

전수면박탈이 정상인의 청각 사건관련전위에 미치는 영향

Effects of Total Sleep Deprivation on Auditory Event-Related Potentials

이헌정 · 전호석 · 김 린 · 서광윤

Heon-Jeong Lee, Ho-Seok Chun, Leen Kim, Kwang-Yoon Suh

■ ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study is to investigate the psychophysiological effects of total sleep deprivation by using auditory event-related potentials.

Methods: Twenty four healthy college students (18 men, 6 women) participated in this study. The subjects remained awake for 37 hours under continuous surveillance. In the morning and the evening of two consecutive study days, auditory event-related potentials were checked.

Results: The latencies of P300 and N200 were significantly prolonged ($p < 0.001$) and their amplitudes decreased ($p < 0.05$) as a consequence of sleep deprivation. The amplitude of P200 was significantly increased during sleep deprivation ($p < 0.05$). However, there was no significant change in the latency and amplitude of N100.

Conclusion: Among the components of auditory event-related potentials, P300 and N200 are good indicators of sleep-deprived status. Further investigation is necessary to elucidate the neurophysiological mechanisms of these findings. *Sleep Medicine and Psychophysiology* 2003 ; 10(2) : 108-112

Key words: Sleep deprivation · Auditory event-related potential.

서 론

1896년 Patrick과 Gilbert(1)가 인간을 대상으로 수면 박탈 실험을 시행한 이후, 많은 수면박탈 연구들이 인간에서 수면의 기능을 해명하고자 시도하여왔다. 인간에서 수면의 제한이나 수면주기의 교란은 여러 가지 신경정신 생리학적 변화와 인지적 기능의 저하를 가져오며, 수행 기능상의 실수를 유발하는 것으로 알려져 있다(2). 수면박탈에 의한 뇌기능의 변화를 좀더 잘 이해하기 위하여 최근에는 정량적 뇌파검사(Quantitative electroencephalography)나 사건관련전위(event-related potentials : 이하 ERPs)와 같은 신경정신 생리학적 방법들이 사용되고 있다. ERPs는 두피

고려대학교 의과대학 신경정신과학교실

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

Corresponding author: Leen Kim, Department of Psychiatry, Korea University Hospital, Korea University College of Medicine, 126-1, Anamdong 5 ka, Sungbuk-gu, Seoul 136-705, Korea

Tel: 02) 920-5355, Fax: 02) 929-5693

E-mail: Leen54@chollian.net

로부터 기록되는 뇌전위이며, 외부자극에 의한 정보처리과정(information processing)을 반영하는 일련의 음(negative)과 양(positive)의 전위들로 구성된다. 보통 ERPs는 두 가지 종류로 나뉘어지는데, “감각(sensory)”과 “인지(cognitive)” ERPs가 그것이다(3). 감각 ERPs는 자극에 의한 말초감각기관, 피질하 구심성 신경경로(subcortical afferent pathway)와 뇌의 감각피질(sensory cortex)의 활성화를 반영한다. 따라서 자극이 주어진 후 짧은 지연(1~50 ms) 직후, 곧 뇌전위가 나타나며, 이들의 특성은 자극의 물리적인 특성(강도, 위치, 감각의 종류)에 따라 크게 좌우된다(4). ERPs의 후기 요소들은 자극을 가한 후 50~500 ms 이후에 정점을 보이며, 음-양-음-양의 전위들의 복합체로 나타나는데, 이를 N100-P200-N200-P300으로 각각 이름을 붙인다(4). 이들 긴 잠복기를 갖는 ERPs는 자극의 유형이나 물리적 속성에 의해서는 큰 영향을 받지 않으며, 반면에 피검자의 심리적 상태에 영향을 받기 때문에 피검자가 보이는 자극에 대한 심리적 반응에 의하여 나타나는 것으로 생각되며, 인지적 과정과 연관이 있는 것으로 여겨진다(3).

저자들은 수면박탈에 의해 초래되는 인지기능 저하와 반응

성의 저하가 뇌의 인지적 과정의 신경생리학적 변화에 기인한 것이며, 이러한 변화가 청각 사건관련전위(auditory event-related potentials : 이하 AERPs)의 변화로 나타날 것이라고 가정하였다. 그리하여 저자들은 AERPs를 이용하여 수면 박탈이 인지기능의 정신생리학적 과정에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

고려대학교에 재학중인 학생 중 정신질환이나 신경학적 질환, 두부손상의 과거력이 없으며, 수면장애가 없고 현재 수면각성주기에 이상이 없는 건강한 지원자 24명(남자 18명, 여자 6명)을 대상으로 하였다. 이들의 연령분포는 22~27세였고, 평균연령은 24.42 ± 1.25 이었다. 모든 대상은 Annet 손잡이 검사(5)에서 오른손잡이였으며, 2주 동안 수면일지를 작성하여 만성 수면박탈 상태에 있거나 수면 교란이 있는 사람은 배제하였다. 모든 대상에게 실험 1주전부터 카페인이 함유된 커피, 홍차와 같은 음료와 수면에 영향을 줄 수 있는 약물의 복용을 금하도록 지시되었다.

2. 연구방법

검사 전날 밤에 피검자들은 평소의 수면 시간만큼 충분히 자도록 하였으며, 검사 당일 아침 06:00시에 기상하도록 하였다. 이후 07:00시에 AERPs를 시행하였으며(predeprivation day 1; PRE-D1) 그리고 저녁 19:00시에 다시 검사를 시행하였다(predeprivation day 2; PRE-D2). 그리고 꼬박 밤을 세우게 하여 잠을 안 재운 상태에서 다음날 아침 07:00시(post-deprivation day 1; POST-D1)와 저녁 19:00시(post-deprivation day 2; POST-D2)에 다시 AERPs 검사를 시행하여 총 네 차례 AERPs 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 금지되었다.

1) 청각 사건관련전위(Auditory event-related potentials)

AERPs 검사는 방음 및 전기 차폐된 검사실에서 실시되었다. 검사 전 피검자에서 본 검사의 과정을 충분히 설명하였으며 긴장을 풀고 편안히 안락의자에 앉는 자세로 검사를 실시하였다. 전극 부착은 기록전극(active electrode)는 두정부(vertex, Cz)에 설치를 하였으며, 기준 전극(reference electrode)은 양이(A1, A2)에 부착하였고, 접지 전극(ground

electrode)은 전두부(forehead, FPz)에 부착하였다. 오른 쪽 눈 위, 아래에 전극을 설치하여 안전위(electro-oculogram)를 기록하였다. 증폭기의 이득(gain)은 50,000으로 하였으며 교정전압(calibration)은 96~108V가 유지되도록 하였다. 저역차단여과(low cut filter)는 1 Hz, 고역차단여과(high cut filter)는 100 Hz에 놓았으며, 전원에서 들어오는 60 Hz 잡파를 제거하기 위하여 60 Hz 여과(60 Hz filter)를 사용하였다. AERPs의 기록은 전통적인 청각 oddball paradigm방법을 사용하였는데, 피검자는 헤드폰을 통하여 양 쪽 귀에 2가지 종류의 소리를 듣도록 장치되었다. 피검자에게 이들 소리에 주의를 기울이게 한 후, 자주 들리는 저음(frequent low pitch tone, 1000 Hz : 이하 St1)은 세지 말고, 드물게 들리는 고음(rare high pitch tone, 2000 Hz : 이하 St2)이 들려오는 횟수를 머리 속에서 세도록 하였다. 이때 들리는 St1과 St2의 순서는 피검자가 예측을 못하게 일정한 순서가 없이 나오도록 하였으며, 자극간격(interstimulus interval : ISD)은 2초, 전체 총 자극 횟수는 St1이 200회, St2가 50회로 4 : 1의 비율이 되게 하였다. 자극강도는 70 dB이었으며, 자극유형은 tone, 자극 극성은 교대성(alternating), 자극의 상승하강시간은 10 msec, 유지시간은 40 msec으로 하였다. 자극에 따른 전위 변화의 분석시간은 512 msec으로 하였다. 검사 시행은 피검자에게 위와 같은 검사과정에 따라 2회 시행을 하였다. 1차는 예비검사로써 검사과정에 적응을 시키려는 목적으로 검사 전에 아무런 지시 없이 청각자극을 주어 단순한 청각유발전위를 측정하였으며, 2차는 본 검사로서 위에 언급한 지시사항을 알려주어서 주의를 기울인 상태에서 드물게 나오는 St2를 셀 때 일어나는 인지과정에 따른 전위의 변화가 측정되도록 하였다. 피검자들에게 얼굴, 눈과 목의 움직임을 최소화하도록 지시하였으며, 안구운동에 의한 artifact를 제거하기 위하여 EOG가 $\pm 50 \mu V$ 이상일 경우 재검사를 시행하였으며, 피검자가 St2의 숫자를 잘 못 셀 경우에도 재검사하였다. 그러나 대부분의 피검자는 잘 협조가 되었으며, 재검사가 필요하였던 경우는 많지 않았다. 20회의 AERPs의 평균을 구하였고, 그 중에서 260 msec에서부터 500 msec 사이에 정점(peak)을 보이는 양전위를 P300으로 정하였으며, 70 msec에서부터 140 msec 사이의 정점을 보이는 음전위를 N100으로 하였다. 또한 P300 보다 앞서 170~300 msec 사이에 정점을 보이는 음전위를 N200으로, 120~220 msec사이의 정점을 보이는 양전위를 P200으로 하였다. 5명의 피검자의 몇몇 session에서 260 msec와 500 msec 사이에 정점을 보이는 양전위가 2개인 경우가 있었으며, 이 경우에는 두 번째 정점을 P300으로 하였다(6). 각 전위의 잠복기(latency)는

각 전위의 정점까지의 걸린 시간을 msec으로 구하였고, 진폭(amplitude)은 기준선(baseline)에서 각 전위까지의 진폭을 μV 로 구하였다.

2) 통계 방법

피검자당 4회 시행한 검사에서 얻어진 자료를 이원배치 반복측정분산분석(two-way repeated measures analysis of variance)를 시행하였으며, 개체-내 변수(within-subjects variables)로서 수면박탈 전·후일(predeprivation day and postdeprivation day : 이하 SD)과 일중시간(time of day : 이하 TD)을 고려하였다. 자료는 SPSS for Window를 이용하여 통계처리 하였다. 통계적 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결 과

이원배치 반복측정 분산분석 결과, 수면박탈(SD)에 따라 수면박탈후 P300과 N200의 잠복기가 유의하게 연장되었다(각각, $F=31.47, p < 0.001$; $F=14.93, p=0.001$). 그러나 일중시간(TD)에 의한 영향은 나타나지 않았으며, SD-TD 상호작용도 나타나지 않았다. 또한 P300과 N200의 진폭에 있어서도 SD 여부에 따라 유의한 감소가 관찰되었다(각각, $F=10.35, p=0.004$; $F=4.59, p=0.043$). 그러나 이것 역시 TD의 유의한 영향이나 SD-TD 상호작용은 나타나지

않았다(표 1).

P200의 경우에는 진폭은 수면박탈(SD)에 의하여 유의하게 증가하였으나($F=10.48, p=0.004$), 일중시간(TD)의 영향이나, SD-TD 상호작용은 나타나지 않았다. 잠복기는 SD에 의하여 증가하는 경향을 보였으나, 통계적으로 유의하지 않았다($F=3.94, p=0.059$). N100은 잠복기나 진폭 모두에서 유의한 변화를 보이지 않았다.

고 찰

본 연구는 다음 몇 가지 점에서 기존의 수면박탈 연구의 문제점을 극복하려고 하였다. 먼저, 본 연구에서 사용한 AERPs는 인지 과정을 평가하는 객관적이면서 정량적인 수단이며, 피검자나 검사자의 의식적, 무의식적인 영향에서 자유롭다. 실제로 신경심리검사(neuropsychological tests)는 피검자나 검사자의 특정 동기에 의한 영향을 배제하기는 어렵다. 실제로 몇몇 과거의 연구들은 만성적인 수면부족을 겪는 의사들을 대상으로 수면박탈의 효과를 실험을 하였는데, 이 경우 의사들은 실험의 목적을 알 것이고 무의식적이든, 의식적이든 검사의 결과에 영향을 미칠 수가 있었다(7-12). 그러나 본 연구에서 피검자가 AERPs에 영향을 미칠 수 있는 방법은 목표자극을 제대로 세지 않는 방법뿐이다. 그러나 피검자가 센 자극수가 정확하지 않을 경우에는 재실험을 하였으므로 이러한 가능성은 배제할 수 있었다.

Table 1. The results of the auditory event-related potentials and self-ratings during sleep deprivation in each session

Variables	PRE-D1	PRE-D2	POST-D1	POST-D2	Two-way Repeated ANOVA			
					df	F SD	F TD	F SD×TD
N100								
Latency (msec)	90.71 (21.05)	94.08 (19.24)	88.92 (11.47)	90.08 (16.91)	1, 23	0.79 p=0.38	0.94 p=0.34	0.15 p=0.71
Amplitude (μV)	-5.55 (2.15)	-6.03 (2.36)	-5.39 (1.97)	-5.28 (2.24)	1, 23	3.09 p=0.092	0.34 p=0.56	0.86 p=0.37
P200								
Latency (msec)	162.83 (30.69)	164.00 (36.31)	175.00 (26.80)	172.17 (27.61)	1, 23	3.94 p=0.059	0.035 p=0.85	0.088 0.77
Amplitude (μV)	1.34 (2.18)	1.74 (2.28)	3.01 (2.58)	2.68 (3.48)	1, 23	10.48 p=0.004*	0.008 p=0.93	0.61 p=0.44
N200								
Latency (msec)	213.21 (36.81)	219.00 (33.50)	241.50 (52.79)	241.17 (35.16)	1, 23	14.93 p=0.001*	0.12 p=0.73	0.16 p=0.69
Amplitude (μV)	-2.99 (3.57)	-2.97 (2.95)	-1.86 (2.26)	-1.68 (2.74)	1, 23	4.59 p=0.043*	0.049 p=0.83	0.061 p=0.81
P300								
Latency (msec)	314.33 (35.57)	311.83 (39.12)	348.92 (31.11)	344.50 (36.75)	1, 23	31.47 p<0.001**	0.35 p=0.56	0.032 p=0.86
Amplitude (μV)	6.32 (2.01)	6.13 (2.39)	5.08 (2.36)	5.13 (2.23)	1, 23	10.35 p=0.004*	0.030 p=0.87	0.27 p=0.61

The results are reported as mean scores (SD). 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, * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.001$

둘째로, 저자들은 일중시간 효과를 제거하였다. 인간의 인 지수행 능력은 하루의 시간에 따라 변화되며(13), 이러한 일중시간효과가 과거의 몇몇 연구들에서 충분히 고려되지 않았던 것이 사실이다. 본 연구에서는 아침, 저녁 일정한 시간에 검사를 시행하였으며, 수면박탈 여부와 일중시간의 두 가지 개체-내 변인을 이원배치 반복측정분산분석을 통하여 분석하여 일중시간효과의 영향을 통제하였다.

마지막으로 미세 수면(microsleep) 문제인데, 이는 과거의 수면박탈 연구들에서 수면박탈 중의 수행저하의 한 원인으로 지적되어왔으며(7), 수면박탈중 수행능력을 평가하는 검사를 할 때에 반드시 고려되어야 할 요소이다. 본 연구에서 AERPs 검사중 피검자는 미세수면이 실험결과에 미치는 영향을 막기 위하여 실제 주어진 자극의 수와 피검자가 센 수가 틀릴 경우에는 결과를 인정하지 않았기 때문에 미세수면에 의한 영향은 배제할 수 있었다.

ERPs는 보통은 이른바 'odd ball paradigm'이라는 방법을 통하여 얻어지는데, 이는 규칙적으로 주어지는 잦은 비목표 자극(nontarget stimuli)과 드물게 주어지는 목표자극(target stimuli)을 구별하는 과업을 주는 것이다. 이러한 odd ball paradigm은 뇌에서 ERPs를 유발시킨다. 여기서 나타나는 ERP는 100 msec 근처에서 나타나는 음전위(N100) - 200 msec 근처에서 나타나는 양전위(P200) - 200 msec 근처에서 나타나는 음전위(N200) - 300 msec 근처에서 나타나는 양전위(P300)로 구성된다.

이중에 잠복기가 긴 후반부 전위일수록 피검자의 주의력이나 각성도에 의하여 영향받으며, 전반부는 상대적으로 피검자의 인지, 심리적 상태에 영향을 적게 받는다(14). N200과 P300은 예상된 자극이 기대했던 것과 달리 생략이 되었을 때 유발되는 것으로(15-17), 목표 자극과 비목표 자극의 비율의 변화, 피검자의 주의력의 변화에 의하여 영향을 받는다(14,18-21). 본 연구에서도 수면박탈에 의하여 뚜렷이 영향을 받은 것은 N200과 P300이었으며, 모두 잠복기의 연장과 진폭의 저하를 보였다. 이러한 N200과 P300의 변화는 수면박탈에 의한 인지적 과정의 지연과 효율의 저하를 반영하는 것으로 보여진다.

본 연구에서 P200의 경우엔 통계적으로 유의한 수준은 아니지만 잠복기의 연장이 나타났으며, 진폭은 오히려 수면박탈후인 실험 2일째에 유의하게 증가되는 소견을 보였다. 이에 대한 해석은 현재의 자료만으로는 어려우며, 향후 실험을 통하여 수면박탈이 인간의 심리적 상태에 미치는 어떠한 요소와 P200의 진폭증가가 연관이 있는지를 살펴봐야 할 것이다. 한편 좀더 전반부의 전위인 N100은 수면박탈에 의하여 거의 변화가 없었다.

수면박탈중에 나타난 AERPs의 잠복기와 진폭의 변화가 AERPs의 반복 측정에 의한 습관화(habituation)에 의한 결과일 가능성도 있다. 예를 들면 반복적인 검사에 의하여 P300의 진폭은 감소될 수 있다(22,23). 그러나 AERPs의 습관화는 검사 사이에 쉬는 시간을 주지 않고 많은 수의 검사를 반복해서 시행할 때 생길 수 있으며, 검사간에 1시간 이상의 휴식이 있으면 습관화를 방지할 수 있다(22,23). 그러나 본 연구에서는 습관화가 생길 정도로 검사의 횟수가 많지 않았으며, 검사당 12시간의 휴식이 있었으므로, 본 연구 결과가 습관화에 의해 영향을 받았을 가능성은 거의 없다고 하겠다.

ERP중에서 P300은 인지기능을 평가하는 임상적 수단으로서 그 유용성이 증명되어 왔다(26). 인지기능은 동기(motivation), 집중력(concentration), 지능(intelligence), 그리고 특히 의식(consciousness) 수준과 같은 요소들에 의해 영향을 받는다. Broughton 등(24)은 정상 대조군에 비하여 졸리움을 느끼는 기민병(narcolepsy) 환자에서 P300의 크기가 유의미하게 작다는 것을 보고하였다. Wesensten와 Badia(25)은 수면을 못 취하고 내내 깨어있는 경우에 P300의 잠복기가 길어지고 진폭이 감소한다는 것을 발견하였다. Morris 등(36)은 18시간의 수면박탈후 반응시간(reaction time)과 P300 검사를 시행하였다. 이 실험에서 수면박탈 후 P300의 잠복기가 유의하게 증가하였으며, 진폭이 감소하였다. 그러나 반응시간에 있어서는 유의한 변화는 나타나지 않았다. 그러나 최근의 연구에서는 P300의 잠복기의 연장이 반응시간의 지연과 관련이 있다고 보고되었다(27). Goodin(3)은 수면박탈이 P300의 잠복기의 약간의 증가와 관련이 있다고 하였으나, 이것이 졸리움과 관련이 있는지 다른 요소와 관련이 있는지는 확신할 수 없다고 하였으며, Koshino 등(28)은 가벼운 졸리움 상태에서 P300의 잠복기는 각성 상태보다 길어지며, 진폭은 각성상태보다 낮다고 하였고, 수면박탈 후에 나타나는 P300의 이러한 변화의 원인이 가벼운 졸리움(sleepiness) 때문일 것이라고 하였다.

저자들의 연구에서도 수면박탈에 의하여 AERPs중 P300과 N200에서 잠복기가 수면박탈 후 유의하게 증가하였으며, 진폭도 전반적으로 감소하였다. 이는 37시간의 수면박탈에 의하여 인지적 반응이 지연되고, 효율이 저하되는 것이 뇌의 전위로 반영되어 나타나는 현상인 것으로 해석될 수 있겠다. 또한 본 연구 결과로부터 AERPs 중에서도 특히 P300은 수면박탈에 의한 인지적 과정의 지연과 인지적 효율의 저하를 잘 반영하는 것으로 결론지을 수 있겠다.

본 연구가 지닌 방법론상의 문제점을 지적한다면, ERPs의 측정이 단지 두정부(Cz)에서만 얻어졌다는 점을 들 수

있겠다. 좀더 객관적인 ERPs 측정을 위해서는 Fz, Cz, Pz 가 포함되는 것이 바람직하였다. 실제로 P300의 진폭은 Pz 에서 최대를 보이며, 앞으로 오면서 작아진다(29). 향후 시행되는 연구에서는 이러한 점을 참고로 더 정제된 실험 디자인을 통한 실험이 필요하겠다고 하겠다.

요 약

목적 : 본 연구는 청각 사건관련 전위를 이용하여 전수면박탈이 인간의 신경생리에 미치는 영향을 알아보고자 시행되었다.

방법 : 고려대학교 재학생 중 건강한 자원자 24명을 대상으로 하여 총 38시간의 수면박탈을 시행하였고 2일간 아침, 저녁으로 총 네 차례 청각 사건관련 전위를 실행하였다.

결과 : P300과 N200의 잠복기가 유의하게 길어졌으며 ($p < 0.001$) 진폭도 수면박탈의 결과로 유의하게 감소하였다 ($p < 0.05$). 수면박탈에 따라서 P200의 진폭이 유의한 증가를 보였다. 그러나 N100에서는 수면박탈에 따라서 유의한 변화가 나타나지 않았다($p < 0.05$).

결론 : 청각 사건관련전위중 P300과 N200가 수면박탈 상태를 반영하는 표지자로 생각된다. 향후 수면박탈이 사건관련전위에 미치는 영향의 신경생리학적 기전에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

중심 단어 : 전수면박탈 · 청각 사건관련 전위.

REFERENCES

- Patrick GTW, Gilbert JA. On the effect of loss of sleep. *Psychol Rev* 1896;3:469-483
- Bonnet MH. Sleep deprivation. In: Principles and Practice of Sleep Medicine 3rd ed., ed by Kryger MH, Roth T, and Dement WC, Philadelphia, W.B. Saunders Co.;2000. p.53-71
- Goodin DS. Event-related (endogenous) potential. In: Electrodiagnosis in Clinical Neurology, 3rd ed., ed by Aminoff MJ, New York, Churchill Livingstone;1992. p.627-648
- Bastuji H, Garcia-Larrea L. Evoked potentials as a tool for the investigation of human sleep. *Sleep Med Rev* 1999;3:23-45
- Annet M. The binomial distribution of right, mixed and left-handedness. *Q J Exp Psychol* 1967;19:327-333
- Polich J. P300 in clinical applications: Meaning, method and measurement. *Am J Electroencephalogr Technol* 1991;31:201-231
- Deaconson TF, O'Hair DP, Levy MF, Lee MB, Schueneman AL, Codon RE. Sleep deprivation and resident performance. *JAMA* 1988; 260:1721-1727
- Engel W, Seime R, Powell V, D'Alessandri R. Clinical performance of interns after being on call. *South Med J* 1987;80:761-763
- Reznick RK, Folse JR. Effect of sleep deprivation on the performance of surgical residents. *Am J Surg* 1987;154:520-525
- Robbins J, Gottlieb F. Sleep deprivation and cognitive testing in internal medicine house staff. *West J Med* 1990;152:82-86
- Storer JS, Floyd HH, Gill WL, Giusti CW, Ginsberg H. Effects of sleep deprivation on cognitive ability and skills of pediatrics residents. *Acad Med* 1989;64:29-32
- Lingenfelter TH, Kaschel R, Weber A, Zaiser-Kaschel H, Jakober B, Kuper J. Young hospital doctors after night duty: their task-specific cognitive status and emotional condition. *Medical Education* 1994; 28:566-572
- Monk TH. Circadian rhythms in subjective activation, mood, and performance efficiency. In: Principles and Practice of Sleep Medicine, 2nd ed., ed by Kryger MH, Roth T and Dement WC, Philadelphia, WB Saunders Co.;1992. p.321-330
- Picton TW, Hillyard SA. Human auditory evoked potentials: II. Effects of attention. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1974;36: 191-199
- Sutton S, Tueting P, Zubin J, John ER. Information delivery and the sensory evoked potential. *Science* 1967;155:1436-1439
- Simson R, Vaughan HG Jr, Ritter W. The scalp topography of potentials associated with missing visual and auditory stimuli. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1976;40:33-42
- Snyder E, Hillyard SA, Galambos R. Similarities and differences among the P3 waves to detected signals in three modalities. *Psychophysiology* 1980;17:112-122
- Ritter W, Simson R, Vaughan HG Jr. Association cortex potentials and reaction time in auditory discrimination. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1972;33:547-555
- Ford JM, Roth WT, Kopell BS. Auditory evoked potentials to unpredictable shifts in pitch. *Psychophysiology* 1976;13:32-39
- Duncan-Johnson CC, Donchin E. On quantifying surprise: the variation of event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology* 1977;14:456-467
- Goodin DS, Squires KC, Starr A. Variations in early and late event-related components of the auditory evoked potential with task difficulty. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1983;55:680-686
- Polich J. Habituation of P300 from auditory stimuli. *Psychophysiology* 1989;17:19-28
- Geisler MW, Polich J. P300, food consumption, and memory performance. *Psychophysiology* 1992;29:76-85
- Broughton R, Valley V, Aguirre M, Roberts J, Suwalski W, Dunham W. Excessive daytime sleepiness and the pathophysiology of narcolepsy-cataplexy: a laboratory perspective. *Sleep* 1986;9:205-215
- Wesensten NJ, Badia P. The P300 component in sleep. *Physiol Behav* 1988;44:215-220
- 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
- Lee HJ, Kim L, Suh KY. Cognitive deterioration and changes of P300 during total sleep deprivation. *Psychiatr Clin Neurosci* 2003; 57:490-496
- Koshino Y, Nishio M, Murata T, Omori M, Murata I, Sakamoto M, Isaki K. The influence of light drowsiness on the latency and amplitude of P300. *Clin Electroencephalogr* 1993;24:110-113
- Oken BS. Endogenous event related potentials. In: Evoked Potentials in Clinical Medicine, ed by Chiappa KH, New York, Raven Press; 1989. p.563-592