

뇌파 영역에서 수면 발생 과정

Sleep Onset Period from the EEG Point of View

이 현 권¹ · 박 두 흠²

Hyun-Kwon Lee,¹ Doo-Heum Park²

■ ABSTRACT

In accordance with the development of EEG and polysomnography in the field of sleep research, the sleep onset period (SOP) between wakefulness and sleep has been considered an important part for understanding the physiology of sleep. SOP in the transition from wakefulness to sleep is a gradual process integrating various viewpoints such as behavior, EEG, physiology and subjective report. Particularly, based on understanding of EEG changes during sleep, SOP has been regarded as a pattern of topographical change in specific frequency and specific state in EEG. Studies on quantitative EEG (qEEG) and event-related potential (ERP) have suggested that SOP shows the changes of functional coordination at the specific cortical areas in qEEG and the changes of regular patterns in response to environmental stimulation in ERP. The development of sleep EEG and topographic mapping of EEG is expected to integrate various viewpoints of SOP and clarify the neurophysiologic mechanism of SOP further. **Sleep Medicine and Psychophysiology 2009 ; 16(1) : 16-21**

Key words: Sleep onset period (SOP) · EEG · Quantitative EEG · ERP.

16

수면이 시작되는 과정 또는 기간(sleep onset process or period)은 Kleitman(1)이 “부분적인 각성, 부분적인 수면”이라고 기술한 이래로 많은 연구자의 주목을 받아왔다. 뇌파(electroencephalogram, EEG)와 수면다원검사(polysomnography, PSG)의 발전으로 수면에 대한 연구가 급격히 발전되어왔고 또한 각성과 수면 사이의 중간단계로서 수면발생기간(sleep onset period, 이하 SOP)은 수면의 생리를 이해하는데 중요한 부분으로 여겨져 왔다. 특히 수면을 이해함에 있어 행동, 뇌파, 생리적 그리고 개인의 주관적인 정보에 의한 관점 등 다양한 관점들을 고려하는데 SOP 역시 하나의 관점으로 이해를 하는 것이 아니라 여러 관점들을 종합하여 이해되었다(2). 특히 흥분성 또는 억제성 시냅스 후부 전위의 활성화로 인해 대뇌 피질의 동기화(synchronization)를 측정하는 뇌파는 이런 여러 관점들을

통합하고 연결시켜주는 훌륭한 도구로 알려져 있다.

초기 SOP 연구들은 SOP를 수면의 한 단계로 이해하여 하나의 지점(point)으로 이해하는 경향이 있었으나 수면에 대한 많은 연구가 진행됨에 따라 어느 일정한 지점이 있는 것이 아니라 각성에서 수면으로 진행될 때의 다양한 관점들, 즉 행동, 뇌파, 생리 및 주관적 보고 등이 하나의 점진적인 과정으로 진행되는 것으로 이해하게 되었다(2). 특히 수면 뇌파의 발달을 통해 SOP는 특정 주파수와 특정 뇌파의 지형학적인(topographical) 변화가 일정한 패턴을 보인다고 관찰되어왔다(3).

본 논문은 SOP를 뇌파, 정량화 뇌파(quantitative EEG, qEEG) 및 사건관련전위(event related potential, ERP) 등 전기 생리학적 방법을 이용하여 분석한 연구들에 대해 설명하고자 한다.

본 론

1. Sleep onset period : stage and EEG

수면연구에 뇌파가 사용된 이후 피질 뇌파리듬의 차이를 통한 수면과 각성상태의 비교연구가 지속되어왔고 그 개념도 많은 변화가 있었다. Loomis 등(4,5)은 84명의 수면상

¹동안성병원 신경정신과

Department of Psychiatry, DongAnseung Hospital, Anseong, Korea

²건국대학교 의학전문대학원 정신과학교실

Department of Psychiatry, Konkuk University School of Medicine, Seoul, Korea

Corresponding author: Doo-Heum Park, Department of Neuropsychiatry, Konkuk University School of Medicine, 4-12 Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul 143-914, Korea

Tel: 02) 2030-7568, Fax: 02) 2030-7749

E-mail: dhpark@kuh.ac.kr

태 뇌파와 116명의 각성상태 뇌파비교를 통해 처음으로 수면과 각성상태를 비교하는 광범위한 연구를 실시하였다. 그들은 대뇌 피질 전기의 활동성에 따라 수면단계를 5개로 분류를 하였는데 이는 최근에 사용하고 있는 분류와 매우 유사하다.

Stage A : 알파파(alpha). 알파리듬이 다양한 길이로 연속적으로 보인다. 눈동자가 눈을 감은 상태에 천천히 눈꺼풀 아래에서 천천히 구른다.

Stage B : 저전압(low voltage). 무척 정리된 기록이며 알파리듬이 없고 전위가 저전압으로 변화한다. 눈동자의 굴림(rolling)이 일어날 수 있다.

Stage C : 수면방추(spindle). 초당 14 Hz의 20~40 μ V 전위의 방추가 매 초 간격으로 약간 불규칙적으로 줄지어 있다.

Loomis의 첫 연구를 약간 수정하여 1957년에 Dement와 Kleitman(6)이 SOP에 대한 분류를 위해 Loomis system을 제안하였다. 여기서 1단계의 수면은 이전 연구의 A 단계와 B단계를 포함하였고 수면방추의 출현을 2단계 수면의 시작으로 정하였는데, 이는 결과적으로 수면과 각성 상태간의 변별력을 떨어뜨리게 되었다. 이후 Rechtschaffen과 Kales(7)이 기존 수면 단계를 보완하여 1968년에 수면단계 분류 기준을 발표하였는데 여기서 수면 시작 과정을 다음과 같이 자세히 정의하였다.

각성단계(stage W): 알파 활동성이나 저전압, 혼합 주파수 뇌파(mixed frequency EEG)가 보이며 눈을 깜박이거나 빠른 눈의 움직임과 상대적으로 높은 근전도 소견이 보인다.

1단계(stage 1) : 저전압과 혼합 주파수 뇌파 2~7 Hz 활동이 주로 보인다. 즉 50% 이하의 알파 활동을 보이며 수면 방추나 K 복합체, 빠른 눈동자 굴림(rapid eye movement, REM)이 보이지 않는다. 느린 눈동자 굴림(slow eye movement, SEM)과 두정부파(vertex wave)가 보일 수 있다.

2단계(stage 2) : 수면방추와 K 복합체가 보이며 저전압과 혼합 주파수 뇌파가 보인다. 대략적으로 20% 이하의 델타파가 보일 수 있다.

Rechtschaffen과 Kales(7)의 scoring system은 30초 epoch로 되어있어 정상적으로 밤에 7~8시간 수면을 취하는 거시구조(macro-structure)에는 적합하나 SOP의 미시구조(micro-structure)를 결정하는 데에는 불충분할 수 있다. 이에 Roth(8)는 각성상태와 뇌파와의 연관성을 수면 단계에 적용시켰는데 특징적인 것은 광자극에 대한 반응을 수면단계에 포함시켰다. Hori 등(9)은 수면이 시작되는 과정에 대해 Hori의 9가지 수면 체계를 발전시켰다. 이 9가지

수면 단계는 Loomis의 W 단계를 2가지로, Loomis의 1단계 수면을 6가지로 나누었고 Loomis의 2단계 수면은 9단계와 같게 하였으며 각 epoch의 길이는 5초로 하였다.

1단계(alpha wave train) : 각 epoch은 진폭이 최소 20 μ V인 연속적인 알파파로 구성되어 있다.

2단계(alpha wave intermittent) (A) : 각 epoch은 진폭이 최소 20 μ V인 연속적인 알파파가 50% 이상이다.

3단계(alpha wave intermittent) (B) : 각 epoch은 진폭이 최소 20 μ V인 연속적인 알파파가 이 50% 이하이다.

4단계(EEG flattening) : 각 epoch은 20 μ V 이하의 억제된 파(suppressed wave)로 구성되어 있다.

5단계(ripples) : 각 epoch은 낮은 전압으로 구성된 돌발성 억제(burst suppression) 세타파(20 μ V<0<50 μ V)를 포함한다.

6단계(vertex sharp wave solitary) : 각 epoch은 뚜렷한 두정부 예파를 포함한다.

7단계(vertex sharp wave train or bursts) : 각 epoch은 뚜렷한 최소 두 개 이상의 의 두정부 예파를 포함한다.

8단계(vertex sharp wave and incomplete spindles) : 각 epoch은 적어도 하나의 뚜렷한 두정부 예파와 불완전한 수면방추를 포함한다(기간<0.5초, 10 μ V<진폭<20 μ V).

9단계(spindles) : 각 epoch은 적어도 0.5초의 기간과 20 μ V의 진폭으로 된 하나의 뚜렷한 수면방추 최소 1개를 포함한다.

이 Hori의 수면 단계는 다양한 방법으로 타당성을 보여 주어 SOP의 자세한 기술을 하는데 유용하다(9). 즉 이 시스템에 따른 수면의 단계별 변화는 행동적, 생리적 그리고 주관적 보고상의 변화와 여러 면에서 일치하였다. 예를 들면 수면의 평균 반응 시간(mean response time)과 이 9단계 시스템은 정확한 비례 관계를 보였는데 H1에서 H9으로 갈수록 반응 시간이 증가하였다. 또한 각 단계 전에 잠이 들었는지 아니면 깨어있는지(asleep or awake)를 물어보았을 때, H1에서 82.5%가 “깨어있다(asleep)”라는 대답을 시작으로 그 비율이 점차적으로 작아져서 H9에서는 26.2%가 대답하였고, “잠이 들었다(awake)”는 반응은 H1에서 7.2%, H9에서는 43.7%로의 반응을 보였다.

비록 지금까지 수면 단계에 대해 EEG를 이용한 많은 연구가 있었지만 어떤 시스템도 완전할 수 없다. 비교적 최근에 자세히 연구가 된 Hori의 수면 단계도 알파파가 약물 또는 질환에 의해서 억제가 된다면 H1, H2, H3를 정하는 데 방해받을 것이고, 다른 시스템도 역시 영향을 받을 것이다. 또한 Hori 시스템이 epoch를 5초로 사용한 것은 기존 30초로 사용한 것에 비해 각성상태에서 짧은 변화를 알아

내는데 좋은 결과를 보일 수 있지만, 사실 epoch이란 그 자체가 인위적으로 설정된 것이며 또한 epoch 안의 신호 역시 완전히 고정된 것은 아니라는 점에서 한계를 지닌다. 이러한 점들은 적당한 epoch가 평균화되지 않는다면 자동 분석에서 주파수 바이어스(frequency bias)가 발생하는 문제를 유발할 수 있다(2).

이러한 수면 시스템에 대한 연구의 공통점은 알파파 활동성의 감소가 잠이 오는 것과 관계가 있고 수면방추의 출현이 본격적인 수면이 시작되는 시점, 즉 각성과 수면의 중간 지점이 끝나는 시기와 관계가 있다는 것이다. 비록 어떤 연구들(6,7)에서 잠이 오는 시기가 알파파가 떨어지는 시기(<50%)와 동등하게 보였지만, 다수의 연구가들은(7,10) 수면 방추가 진정한 수면으로 들어가는 지점이라는 의견을 지지하고 있다.

2. Sleep onset period : quantitative EEG

이 분야에서 첫 연구는 뇌파의 복잡한 파형을 구성성분으로 분석하는 파워스펙트럼분석(power spectral analysis)을 사용한 Lubin 등의 연구이다(11). 이 연구는 수면과 각성 사이의 중간 지점을 관찰했는데 델타와 시그마 파형이 이 단계를 구별하는데 가장 도움을 줄 수 있다고 하였다. 이후 Hori 등(12)은 자신이 제시한 SOP 수면단계를 이용하여 1단계부터 9단계의 SOP를 단계별로 평균적인 파워스펙트럼값(power spectral value)을 분석하여 SOP에서 뇌파의 시공간적 변화를 연구하였다. 그 결과 델타력, 세타력 및 알파력의 변이도(variability)가 1단계 수면으로 갈수록 증가하고 또한 이러한 증가가 수면까지 약 10분여의 기간 동안 지속된다는 보고를 하였다. Ogilvie 등(13)은 활동성 행동 체계를 사용하여 졸음(drowsiness)이 증가하는 것(반응 시간의 증가)과 수면(반응의 실패)을 구별하였는데, 졸음이 증가하고 수면이 시작될 때 뇌파의 유의미한 변화를 찾아내었다. 즉 EEG 분석결과 SOP 동안 세타력은 증가하고 알파와 베타는 감소를 하였고 행동적 관점에서의 수면이 시작됨에 따라 모든 뇌파력은 증가하였다. 이러한 사실들은 대뇌 피질 동기화의 시작이 일반적으로 서파 수면의 시작에 기여를 한다는 것을 나타낸다.

Bradia 등(14)과 Wright 등(15)은 보다 SOP를 자세히 관찰하기 위해 5초간의 epoch와 3에서 25 Hz까지의 단일 주파수(Hertz, Hz) 밴드를 사용하였다. 또한 이 연구에서는 각성-수면 이행 상태의 정의를 각성의 마지막 1.5분과 1단계 수면 시작 후 1.5분으로 하여 총 3분의 뇌파 표본을 선택하였는데, 이러한 정의는 Hori의 SOP 단계 H2-H3과 유사하다. 이 연구에서 상대적 스펙트럼력(relative spec-

tral power)의 감소는 각각 9, 10, 11 Hz에서 보였으며, 대뇌 부위로는 후두부에서 가장 큰 것으로 나타났다. 이러한 변화들은 비교적 천천히 진행되는 감소나 증가가 아닌 심하게 변동(fluctuation)하는 모습을 보였으며 이러한 변동은 델타파 범위에서 가장 뚜렷하였다.

SOP 동안 뇌파의 시공간적인(spatiotemporal) 변화를 알아보기 많은 연구가 이루어졌는데, Hayashi 등(16)은 졸음이 옴에 따라 대뇌 피질에서 알파의 활동성의 분포(FP_{1,2}, Fz_{3,4,7,8}, C_{3,4}, Pz_{3,4}, O_{1,2})를 처음으로 발표하였다. 이 연구에서 서파와 빠른 알파파가 졸음의 수준을 나타내는 좋은 지표라고 기술하였다. Tanaka 등(17)은 SOP 동안 알파파의 우위(dominance)가 뒤쪽 후두부 부위에서 앞쪽 후두부(FP₁, FP₂, Fz, F₇, F₈)로 변화를 한다는 사실을 보고하였다. Morikawa 등(18,19)은 SOP 동안 대뇌 피질의 분포(F_{7,8}, C_{3,4}, Pz, FP_{1,2}, T_{5,6}, O_{1,2})의 변화를 조사하고 다음과 같은 사실을 보고 하였는데 SOP동안 시공간적인 변화는 1단계 수면이 시작되기 전에 나타나고, 2단계 수면으로 들어서기 수분까지 지속이 된다는 것이다. Morikawa 등(19)은 또한 알파 밴드를 3가지로 나누어 알파1(7.7~9.4 Hz), 알파2(9.6~11.4 Hz), 알파3(11.6~13.4 Hz), 델타, 시그마 및 세타의 활동성을 비교하였는데, 알파2 밴드는 전두부 우위나 후두부 우위 패턴을 보인 반면 알파3 밴드는 전두부와 두정-후두부의 우위 패턴을 보였다. 이러한 연구는 알파파가 나누어짐에 따라 대뇌 피질의 분포가 달라짐을 보여준 연구라고 할 수 있다. 이에 Hansan과 Braghton(20)은 FP_{1,2}, Fz_{3,4,7,8}, T_{3,4,5,6}, Cz_{3,4}, O_{1,2}를 기록하여 알파 우위가 대뇌의 위치나 주파수에 따라 변화할 수 있다는 점을 확인하였다. 이들은 졸리운 상태(drowsiness)의 전두부 알파파 시간상으로 선행하는 각성상태(alert) 알파(9 Hz)보다 느린 주파수(8 Hz)를 보인다는 점을 보고하였고, 동시에 이러한 두 가지 형태의 알파파는 다른 두 축의 위치와 방향을 가진다는 점을 말하였다. 연속적으로 Tanaka 등(21)은 FP_{1,2}, Fz_{7,8}, C_{3,4}, Pz, T_{5,6}, O_{1,2}를 측정하여 세 가지 알파 밴드의 시공간적 분포에 대한 차이점을 정리하고 확장시켰다. 그들은 알파3 밴드의 앞쪽 우위를 Hori 수면단계의 H6에서 보이는 두정부 예파의 출현과 연결시켰다. Hori 등(22)은 FP_{1,2}, Fz_{7,8}, C_{3,4}, Pz, T_{5,6}, O_{1,2}를 기록하여 뇌파의 지형학적인 부분과 뇌파 동시성(EEG coherence)을 조사하였다. 그들은 증가하는 졸음이 수면으로 될 때 알파 우위 지역이 중간 선을 따라 뒤에서 앞으로 이동한다는 사실을 확인하였다. 또한 후부측 동시성 패턴이 깨어있을 시기의 뇌파와 연관이 있는 반면 전부측 동시성 패턴이 수면 뇌파에서 발견된다는 것을 보고하였다.

정량화 뇌파의 연구들은 이전의 Loomis 등(4,5)이 발표

했던 SOP보다 복잡한 과정을 나타낸다고 볼 수 있다. 특히 지금까지의 연구들은 SOP 동안 알파파의 시공간적 변화를 보고하였다. 수면 상태가 아닌 졸린 상태(drowsy)에서의 후두부 부위에 현저한 알파파(resting 8~12 Hz)는 졸음이 증가하거나 명확한 수면을 함에 따라 최소 두 가지로 나누어지는 알파파로 관찰이 되는데, 이는 서로 다른 지형학적 초점을 가지거나 진원지로서 두 가지 축을 보인다는 것이다. 즉 알파 영역의 주파수들은 수면이 시작되는 시기에서 공간적, 시간적인 역동적 변화를 보인다(2). 최근 De Gennaro 등(3)은 뇌파 동시성의 분석과 뇌파의 방향성을 측정하는 직접전이함수(directed transfer function, DTF)를 이용하여 수면 이행기 시기에 뇌파가 뇌의 전후축으로 변화한다는 사실을 확인하였다. 이 연구에서는 첫 수면방추의 출현 전 5분과 후 5분을 측정하여 델타/세타, 알파 밴드의 변화를 전(FzA₁), 후(PzA₁, OzA₁)로 나누어 기록하였다. 그들은 DTF 결과가 SOP 동안 시간이 지남에 알파나 델타/세타 밴드에서 후두부로부터 전두부로 향하는 정보 흐름이 있다는 사실과 수면 후에는 전 밴드에서 전두부에서 두정-후두부로의 정보 흐름이 있다는 사실을 밝혔다. 이러한 결과는 SOP가 대뇌 피질 전두부-후두부 네트워크의 기능적인 조화라는 의견을 확인하였고 수면이 뇌의 특정 구역에서 이루어지는 하나의 과정이라는 사실을 밝혔는데 의의가 있다.

3. Sleep onset period : event-related potential(ERP)

사건관련 전위(ERP)는 문자 그대로 특정 자극과 관련된(또는 특정 자극에 의해 유발된) 전위를 말하며, 시간대에 걸쳐 많은 뉴런에 의해 생성된 자발적인 전압의 변화가 두피 전극을 통하여 뇌파로 기록되고 이를 컴퓨터 평균화 기법 등으로 표현하는 기술이다. 사건관련전위는 통상적으로 각성상태 동안 정보처리의 변화를 측정하는 것이지만 그 기술은 잠이 드는 시기에 인지적인 변화를 기술하는 데도 쉽게 적용할 수 있다. 이러한 구성요소는 극성(polarity)과 연속된 최고점의 순서에 따라 이름이 붙여진다. P1-N1-P2-N2는 각성과 주의력에 의한 변화에 영향을 받는 ERP이다. ERP가 처음으로 수면에 사용 된 것은 Williams 등(23)에 의해서이고 이들은 청각유발전위를 사용하여 각 수면 단계를 구별하는 전위를 발견했다. 하지만 클릭 소리로 인한 전위를 사용하여 각성-수면의 변화상태를 연구한 것은 Ornitz 등(24)에 의하여 처음 시도되었다. 그들은 1단계 수면 후반이나 2단계 수면시작 즈음에 N2 진폭(amplitude)의 증가를 보고하였는데 이러한 변화는 어떤 수면단계 중의 증가보다 컸었고 그들은 이러한 사실을 감소된 억제 현상에 대한

증거, 즉 변화하고 있는 상태에 대한 반응으로 해석을 했다(내용이 이해가 어렵습니다). Wilkinson 등(25)은 깨어있을 시기의 청각유발전위는 경계(vigilance)와 관련성이 있어 N2 진폭의 증가는 감소된 경계와 연관이 있을 것이라고 말하였다.

Noldy 등(26)은 수면 시작 시기에 N1-P2-N2 구성요소의 변화를 관찰하였는데 1단계 수면 동안 P2와 N2가 증가하는 반면 N1은 감소한다는 사실을 밝혔다. 이 사실들에 의거하여 Campbell 등(27)은 N1 진폭의 감소는 수면 시작의 경향성, 즉 각성이나 의식상태의 변화를 지속적으로(지속적이란 의미파악이 어렵습니다) 나타낸다고 결론을 내었다.

Harsh 등(28)은 P300 파형을 생성하는 odd-ball paradigm을 사용하여 잠이 오는 피검자에게 지속적으로 나오는 자극을 무시하고 드물게 나오는(odd-ball) 표적 자극에 반응하도록 요구하는 실험을 하였다. 그들은 피검자들의 반응성이 떨어질수록 P300 파가 사라지고 동시에 N350이라는 새로운 구성성분이 나타난다는 사실과 이 새로운 구성성분은 두 개의 파 사이에 있다는 것을 보고하였다. 따라서 새로운 집합체인 P220-N350-P450이라는 시스템을 말하였는데 그들은 이 시스템이 수면이 시작되는 시기에 주로 나타나는 후기 ERP 활동이라는 사실을 발견하였다. 또한 N350 파가 수면이 시작되는 시기와 관계 있는 억제 과정을 나타낸다는 사실을 가정하였다. Harsh 등(29)은 P300과 알파파와의 연관성을 확인했는데 수면에서 알파파가 완전히 없어질 즈음에 P300도 없어진다는 사실을 말하였고 이러한 점은 P300의 모니터링은 수면기간 중에는 불가능할 것이라는 사실을 시사한다.

Cote 등(30)은 각성과 1단계 수면 동안 odd-ball paradigm에 의한 P300 활동에 대하여 진폭의 변화와 두피 분포를 연구하였다. P300 진폭은 1단계 수면 동안 자극에 대하여 높게 유지되었지만 최대로 활동하는 두피 분포는 변화하였는데 각성 상태 동안은 두정부 영역이었으나 1단계 수면 동안 외측 두정부나 후두부로 이동하였다. 또한 1단계 수면 동안 전두부 ERP의 유의한 감소를 보였는데, 이 사실은 의식에 대한 전두부의 기여가 수면이 시작됨에 따라 처음으로 사라진다는 것을 의미한다고 해석하였다. 이러한 연구들은 정보처리의 생리적 증거인 ERP의 신호들이 환경의 자극에 반응하는 여부에 따라 각성상태와 수면 상태 사이에서 변동한다는 사실을 밝혔는데 의의가 있다.

4. Sleep onset period : EEG and behavioral aspects

최근에 수면에 대한 연구를 위해 뇌파나 수면다원검사를

사용하나 수면은 본질적으로 행동이고 이러한 기술이 발전 되기 전에는 수면을 하나의 행동으로 이해하고 정의되어왔다. Flannigan은 이러한 수면의 행동적인 측면을 1) 종(species) 특이적인 몸의 자세, 2) 지속적으로 유지되는 행동의 정지상태, 3) 고양된 각성 역치, 4) 자극을 통해 가역 가능한 상태로 정의하여 재조명했으며 최근까지 이러한 정의는 수면의 행동적 측면을 이해할 때 사용하고 있다(31). 또한 이러한 행동 관찰과 더불어 수면을 이해하기 위한 여러 장치들이 시도되어 왔는데 이러한 장치들도 역시 SOP를 이해하는데 도움을 주고 있다. 특히 주목해야 할 부분은 이러한 행동으로 인한 수면의 이해가 수면 뇌파와의 연관성을 보이고 그러한 연구들이 꾸준히 보고되고 있다는 점이다.

Ogilvie 등(32)은 “지금 깨어있습니까?”라는 약한 톤의 질문을 임의로 계속하였고 SOP기간에는 버튼을 누름으로써 깨어있음을 나타내었고 반응에 실패하면 잠이 든 것으로 하여 이러한 질문이 효과적으로 SOP에 사용될 수 있음을 보여주었고, MacLean 연구소에서는 진동자극을 위의 실험과 비슷한 목적으로 사용하였다(33). 이러한 연구들은 졸음이 옴에 따라 뇌파와 반응시간의 연장과 관계가 있다는 이전 연구를 재확인한 것에 의의가 있을 것이다. 또한 이들은 이러한 연구를 통하여 1단계 수면이 진정한 수면인가에 대하여 의문을 제기하였는데, Ogilvie 등(32)이 사용한 깨어 있음에 대한 질문에 대해 1단계 수면에서 자주 반응을 하였고($r = -0.43$), 2단계 수면인 K 복합체나 수면 방추가 출현할 때 반응이 없었던 사실로 비추어 볼 때, 1단계 수면이 잠이 오는 과도기 또는 SOP의 부분으로 기술될 수 있을 것으로 보고하였다. 행동과 반응을 관찰하는 이러한 연구들이 비록 SOP를 이해하는데 도움을 주지만 자극을 줌으로써 수면을 확인하는 위의 ‘적극적’인 행동 시스템은 반대로 수면의 시작을 방해할 수 있다는 한계가 있을 것으로 여겨진다.

‘수동적’으로 행동을 관찰하는 도구들은 크게 actigraphy와 지속적 압력 시스템(continuous pressure system)이 있다. 우선 actigraphy는 몸에 휴대가 가능하고 움직임에 대한 정도를 측정하는 편리한 도구이며 대략적인 수면을 하는데 유용하지만 수면의 시작을 자세히 기술하는 데는 정확하지 못한 부분이 있다. 따라서 actigraphy는 수면 시작의 잠재기를 저평가 함으로 수면에 대하여 과대평가하는 경향이 있다(34).

지속적인 압력 시스템은 Blake 등(35)이 손을 지지하는 감개(spool)를 사용하여 근이완과 뇌파 사이의 관계를 관찰함으로써 수면 시작을 파악하고자 하는 것이다. 위 연구에서 알파파가 사라진 후 5초에서 25초 사이에 손을 지지하는 감개가 떨어졌으며 이는 1단계 수면 기간 중에서 알파

뇌파 영역에서 수면 발생 과정

파의 사라짐이 근이완과 관계가 있다는 사실을 보여주었다.

이렇게 수면에 대하여 전통적 방법인 행동을 관찰하는 여러 방법들 또한 SOP의 특징을 나타내는 중요한 도구로서 이는 뇌파와 긴밀한 연관성을 보여주고 있으며 다른 연구에서도 다양한 도구로 SOP를 연구하는데 사용되고 있다.

결 론

수면 뇌파와 수면다원검사 등 여러 도구들의 발전으로 인해 수면발생기간(sleep onset period, SOP)이 단순한 수면의 한 단계로서 한 지점이 아닌 다양한 관점으로서 점진적인 과정으로 이해되고 있다. 수면 뇌파의 발달을 통해 SOP를 더욱 세분하게 뇌파 주파수와 모양으로 분류하여 이해하게 되었다. 이러한 연구들은 비록 이견이 있으나 알파파 활동성의 감소가 잠이 오는 것과 관련이 있고 수면방추 출현이 본격적인 수면이 시작됨을 알린다는 것이다. 정량적 뇌파(quantitative EEG, qEEG)는 SOP를 지형학적으로 이해를 하는데 도움을 주고 있다. 이러한 연구들은 알파 영역의 주파수들이 SOP기간 동안 시공간적인 역동적 변화를 보인다는 것과 SOP가 대뇌 피질 전두부-후두부 네트워크의 기능적인 조화라는 사실을 제시하였다. 자극에 의한 정보 처리를 알려주는 사건관련전위(event related potential, ERP) 연구에서는 환경의 자극에 반응하는 여부에 따라 SOP가 각성상태와 수면상태 사이에서 변동한다는 사실을 밝혔다. 전통적 방법인 행동 관찰을 통한 SOP의 이해는 뇌파 영역의 발전에 따라 SOP 중 행동 변화와 뇌파 변화 간의 긴밀한 연관성을 보여주고 있다. 이러한 수면뇌파와 뇌파의 지형학적 지도법의 발달을 통해 SOP에 대한 다양한 관점들을 통합하고 SOP의 전기생리적 기전의 이해를 통해 SOP와 관련 있는 불면증, 기면병, 우울증 등과 같은 질환의 기전과 병리를 이해하는 데 도움을 줄 것으로 기대된다.

중심 단어 : 수면발생기간 · 뇌파 · 정량화 뇌파 · 사건관련전위.

REFERENCES

1. Kleitman N. Sleep and Wakefulness. Chicago: University of Chicago Press:1963
2. Ogilvie RD. The process of falling asleep. Sleep Med Rev 2001;5: 247-270
3. De Gennaro L, Vecchio F, Ferrara M, Curcio G, Rossini PM, Babiloni C. Changes in fronto-posterior functional coupling at sleep onset in humans. J Sleep Res 2004;13:209-217
4. Loomis AL, Harvey E, Hobart GA. Potential rhythms of the cerebral cortex during sleep. Science 1935a;81:597-598
5. Loomis AL, Harvey E, Hobart GA. Further observations on the potential rhythms of the cerebral cortex during sleep. Science 1935b;

82:198-199

6. Dement W, Kleitman N. The relation of eye movements during sleep to dream activity: an objective method for the study of dreaming. *J Exp Psychol* 1957;53:339-346
7. Rechtschaffen A, Kales A, editors. *A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects*. Los Angeles: UCLA Brain information Service/Brain Research Institute;1968
8. Roth B. The clinical and theoretical importance of EEG rhythms corresponding to states of lowered vigilance. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1961;13:395-399
9. Hori T, Hayashi M, Morikawa T. Topographic EEG changes and the hypnagogic experience. In: Ogilvie RD, Harsh JR, editors. *Sleep Onset: Normal and Abnormal Processes*. Washington: American Psychological Association;1994
10. Loomis AL, Harvey E, Hobart GA. Cerebral states during sleep, as studied by human brain potential. *J Exper Psychol* 1937;21:127-144
11. Lubin A, Johnson LC, Austin MT. Discrimination among states of consciousness using EEG spectra. *Psychophysiology* 1969;6:122-132
12. Hori T. Spatiotemporal changes of EEG activity during waking-sleeping transition period. *Int J Neurosci* 1985;27:101-114
13. Ogilvie RD, Simons IA, Kuderian RH, MacDonald T, Rustenburg J. Behavioral, event-related potential, and EEG/FFT changes at sleep onset. *Psychophysiology* 1991;28:54-64
14. Badia P, Wright KP Jr, Wauquier A. Fluctuations in single-hertz EEG activity during the transition to sleep. In: Ogilvie RD, Harsh JR, editors. *Sleep Onset: Normal and Abnormal Processes*. Washington: American Psychological Association;1994
15. Wright KP Jr, Badia P, Wauquier A. Topographical and temporal patterns of brain activity during the transition from wakefulness to sleep. *Sleep* 1995;18:880-889
16. Hayashi M, Morikawa T, Hori T. Topographic mapping of EEG with the variation of sleepiness. *Memoirs of the Faculty of Integrated Arts and Sciences III Hiroshima Univ* 1989;13:61-71
17. Tanaka H, Hayashi M, Hori T. Topographical Analysis of the Hypnagogic EEG. *Memoirs of the Faculty of Integrated Arts and Sciences III Hiroshima Univ* 1993;19:111-122
18. Morikawa T, Hayashi M, Hori T. Spatiotemporal changes of background EEG activity during hypnagogic period. *Japanese Journal of Electroencephalography and Electromyography* 1993;21:328-336
19. Morikawa T, Hayashi M, Hori T. Spatiotemporal variation of EEG topograms in hypnagogic period. *Japanese Journal of Electroencephalography and Electromyography* 1994;22:360-368
20. Hasan J, Broughton R, editors. *Quantitative topographic EEG mapping during drowsiness and sleep onset*. In: Ogilvie RD, Harsh JR, editors. *Sleep Onset: Normal and Abnormal Processes*. Washington: American Psychological Association;1994
21. Tanaka H, Hayashi M, Hori T. Topographical characteristics and principal component structure of the hypnagogic EEG. *Sleep* 1997;20:523-534
22. Hori T, Tanaka H, Hayashi M, editors. *Topographic mapping of EEG spectral power and coherence in the hypnagogic period*. In: Koga Y, Nagata K, Hirata K, editors. *Brain Topography Today*. Amsterdam: Elsevier;1998
23. Williams HL, Tepas DI, Morlock HCJ. Evoked responses to clicks and electroencephalographic stages of sleep in man. *Science* 1962;138:685-686
24. Ornitz EM, Ritvo ER, Carr EM, La Franchi S, Walter RD. The effect of sleep onset on the auditory averaged evoked response. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1967;23:335-341
25. Wilkinson RT, Mocrlock HC, Williams HL. Evoked cortical response during vigilance. *Psychonom Sci* 1966;4:221-222
26. Noldy N, McGarry P, Campbell K. Late auditory evoked potentials as indicators of sleep onset. In: Koella W, Obal F, Schulz H, Visser P, editors. *Sleep '86*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag;1998
27. Campbell K, Bell I, Bastien C, editors. *Evoked potential measures of information processing during natural sleep*. In: Broughton RJ, Ogilvie RD, editors. *Sleep, Arousal and Performance: A tribute to Bob Wilkinson*. Boston: Birkhauser;1992
28. Harsh JR. Event-related potentials during the wake-to-sleep transition. In: Ogilvie RD, Harsh JR, editors. *Sleep Onset: Normal and Abnormal Processes*. Washington: American Psychological Association;1994
29. Harsh J, Peszka J. N350: an ERP indicator of cognitive processing during the sleep onset period? Paper presented to the Society for Psychophysiological Research. Toronto;1995
30. Cote KA. Event-related potential evidence of consciousness during wakefulness, sleep onset, and sleep. *Doctoral dissertation*. Ottawa: University of Ottawa;1999
31. Flanigan WF. Behavioral state and electroencephalograms of reptiles. In: Chase MH, editor. *The Sleeping Brain*. Los Angeles: UCLA brain Information Service/Brain Research Institute;1972
32. Ogilvie RD, Wilkinson RT. The detection of sleep onset: behavioral and physiological convergence. *Psychophysiology* 1984;21:510-520
33. MacLean AW, Arnedt T, Biedermann H, Knowles JB. Behavioural responding as a measure of sleep quality. *Sleep Res* 1992;21:105
34. Hauri PJ, Wisbey J. Wrist actigraphy in insomnia. *Sleep* 1992;15:293-301
35. Blake H, Gerard RW, Kleitman N. Factors influencing brain potentials during sleep *J Neurophysiol* 1939;2:48-60