm$ 0.31 <sup>bc</sup>	7.96 $\pm$ 0.35 <sup>c</sup>	7.87 $\pm$ 0.52 <sup>c</sup>
Hb (g/dL)	15.12 $\pm$ 0.53 <sup>a</sup>	14.53 $\pm$ 0.44 <sup>b</sup>	14.21 $\pm$ 0.51 <sup>c</sup>	14.07 $\pm$ 0.50 <sup>c</sup>	13.96 $\pm$ 0.71 <sup>d</sup>
HCT (%)	42.01 $\pm$ 2.12 <sup>a</sup>	41.89 $\pm$ 1.76 <sup>a</sup>	41.24 $\pm$ 1.83 <sup>a</sup>	41.07 $\pm$ 1.25 <sup>a</sup>	40.72 $\pm$ 1.98 <sup>b</sup>
MCV (fL)	53.3 $\pm$ 3.02 <sup>a</sup>	52.4 $\pm$ 4.71 <sup>a</sup>	51.9 $\pm$ 3.99 <sup>a</sup>	51.3 $\pm$ 2.93 <sup>a</sup>	50.5 $\pm$ 4.47 <sup>a</sup>
MCH (pg)	17.41 $\pm$ 1.14 <sup>a</sup>	17.25 $\pm$ 1.24 <sup>a</sup>	17.34 $\pm$ 1.03 <sup>a</sup>	17.17 $\pm$ 0.77 <sup>a</sup>	16.93 $\pm$ 1.08 <sup>a</sup>
MCHC (g/dL)	34.54 $\pm$ 2.53 <sup>a</sup>	33.83 $\pm$ 2.41 <sup>a</sup>	33.51 $\pm$ 2.71 <sup>a</sup>	33.13 $\pm$ 3.24 <sup>a</sup>	32.86 $\pm$ 2.61 <sup>a</sup>
PLT ( $10^3/\mu\text{L}$ )	866 $\pm$ 72.6 <sup>a</sup>	854 $\pm$ 81.5 <sup>a</sup>	847 $\pm$ 73.5 <sup>a</sup>	842 $\pm$ 69.4 <sup>a</sup>	831 $\pm$ 77.8 <sup>a</sup>

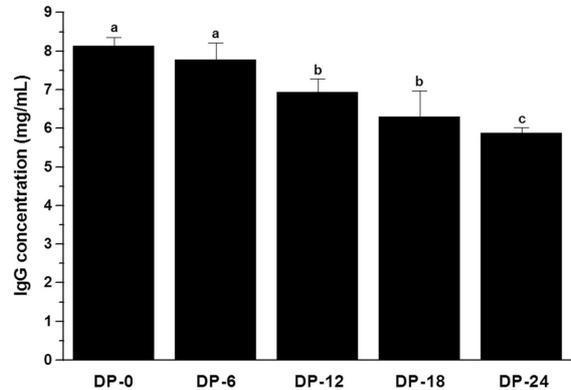
Values are presented as mean  $\pm$  SD (n = 10). DP-0, 0/24 h light/dark cycle; DP-6, 6/18 h light/dark cycle; DP-12, 12/12 h light/dark cycle; DP-18, 18/6 h light/dark cycle; DP-24, 24/0 h light/dark cycle. <sup>a,b,c</sup>Different superscript letters indicate statistical differences as determined by ANOVA ( $p < 0.05$ ). WBC: white blood cells, RBC: red blood cell, Hb: hemoglobin, HCT: hematocrit, MCV: mean corpuscular volume, MCH: mean corpuscular hemoglobin, MCHC: mean corpuscular hemoglobin concentration, PLT: platelet.



**Fig. 2.** Serum cortisol concentrations in male ICR mouse housed for 4 weeks in different photoperiods. DP-0, 0/24 h light/dark cycle; DP-6, 6/18 h light/dark cycle; DP-12, 12/12 h light/dark cycle; DP-18, 18/6 h light/dark cycle; DP-24, 24/0 h light/dark cycle.

#### 혈액학적 분석

Table 2는 4주 동안 광주기를 달리한 마우스의 혈액학적 지표값을 나타낸 것이다. 모든 군에서 혈액학적 지표가 빛의 노출시간에 따른 용량 상관성을 나타내었다. DP-0의 경우, 백혈구 수, 적혈구 수 그리고 혈색소의 농도가 다른 군과 비교하여 통계적으로 유의성 있게 높았으며 ( $p < 0.05$ ), 적혈구 용적률도 DP-24와 비교하여 통계적으로 유의성 있게 나타났다 ( $p < 0.05$ ). DP-6의 경우, 백혈구 수와 적혈구 용적률은 DP-24에 비해 유의성 있게 높았으며 ( $p < 0.05$ ), 적혈구 수도 DP-18과 DP-24에 비하여 통계적으로 유의성 있게 높은 것으로 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 또한, 혈색소의 농도 역시 DP-12, DP-18 그리고 DP-24에 비하여 통계적으로 유의성 있게 높게 나타났다 ( $p < 0.05$ ). DP-12의 경우, 모든 지표값이 DP-18과 유의한 차이를 보이지 않았으며, DP-18의 경우, 혈색소 농도와 적혈구 용적률에서 DP-24와 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ( $p < 0.05$ ).



**Fig. 3.** Serum total IgG concentrations in male ICR mouse housed for 4 weeks in different photoperiods. DP-0, 0/24 h light/dark cycle; DP-6, 6/18 h light/dark cycle; DP-12, 12/12 h light/dark cycle; DP-18, 18/6 h light/dark cycle; DP-24, 24/0 h light/dark cycle. <sup>a,b,c</sup>Different superscript letters indicate statistical differences as determined by ANOVA ( $p < 0.05$ ).

#### Cortisol 농도

Fig. 2는 광주기를 다르게 한 마우스의 혈청 중 스트레스 호르몬의 일종인 cortisol의 농도를 나타낸 것이다. 혈청 중 cortisol의 농도는 광주출시간 증가에 비례해서 증가하였다. 혈청 중 cortisol 농도는 DP-24에서 가장 높았으며 DP-0에서 가장 낮게 나타났으나, 실험군 간에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

#### 총 IgG 농도

Fig. 3은 광주기를 다르게 한 마우스의 혈청 중 총 IgG의 농도를 나타낸 것이다. 총 IgG의 농도는 광주출시간 증가에 비례해서 감소하는 양상을 나타내었다. DP-0와 DP-6에서 총 IgG 농도는 DP-12, DP-18, DP-24에서의 총 IgG 농도와 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다 ( $p < 0.05$ ). 또한, DP-12와 DP-18에서 총 IgG 농도는 DP-24에서의 총 IgG 농도와 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ( $p < 0.05$ ). DP-0와

DP-6 그리고 DP-12와 DP-18에서의 총 IgG 농도는 유의한 차이를 보이지 않았다.

## 고 찰

많은 생물 종은 일정한 주기를 가지고 생리적 작용을 조절하고 있으며, 이러한 생리현상의 주기적 변화는 광주기, 기온의 변화, 계절의 변화 등에 영향을 받으며, 생체 내에서 특정 시간을 단위로 주기적으로 발현되는 일주기성 유전자에 의해 조절되는 것으로 알려졌다 [3]. 일주기성과 같이 생체주기성을 나타내는 생체에 내재된 생물학적 시계를 생체시계라고 하며, 모든 생물체는 고유의 생체시계를 가지고 있어, 각종 생리적·행동학적 변화를 관장한다 [24]. 뇌 시상하부에 있는 시교차상핵(suprachiasmatic nucleus)은 중추 생체시계로서, 시상하부 핵 및 뇌의 송과선에 정보를 보내어 체온조절과, 코티졸과 멜라토닌과 같은 호르몬 생산을 조절하도록 하는 것으로 알려졌다 [27]. 특히, 멜라토닌은 밤과 낮의 길이나 계절에 따른 일조시간의 변화 등과 같은 광주기를 감지하여, 생식활동의 일주성과 연주성 등의 생체리듬에 관여한다 [29].

본 연구에서 광주기 변화에 따른 마우스의 체중과 사료섭취량에 있어서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 앞선 연구에서도, 야생 들쥐를 이용하여 광주기를 다르게 적용한 실험 결과, 낮의 길이를 짧게 한 군(낮 : 밤 = 8h : 16h)과 낮의 길이를 길게 한 군(낮 : 밤 = 16h : 8h) 간에 체중과 사료섭취량에 있어서 유의한 차이를 보이지 않았다고 보고하였다 [13]. 또 햄스터를 이용한 다른 연구에서는 낮의 길이를 각각 10시간과 14시간으로 하여 9주 동안 실험한 결과, 낮의 길이를 10시간으로 한 군에서 체중과 사료섭취량이 약간 높았으나, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다고 보고하였다 [8]. 반면에, 랫드를 이용하여 낮의 길이를 각각 6시간과 18시간으로 하여 190일 동안 적용한 실험에서는, 낮의 길이를 18시간으로 한 군의 체중이 낮의 길이를 6시간으로 한 군과 비교해서 통계적으로 유의성 있게 증가하였다고 보고하였다 [2]. 본 연구와 선행 연구들 간의 차이는 광주기의 변화에 대한 동물 종 간의 반응 및 적용의 차이로부터 기인된 것으로 보인다.

본 연구에서, 광주기의 변화에 따라 마우스의 백혈구, 적혈구, 혈색소 그리고 적혈구 용적률 등이 실험군 사이에서 유의한 차이를 나타내었다. 앞선 연구에서 랫드를 대상으로 광주기를 다르게 하여 실험한 결과, 혈액학적 지표들 중 백혈구 수, 적혈구 수, 그리고 혈색소 농도 등이 빛의 노출이 증가함에 따라 모두 감소하는 경향을 보였다고 보고하였다 [22]. 또한, 두 종의 마우스를 대상으로 사계절에 따른 혈액학적 변화를 연구한 결과, 실험용 마우스의 경우, 겨울, 봄, 가을에 적혈구 수, 혈색소 농도 그리고 적혈구 용적률 등이 증가하였고, 낮의 길이가 길어진 여름에는 반대로 감소하였다고 보고하였다 [18]. 본 연구의 결과는 앞선 연구들의 결과와 유사한 경향을 보여주고 있다. 광주기 변화에 따른 혈

액 성분의 변화는 혈액 성분의 함량에 영향을 미치는 멜라토닌 등 다양한 호르몬의 분비량 변화에 의해 발생하는 것으로 알려졌다 [31].

본 연구에서 광주기 변화에 따른 스트레스 발생 여부를 확인하기 위해 마우스의 혈청 중 cortisol 농도를 측정된 결과, 낮 길이가 길어짐에 따라 cortisol 농도가 증가하는 경향을 나타냈지만 실험군 간에 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 햄스터에 광주기를 다르게 하여 10주 동안 적용한 앞선 연구에서도 낮의 길이를 짧게 한 군(낮 : 밤 = 8h : 16h)의 cortisol 농도가 낮의 길이를 길게 한 군(낮 : 밤 = 16h : 8h)보다 다소 낮았으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다고 보고하였다 [6]. 한편, 햄스터를 이용해서 광주기를 다르게 하여 14주 동안 실험한 연구에서는 낮의 길이를 짧게 한 군(낮 : 밤 = 8h : 16h)의 cortisol 농도가 낮의 길이를 길게 한 군(낮 : 밤 = 16h : 8h)보다 다소 높았으나 역시 유의한 차이는 없었다고 보고하였다 [33]. 본 연구결과와 같이, 앞선 연구들에서도 광주기의 변화가 혈청 중 cortisol 농도에 영향을 미치지 않은 것으로 나타나 광주기의 변화는 ICR 마우스에 있어서 스트레스를 크게 유발하지 않는 것으로 생각된다.

본 연구에서 광주기 변화에 따른 혈청 중 총 IgG의 농도는 낮의 길이가 길어짐에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 흰발생쥐를 대상으로 광주기를 달리하여 10주 동안 적용한 결과, 낮의 길이를 짧게 한 군(낮 : 밤 = 8h : 16h)의 총 IgG 농도가 낮의 길이를 길게 한 군(낮 : 밤 = 16h : 8h)의 총 IgG의 농도보다 통계적으로 유의하게 높았다고 보고하였다 [5]. 자돈을 대상으로 4주 동안 광주기를 다르게 적용한 실험에서도, 낮의 길이를 짧게 한 군(낮 : 밤 = 8h : 16h)의 혈액 중 총 IgG 농도가 낮의 길이를 길게 한 군(낮 : 밤 = 16h : 8h)의 총 IgG의 농도보다 높았다고 보고하였다 [21]. 이와 같이 낮의 길이가 짧을수록 혈청 중 총 IgG의 농도가 높은 것은 많은 에너지를 필요로 하는 겨울철에 멜라토닌과 같은 호르몬의 작용으로 최적의 몸 상태를 유지하기 위해 면역기능이 증가하는 것으로 알려졌다 [19].

본 연구에서는 낮의 길이가 길어짐에 따라 혈중 cortisol 농도는 증가한 반면에 혈중 IgG의 농도는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 낮의 길이가 짧은 경우에 스트레스 호르몬 농도가 감소하고 면역기능은 증가하였다고 보고한 기존 연구 [20]와 일치하고 있다.

따라서 광주기의 변화는 체중, 사료섭취량 그리고 혈액 중 cortisol 농도 등에는 영향을 미치지 않았으나 혈액 중 총 IgG의 농도에는 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 논문은 의령고등학교 2015학년도 연구를 통한 학습프로그램(Research & Education)의 지원으로 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

## References

1. **Bashiri F, Hassan CRC.** Light pollution and its effect on the environment. *Int J Fundam Phys Sci* 2014, **4**, 8-12.
2. **Boon P, Visser H, Daan S.** Effect of photoperiod on body mass, and daily energy intake and energy expenditure in young rats. *Physiol Behav* 1997, **62**, 913-919.
3. **Chung MK, Choi YJ, Jung KH, Kim EA, Chung HM, Lee SH, Yoon TK, Chai YG.** Expression of the circadian clock genes in the mouse gonad. *Balsaenggwa Saengsig* 2004, **8**, 57-64.
4. **Cohen M, Lippman M, Chabner B.** Role of pineal gland in aetiology and treatment of breast cancer. *Lancet* 1978, **2**, 814-816.
5. **Demas GE, Nelson RJ.** Photoperiod and temperature interact to affect immune parameters in adult male deer mice (*Peromyscus maniculatus*). *J Biol Rhythms* 1996, **11**, 94-102.
6. **Drazen DL, Demas GE, Nelson RJ.** Leptin effects on immune function and energy balance are photoperiod dependent in Siberian hamsters (*Phodopus sungorus*). *Endocrinology* 2001, **142**, 2768-2775.
7. **Guenther A, Trillmich F.** Photoperiod influences the behavioral and physiological phenotype during ontogeny. *Behav Ecol* 2013, **24**, 402-411.
8. **Gündüz B.** Serum leptin profiles, food intake, and body weight in melatonin-implanted Syrian hamsters (*Mesocricetus auratus*) exposed to long and short photoperiods. *Turk J Biol* 2014, **38**, 185-192.
9. **Haim A, Yukler A, Harel O, Schwimmer H, Fares F.** Effects of chronobiology on prostate cancer cells growth *in vivo*. *Sleep Sci* 2010, **3**, 32-35.
10. **Heideman PD, Sylvester CJ.** Reproductive photoresponsiveness in unmanipulated male Fischer 344 laboratory rats. *Biol Reprod* 1997, **57**, 134-138.
11. **Ki KS, Cho W.** Effects of light pollution and environmental factors on dawn song initiation time of great tit (*Parus major*). *Korean J Environ Ecol* 2014, **28**, 411-418.
12. **Kong HJ, Kim JT.** Light pollution of outdoor lighting in coastal area—focused on Busan city. *J Korean Inst Illum Electr Install Eng* 2010, **24**, 18-26.
13. **Król E, Duncan JS, Redman P, Morgan PJ, Mercer JG, Speakman JR.** Photoperiod regulates leptin sensitivity in field voles, *Microtus agrestis*. *J Comp Physiol B* 2006, **176**, 153-163.
14. **Le Tallec T, Perret M, Théry M.** Light pollution modifies the expression of daily rhythms and behavior patterns in a nocturnal primate. *PLoS One* 2013, **8**, e79250.
15. **Lee PJ.** Design of multi-purpose guide light for light pollution protection. *J Knowl Inf Technol Syst* 2012, **7**, 125-134.
16. **Lee SB.** Ecological impact assessment of light pollution. pp. 1-2, Korea Environment Institute, Seoul, 2010.
17. **Longcore T, Rich C.** Ecological light pollution. *Front Ecol Environ* 2004, **2**, 191-198.
18. **Mira A, Mathias ML.** Seasonal effects on the hematology and blood plasma proteins of two species of mice *Mus musculus domesticus* and *M. spretus* (Rodentia: Muridae) from Portugal. *Hystrix* 1993, **5**, 63-72.
19. **Nelson RJ, Demas GE, Klein SL.** Photoperiodic mediation of seasonal breeding and immune function in rodents: a multifactorial approach. *Am Zool* 1998, **38**, 226-237.
20. **Nelson RJ, Moffatt CA, Goldman BD.** Reproductive and nonreproductive responsiveness to photoperiod in laboratory rats. *J Pineal Res* 1994, **17**, 123-131.
21. **Niekamp SR, Sutherland MA, Dahl GE, Salak-Johnson JL.** Immune responses of piglets to weaning stress: impacts of photoperiod. *J Anim Sci* 2007, **85**, 93-100.
22. **Olayaki LA, Salman TM, Jimoh AAG, Iduh G, Soladoye AO.** Effects of photoperiod on some haematological indices in rats. *Niger J Health Biomed Sci* 2008, **7**, 11-14.
23. **Ono H, Hoshino Y, Yasuo S, Watanabe M, Nakane Y, Murai A, Ebihara S, Korf HW, Yoshimura T.** Involvement of thyrotropin in photoperiodic signal transduction in mice. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2008, **105**, 18238-18242.
24. **Pittendrigh CS.** Temporal organization: reflections of a Darwinian clock-watcher. *Annu Rev Physiol* 1993, **55**, 16-54.
25. **Pyter LM, Adelson JD, Nelson RJ.** Short days increase hypothalamic-pituitary-adrenal axis responsiveness. *Endocrinology* 2007, **148**, 3402-3409.
26. **Rajkhowa R.** Light pollution and impact of light pollution. *Int J Sci Res* 2014, **3**, 861-867.
27. **Reppert SM, Weaver DR.** Molecular analysis of mammalian circadian rhythms. *Annu Rev Physiol* 2001, **63**, 647-676.
28. **Ronchi E, Spencer RL, Krey LC, McEwen BS.** Effects of photoperiod on brain corticosteroid receptors and the stress response in the golden hamster (*Mesocricetus auratus*). *Brain Res* 1998, **780**, 348-351.
29. **Sohn CH.** Anatomy and physiology in human circadian rhythms. *Sleep Med Psychophysiol* 1998, **5**, 1-11.
30. **Tavolaro FM, Thomson LM, Ross AW, Morgan PJ, Helfer G.** Photoperiodic effects on seasonal physiology, reproductive status and hypothalamic gene expression in young male F344 rats. *J Neuroendocrinol* 2015, **27**, 79-87.
31. **Trivedi AK, Kumar V.** Melatonin: an internal signal for daily and seasonal timing. *Indian J Exp Biol* 2014, **52**, 425-437.
32. **Vinogradova IA, Iliukha VA, Khizhkin EA, Uzenbaeva LB, Il'ina TN, Bukalev AV, Goranski AI, Matveeva IuP, Iunash VD, Lotosh TA.** Light pollution, desynchronization and aging: the state of problem and solutions. *Adv Gerontol* 2014, **27**, 265-268.
33. **Walton JC, Grier AJ, Weil ZM, Nelson RJ.** Photoperiod and stress regulation of corticosteroid receptor, brain-derived neurotrophic factor, and glucose transporter GLUT3 mRNA in the hippocampus of male Siberian hamsters (*Phodopus sungorus*). *Neuroscience* 2012, **213**, 106-111.
34. **Weinstein MP, Turner RE, Ibáñez C.** The global sustainability transition: it is more than changing light bulbs. *Sustainabil Sci Pract Policy* 2013, **9**, 4-15.