

야간 수면 중 약한 인공 빛 노출이 피로도에 미치는 영향

Impact of Dim Artificial Light at Night (dALAN) Exposure during Sleep on Human Fatigue

조아름¹ · 조철현¹ · 윤호경¹ · 문정호² · 이현정^{1,2} · 김 린¹

Ah-reum Cho,¹ Chul-Hyun Cho,¹ Ho-Kyoung Yoon,¹
Joung Ho Moon,² Heon-Jeong Lee,^{1,2} Leen Kim¹

■ ABSTRACT

Objectives: Exposure to light at night has become pervasive in modern society. The impact of dim artificial light at night (dALAN) exposure on sleep and fatigue is not well recognized. We aim to study the impact of dALAN exposure during sleep on human fatigue.

Methods: 30 healthy young male volunteers from 21 to 29 years old were enrolled in the study. They were randomly divided into two groups depending on light intensity (Group A : 5 lux and Group B : 10 lux). Data were gathered from each participant after each night with no light (Night 1) followed by the next night (Night 2) with two different dim light conditions (5 or 10 lux) by means of self-reported fatigue scale.

Results: Exposure to dALAN during sleep was significantly associated with increased overall fatigue ($F = 19.556, p < 0.001$) and ocular discomfort ($F = 5.671, p = 0.028$).

Conclusion: We found that dALAN during sleep likely affects human fatigue in some aspects. These findings indicate that dALAN during sleep exerts a negative effect on human fatigue. *Sleep Medicine and Psychophysiology* 2016 ; 23(2) : 53-60

Key words: Dim artificial light at night · Fatigue · Sleep · Light.

서 론

수면은 인간이 정상적인 활동을 수행하는데 필수적인 요소이다(Cirelli과 Tononi 2008). 지구의 자전에 따라 낮과 밤이 존재하고, 지구상에 존재하는 인간은 낮과 밤의 변화에

Received: October 26, 2016 / Revised: December 6, 2016

Accepted: December 7, 2016

이 논문은 환경부의 재원으로 한국환경기술원의 지원(No. RE201206020) 및 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단-과학기술인문사회융합연구사업의 지원(No. 2016M3C1B6929667)을 받아 수행된 연구임.

¹고려대학교 의과대학 정신건강의학교실

Department of Psychiatry, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

²고려대학교 의과대학 대학원 의과학과

Department of Medical Science, Graduate School, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

Corresponding author: Chul-Hyun Cho, Department of Psychiatry, Korea University College of Medicine, 73 Incheon-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Korea

Tel: (02) 920-6272, Fax: (02) 6280-5810

E-mail: david0203@gmail.com

따라 일주기리듬을 유지해왔다. 일주기리듬에서 중요한 요소가 바로 수면으로, 수면의 양과 질에 따라 인간의 기분, 활동량, 생산성 등에 지대한 영향을 끼친다는 것은 다양한 연구를 통해 알려진 사실이다(Crisp 1980 ; Szuba 등 1991). 또한, 수면은 불면증, 수면무호흡증 등과 같이 수면 그 자체와 연관된 질환 뿐만 아니라, 기분장애, 불안장애, 조현병 등과 같은 다양한 정신질환에 이르기까지 질환의 원인이나 악화 요인으로서 주목받고 있다(Boivin 2000 ; Krystal 등 2008 ; Wulff 등 2010). 최근에는 각종 대사질환을 비롯한 내과적 질환들의 원인, 증상, 치료 및 예후에까지 수면이 연관되어 있음을 시사하는 연구결과들이 발표되었다(Knutson 등 2007 ; Grandner 등 2012). 이처럼 수면은 정신질환에만 국한된 것이 아닌 다양한 질환에 연관되어 있기 때문에 주목하여 연구할 만한 가치가 충분하다 하겠다. 특히, 삶의 질이라는 가치가 매우 중요하게 대두되고 있는 현대사회에서 수면은 단순한 질환과의 연관성을 뛰어넘어 인간의 일상생활과의 연관성의 측면에서 관심을 받고 있다. 숙면은 기억, 기

분, 스트레스 처리 등에 중요한 회복요소로서(Oswald 1980), 이 같은 사실은 일반인들도 보편적으로 느끼고 인지하고 있는 바이다. 급속도로 발전을 거듭하고 무한 경쟁을 유도하는 현대사회에서 '피로'라는 단어가 매우 흔하게 사용되고 있으며, 많은 사람들이 어떻게 하면 피로를 잘 회복할 것인지, 즉 어떻게 하면 잘 쉬 수 있는가에 대해 사회적 차원에 이르기까지 많은 고민을 하고 있다. 수면 또한, 각종 정신적 육체적 스트레스로 인한 피로도의 회복에 있어 중요한 회복 인자라는 것은 부인할 수 없는 사실이다(Adam 1980). 따라서, 수면에 대한 연구는 피로도와 관련해서도 그 의미가 있다 하겠다.

수면은 능동적이고 반복적이며 가역적인 행동으로 회복과 성장 학습 및 기억의 강화, 원기회복 과정(restorative process)과 같은 역할을 담당하고 있다. 잠을 자는 동안 물리적 과정과 인지적 과정이 일어나게 되며 만약 수면이 부족하게 되면 이러한 과정들이 손상을 입게 된다(Curcio 등 2006). 수면 박탈은 낮은 선언적, 절차적 학습과 흔히 연관이 되며 수면이 최적화된 상태에서는 신경인지적 능력과 학문적 성과가 개선된다는 점이 확인되었다. 새로운 기억의 등록을 위해서는 학습 전의 수면이 특히 중요하다는 것도 밝혀진 상태이다(Yoo 등 2007). 일반 대중을 대상으로 한 연구에서 수면 부족은 피로도의 정도와 유의하게 연관이 있는 것으로 확인되었다(Kuppermann 등 1995). 인지되는 심한 피로는 다양한 수면 질환에서 흔히 나타나며 불면증의 경우 피로의 정도가 최고치를 보인다. 수면 장애를 겪는 사람들에서 피로의 정도는 심각한 내과 질환을 가진 사람들에서의 피로도와 견줄 수 있는 정도인 것으로 생각되고 있다(Lichstein 등 1997). 따라서 신체적으로 건강한 상태를 유지하고 효과적인 수행능력을 유지하기 위해서는 수면의 양과 질이 적절하게 유지되는 것이 중요할 것이다.

급속한 과학기술의 발전과 산업화의 진행으로 인해 인간은 삶 전반에 걸쳐 편리함을 누리고 있다. 그 중 역사적으로 가장 중요한 편리함이 바로 인공 빛(artificial light)이다(Stevens 2009). 인류가 인공 빛을 발견하고 때문에 실내 공간이나 밤에도 활동을 하게 되면서 편리함을 누리고 생산성이 증가한 것이 사실이다. 하지만, 인공 빛이 보편화되면서 수면 중 원하지 않는 인공 빛에 노출되는 경우가 많아졌다(Dominoni 등 2013). 특히, 숙면을 위해서는 절대적인 어둠이 필요한 밤에 인공 빛으로 인한 수면의 방해는 최근 들어 빛공해(light pollution)라는 신조어까지 생기면서 사회적 문제, 법적 문제로 대두되고 있다(Navara과 Nelson 2007). 수면을 방해할 수 있는 인공빛의 형태는 다양한데, 일상에서 흔히 경험하지만 쉽게 간과할 수 있는 것이 바로 야간누출

광에 의한 야간의 약한 인공 빛(dim artificial light at night, dALAN) 노출이다(Fonken 등 2013). 야간누출광은 침실의 전등은 꺼져있지만, 주로 창문 등을 통해서 밖으로부터 새어 들어오는 빛을 말한다. 이러한 약한 빛도 수면에 영향을 줄 수 있으며, 때문에 빛의 세기 10 lux로 제한하여 야간누출광에 대한 노출을 제한하는 국가들이 많다(Narisada과 Schreuder 2013). 하지만, 야간의 약한 인공 빛 노출은 빛의 강도가 상대적으로 적어서 수면에 영향을 미치는지, 또 미친다면 어느 정도의 영향을 미치는지에 대해 의문이 있으나 이에 대한 연구가 많지 않은 실정이다.

야간 수면 중 약한 인공 빛 노출이 미치는 영향에 대한 연구는 현재까지 주로 동물실험 위주로 이루어져왔다. 이에 대한 동물 연구에서 인지 기능, 분자 수준의 일주기 리듬 등은 야간누출광에 의해 방해될 수 있음이 확인되었다(Fonken 등 2012). 반면 다른 연구에서는 만성적인 야간누출광이 쥐에서의 수면 시간 혹은 항상성에 유의한 영향을 주지 않는다는 결과를 보고하기도 하였다(Borniger 등 2013). 본 연구와 같은 연구 대상으로 시행된 선행 연구에서는 수면 중의 야간누출광이 수면의 구조에 영향을 주며 각성 빈도, 얇은 수면과 REM 수면의 양을 증가시킨다는 것이 확인되었다(Cho 등 2016).

본 연구팀은 젊은 남성을 대상으로 한 잘 통제된 실험 연구를 통해 야간 수면 중 약한 빛 노출이 인간의 수면에 어떠한 영향을 미치는지에 대해, 수면 다음날의 주관적인 피로도로 평가하고자 하였다. 더 나아가, 약한 인공 빛의 세기를 다르게 하여(10 lux vs. 5 lux) 약한 빛 노출 전, 후의 피로도의 차이와 약한 빛의 세기에 따른 피로도의 차이가 있는지 주관적인 지표를 통해 분석하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 고려대학교 안암병원 수면-각성센터에서 모집한 만 19~29세의(평균 ± 표준편차 : 22.26 ± 2.65) 건강한 남성을 대상으로 진행되었다. 연구대상은 특별한 내외과적, 정신과적 과거력이 없고, 코골이나 수면 무호흡의 증상이 없으며, 연구에 성실하게 참여할 수 있는 남성을 기준으로 하였다. 고려대학교 안암병원 연구윤리위원회(IRB)에 심사 완료(IRB NO. ED 12261)된 연구 피험자 모집 공고문을 인터넷에 홍보하여 모집 및 선정하였다. 연구진은 연구 시작 전, 연구 대상자에게 헬싱키 선언(Declaration of Helsinki)에 입각하여, 피험자 또는 보호자에게 연구의 목적과 연구 참여 중 일어날 수 있는 정신적, 신체적 위해를 충분히 설명하고, 피험자 또

는 보호자로부터 서면으로 취득한 동의서(written in-formed consent)를 받았다. 총 30명의 피험자가 선정되었고, 수면 중 야간누출광의 강도에 따라 각 15명씩 2개의 그룹으로 무작위 분류하였다(Group A : 5 lux, Group B : 10 lux). 연구 대상에 대한 자세한 정보는 같은 연구 대상으로 시행된 이전의 연구를 통해 확인할 수 있다(Cho 등 2016).

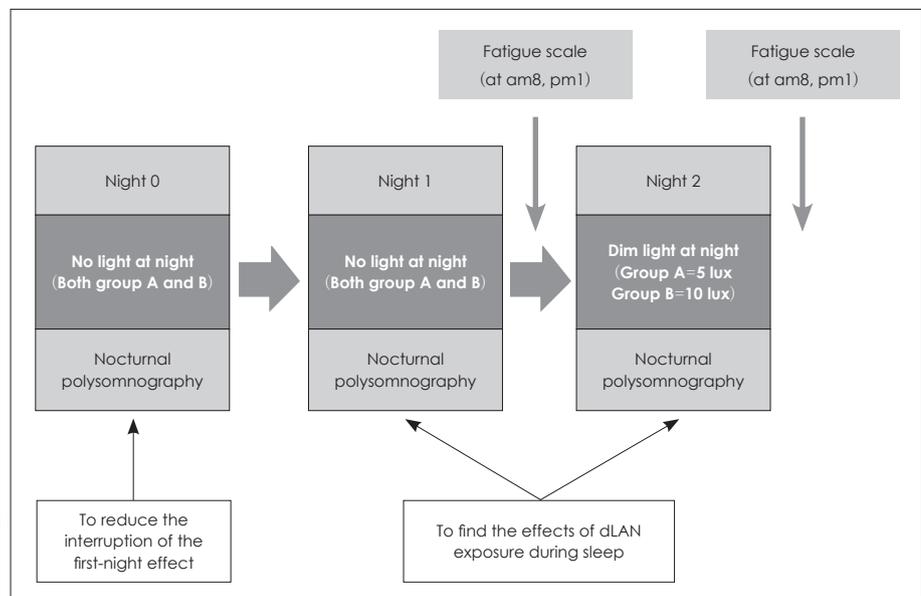
총 30명의 피험자를 대상으로 두 개의 군으로 나누어 실험을 시행하였으며, 실험 1주일 전부터 손목에 착용한 actiwatch를 통한 일주기리듬 분석 결과 밤에 잠을 자지 않거나 낮에 과도하게 수면을 취해 본 실험 결과에 영향을 미칠 수 있는 피험자와 첫날(Night 0) 시행한 야간수면다원검사 상 수면 효율이 80% 이하로 저하되어 있는 피험자를 분석에서 제외하였다. 또한 피로도 척도 검사를 완료하지 못한 3명의 피험자를 제외하였다. 그 결과 총 10명의 피험자를 분석에서 제외하여 5 lux군(Group A) 8명과 10 lux군(Group B) 12명을 대상으로 분석하였다.

2. 연구방법

피험자로 선정된 사람은 연구 1주일 전부터 연구종료 시까지 actiwatch (Actiwatch-L, Mini Mitter)를 손목에 착용하도록 하였으며, 이는 평상시 피험자의 일주기리듬을 파악하고자 함이었다. Actiwatch를 통한 actigraphy 분석은 연구가 종료된 후에 시행하였다. 연구 1주일 전 모든 피험자들은 규칙적인 일주기리듬을 유지하기 위해 낮 동안 잠을 자지 않고 밤에만 수면을 취하도록 하였다. 모든 피험자들은 수면에 영향을 줄 수 있는 의약품, 커피, 술 등을 금지하도록 하였다.

수면 다원 검사는 고려대학교 수면-각성 센터에서 총 3회에 걸쳐 시행되었다. 전체적인 연구 진행도는 Figure 1에 제시하였다. 연구 첫 번째 날(Night 0), 피험자는 첫날밤효과(first night effect)를 배제하기 위해, 빛이 없는 수면검사실에서 수면을 취하면서 야간수면다원검사를 시행하였다. 두 번째 날(Night 1), 피험자는 첫 번째 날과 동일하게 빛이 전혀 없는 수면검사실에서 수면을 취하면서 야간수면다원검사를 시행하였다. 세 번째 날(Night 2), 피험자는 분류한 그룹에 따라, 각각 5 lux와 10 lux의 약한 빛이 있는 방에서 수면을 취하였다. 세 번째 날에는 광 박스(light box)를 피험자의 머리 반대쪽 벽의 위쪽에 두었다. 광원에 대한 자세한 정보는 같은 연구 방법으로 시행된 이전의 연구를 통해 확인할 수 있다(Cho 등 2016). 평가 시마다 광 박스의 빛의 강도를 일관되게 유지하기 위해 조도계(ANA-F11, Tokyo Photo Electric Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 통해 반듯이 누운 피험자의 눈 높이에서 빛의 강도를 확인하였다. 빛 세기는 무작위 배경에 근거하여 각각 Group A (5 lux) 혹은 Group B (10 lux)로 설정되었다. 유럽 등 선진국에서는 빛 공해의 기준을 10 lux로 제한하고 있으나 최근 보다 엄격하게 5 lux를 기준으로 해야한다는 의견이 나오고 있어(Narisada과 Schreuder 2013), 본 연구에서 기존의 빛 공해 기준(10 lux)과 이보다 약하지만 새로운 빛 공해 기준으로 고려되고 있는 기준(5 lux)을 근거로 그룹을 분류하였고 그 영향을 평가하고자 하였다. 피험자는 야간누출광이 5 lux 혹은 10 lux인지 모르는 상태로 진행하였다. 야간누출광은 세 번째 날 밤 내내 유지되었다. 연구가 진행되는 동안 피험자들은 가능한 반듯이 누워 얼굴을 덮지 않은 상태에서 수면을 취하도록 하였다.

Figure 1. Schematic of the study process. This figure shows the entire study protocol for the three consecutive nights. To reduce the interruption of the first-night effect, we performed one more NPSG session (Night 0 before the main study (Night 1 and 2)). We analyzed fatigue scale results after Nights 1 and 2 to find the effects of dLAN exposure during sleep. Group A : 5 lux, Group B : 10 lux.



3. 측 정

두 번째날(Night 1)과 세 번째날(Night 2) 수면 후 다음날 오전8시, 오후1시에 각각 피로도 척도를 이용한 피로도 자가평가를 시행하였다. 수면 직후의 즉각적인 영향과 지연된 영향 모두를 고려하기 위해 시간 차를 두고 2회 측정을 하도록 하였다. 본 연구에서 평가하고자 하는 피로도를 평가하기 위한 적절하고 표준화된 척도가 없었고, 이에 본 연구에서 확인하고자 한 정신적, 신체적 피로를 다룰 수 있는 피로도 항목들을 설정하여 피로도 척도를 개발할 필요가 있었다. 피로도 척도는 본 연구팀에서 자체적으로 만든 척도로써 총 10개의 문항으로 구성되어, 전반적인 피로도, 신체증상, 기분증상, 인지상태 등에 대한 질문으로 각 문항별로 0~10점의 리커트척도(Likert scale)로 자가평가를 하도록 하였다. 피로도 척도의 질문 문항은 1) 당신은 현재 피곤하여 지쳤습니까? (overall fatigue) 2) 현재 목이 쓰리십니까? (sore throat) 3) 머리가 아프십니까? (headache) 4) 눈이 아프거나, 시야가 흐리거나 눈이 부시지 않습니까? (ocular discomfort) 5) 배가 아프거나 더부룩하거나 가스(gas)가 차지 않습니까? (abdominal discomfort) 6) 우울감이나 기분변화, 공포감이 몰려오지 않습니까? (psychological distress) 7) 근육이 아프거나 쭈시지 않습니까? (muscular discomfort) 8) 기억력 장애나 집중력에 저하가 오지는 않습니까? (cognitive decline) 9) 감각이 무디거나, 어지럽거나, 중심을 잡기 어렵진 않습니까? (neurologic symptom) 10) 관절 부위가 아프진 않습니까? (joint pain) 로 구성되어 있다.

4. 통계 분석

본 연구에서는 Mann-Whitney test를 이용하여 두 그룹 사이의 인구학적 특성들과 피로도 척도 변수들을 비교하였다. 인구학적 특성은 연령, 교육 수준, 체중, 키 등이 되겠다. 피로도 척도는 오전 8시와 오후 1시에 측정하여 동일한 시간대에 측정된 것을 같은 조건이라 생각하고 비교하였다. 빛 노출 전후의 차이뿐만 아니라 시간의 효과와 그룹간(Group A와 B) 차이와의 관계를 보고자 하였다. 야간 수면 중 약한 빛 노출이 전혀 없이 수면을 취한 다음날 낮과 야간 수면 중 약한 빛 노출을 5 lux 또는 10 lux로 하여 수면을 취한 다음날 낮에 검사한 피로도 척도는 검사 시점과 문항에 따라 반복측정 분산분석(Repeated measures ANOVA)을 시행하였다.

결 과

본 연구에서는 빛 노출 전후와 빛의 세기에 대한 반복측

정 분산분석을 통해 야간 수면 중 약한 빛 노출이 다음날 피로도에 미치는 영향에 대해 실험연구를 통해 평가하였다. Mann-Whitney test 결과 두 그룹 간의 인구학적 특성은 유의한 차이가 없었고 Night 1에서 Group A와 B의 피로도 척도 변수에서 오후 1시 피로도 측정 항목 중 4)번 문항에서만 유의한 차이가 있었다($p = 0.047$). 피로도 척도의 일부 항목은 야간 수면 시 약한 인공빛 노출의 전후에(Night 1과 2) 또는 그룹간(Group A와 B) 유의한 차이가 있었으나 대부분의 항목들은 유의한 차이를 보이지 않았다.

오전 8시 피로도 측정에서 1)번 문항(당신은 현재 피곤하여 지쳤습니까?)은 빛 노출 후 Group A, B 모두에서 피로도 척도가 증가함을 확인할 수 있었다. 이러한 시간에 따른 유의한 영향은 확인되었으나($F = 19.556, p < 0.001$), 시간-그룹 교호작용은 확인할 수 없었다($F = 0.106, p = 0.749$). 7)번 문항(근육이 아프거나 쭈시지 않습니까?)은 시간에 따른 차이는 없었으나($F = 0.15, p = 0.703$), Group A에 비해 Group B에서 피로도 척도가 유의하게 증가하여 시간-그룹 교호 작용이 유의한 것으로 확인되었다($F = 6.369, p = 0.021$) (Table 1, Figure 2)

오후 1시 피로도 측정에서는 4)번 문항(눈이 아프거나, 시야가 흐리거나 눈이 부시지 않습니까?)에서 빛 노출 후 Group A와 B 모두에서 피로도 척도가 증가하였으며 시간에 따른 영향은 유의하였으나($F = 5.671, p = 0.028$), 그룹 간 차이를 보이지 않았다($F = 0.019, p = 0.893$). 8)번 문항(기억력 장애나 집중력에 저하가 오지는 않습니까?)은 시간에 따른 차이는 유의하지 않으나($F = 3.033, p = 0.099$) Group A에 비해 Group B에서 피로도 척도가 유의하게 증가하여 시간-그룹 교호 작용이 유의한 것을 확인할 수 있었다($F = 5.232, p = 0.035$). 그 밖의 검사 문항들에서는 유의한 결과를 보이지 않았다(Table 2, Figure 2)

정리하자면, 수면 직후 오전 8시에 측정한 피로도 평가에서는 전반적인 주관적 피로도 [1]번 문항, 'overall fatigue'가 야간 수면 중 약한 빛노출 이후 두 그룹 모두 유의하게 증가함을 확인할 수 있었고, 근육 불편감 [7]번 문항, 'muscular discomfort'는 Group A에 비해 Group B에서 피로도 척도가 유의하게 증가되어 그룹 간 유의한 차이를 확인할 수 있었다. 지연된 피로도 측정을 위해 실시한 오후 1시 피로도 평가에서는 안구 불편감[4]번 문항, 'ocular discomfort'가 야간 수면 중 약한 빛노출 이후 두 그룹 모두 유의하게 증가함을 확인하였고, 인지기능의 저하 [8]번 문항, 'cognitive decline'는 Group B에서 Group A에 비해 피로도 척도가 유의하게 증가하여 그룹 간 유의한 차이를 확인할 수 있었다.

Table 1. Results of a repeated measures ANOVA on fatigue scale (at AM 8) between nights and groups

Questionnaire : grade from 0 to 10	Nights	Group A (n = 8)		Group B (n = 12)		Source	F	p
		Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD			
(1) Overall fatigue	Night 1	1.15 ± 1.44	2.70 ± 1.72	Nights	19.56	< 0.001*		
	Night 2	1.48 ± 1.23	2.82 ± 1.77	Night*Group	0.11	0.749		
(2) Sore throat	Night 1	0.96 ± 1.58	0.62 ± 0.83	Nights	0.32	0.581		
	Night 2	0.79 ± 0.87	0.53 ± 0.98	Night*Group	0.04	0.844		
(3) Headache	Night 1	0.75 ± 1.04	0.25 ± 0.34	Nights	2.32	0.146		
	Night 2	1.10 ± 1.60	0.67 ± 1.02	Night*Group	0.02	0.896		
(4) Ocular discomfort	Night 1	1.15 ± 2.22	0.58 ± 0.86	Nights	0.87	0.364		
	Night 2	1.23 ± 1.07	1.12 ± 0.90	Night*Group	0.5	0.492		
(5) Abdominal discomfort	Night 1	1.08 ± 0.80	1.48 ± 2.08	Nights	3.21	0.09		
	Night 2	0.68 ± 0.42	0.43 ± 0.69	Night*Group	0.64	0.436		
(6) Psychological distress	Night 1	0.26 ± 0.26	0.15 ± 0.22	Nights	2.16	0.159		
	Night 2	0.34 ± 0.43	0.26 ± 0.26	Night*Group	0.07	0.792		
(7) Muscular discomfort	Night 1	0.90 ± 1.49	0.46 ± 0.78	Nights	0.15	0.703		
	Night 2	0.34 ± 0.43	1.23 ± 1.83	Night*Group	6.37	0.021*		
(8) Cognitive decline	Night 1	0.40 ± 0.33	0.34 ± 0.41	Nights	1.29	0.272		
	Night 2	0.34 ± 0.43	0.85 ± 0.97	Night*Group	2.11	0.164		
(9) Neurologic symptom	Night 1	0.26 ± 0.26	0.22 ± 0.25	Nights	4.56	0.047		
	Night 2	0.66 ± 0.80	0.48 ± 0.66	Night*Group	0.18	0.674		
(10) Joint pain	Night 1	0.53 ± 0.59	0.47 ± 0.72	Nights	0.001	0.974		
	Night 2	0.38 ± 0.52	0.63 ± 1.20	Night*Group	1.5	0.238		

* : p-value < 0.05 by repeated measures ANOVA. Group A : 5 lux light, Group B : 10 lux light

고찰

수면의 부족과 수면 질의 저하는 인지기능을 비롯해 각성(vigilance), 운동 조절능력, 기분 등에도 부정적인 영향을 끼치게 된다(Philibert 2005). 따라서 양질의 수면과 생체리듬의 유지는 인간에게 필수적이며 수면의 질적 저하와 생체리듬의 변동은 사람에게 치명적인 영향을 미칠 수 있다. Cajochen 등은 사람에서 단파장의 야간누출광에 대해 멜라토닌 분비, 각성도, 체온 조절 및 심박수 등이 매우 예민한 반응을 보인다는 것을 확인하였으며(Cajochen 등 2005), 특히 청색 야간누출광은 사람에서 시간유전자 PER2의 발현을 활성화시킨다는 것을 보고하였다(Cajochen 등 2006). 야간누출광은 일주기리듬 동기화를 방해함으로써 일주기리듬에 부정적인 영향을 미치며 내적 과정(internal processes)의 조절 기능 저하, 행동과 외부 환경의 불일치, 수면과 기분에서의 부정적인 영향을 일으키게 된다(Zeitzer 등 2000 ; Gooley 등 2010).

야간 수면 중 약한 빛 노출은 수면에 부정적인 영향을 미쳐 이로 인해 피로도를 심화시킬 것이라고 가정할 수 있다. 본 연구는 수면 중 빛 노출 여부 및 빛 노출 정도(빛의 세기)에 따라 피로도에 어떤 영향을 미치는가에 대해 확인하기 위해 실행된 실험 연구이다. 그 결과로서 오전 피로도의

경우 10개 문항 중 1)번 문항('overall fatigue')에서 약한 빛 노출에 따른 차이가, 7)번 문항('muscular discomfort')에서 그룹 간, 즉 빛의 세기에 따른, 차이가 유의하게 확인되었다. 오후 피로도에서는 4)번 문항('ocular discomfort')에서 약한 빛 노출에 따른 차이를, 8)번 문항('cognitive decline')에서 그룹 간 차이를 확인할 수 있었다. 오전 피로도 측정 후 낮 시간 활동 후 지연된 피로도 영향이 어느 정도로 나타나는지 확인하기 위해 오후 피로도 역시 측정을 하였다. 그러나 수면과 약한 빛 노출로 인한 수면의 질 저하가 피로도에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 기상 후 컨디션이 더 중요하며, 오후에는 연구 과정이 진행됨에 따라 이로 인한 피로가 누적될 수 있어 수면의 직접적인 영향을 평가하기에는 무리가 있으며, 따라서 오전 8시 피로도 측정 결과에 의미를 더 두어야 할 것으로 생각된다.

오전 피로도 측정에서 1)번 문항('overall fatigue')의 경우 Group A, B 모두에서 척도가 유의하게 증가하였다. 이러한 피로도 척도는 자가보고 형식의 주관적 결과이지만 약한 빛 노출 이후 피로도에 미치는 부정적인 영향을 확인할 수 있었다. 이는 이전에 같은 연구 대상자를 통해 시행된 연구에서 빛이 수면의 질을 떨어뜨린다는 연구 결과와 일맥상통하는 결과라 할 수 있다(Cho 등 2016). 수면은 신체적 정신적 회복이 중요한 역할이기 때문에, 기상 후 주관적으로

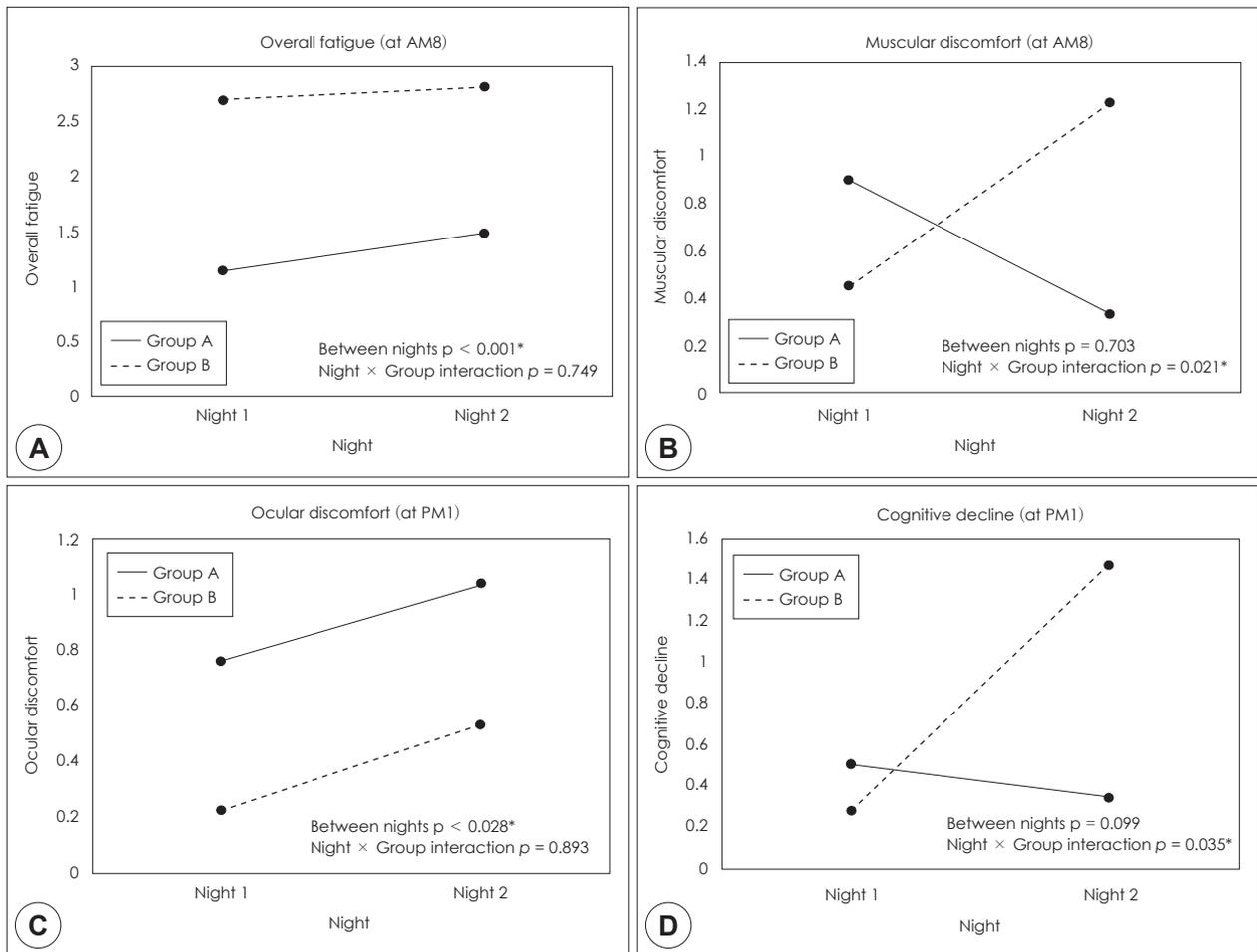


Figure 2. Comparison of fatigue scale between Night 1 and Night 2. The significant findings (Overall fatigue, Muscular discomfort, Ocular discomfort, Cognitive decline) among the results of repeated measures ANOVA on fatigue scale between nights and groups. Group A : 5 lux, Group B : 10 lux. * : $p < 0.05$.

느끼는 피로도는 수면과 직접적인 연관이 있음을 추정할 수 있다. 따라서, 야간 수면 중 약한 빛 노출로 인한 수면의 질 저하가 기상 후 전반적인 피로도를 유의하게 증가시켰음을 생각할 수 있다.

오후 피로도 측정에서는 Group A, B 모두에서 4)번 문항(ocular discomfort)이 약한 빛 노출에 따른 유의한 증가를 관찰할 수 있었다. 안구 피로도는 Night 1에서 Group A와 B 사이의 유의한 차이가 있었으나, 두 그룹 모두 시간에 따라 피로도가 유의하게 증가하는 양상을 보이고 시간-그룹 교호 작용은 유의한 차이가 없기 때문에 Night 1에서의 그룹간 차이가 결과 해석에 영향을 주지 않는다고 볼 수 있다. 안구 피로도는 야간 수면 시 약한 인공 빛 노출로 인한 수면의 질 저하 뿐만 아니라 빛 자체가 수면 중 눈꺼풀을 투과하여 안구에 직접적인 영향을 줄 수 있음을 고려할 수 있겠다. 눈꺼풀을 투과한 빛은 멜라토닌을 억제하며 약광 멜라토닌 분비시작점(dim light melatonin onset, DLMO)의 위상 이동을 일으킨다는 연구 결과 역시 이를 뒷받침한다(Figueiro

과 Rea 2012). 그러나 오후 피로도 측정에서는 낮 동안의 활동이 누적되어 안구 피로도에 영향을 미칠 수 있어 해석에 주의를 요한다. 앞에서 언급했듯이, 기상 직후 측정된 오전 피로도는 야간 수면 중 약한 빛노출의 직접적인 영향을 평가하기 위함이었고, 오후 피로도 측정은 지연된 피로도를 평가하기 위함이었다. 또한, 오후 피로도 측정은 기상 후 시간이 지나면서 자연스럽게 축적될 수 밖에 없는 피로도를 얼마나 느끼는지에 대한 누적된 피로도를 측정하는 것으로도 생각할 수 있다. 따라서, 야간 수면 중 약한 빛노출의 지연된 또는 누적된 피로도에 미치는 영향으로서, 5 lux와 10 lux 두 그룹에서 안구 피로도의 유의한 증가와 10 lux 그룹에서 유의하게 증가하는 인지기능 저하를 확인할 수 있었다.

이전에 같은 연구 표본을 대상으로 한 연구에서도 5 lux와 10 lux의 그룹에 따른 차이는 확인되지 않았으며(Cho 등 2016) 본 연구에서도 그룹 간 차이는 확인되지 않았다. 오전 피로도 측정에서의 7번 항목과 오후 피로도 측정의 8번 항목이 결과상으로는 시간-그룹 교호 작용이 있는 것으로 나

Table 2. Results of a repeated measures ANOVA on fatigue scale (at PM 1) between nights and groups

Questionnaire : grade from 0 to 10	Nights	Group A (n = 8)	Group B (n = 12)	Source	F	p
		Mean ± SD	Mean ± SD			
(1) Overall fatigue	Night 1	2.23 ± 2.39	2.23 ± 1.32	Nights	0.68	0.421
	Night 2	2.25 ± 2.31	2.75 ± 1.71	Night*Group	0.56	0.464
(2) Sore throat	Night 1	0.64 ± 0.54	0.20 ± 0.23	Nights	1.42	0.249
	Night 2	0.89 ± 1.53	0.41 ± 0.70	Night*Group	0.01	0.915
(3) Headache	Night 1	0.98 ± 1.00	0.53 ± 0.72	Nights	1.46	0.243
	Night 2	1.09 ± 1.36	1.16 ± 1.68	Night*Group	0.7	0.413
(4) Ocular discomfort	Night 1	0.76 ± 0.79	0.23 ± 0.25	Nights	5.67	0.028*
	Night 2	1.04 ± 0.98	0.53 ± 0.64	Night*Group	0.02	0.893
(5) Abdominal discomfort	Night 1	0.51 ± 0.52	0.67 ± 0.95	Nights	0.10	0.754
	Night 2	0.56 ± 0.62	0.54 ± 0.75	Night*Group	0.55	0.467
(6) Psychological distress	Night 1	0.39 ± 0.51	0.38 ± 0.56	Nights	0.57	0.459
	Night 2	0.35 ± 0.52	0.26 ± 0.23	Night*Group	0.17	0.688
(7) Muscular discomfort	Night 1	0.84 ± 1.78	0.38 ± 0.70	Nights	1.14	0.3
	Night 2	0.75 ± 1.10	1.06 ± 1.62	Night*Group	1.92	0.183
(8) Cognitive decline	Night 1	0.50 ± 0.85	0.28 ± 0.25	Nights	3.03	0.099
	Night 2	0.34 ± 0.52	1.48 ± 1.76	Night*Group	5.23	0.035*
(9) Neurologic symptom	Night 1	0.38 ± 0.52	0.57 ± 0.98	Nights	0.1	0.76
	Night 2	0.49 ± 0.54	0.34 ± 0.41	Night*Group	0.86	0.365
(10) Joint pain	Night 1	0.38 ± 0.52	0.32 ± 0.44	Nights	1.69	0.21
	Night 2	0.40 ± 0.61	0.66 ± 1.13	Night*Group	1.26	0.276

* : p-value < 0.05 by repeated measures ANOVA. Group A : 5 lux light, Group B : 10 lux light

타났으나 두 그룹에서 동일하게 피로도 척도가 증가하지는 않았다. 따라서 이러한 결과에 의미를 부여하기는 조심스러우며, 빛의 세기에 따른 차이를 확인하기 위한 추가적인 연구가 필요할 것이다. 즉, 본 연구에서는 빛 노출 자체가 피로도에 부정적인 영향을 주는 것만을 확인하였다. 10 lux의 빛뿐 아니라 5 lux의 빛 노출에서도 피로도에 영향이 있으며 그룹 간 차이는 없다는 점에서 약한 빛 노출 자체가 피로도에 영향을 주는 것으로 생각할 수 있을 것이다.

이 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 이 연구는 대상 표본 수가 적다는 점이다. 그러나 이 연구는 연구 디자인을 통해 가설을 증명한 실험 연구로서 동질성을 유지하기 위해 연구대상의 연령대, 성별 등을 선별하였으며, 연구 시작 1주일 전부터 생활 리듬, 빛 노출 등을 통제하였으므로 의미가 있다. 동일한 연구 대상 내에서 시간에 따른 반복 측정을 통해 빛 노출의 효과를 보고자 하였다는 점에서 적은 표본 수에도 불구하고 의미가 있다. 둘째, 이 연구에서 분석 대상이 된 피로도 척도가 주관적인 척도로서 신빙성이 있는가에 대한 점과 척도에 대한 표준화 작업을 거치지 않았다는 점이다. 수면과 피로의 연관성에 대한 한 연구에서는 밤 수면의 정량적인 지표보다 수면의 질에 대한 자기 인식이 피로도의 정도를 보다 잘 설명할 수 있을 것이라는 결과를 보고하기도 하였다(Lavidor 등 2003). 또한 이러한 방식

으로 수면 직후의 주관적 느낌을 바로 측정함으로써 수면에 미치는 영향을 평가하는 방법이 현재로서는 최선의 접근이라 생각된다. 피로도 척도는 자가보고 척도로서 해석에 유의를 요하지만 오전 8시에 측정한 결과는 이전 수면다원 검사를 통해 수면의 질에 미치는 영향을 확인한 연구 결과와 맥을 같이 하고 있다. 본 연구 결과는 이전에 시행된 연구 결과와 함께 해석함으로써 그 의미를 고려해볼 수 있다. 즉 수면의 질이 저하될 경우 기상 후 피로도에 분명한 영향을 미친다는 것으로 생각할 수 있다.

수면 중 약한 빛 노출이 인간의 수면에 미치는 영향에 대한 기존의 연구와 더불어 본 연구에서는 피로도에 영향을 미친다는 것을 실험 연구를 통해 확인하였다. 수면 중 약한 빛에 노출되었을 때 주관적인 피로도에 부분적으로 영향을 준다는 사실을 확인할 수 있었다. 앞서 언급된 제한점을 보완하기 위해서는 보다 많은 표본 수와 다양한 연령, 성별의 대상으로 객관적인 지표를 이용한 연구를 시행해봐야 할 것이다. 추후 야간 수면 중 약한 빛 노출이 인체에 미치는 영향에 대한 추가 연구를 통해, 그 영향을 보다 정확하고 폭넓게 이해할 수 있을 것이다.

요 약

목 적 : 야간 빛 노출은 현대 사회에서 만연해 있으나 야간 수면 중 약한 빛 노출(dim artificial light at night, dA-LAN)이 피로도에 미치는 영향은 잘 인지되고 있지 않다. 본 연구에서는 수면 중 약한 빛 노출이 인간의 피로도에 어떠한 영향을 주는가를 살펴보고자 하였다.

방 법 : 21세에서 29세까지의 건강한 남성 지원자 총 30명을 연구에 모집하였다. 그들은 빛 강도에 따라 두 그룹(Group A : 5 lux와 Group B : 10 lux)으로 무작위 배정되었다. 연구 결과 자료는 빛 노출이 없는 밤(Night 1)과 두 가지 다른 약한 빛(5 혹은 10 lux)에 노출된 밤(Night 2) 다음 날 자가 보고된 피로도 척도를 통해 수집하였다.

결 과 : 야간 수면 중 약한 빛 노출은 전반적인 피로도($F = 19.556, p < 0.001$)와 안구 불편감($F = 5.671, p = 0.028$)의 증가와 유의하게 연관성이 있었다.

결 론 : 본 연구팀에서는 야간 수면 중 약한 빛 노출이 인간의 피로도에 일부 측면에서 영향을 준다는 것을 확인하였다. 이러한 결과들은 야간 수면 중 약한 빛 노출이 인간의 피로도에 부정적인 영향을 준다는 것을 의미한다.

중심 단어 : 야간의 약한 인공 빛 · 피로 · 수면 · 빛.

REFERENCES

Adam K. Sleep as a restorative process and a theory to explain why. *Progress in brain research* 1980;53:289-305.

Boivin DB. Influence of sleep-wake and circadian rhythm disturbances in psychiatric disorders. *Journal of Psychiatry and Neuroscience* 2000;25:446.

Borniger JC, Weil ZM, Zhang N, Nelson RJ. Dim light at night does not disrupt timing or quality of sleep in mice. *Chronobiology international* 2013;30:1016-1023.

Cajochen C, Jud C, Münch M, Kobiacka S, Wirz-Justice A, Albrecht U. Evening exposure to blue light stimulates the expression of the clock gene PER2 in humans. *European Journal of Neuroscience* 2006;23:1082-1086.

Cajochen C, Munch M, Kobiacka S, Kräuchi K, Steiner R, Oelhafen P, et al. High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 2005;90:1311-1316.

Cho C-H, Lee H-J, Yoon H-K, Kang S-G, Bok K-N, Jung K-Y, et al. Exposure to dim artificial light at night increases REM sleep and awakenings in humans. *Chronobiology International* 2016; 33:117-123.

Cirelli C, Tononi G. Is sleep essential? *PLoS Biol* 2008;6:e216.

Crisp A. Sleep, activity, nutrition and mood. *The British Journal of Psychiatry* 1980;137:1-7.

Curcio G, Ferrara M, De Gennaro L. Sleep loss, learning capacity and academic performance. *Sleep Medicine Reviews* 2006;10: 323-337.

Dominoni D, Quetting M, Partecke J. Artificial light at night ad-

vances avian reproductive physiology. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 2013;280:20123017.

Figueiro MG, Rea MS. Preliminary evidence that light through the eyelids can suppress melatonin and phase shift dim light melatonin onset. *BMC Research Notes* 2012;5:1.

Fonken LK, Aubrecht TG, Meléndez-Fernández OH, Weil ZM, Nelson RJ. Dim light at night disrupts molecular circadian rhythms and increases body weight. *Journal of Biological Rhythms* 2013; 28:262-271.

Fonken LK, Kitsmiller E, Smale L, Nelson RJ. Dim nighttime light impairs cognition and provokes depressive-like responses in a diurnal rodent. *Journal of Biological Rhythms* 2012;27:319-327.

Gooley JJ, Chamberlain K, Smith KA, Khalsa SBS, Rajaratnam SM, Van Reen E, et al. Exposure to room light before bedtime suppresses melatonin onset and shortens melatonin duration in humans. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 2010;96:E463-E472.

Grandner MA, Jackson NJ, Pak VM, Gehrman PR. Sleep disturbance is associated with cardiovascular and metabolic disorders. *Journal of sleep research* 2012;21:427-433.

Knutson KL, Spiegel K, Penev P, Van Cauter E. The metabolic consequences of sleep deprivation. *Sleep Medicine Reviews* 2007; 11:163-178.

Krystal AD, Thakur M, Roth T. Sleep disturbance in psychiatric disorders: effects on function and quality of life in mood disorders, alcoholism, and schizophrenia. *Annals of Clinical Psychiatry* 2008;20:39-46.

Kuppermann M, Lubeck DP, Mazonson PD, Patrick DL, Stewart AL, Buesching DP, et al. Sleep problems and their correlates in a working population. *Journal of General Internal Medicine* 1995;10:25-32.

Lavidor M, Weller A, Babkoff H. How sleep is related to fatigue. *British Journal of Health Psychology* 2003;8:95-105.

Lichstein KL, Means MK, Noe SL, Aguillard R. Fatigue and sleep disorders. *Behaviour Research and Therapy* 1997;35:733-740.

Narisada K, Schreuder D. *Light pollution handbook*, Springer Science & Business Media;2013.

Navara KJ, Nelson RJ. The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research* 2007;43:215-224.

Oswald I. Sleep as a restorative process: human clues. *Progress in Brain Research* 1980;53:279-288.

Philibert I. Sleep loss and performance in residents and nonphysicians: a meta-analytic examination. *SLEEP-NEW YORK THEN WESTCHESTER-* 2005;28:1392.

Stevens RG. Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. *International Journal of Epidemiology* 2009;38:963-970.

Szuba MP, Baxter LR, Fairbanks LA, Guze BH, Schwartz JM. Effects of partial sleep deprivation on the diurnal variation of mood and motor activity in major depression. *Biological Psychiatry* 1991;30:817-829.

Wulff K, Gatti S, Wettstein JG, Foster RG. Sleep and circadian rhythm disruption in psychiatric and neurodegenerative disease. *Nature Reviews Neuroscience* 2010;11:589-599.

Yoo S-S, Hu PT, Gujar N, Jolesz FA, Walker MP. A deficit in the ability to form new human memories without sleep. *Nature Neuroscience* 2007;10:385-392.

Zeitler JM, Dijk DJ, Kronauer RE, Brown EN, Czeisler CA. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *The Journal of Physiology* 2000;526:695-702.