

전수면박탈이 시각변별력에 미치는 영향

Effects of Total Sleep Deprivation on Visual Discrimination

이헌정¹ · 양재원¹ · 이분희¹ · 함병주¹ · 서광윤¹ · 김 린¹Heon-Jeong Lee,¹ Jae-Won Yang,¹ Bun-Hee Lee,¹
Byung-Joo Ham,¹ Kwang-Yoon Suh,¹ Leen Kim¹

■ ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study is to investigate the effects of the 37-hour sleep deprivation on visual discrimination using the Cybernetic Flicker Fusion Analyzer (FLIMK) and to see the correlation between this finding and various subjective scale scores.

Methods: Twenty six subjects (20 men 6 women, 24.50±1.45 years of age) participated in this study. Subjects remained awake for 37 hours under continuous surveillance. In the morning and evening of two study days, the FLIMK and the self-reporting scale of sleepiness, fatigue, anxiety and mood states were instituted.

Results: In FLIMK, the flicker fusion threshold was significantly decreased after sleep deprivation ($F=7.66, p=0.01$). The number of trials (responses) before reaching fusion frequency threshold was significantly increased after sleep deprivation ($F=13.16, p=0.001$). The reduction of fusion frequency was correlated with the increase of sleepiness and fatigue ($p<0.05$), and the number of the trials was correlated with the scores of negative mood, anxiety, and fatigue ($p<0.05$).

Conclusions: These results suggest that 37 hour total sleep deprivation cause the decrement in visual discrimination. The decrease of the fusion frequency after sleep deprivation was correlated with sleepiness and fatigue. Further study is needed to enlighten the biological mechanism of the decrement in visual function after sleep deprivation. *Sleep Medicine and Psychophysiology* 2002 ; 9(2) : 122-126

Key words: Sleep deprivation · Visual discrimination · Cybernetic flicker fusion analyzer (FLIMK).

서 론

일상생활에서 수면의 부족은 많은 현대인들이 겪고 있는 피할 수 없는 현실이다. 특히 교대 근무자(shift worker), 야간 민원 봉사자, 의료인 등의 직업에서 수면제한이나 불규칙한 수면을 겪는 것은 흔하며, 이들은 수면 부족으로 인한 여러 가지 정신적, 신체적 어려움을 겪게 된다. 때로는 이러한 정신적, 신체적 어려움은 이들의 직업적 기능에 영향을 미치게 되고, 더 나아가 작업상의 실수를 유발하게 하기도 하며,

때로 커다란 사고로 이어지기도 한다. 이러한 이유로 수면박탈이 인간의 정신적, 신체적 기능에 미치는 영향에 관한 연구는 매우 의미가 있으며, 실제로 많은 연구들이 시행되어왔다. 실제 인간을 대상으로 한 수면박탈의 영향에 관한 연구는 100년 이상의 역사를 가진다.

지금까지 수행된 수면박탈 연구들은 수면박탈이 정신생리적인 변화(psychophysiological changes) (1-3), 인지기능의 저하(4,5), 운동능력의 저하(6,7), 면역기능의 저하(8,9) 등을 가져온다고 보고하였으며, 이러한 사실은 많은 국내외의 연구들을 통하여 비교적 잘 밝혀져 있다.

수면부족이 가져오는 신체적 변화 중 시각기능의 저하도 흔히 경험되는 현상이다. 실제로 미세한 기계를 조정하는 작업의 경우, 시각 변별력의 저하는 자칫 사고로 이어질 위험성을 내포하게 된다. 그러나 일상적인 수면박탈 상황에서 흔히 시각기능의 저하를 겪게 됨에도 불구하고, 수면의 부족이 시각기능에 미치는 영향에 대하여 객관적으로 평가하고자 한

¹고려대학교 의과대학 신경정신과학교실
Department of Psychiatry, Korea University College of Medicine,
Seoul, Korea

Corresponding author: Leen Kim, Department of Psychiatry, Korea University Anam Hospital, Anam-Dong, Sungbuk-Gu, Seoul 136-705, Korea

Tel: 02) 920-5815, 5355, Fax: 02) 927-2836

E-mail: Leen54@chollian.net

연구는 아직 많지 않다. 기존에 시행된 수면박탈의 시각기능에 미치는 영향에 관한 연구로는 수면박탈이 안구망막전도(electroretinogram)에 미치는 영향(10), 시각사건관련전위에 미치는 영향(11)과 안구운동기능에 미치는 영향에 관한 연구(12) 등이 있다. 그러나 이 연구들은 수면박탈이 시각변별능력 자체에 미치는 영향 정도를 정량적으로 보여주지는 못하였다.

본 연구의 목적은 37시간의 수면박탈 하에서 졸음, 피로, 불안, 기분상태에 관한 설문지와 함께 Cybernetic Flicker Fusion Analyzer (FLIMK) 검사를 반복 시행함을 통하여 37시간의 전수면박탈이 인간에서 졸음, 피로도, 불안과 기분상태에 미치는 영향과 함께, 시각 변별력에 어떠한 영향을 주는가를 평가하고자 하였다. 또한 수면박탈 하에서 시각변별력의 저하가 나타난다고 한다면, 이러한 시각기능의 저하가 졸음, 피로도, 불안, 기분 상태 등과 어떠한 상관관계를 가지는지에 대하여도 살펴보고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

실험군은 고려대학교에 재학중인 26명의 대학생(남자 20명, 여자 6명, 나이 24.50 ± 1.45 세)이었다. 이들은 모두 자원자들이었으며, 실험참여에 대한 동의를 받은 후에 실험에 참여하였다. 모든 대상은 정신과 의사의 면담을 통하여 정신질환 및 신체적 질환에 대한 과거력 및 현재 상태의 평가를 평가하였으며, 2주간의 수면기록지(sleep log)를 기록하게 하여 만성적인 수면 부족을 겪지 않으며, 수면각성 주기의 교란이 없는 이들만을 연구에 포함시켰다. 실험시작 1주 전의 기간 동안 수면에 영향을 줄 수 있는 카페인을 포함한 음료나 약물의 복용을 금지시켰다. 또한 모든 실험 참여자에서 참가에 대한 동의서와 일정한 사례금이 지급되었다.

2. 실험방법

모든 피험자에서 실험 하루 전 날, Cybernetic Flicker Fusion Analyzer (FLIMK) 검사를 두차례 시행하여, 검사에 익숙해지도록 하였다. 피험자들은 전날 평소의 수면주기대로 충분히 수면을 취하게 한 후, 실험당일 오전 6시에서 6시 30분 사이에 기상하도록 하였다. 기상 후 07시에 스탠포드 졸음 척도(Stanford Sleepiness Scale ; SSS), 피로도 설문, 상태불안척도, 일반기분척도 등의 4가지 설문지를 시행한 후, FLIMK를 시행하였으며(predeprivation day (PRE-D)1) 그리고 19시에 다시 설문지와 FLIMK 검사를 시행하였다(PRE-D2). 그리고 꼬박 밤을 새우게 하여 잠을 안 재운 상

태에서 다음날 07시(post-deprivation day (POST-D)1)와 19시(POST-D2)에 다시 같은 4가지 설문지와 FLIMK 검사를 시행하여 총 네 차례 검사를 시행하였다. 실험기간 중에 모든 실험대상에게 수면에 영향을 줄 수 있는 약물, 커피, 홍차 등의 카페인이 함유된 음료, 술을 복용하는 것은 금지되었으며, 낮잠, 과도한 운동 등도 금지되었으나, 수면을 취할 위험이 배제된다면, 일상적인 활동을 제한하진 않았다.

3. 실험도구

1) Cybernetic Flicker Fusion Analyzer(FLIMK)

FLIMK은 빠른 속도로 깜박거리는 시각적 자극을 구별할 수 있는 최대의 주파수, 즉 융합주파수(flicker fusion frequency)를 측정하는 검사법이다. 이 검사를 통하여 피험자의 시각 집중력과 시각변별력을 측정할 수 있다. 피험자는 망원경처럼 생긴 검사기에 눈을 대고, 검사를 하게 된다. 시작 단추를 누르면 깜박거리는 속도가 변화하는 빨간색의 불빛이 피험자에 눈에 주어지며, 피험자는 깜박이던 불빛이 하나로 멈추어 보이거나, 멈춰있는 것으로 보이던 불빛이 깜박이는 것으로 인지되는 순간, 단추를 누르도록 지시된다. 검사 시작 후 불빛이 깜박이는 것으로 인지되는 상태에서는 깜박이는 회수(주파수)가 증가하게 된다. 피험자가 이를 멈추어선 것으로 인지하여 단추를 누를 때, 주파수는 다시 느려지게 된다. 이러한 과정의 반복을 통하여 피험자가 멈추어진 것으로 인지하는 최소의 깜박이는 주파수(또는 깜박이는 것으로 인지할 수 있는 최대의 주파수), 즉 융합주파수에 수렴되게 된다. 자극이 제시된 횟수(반응회수)가 최소 10회 이상이며, 최근 4회의 반응의 표준편차가 0.1 Hz 이하가 되면, 검사는 자동으로 끝나게 된다. 융합주파수(Hz)와 융합주파수에 이를 때까지 걸린 반응회수가 자동으로 기록 된다(13).

2) 스탠포드 졸음 척도(Stanford sleepiness scale)

Hoddes 등(14)이 개발한 졸음 정도를 평가하는 자가보고형 척도이다. 졸음 정도가 심해짐에 따라 1점에서 7점까지 7단계로 피검자 스스로 평가하도록 되어있다.

3) 상태불안척도(State anxiety inventory)

Spielberger(15)에 의한 불안감에 대한 자기 기술적도로서 김정택(16)이 번안한 것을 사용하였다. 불안 정도에 따라서 최하 20점에서 최고 80점까지 평가된다.

4) 일반기분척도(Index of general affect)

Campbell 등(17)에 의해 개발된 Index of Well-Being의

일부분으로 자가보고형 척도이다. 재미있음-지루함, 즐거움-비참함, 가치감-무가치감, 다정함-외로움, 충만감-공허감, 희망-절망, 보상감-실망감, 최선을 다함-회피 등 총 8개의 항목으로 이루어져 있다. 각 항목당 기분, 정서 상태의 악화나 호전에 따라, 긍정적 정서에서 부정적 정서로 갈수록 1점에서 7점까지의 7단계를 점수를 매기게 되어있으며, 이것으로 검사 당시의 기분상태를 평가하게 된다. 본 연구에서는 8개 문항의 평균으로 평가하였다.

5) 피로도 설문(Fatigue questionnaire)

Bell(18)의 Chronic Fatigue/Immune Dysfunction Syndrome Questionnaire를 변형하여서 만들었다. 현재 상태의 피로를 평가하는 10개의 문항으로 이루어져 있으며, 각 문항당 전혀 그렇지 않다 (0점)에서 아주 심하다 (10점)까지의 11단계를 나누어서 피검자가 스스로 평가하게 되어있다. 점수는 10개의 문항의 평균으로 평가하였다.

4. 통계 방법

자료는 SPSS for Window(Statistical Package for the Social Science for Window ver 10.0)를 이용하여 통계처리 하였다. 피검자당 4회 시행한 검사 결과를 가지고 반복측정 분산분석(repeated measures ANOVA)을 시행하였다. 반복측정분산분석에서 수면박탈여부(PRE-D and POST-D)와 일중시간(time-of-day)(morning and evening)을 개체내오인(within-subjects variables)으로 처리하여, 수면박탈 여부와 일중시간에 의한 각각의 효과를 측정하였으며, 동시에 둘의 상호작용(interaction)이 있는지 여부도 평가하였다. 또한 네 차례 걸쳐 검사한 졸음, 피로도, 불안, 기분상태

등의 변수와 FLIMK 결과간의 상관관계를 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)로 평가하였다. 대상군수가 26명이었지만, 4차례 반복측정에 의한 결과이므로, 상관관계에서 자유도(degrees of freedom)는 다음과 같이 계산하였다. $26(\text{피험자수}) \times 4(\text{검사회수}) - 26(\text{피험자수}) - 4(\text{검사회수}) + 1 = 75$. 모든 통계에서 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결 과

37시간의 수면박탈 하에서 시행한 FLIMK 검사 결과, 융합주파수는 수면박탈에 따라 유의하게 감소하였다($F=7.66, p=0.01$). 그러나 일중시간에 의한 변화는 유의하지 않았으며($F=0.13, p=0.72$), 수면박탈과 일중시간의 상호작용도 관찰되지 않았다($F=0.002, p=0.97$). 반응회수에 있어서도 수면박탈에 따라서 융합주파수에 도달하는 데 걸린 시간, 반응회수가 유의하게 증가되었다($F=13.16, p=0.001$). 그러나 일중시간에 따른 차이는 나타나지 않았으며($F=0.68, p=0.42$), 수면박탈여부와 일중시간의 상호작용도 나타나지 않았다($F=0.26, p=0.62$) (표 1).

졸음, 피로도, 불안, 일반기분척도 등의 결과에서도 수면박탈에 따라 유의하게 졸음을 느끼고($F=77.42, p < 0.001$), 피로도가 증가하고($F=58.10, p < 0.001$), 불안정도가 증대되며($F=41.71, p < 0.001$), 부정적인 정서가 증가($F=37.58, p < 0.001$)하는 것으로 나타났으나, 일중시간에 따른 차이는 유의하지 않았으며, 수면박탈 여부와 일중시간의 상호작용도 나타나지 않았다(표 1).

FLIMK 검사결과와 졸음, 피로도, 부정적 정서, 불안 점수와의 관계를 피어슨 상관분석으로 살펴본 결과, FLIMK 반응

Table 1. Results of FLIMK during sleep deprivation in each sessions

Variables	PRE-D1	PRE-D2	POST-D1	POST-D2	Two-way repeated ANOVA			
					df	F SD	F TD	F SD×TD
FLIMK								
Fusion frequency (Hz)	41.58 (4.46)	41.29 (6.30)	38.98 (4.68)	38.63 (8.44)	1,25	7.66 p=0.01*	0.13 p=0.72	0.002 p=0.97
Number of responses (N)	14.35 (2.72)	13.87 (2.34)	20.78 (11.37)	18.73 (9.50)	1,25	13.16 p=0.001**	0.68 p=0.42	0.26 p=0.62
Sleepiness	2.13 (1.22)	2.48 (0.90)	5.00 (1.57)	4.83 (1.90)	1,25	77.42 p<0.001**	0.11 p=0.75	1.41 p=0.25
Fatigue	0.93 (0.92)	1.12 (0.81)	3.47 (1.57)	3.63 (2.17)	1,25	58.10 p<0.001**	0.78 p=0.39	0.006 p=0.94
Affect	2.98 (1.08)	3.44 (0.91)	4.66 (0.91)	4.47 (1.51)	1,25	41.71 p<0.001**	0.60 p=0.45	2.22 p=0.15
State anxiety	36.50 (6.75)	36.59 (7.27)	47.68 (10.11)	48.64 (14.08)	1,25	37.58 p<0.001**	0.091 p=0.76	0.13 p=0.72

Results are reported as mean scores (standard deviation)

FLIMK : Cybernetic Flicker Fusion Analyzer, PRE-D1 : predeprivation day 1, PRE-D2 : predeprivation day 2, POST-D1 : post-deprivation day 1, POST-D2 : post-deprivation day 2, SD : sleep deprivation, TD : time of day

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

Table 2. Pearson's correlation coefficients between FLIMK and psychological variables

Variables	Sleepiness	Fatigue	Affect	State anxiety
FLIMK				
Fusion frequency (Hz)	-0.22*	-0.25*	-0.041	-0.19
Number of responses (N)	0.17	0.21*	0.25*	0.25*

FLIMK : Cybernetic Flicker Fusion Analyzer
df=75, * : p<.05

회수는 졸음과 유의한 연관이 없었으나($r=0.17$, $p=0.10$), 피로도($r=0.21$, $p=0.042$), 부정적 정서($r=0.25$, $p=0.017$), 불안($r=0.25$, $p=0.018$)과는 유의한 상관관계를 보였다. 이에 비하여 FLIMK 융합주파수는 졸음($r=-0.22$, $p=0.035$)과 피로도($r=-0.25$, $p=0.015$)의 증가에 따라 유의하게 감소하는 것으로 나타났으나, 부정적 정서나 불안과는 상관관계를 보이지 않았다(표 2).

고 찰

본 연구 결과에서 피험자들은 수면박탈 후 융합주파수가 유의하게 감소된 것으로 나타났으며, 또한 시각기능이 일정한 융합주파수를 인지하는 데까지 걸린 시간(반응회수)도 더 걸린 것으로 나타났다. 이는 수면박탈이 빠르게 깜박이는 불빛을 멈춘 것이 아니라 깜박이는 것으로 구별할 수 있는 시각변별력을 저하시키는 동시에, 깜박이는 시각 자극을 일정한 주파수에서 멈추어진 것으로 안정적으로 지각하는 데 있어서도 어려움을 유발하는 것으로 해석될 수 있다. 한편 이 같은 수면박탈에 의한 시각 변별력의 저하가 수면박탈이 안구의 기능의 저하를 유발하는 것인지, 이후의 시각 자극을 처리하고 해석하는 고위뇌기능상의 문제인지 여부에 대한 의문이 제기된다.

Tasker 등(10)은 수면박탈이 안구망막전도(electroretinogram)에 미치는 영향을 측정함으로써 수면박탈이 시각기능에 미치는 영향을 실험하였다. 이들은 실험을 통하여, 수면박탈이 안구망막전도에 유의한 변화를 유발시키지 않기 때문에, 수면박탈이 시각기능에 미치는 영향이 안구망막의 기능부전에 의한 것이 아니라, 망막 이후의 뇌에서의 정보처리 단계에서의 문제 때문에 발생한다고 하였다. Corsi-Cabrera 등(11)은 40시간의 수면박탈이 시각자극에 의한 시각사건 관련전위(visual event-related potentials)의 진폭(amplitude)의 감소를 가져온다고 보고하였다. 이러한 결과도 역시 수면박탈이 시각적 자극을 인식하고 해석하는 뇌의 신경생리적 과정이 수면박탈에 의하여 영향을 받는다는 사실을 보

여준 것이다.

최근에 Russo 등(12)은 7일간의 만성적인 부분수면박탈(partial sleep deprivation)시에 안구운동기능에 미치는 효과 즉, 수면박탈이 신속안운동속도(saccadic velocity), 초기 동공지름(initial pupil diameter), 동공 수축의 진폭과 잠복기에 미치는 효과를 검사하였으며, 또한 컴퓨터를 이용한 모의 운전을 통하여 운전기능에 미치는 영향을 평가하였다. 그 결과 수면박탈은 신속안운동 속도의 저하를 가져오며, 초기동공지름의 감소와 동공 수축의 잠복기가 증가되는 등의 소견을 보여 안구운동기능에 뚜렷한 저하를 보였으며, 모의운전 실험에서도 사고의 증가를 가져왔다. 연구자들은 이러한 결과 역시 수면박탈에 의한 뇌기능의 저하와 관련지어 설명하였다.

본 실험 결과를 설명하기 위해 이와 같은 기존의 연구 결과들을 고려해 보면, 본 연구 결과에서 나타난 수면박탈에 따른 시각변별력의 감소에 대한 설명도 역시, 수면부족에 의한 안구 자체의 기능 저하라기보다는 수면박탈에 의한 뇌기능의 저하에 의한 이차적인 안구기능 저하의 결과이며, 동시에 뇌에서의 시각자극을 처리하는 과정의 효율성이 저하된 것에 기인한 것으로 이해할 수 있을 것이다. 수면박탈에 의한 시각기능의 저하와 연관이 있을 것으로 추정되는 뇌 부위는 각성, 집중 및 고위인지과정을 매개하는 양측 전전두엽-후두정엽-시상 신경망(bilateral prefrontal-posterior parietal-thalamic network)으로 이 부위에서의 뇌활성의 저하가 시각기능의 저하를 유발하는 것으로 추정된다(19).

또한 본 연구 결과에서 수면박탈 후 FLIMK의 융합주파수의 감소가 졸음, 피로도와 유의한 음의 상관관계를 가지고 부정적 정서와 불안도와는 관련이 없으나, 반응회수에 있어서는 불안, 부정적 정서, 피로도와 유의한 양의 상관관계를 가진다는 사실은 흥미롭다. 이는 융합주파수의 저하는 졸음과 피로로 표현되는 양측 전전두엽-후두정엽-시상 신경망의 기능저하에 의하여 유발되는 것인 반면에, 안정적 시각 인식에 이르기까지 걸린 시간(반응회수)은 수면박탈에 의해 유발된 정서적 불안과 피로감, 우울과 짜증스러움과 같은 부정적 정서에 좀더 많은 영향을 받는 것으로 추정해 볼 수 있겠다.

이 같은 결과로 볼 때, 수면박탈은 졸음, 피로도, 불안 및 부정적 정서 등의 증가와 같은 주관적인 정신적 요소들에서의 변동과 함께, 시각변별력에서의 저하를 일으키게 되며, 이는 실제 산업현장이나 생활 중에 수면부족이 세밀한 시각적 기능을 요하는 작업에서의 수행력 저하를 유발할 수 있다고 하겠다. 그러므로 세밀한 시각기능을 요하는, 위험한 작업의 경우 안전한 작업수행을 위해서는 충분한 수면이 반드시 필요하다고 하겠다.

본 연구의 제한점은 첫째, 본 연구 결과가 수면박탈이 시

각기능에 미치는 영향의 기전에 대한 해명하지 못하였다는 점이다. 기존에 시행된 연구들에서 수면박탈에 의한 시각기능의 저하가 고위 뇌기능상의 문제라고 제시함에도, 실제로 많은 사람들이 수면박탈 상태에서 안구동통을 느끼는 경우가 많으며, 피로감의 주된 증상 중의 하나가 안구 증상이라는 점을 감안하면, 수면박탈에 의한 시각기능의 저하가 고위 뇌기능상의 문제에서 기인한 것만으로 해석할 수 있을지에 대한 의문이 있다. 둘째, 사용된 일반기분척도나 피로도 설문 등이 국내에서 신뢰도나 타당도가 연구되지 않았다는 점도 문제가 될 수 있으나, 같은 피검자를 대상으로 수면박탈을 진행하면서 상태를 평가한 연구의 특성상, 그 사용에 있어 무리가 없을 것으로 판단하였다. 향후 연구에서는 이러한 점을 고려하여, 좀더 객관적인 평가수단을 통하여 수면박탈에 의한 영향을 평가하고, 수면박탈에 의한 시각기능의 저하를 가져오는 생물학적 기전을 밝히는 연구들이 필요할 것으로 사료된다.

요 약

목 적 : 본 연구는 37시간의 수면박탈이 정상인의 시각변별력에 미치는 영향을 Cybernetic Flicker Fusion Analyzer(FLIMK)를 사용하여 평가를 하고자 하였으며, 이런 수면박탈의 시각변별력에의 영향이 졸음, 피로, 불안 및 기분상태와 어떤 연관성이 있는지를 조사하였다.

방 법 : 26명의 대상(남 : 여=20 : 6, 24.50±1.45세)이 연구에 참여하였으며, 37시간 동안 감시하에서 수면박탈이 시행되었다. 이틀간의 실험기간 동안 아침, 저녁에 한 차례씩 총 4회에 걸쳐 FLIMK와 졸음, 피로, 불안, 기분상태에 대한 자가보고 척도를 시행하였다.

결 과 : FLIMK 검사결과, 융합주파수는 37시간의 수면박탈에 의하여 유의하게 감소하였다($p<0.05$). 융합주파수에 이르는 검사회수(반응회수)도 수면박탈 후에 유의하게 증가하였다($p<0.05$). 융합주파수의 감소는 졸음과 피로도의 증가와 상관관계를 보였으며($p<0.05$), 반응회수는 불안, 피로 및 부정적 정서와 상관관계를 보였다($p<0.05$).

결 론 : 본 연구는 37시간의 수면박탈이 시각변별력의 저하를 가져오는 것을 보여주었다. 향후 수면박탈이 시각변별력에 영향을 미치는 기전에 관한 연구가 필요하다고 하겠다.

중심 단어 : 수면박탈 · 시각변별력 · Cybernetic Flicker Fusion Analyzer(FLIMK).

REFERENCES

1. Morris AM, So Y, Lee KA, Lash AA, Becker CE. The P300 event-related potential. The effects of sleep deprivation. *J Occup Med* 1992;34:1143-1152
2. Hoffmann RF, Bonato RA, Armitage R, Wimmer FL. Changes in direct current potentials during sleep deprivation. *J Sleep Res* 1996; 5:143-149
3. Kingshott RN, Cosway RJ, Deary IJ, Douglas NJ. The effect of sleep fragmentation on cognitive processing using computerized topographic brain mapping. *J Sleep Res* 2000;9:353-357
4. Smith ME, McEvoy LK, Gevins A. The impact of moderate sleep loss on neurophysiologic signals during working-memory task performance. *Sleep* 2002;25:784-794
5. 이현정, 김 린, 서광윤. 전수면박탈이 정상인의 신경인지기능에 미치는 영향. *신경정신의학* 1999;38:480-490
6. 이현정, 송형석, 함병주, 서광윤, 김 린. Effects of total sleep deprivation on fine motor performance. *수면-정신생리* 2002;8: 129-137
7. Martin BJ. Effect of sleep deprivation on tolerance of prolonged exercise. *Eur J Appl Physiol* 1981;47:345-354
8. Ozturk L, Pelin Z, Karadeniz D, Kaynak H, Cakar L, Gozukirmizi E. Effects of 48 hours sleep deprivation on human immune profile. *Sleep Res Online* 1999;2:107-111
9. Irwin M, McClintick J, Costlow C, Fortner M, White J, Gillin JC. Partial night sleep deprivation reduces natural killer and cellular immune responses in humans. *FASEB J* 1996;10:643-653
10. Tasker DI, Kinel SG, Tredici TJ. Use of the ERG and EOG in evaluating the effect of sleep deprivation on visual function in flying personnel. *Aviat Space Environ Med* 1975;46:943-945
11. Corsi-Cabrera M, Arce C, Del Rio-Portilla IY, Perez-Garci E, Guevara MA. Amplitude reduction in visual event-related potentials as a function of sleep deprivation. *Sleep* 1999;22:181-189
12. Russo M, Thomas M, Thorne D, Sing H, Redmond D, Rowland L, Johnson D, Hall S, Krichmar J, Balkin T. Oculomotor impairment during chronic partial sleep deprivation. *Clin Neurophysiol* 2003; 114:723-736
13. Schuhfried G. Vienna Test System Manual. Austria, Moedling; 1994.
14. Hoddes E, Zarcone V, Smythe H, Phillips R, Dement WC. Quantification of sleepiness: a new approach. *Psychophysiology* 1973; 10:431-436
15. Spielberger CD, Gorsuch RL, Lushene RE. Manual for State-Trait Anxiety Inventory (self evaluation questionnaire). Palo Alto CA, Consulting Psychologists Press; 1970
16. 김정택. 특성-불안과 사회성과의 관계. Spielberger의 STAI를 중심으로 (석사학위). 고려대학교 대학원; 1978
17. Campbell A, Converse PE, Rodgers WL. The quality of American life: Perceptions, evaluation and satisfaction. New York, Rusell Sage; 1976
18. Bell DS. The Doctor's Guide to Chronic Fatigue Syndrome: Understanding, Treating, and Living with CFIDS. Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company; 1993
19. Thomas M, Sing H, Belenky G, Holcomb H, Mayberg H, Dannals R, Wagner H, Thorne D, Popp K, Rowland L, Welsh A, Balwinski S, Redmond D. Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness. I. Effects of 24 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity. *J Sleep Res* 2000;9:335-352