

인간의 수면-각성 주기

Sleep-Wake Cycles in Man

김 인*
Leen Kim, M.D.*

Abstract

To assess the reliability of chronobiological models of sleep/wake regulation, it is necessary that the models predict the data which has been studied in sleep research, and they should be generalized across all ages. To date, many adult human data on such models have accumulated, yet it is evident that a comprehensive theory of the biorhythmic aspects of sleep/wake states has not established.

Circadian rhythms such as the time going to bed, sleep onset, slow wave sleep pressure, periodicity of REM sleep, daytime performance, and early evening alertness are resumed everyday. Even in adult humans, sleep is inherently polyphasic. In both the disentrained and entrained states, naps when allowed tend to recur in a temporally lawful manner. The monophasic sleep pattern of most industrial societies therefore appears to be purely of social origin. The endogenous biorhythmic nature of circasemidian sleep tendency is supported by the ubiquity of the phenomenon across all ages. The NREM/REM sleep cycle within sleep with its inherent physiological, endocrine, and neurochemical fluctuations represents the best-documented ultradian sleep rhythms. Also, a daytime ultradian variation in sleepiness with a periodicity similar to nocturnal NREM/REM cycle(BRAC hypothesis) is suggested.

This review article provides a brief synoptic review of the evidences for circadian, circasemidian, and ultradian sleep/wake rhythms, and then the authour will suggest the issues which expedite fuller modeling of sleep/wake system, to be further discussed. (Sleep Medicine and Psychophysiology 4(2):147-155, 1997)

Key words: Sleep/Wake cycles, Circadian, Circasemidian, Ultradian Rhythms

서론

수면/각성의 모델이 타당한 것으로 평가되기 위해서는 우선 그 모델에 의해 인간의 수면/각성 연구에서 보여진 자료들이 미리 예측되어야 하고 모든 연령을 통해 적용되어야 한다. 이제까지 많은 연구의 결과들이 축적되었으나 아직도 인간의 수면/각성 리듬을 완벽하게 설명할 모델은 제시되지 않았다. 잠자리에 드는 시간, 수면 시작, 서파수면의 압력, 렘수면의 주기성, 낮잠, 주간의 수행능력, 저녁시간의 각성대, 수면과 각성은 상호관련성 등은

매일매일 반복되는 현상이면서도 이에 대한 명확한 기전을 아직은 설명할 수 없다. 특히 낮잠의 연구를 통해 인간의 수면이 본래는 다위상적(polyphasic)이라는 것이 알려져 있다. 비동승 상태나 자유질주 상태 연구에서 낮잠의 존재는 일중리듬상 매우 규칙적인 양상을 보인다. 단 위상적(monophasic)으로 인간의 수면이 인식된 데에는 오늘날의 산업사회적 요인이 작용한 것으로 보인다. 여기에서 우리는 낮잠의 본래의 기능이 무엇인가? 하는 기초적인 의문을 가질 수 있지만 이를 충분히 설명하기는 쉽지 않다. 이는 이제까지 제시된 수면/각성과 관련된 연

본 논문의 요지는 1995년 대한 수면-정신생리학회 추계학술대회에서 구연되었음.

* 고대의대 신경경신과학 교실

* Korea University College of Medicine, Dept. of Psychiatry

문의처 : ☎136-705 서울시 성북구 안암동 5가 126-1, TEL: 02-920-5355, FAX: 02-929-5693

구의 결과들이 아직은 부족하거나 일관성이 결여되어 있기 때문일 것이다.

인간의 수면/각성리듬에 관한 이제까지의 연구 결과들을 고찰함으로써 우리는 인간의 생물학적 리듬을 이해하고 향후 수면/각성의 모델을 제시하는데 필요한 지식을 나름대로 정리할 수 있을 것이다. 우선, 인간의 수면/각성 리듬에는 어떤 리듬들이 존재하는가?를 살펴보고, 이제까지 제시된 자료를 포괄적으로 정리하며, 끝으로 현재까지 제시되고 있는 수면/각성 리듬에 관한 자료에 있어 향후의 연구에서 해결되어야 할 쟁점을 제시하는 순서로 논의하고자 한다.

본 론

1. 일중리듬 Circadian Rhythms

1) 주 수면 기간(Major sleep period)

외부의 시간적 인자와 동조되는 일상적인 상황에서, 저녁에 자는 시간과 아침에 일어나는 시간은 매우 일정하며 수면은 필수적으로 정확한 24시간 주기를 갖는다. 24시간에 동승된다는 것은 잠자리에 들거나 특히 아침에 깨어나서 가능한 시간적 단서(예를 들어, 자명종, 사회적 활동, 햇빛)에 노출되는 것과 관련이 있다. 수면의 시작과 종료(아침에 일어나)시간을 조절하는 주요한 요소는 첫째, 중심체온(central body temperature)으로써, 많은 학자들이 체온이 수면시작 시간과 수면의 길이를 결정하는 주요소라는 것에 동의한다. 그러나 수면시작 1-1.5시간 이전에 체온은 이미 하강하고 있으며 아침에 일어나기 0.5-2시간 이전에 이미 중심체온은 상승한다. 더욱이 수면시작 후 서파수면에 다가갈수록 점차 계단식으로 더욱 떨어지게 된다. 따라서 주 수면주기의 시작이 반복적으로 체온리듬 일중주기의 위상을 재설정하는 것으로 해석(1,2)하고 있기도 하다.

두번째로 수면의 시작과 수면의 종료에 영향을 미치는 주요인으로 제시되고 있는 것이 주 수면주기 이전의 깨어있는 기간(duration of prior wakefulness)이다. 어떤 수면 요인들(hypnogenic factors)이 깨어있는 동안에 축적되어 수면을 일으키는 역치에 달할 때 수면이 유도된다는 개념이다(2). 이러한 가설은 수면을 유도하는 물질연구나 수면박탈 후 보여주는 서파수면의 변화에서 그 이론적 근거가 제시되고 있다.

2) 서파 수면(Slow wave sleep; SWS)

서파 수면의 특성과 양에 있어서 주요한 개체발생적 변화가 있으며 특히 10대 이후에 극적인 양적 감소를 보여준다. 그러나 그 분포에 있어 외부의 시간적 단서와 동조되는 상태에서 서파 수면은 모든 연령에서 전형적인 일중주기 분포를 보여준다. 성인에서 그것의 정점은 밤의 첫째 부분에 존재한다(첫 두 수면주기 내, 즉 수면시작 후 약 1시간 정도 경과). 대부분의 경우에서 서파수면의 리듬에 있어 그것의 정점은 수면시작 시간에 달려있다(2).

3) 렘 수면(Rapid eye movement sleep; REM sleep)

오래 전부터 알려진 현상으로써 렘 수면 기간의 길이는 첫 번째 주기 이후 점차 증가하며 결과적으로 수면의 후반부에서 많이 나타난다(3). 렘 수면이 일어나는 경향은 통상적으로 아침에 기상한 후, 아침시간 내내 상승된 채 남아있으며 렘 수면의 일중 정점은 대략 0730에 일어난다. 만약 0730에 정점이 일어났다고 가정하면 렘 수면은 1100까지 최대점의 약 90%이상의 수준을 유지한다는 것이다. 0730이라는 렘 수면의 정점은 서파 수면의 두 정점사이에 존재한다. 이러한 사실은 늦은 아침시간까지 밤수면을 연장시키는 연구에서 확연히 증명되며(4-7) 따라서 렘 수면 경향의 증가는 일중 중심체온의 상승경사에 밀접히 관련되어 있는 것처럼 보인다.

또한, 하루의 각기 다른 시간에 취하게 하는 낮잠연구(8-11)를 통해서도 렘 수면 발생의 경향은 통상적인 아침 기상시간 이후 오전내내 높은 수준으로 남아있음을 보여준다.

4) 수면의 깊이(Sleep depth)

수면의 깊이 역시 일중리듬의 영향에 놓여있는 것으로 보인다. 많은 연구에서 수면의 전반부 1/3에서 서파수면의 경향이 가장 강하며 따라서 이때 깨어나면 야간 수면지둔(sleep inertia)이나 지속되는 수면 숙취(drukenness)를 일으키는 경향이 강하다는 것을 보여준다. 야간의 다른 시간대에 깨어나는 것에 비해 서파수면 중의 각성은 단순 반응시간, 선택 반응시간, 전향성 및 후향성 기억장애, 그리고 유발전위 기법에 의해 검사된 뇌의 자극에 있어 보다 많은 장애를 보여주며 이들 모든 연구에서 렘수면 중에 깨

어나는 것은 서파수면 중에 깨어나는 것 보다 덜 장애됨을 보여준다. 그러나 이러한 서파수면의 경향성은 일중리듬 뿐만 아니라 수면-의존성 현상이라는 보고가 제시되면서 논쟁의 여지가 있고 또 몇몇 자극역치에 관한 연구를 보면 서파수면은 의미있는 자극을 주었을 때에만 가장 깊은 수면으로 보여진다는 결과도 제시된 바 있다. 따라서 수면의 깊이(각성역치)의 일중 정점은 자극의 종류에 달려있다는 해석이 설득력있다.

5) 아침에 깨어남(Morning awakening)

자명종없이도 많은 사람들은 잠을 일정기간 유지하게 되는데 이는 수면 시작시간, 수면박탈의 축적 정도, 환경적 자극(햇빛, 소음)의 존재, 그리고 조건화된 기상시간과 같은 요인 등에 의해 결정된다. 그러나, 인위적으로 깨우지 않고 외부 시간적 단서에 동조되지 않는 모든 비동승 환경(disentrained environment)에서 수면의 종결은, 비록 그 결정인자가 밝혀지지는 않았지만, 일중주기상의 예측성을 갖게 된다. 수면의 종결에 관여하는 것으로써 중심체온의 상승과 일중주기상의 렘 정점이 가능한 두가지 요인으로 제시되고 있다. 특히 이른 아침에는 깨는 것이 매우 힘들고 드물다. 몇몇 학자들은 이것을 각성 금지지대(forbidden wake-up zone 또는 verboten-to-wake zone) (12,13)으로 부르기도 한다.

6) 각성 수준(Arousal level)

각성수준 역시 일중양상을 보인다고 할 수 있다. 주관적인 각성, 객관적인 최소 수면경향, 중심체온, 기억기능을 많이 필요로 하지않은 수행검사 등은 이른 초저녁에서 최대치를 보이고 반면에 이른 아침에 최저치를 보이는 동일한 주기를 보인다. 참고로, 기억의 기능은 아침에 각성수준과 독립적인 최고점을 보이는 데 그 이유에 대해서는 아직까지 알려진 바 없다.

2. 일중 반주기 리듬 Circasemidian Rhythms

지난 십여년에 걸친 연구를 통해, 수면은 야간의 주 수면기간과 흔히 오후에 나타나는 2번째의 졸리움이나 실제적인 낮잠으로 구성되는 하루 2회의 수면경향을 보이는 것이 증명되었다. 이것은 이양식(bimodal) 형태의 수면리듬으로써 하루길이의 반의

기간을 가지기 때문에 일중 반주기(circasemidian)라고 부르고 있는데 Kronauer는 이를 반 일주기(hemicircadian)라고 명명하기도 하였다. 내인성 2/일 수면 리듬의 존재는 Broughton(1,2,14)이 제시하였는데 그는 또한 서파수면의 12시간 리듬과 48, 12, 6, 4, 3, 그리고 1.5시간 마다 일어나는 많은 기본적인 리듬의 조화가 존재한다고 하였다.

수면경향이 갖는 일중 반주기의 내인성 생물학적 특성은 모든 연령에서 독특하게 보여지는 형상이다. 수면의 일중 반주기 정점 사이에 존재하는 각성의 기간을 수면 금지지대(forbidden zones for sleep)라고 부르는 학자(12,13)도 있고 또는 각성-유지대(wake-maintenance zones)로 명명하는 학자(15)도 있다.

오후의 졸리움이나 수면에 대한 증거는 인간의 발달단계나 일상생활에서 흔히 경험하는 것들이다. 이러한 증거를 나열해 보면, ① 아동이 학교에 진학하면서 하루 한번의 주 수면을 취하게 되는 것은 성장과 발달에 따라 낮잠을 포기하기 때문이다(16). 즉, 원래 인간의 수면은 다위상적이다. ② 오후에 졸리움이 증가함에 따라 수행능력에 있어서 소위 "post-lunch dip"이라고 불리우는 저하가 있다(17). ③ 오후의 졸리움의 증가는 수면잠복기 반복검사(MSLT)에서 측정되는 수면 잠복기에서 증명된다(18). ④ 시에스타 문화(siesta culture)에서의 낮잠(19,20), ⑤ 내인성 2/일 수면리듬의 특성은 낮잠을 허용하는 시간적 리 연구에서도 증명되는데 이러한 형태의 연구에서 두 개의 수면주기가 보여진다. 즉, 하나는 통상적으로 체온의 최저점 근처에서 보여지고 나머지 하나는 체온의 최고점 근처에서 보여진다(21). ⑥ 성인에서 오후의 낮잠은 우리가 일반적으로 알고있는 것 보다 더 흔히 일어난다. ⑦ 졸리움과 관련된 중요한 사회적 사건은 비슷한 양상을 보여준다. 즉 한낮(mid-afternoon)에는 작업 수행력이 떨어지고 사고(accidents)가 증가한다는 것이 증명되었다. ⑧ 병리학적으로, 한낮이라는 시간대는 나르코렙시, 특발성 과수면, 그리고 수면무호흡증 환자들에서 보여지는 졸리움이 가장 심하게 나타나는 시간이다.

1) 수면의 일중 반주기에서 12-시간

서파 리듬에 대한 증거와 쟁점

서파 수면은 일반적으로 이전에 깨어있는 각성양

(또는 렘 수면까지 포함해서)을 직접적으로 반영하는 것으로 가정되었다. 이 이론에서 서파 수면의 양은 이전의 깨어있는 시간을 반영한다는 것을 전제로 하기 때문에, 이전에 깨어있는 시간이 보다 많은 저녁 시간대의 낮잠은 한낮의 낮잠보다 서파수면의 양이 더 많다고 하였다(22-24). 그러나 이것은 한낮의 낮잠에서 서파수면이 더 많다는 연구와 수면연장연구에서 보여진 결과를 설명하지는 못한다.

이후의 연구에서 아침이나 저녁 시간의 낮잠에 비해 오후의 낮잠은 서파수면의 양이나 압력이 보다 더 많다는 사실이 제시되었다. 우리는 낮잠을 연구하는데 있어 상태(예, 수면)-의존적인 면으로 부터 일중리듬을 분리하는 것은 쉽지 않다. 그러나, 그것은 수면 연장 실험(extended sleep paradigm)(5,25)에서 잘 보여질 수 있다. 수면연장 실험에서 두 번째 주 서파 수면 분출은 대략 12.5-13.5시간 후(평균 12.4시간 후)에 출현하게 된다. 이러한 현상은 극초단적인 수면일정 실험에서도 증명된다. 즉 1단계 수면은 12시간에 걸친 수면기간 동안 변화가 없지만 2단계 수면은 1400-1600 사이에 일정한 정점을 보인다(5).

또한, 밤 12시에서 새벽 4시로 급격히 4시간의 지연을 시키는 교대 수면연장 실험에서 첫날밤은 3번의 서파 수면 분출을 보여준다. 즉 첫 번째는 수면 시작 직후 3시간 이내에 나타나고 두 번째는 오후 1시 전후(일중주기의 영향)이며, 세 번째는 첫 번째 정점 이후의 13시간 경과후(수면-의존성 반주기 12-시간 주기)에 나타난다. 3일이 경과하면 두 번째의 정점은 사라지게 되어 지연된 연장수면의 4일째 밤부터는 12-시간 리듬만이 존재하게 된다.(6,25) 따라서, 수면 시작 이후 12-14시간 후에 나타나는 서파 수면의 재분출은 수면-의존성 일중 반주기리듬을 지칭하는 것(2)으로 해석된다. 그러나, 나중에 나타나는 서파 수면 정점과 중간의 각성, 1단계 수면, REM수면의 양과의 사이에는 역 상관관계에 있다고 한다. 지연된 서파 수면의 분출은 따라서 이전의 연장된 수면이 가장 깊고 적게 분절되는 경우에 최대의 양을 보인다. 그 결과를 통해 보면, 수면시작은 약 12.5시간의 기간을 갖는 이양식의 서파 수면을 위상-설정(phase-set) 시키고 또한 적어도 1일간은 이전의 동승리듬의 영향을 한낮의 중간정점으로써 지속시킨다. 따라서, 수면-의존 기전과 일중기전(보다 덜 명확하지만) 모두 연장수면 실험에서의 지연된 서파수면에 연루된

다. 그러나 수면시작 이후의 각성에 의해 이를 설명할 수는 없다. 요약하면, 비록 논란의 여지는 여전히 남아있지만 서파수면이 일중 반주기(주로 수면시작에 의존하는)를 보여주지만 서파수면의 압력은 그것의 영향에 놓여있지 않는다(7)고 할 수 있다.

비동승상태에서의 12-시간 서파 수면의 일중 반주기에 관한 연구를 살펴보면, Campbell과 Zulley (26)는 낮잠에 대해 언급하지 않는 비동승 실험을 통해 서파수면의 내인성 생물학적 리듬이 존재한다는 결과를 보고하였다. 즉, 주 서파 수면의 주기는 통상적으로 체온의 최저점 근처에서 보여지고 나머지 하나는 체온의 최고점 근처에서 보여진다는 것이다. 수면은 주 수면주기와 180도의 위상각을 갖는 두 번째의 수면기간을 갖는다. 이 결과는 이후의 연구에서도 지지되었다. 이러한 오후의 서파 수면 경향성은 병리적으로도 보여지는 현상이다. 나르코렙스 환자에서 낮잠의 경향성은 수면연장에서 보여진 결과와 마찬가지로의 분포를 보인다는 것이다.

정리를 해보면, 일중 반주기 리듬의 중요한 3가지 측면은 ① 하루에 2번 경계력의 감소가 존재하며 이는 수면시작을 촉진한다. ② 일중 반주기 수면경향 리듬은 기본적인 일중리듬의 통정된 조화적인 요소일 수 있다. ③ 서파수면은 약 12시간 주기의 양극 리듬을 보여주는데 첫번째 극은 수면시작에 의해 설정된다고 할 수 있다.

2) 일중 12시간 수면리듬의 모델

Kronauer(27)는 이미 기술한 명확한 일중 반주기 현상을 설명하기 위해 그가 제시한 weak Y oscillator를 두 개의 상호작용하는 weak Y1과 Y2 oscillators로 구분하였다. Broughton(20)은 제시하기를 기본적인 리듬은 아마도 수면 그 자체가 아니고 오히려 각성의 정점 사이에 존재하는, 수면을 일으키는 허용적인 판문을 갖는, 각성리듬일 것이라고 하였다. 몇몇 학자들은 대안으로써 지적하기를 그것은 수면보다는 하루에 두번 나타나는 기본적인 각성리듬을 일컫는 것이라고 하였다. 왜냐하면, 첫째는 각성이 서열적으로 우선권이 있고, 둘째는 각성의 필수적 기능이 수면의 기능보다 잘 규명되고 명확하기 때문이다.

일중 반주기 리듬은 인간에 국한된 현상은 아니다. 또한, 인간에서의 내인성 일중 반주기 리듬은 일중리듬 만큼이나 강력하다. 그러나 아직도 일중 반주기

리듬이 일중리듬의 고유한 이행식의 리듬으로 표현되는 것인지 아니면 별개의 독립적인 현상인지에 대한 결론은 내려지지 않았다.

3. 중간 단주기 리듬 Intermediate Ultradian Rhythms

12시간의 주기를 갖는 일중 반주기 리듬과 1.5시간의 주기를 갖는 극단주기(ultradian) 리듬의 중간에 하루에 3-4회, 즉 6-8시간의 주기를 갖는 중간 단주기 리듬이 있다. 60시간의 침실에서 휴식상태를 유지하는 비동조 상태 하에서 비록 높은 표준편차(2.7시간)를 보여주기는 하지만 평균적인 수면/각성 주기는 6시간을 보여준다.

Zully와 Wever는 자유질주 실험의 피험자에서 보여지는 수면의 시작은 임의적으로 분포되지는 않으며 평균 5.7시간의 정점과 정점사이의 단주기를 보여준다고 하였다(21). 그밖에 3-4시간(6-8회/일)의 수면/각성리듬도 존재한다는 강력한 증거가 있다. 유아에서 요구에 따른 일정(on-demand schedule)대로 섭식시킬 때 3-4시간의 수면-각성 리듬 주기를 보이며, 이는 성인에서도 비동승상태와 수면박탈 상태에서 비슷한 양상을 보인다는 보고가 있으며, 뇌파연구에서도 지지되었고, 또 나르코렙시 환자의 졸리움 연구에서도 보여진다.

4. 극단주기 리듬 Ultradian Rhythms

성인의 야간수면은 90-120분의 주기를 갖는 비-렘과 렘 수면의 리듬미갈한 교대를 보여준다(28).

수면 내에서의 비-렘/렘 수면 수면주기는 고유의 생리적, 내분비적, 그리고 신경생화학적인 면에서 극단주기의 양상을 보인다. 서파 수면 자체는 야간시간에 걸쳐 극단주기 리듬을 무디게하는 것으로 고려된다. 렘 주기는 일반적으로 알려져 있는 것 보다 덜 안정적이기는 하지만 렘 수면 주기는 이미 잘 알려져 있다. 극단주기적인 비-렘/렘 리듬이 수면-의존성이나 혹은 독립적이냐에 대한 쟁점은 적절한 수면-모델에 대한 이론형성에 있어 매우 중요하지만 여전히 논쟁의 여지를 남기고 있다. Kleitman(29,30)은 후에 제시하기를, 기본적인 휴식-활동주기(basic rest-activity cycle ; BRAC)의 존재가 24시간에 걸쳐,

수면 내에서의 비-렘/렘 수면주기로써, 또한 각성상태에서의 졸음-경각의 동격인 변동리듬으로써, 그리고 주간의 휴식-활동의 변동리듬으로써 계속 표현된다고 하였다.

비-렘과 렘 수면은, 비록 양자 상태의 중간에 해당하는 수면상태가 존재하기는 하지만, 상호 억제적이라는 사실이 증명되어져 왔다. 야간에 깊은 비-렘 수면의 시작에 맞추어 압력이 증가함에 따라 렘 수면이 억제되고 렘 수면 잠복기가 증가하며 첫 번째 렘 수면주기가 짧아진다. 이러한 현상은 특히 어린아이나 수면박탈 상태에서 보여진다. 반대로 이러한 상호 억제적인 상호작용은 이른 렘 기간의 출현과 수면시작 렘 기간(sleep onset REM periods; SOREMPs)의 경우, 즉 일중 렘 정점의 위상전진의 경우에서도 보여지는데 이러한 상태는 2가지 원형상태인 내인성 우울증과 나르코렙시와 같은 서파수면의 정점이 약화되거나 부족할 때 나타나는 경향이 있다.

서파 수면의 증가된 압력에 의한 렘 수면 발현의 억제는 또한 일중 반주기 수면리듬에서 확실히 보여진다: 한낮의 낮잠은 보다 적은 렘 수면을 갖는다. Mc Carley와 Hobson(31,32)에 의해 제시된 비-렘/렘 수면주기의 모델은 Lotka-Volterra equations으로 표현되는 REM-on과 REM-off 신경원에 사이의 상호작용을 포함한다. 이것은 렘 주기의 시간을 동승상태와 자유질주 상태 모두에서 정확하게 예측할 수 있다. 그러나 이것은 각성의 극단주기를 예측하지는 못한다.

비-렘/렘 수면주기가 수면-의존적인지 혹은 아닌지 아직 명확하지는 않다. 또한 주간의 졸리움-각성의 변동이 야간의 비-렘/렘 주기인지 여부도 아직 밝혀지지 않았다. 이것은 BRAC가설의 본질적인 예측자이다. 극단적으로 짧은 반복적 수면실험(33)에서 졸리움의 증가는 이전의 비-렘 주기와 일치하는 경향은 볼 수 없었다. 그러나, 경계력 실험(34,35,36)에서 초단기적 진동을 보이는 아동의 경우 이전의 렘 기간에 상응하여 보다 많은 빠뜨림을 보이고 또 가성 양성(보다 높은 졸리움을 의미한다)의 경향을 보였다.

렘 수면의 개념은 하나의 리듬인가? 렘 수면을 본질적으로 리듬을 갖는 사건이라기 보다는 서파수면의 압력에 의해 억제되는 주기적인 all-or-none 사건으로 보는 것이 보다 현실적이라는 주장(20)이 있다.

단주기 각성 리듬은 각 개인의 성격과 다른 척도에 의해 달라진다는 증거가 있다. 64개의 심리-행동적

요인 중에서 2개의 요인(introversion, subjective poor quality of sleep)이 각성의 단주기 리듬의 크기와 관련이 있다. 각성의 주간 변화에 대한 증거를 보면, ① 뇌파연구(37-39), ② 경계형 수행과제(39, 40), ③ Pupillometry(41), ④ 초단기적인 수면연구에서의 수면경향성(Sleepability)(42), ⑤ 병리학적으로, 나르코렙시에서의 수면발작의 극초단기 주기적 출현은 렘과 비-렘 수면주기에서 시작된다. 기면에 의해 유발되는 소발작은 단주기적인 주간의 분포를 보인다.

수면의 극단주기 리듬에 대한 연구는 전통적인 수면다원 검사, 낮잠 연구, 휴식 및 일상지속법 연구, 수면연장 연구, 보행감찰, 극초단기 수면일정, 시간격리 연구 등의 방법으로 활발히 진행되고 있다. 요약해 보면, 단주기 변동의 강도가 전반적인 각성수준에 달려있는 것으로 보인다. 각성 정도의 단주기 변동은 기면에 의해 촉진되고 적어도 수행의 면에서 지속되는 강한 동기예 의해 억제된다(34,43).

5. 전형적 동승상태에서의 24-시간 일 도식 Schema of Typical Entrained 24-hr Day

다양한 수면/각성 리듬사이의 규칙적인 시간생물학적인 관계, 수면시작 시간을 수의적으로 선택하는 기전과 한계, 그리고 그밖의 수면/각성 구조에 영향을 미치는 주 요인들에 대한 이해는 아직 부족하다. 그럼에도 불구하고 현재까지 드러난 동승상태에서의 전형적인 성인의 24시간에 걸친 수면/각성 양상을 정리하여 서술하는 것도 의미가 있다. 이러한 시도는 앞으로의 연구에서 밝혀질 쟁점을 노출시키고 아직까지 설명할 수 없는 부분에 대한 인식을 높여줄 것이다.

- 1) 잠자리에 드는 시간(그리고, 결과적으로 잠드는 시간)은 이전에 깨어있었던 시간이 충분하고, 중심체온이 저하되는 것이 잠으로의 이행을 촉진하는 "관문"("gate")과 병합되어, 주관적인 졸리움을 고조시키는 시기를 자발적으로 선택하게 됨으로써 결정된다. 이미 알려진 바 처럼, 동승상태에서의 중심체온은 수면시작 이전에 이미 하강하지만 자유질주 상태에서는 주 수면 기간이 중심체온의 최저점에서 일어나게 된다.
- 2) 수면 시작은 중심체온을 더욱 저하시켜 일중 체

- 온 진동의 위상을 재설정하는 것으로 보인다.
- 3) 수면 시작은 또한 첫 번째 서파 수면의 일중 정점을 결정하며 따라서 12.5시간 후의 두 번째 정점을 결정한다. 즉, 서파 수면의 최대 압력은 수면 시작 3시간 이내이며 이는 금지된 각성시대와 일치하고 서파 수면의 두 번째 정점은 1500 주위에서 보여진다.
 - 4) 서파 수면의 압력은 밤에 어느정도 지수적 방식으로 감소하며, 렘 수면의 강도를 조정하고, 또한 단주기 렘 주기성의 위상을 재조정하는 것 같다. 서파 수면의 약화(예; 우울증, 나르코렙시)는 렘 수면주기의 전진을 일으키고, 수면박탈로부터의 회복, 아동기에서와 같이 서파 수면 압력의 증가는 렘 수면 잠복기를 연장시키거나 심지어는 첫 렘 주기를 억제시킨다.
 - 5) 2개의 서파 수면 압력의 반일 주기 사이에는 일중 렘의 정점이 놓여지는 것 같다. 밤에 렘 수면은 수면의 말기에서 더욱 활성화되고 수면연장 실험에서 높은 수준의 렘활동이 오전 내내 유지된다. 이러한 사실은 흥미있는 두가지 현상을 설명하는데 유용한 근거가 된다. 즉, 오전의 각성/졸리움의 극단주기적 변동은 오후나 저녁의 그것보다 크게 나타나며, 둘째로 하루 중의 기억기능은 이때 가장 높은 수준을 유지한다는 것이다.
 - 6) 오후에는, 반 일주기 리듬의 두 번째 수면 관문과 서파 수면 압력의 일시적 증가가, 깨어있는 사람에서 각성/수면의 초단기 진동이 평편해지는 원인(REM경향을 억제함으로써)인 것처럼 보이고 또한 수행능력이 점심식사 후 침체되는 원인인 것으로 보여진다.
 - 7) 초저녁에, 졸리움이 최소화되고 적절한 각성이 유지되는데 있어서 서파수면의 낮은 압력, 렘 수면의 최소 압력, 그리고 최고조의 중심체온이라는 세가지 요인이 동시에 작용하는 것으로 보인다. 이 시간은 전 세계적으로 수면잠복기 반복검사로 연구된 결과에서 일관성있게 보여지는 금지된 수면시대이다.
 - 8) 수면과 각성은 상호 경쟁적이고 필연적으로 배타적이므로 각성수준의 발달은 수면압력 수준의 역이다.
 - 9) 늦은 저녁에는, 중심체온이 저하되기 시작하고 촉진된 각성과 관련된 졸리움이 지속적으로 증

가하며 따라서 주 일중 관문에 다가서게 된다. 이때 수면을 취하는 행동이 일어나게 되고 이후 이제까지의 주기는 반복된다.

6. 수면/각성 리듬의 모형화에 있어서의 쟁점 Important issues impede fuller modeling of seep/wake rhythms

이제까지의 지식을 기본으로 수면/각성주기의 모형을 제시하려는 시도는 많았지만 아직도 적절한 해답이 제시되지 않았다. 수면/각성주기를 모형화하는데 있어 장애가 되는 중요한 쟁점을 정리하면 다음과 같다(20).

- 1) 체온, 이전에 깨어있었던 기간, 내재하는 다양한 신체의 리듬들이 어떻게, 또 어느 정도로 상호작용하여 수면 시작과 유지 그리고 종결을 하는가?
- 2) 잠자리에 드는 시간을 선택하는데 있어 개인적인 동기가 어떻게 또 어느 정도 작용하는가?, 또 수면/각성과 이것의 구조를 결정하는 중심체온, 그리고 이것들과 함께 수면의 촉진요인과 방해요인은 어떻게 또 어느 정도 작용하는가?
- 3) 반 일주기 수면 경향은 단순히 일중 수면리듬의 고유의 속성인가? 아니면 자체의 독립적인 반일주기 리듬이 존재하는가? 혹은 각성의 하나의 기본적인 리듬변화인가?
- 4) BRAC 가설은 사실인가? 아니면 렘 주기는 완전히 수면과 독립적인가?
- 5) 세가지 기본적인 생물학적 상태인 각성, 비-렘 수면, 렘 수면이 어느 정도까지 상호 억제적인가? 혹은 필연적으로 배타적인가?, 아니면 반대로 수면과 각성상태는 상대가 약화될 때 단순히 피동적으로 그 자리를 메우는 것인가?

요 약

이제까지 제시된 수면/각성과 관련된 연구의 결과들이 아직은 부족하거나 일관성이 결여되어 있기 때문에 인간의 수면/각성 리듬에 대한 모델은 확립되지 않았다.

주 수면시간, 서파 수면, 렘 수면, 수면의 깊이, 아침에 깨어남, 각성 수준 등의 주 리듬은 일중리듬을 보여준다. 주 수면시간은 중심체온과 이전의 깨어있

는 기간에 의해 결정되는 것으로 알려져 있다. 렘수면 발생의 경향은 통상적인 아침 기상시간 이후 오전 내내 높은 수준으로 남아있게 된다. 수면경향이 갖는 일중 반주기의 내인성 생물학적 특성은 모든 연령에서 독특하게 보여지는 현상이다. 오후의 졸리움이나 수면에 대한 증거는 수면잠복기 반복검사, 수면연장 연구, 비동승상태 연구, 자유질주 연구 등과 같은 여러 연구방법에서 보여진 오후의 졸리움, 수행능력, 다양한 수면장애의 병리적 특성, 그리고 시에스타 문화에서 증명된다. 일중 12시간 수면리듬의 모델은 아직도 일중 반주기 리듬이 일중리듬이 고유한 이형식의 리듬으로 표현되는 것인지 아니면 별개의 독립적인 현상인지에 대한 결론이 내려지지 않았기 때문에 확립되지 않았다. 수면-각성의 주기에는 하루에 3-4회, 즉 6-8시간의 주기를 갖는 중간 단주기 리듬이 내재되어 있고, 또 성인의 야간수면은 90-120분의 주기를 갖는 비-렘 수면과 렘 수면의 리듬미랄한 극단 주기적 교대를 보여준다. 그뿐 아니라 주간의 기본적인 휴식-활동 주기는 야간의 렘 수면주기에 상응한다는 가설이 제시되기도 하였다. 수면의 단주기 리듬에 대한 연구는 전통적인 수면다원 검사, 낮잠 연구, 휴식 및 일상지속법 연구, 수면연장 연구, 보행감찰, 극초단적 수면일정, 시간격리연구 등을 통해 시행되고 있다.

내재하는 다양한 신체의 리듬들이 어떻게, 또 어느 정도 상호작용하여 수면의 시작과 종결을 조절하며, 반일주기 수면경향의 본질은 어떠한가, 또 렘 주기와 수면과의 관계는 어떠한가에 대한 의문은 앞으로 해결해야 할 중요한 쟁점들이다.

중심단어 : 수면/각성 주기, 일중리듬, 일중 반주기 리듬, 극단주기 리듬

REFERENCE

1. Broughton RJ. Biorhythmic variations in consciousness and psychological functions. *Can Psychol Rev* 1975 ;16 : 217-230.
2. Broughton RJ. The circasemidian sleep rhythm and its relationships to the circadian and ultradian sleep-wake rhythms : In, Koella WP, Obal F, Schulz H, Visser P.(eds

-) Sleep '86. Stuttger Fisher Verlag; 1988: 41-43.
3. Czeisler CA, Zimmerman JC, Ronda JM, Moore-Ede MC, Weizman ED. Timing of REM sleep is coupled to the circadian rhythm of body temperature in man. *Sleep* 1980; 2: 329-346.
 4. Taub J, Hollingsworth H, Bruce NS. Effects on the polysomnogram and waking electrocorticogram of ad-libitum extended-delayed sleep. *Int J Neurosci*, 1983; 9: 173-178.
 5. Gagnon P, De Konick J. Reappearance of EEG slow waves in extended sleep. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1984; 58: 155-157.
 6. Gagnon P, De Konick J, Broughton RJ. Reappearance of EEG slow waves in extended sleep with delayed sleep time. *Sleep*, 1985; 8: 118-128.
 7. Broughton RJ, De Konick J, Gagnon P, Dunham W, Stampi C. Chrono-biological aspect of SWS and REM sleep in extended night sleep of normal. *Sleep Res*, 1988; 17: 361.
 8. Karacan I, Finley WW, Williams RL, Hirsch CJ. Changes in stage I-REM and stage 4 sleep during nap. *Biol Psychiatr*, 1970; 2: 291-296.
 9. Maron L, Rechtschaffen A, Wolpert EA. Sleep cycling during napping. *Arch Gen Psychiatr*. 1964; 11: 503-508.
 10. Webb WB, Agnew HW Jr. Sleep cycling within twenty-four hour periods. *J Exp Psychol* 1967; 74: 158-160.
 11. Endo S, Kobayashi T, Yamamoto T, Fukuda H, Sasaki M, Ohta T. Persistence of the circadian rhythms of REM sleep: A variety of experimental manipulations of the sleep-wake cycle. *Sleep*, 1981; 4: 319-328.
 12. Lavie P. Ultradian rhythms : Gates of sleep and wakefulness. In, H Schulz and Lavie (eds), *Ultradian Rhythms in Physiology and Behavior*. Springer-Verlag. Berlin, 1985: 148-164.
 13. Lavie P. Ultrashort sleep-waking schedule. III. Gates and "forbidden zones" for sleep. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1986; 63: 414-425.
 14. Webb WB. Sleep and naps. *Spec Sci Technol* 1978; 1: 313-318.
 15. Strogatz SH. *The Mathematical Structure of the Human Sleep-Wake Cycle*. Springer Verlag, Berlin, 1986.
 16. Kleitman N. *Sleep and Wakefulness*. University of Chicago Press, Chicago, 1963: 364.
 17. Blake MFJ. Time of day effects on performance in a range of tasks. *Psychosom Sci* 1967; 9: 349-350
 18. Richardson GS, Carskadon MA, Orav WC, Dement WC. Circadian variation of sleep tendency in elderly and young adult subjects. *Sleep* 1982; 5(suppl.2): 82-94.
 19. Broughton RJ. The siesta: Social or biological phenomenon? *Sleep Res* 1983; 12: 28.
 20. Broughton RJ. Chronobiological aspects of models of sleep and napping. In, D Dinges and R Broughton(eds), *Sleep and Alertness: Chronobiological, behavioral and medical aspects of napping*. Raven, New York 1989: 71-98.
 21. Zully J, Campbell S. Napping behavior during "spontaneous internal desynchronization": sleep remains in synchrony with temperature. *Hum Neurobiol* 1985; 4: 123-126.
 22. Maron L, Rechtschaffen A, Wolpert EA. Sleep cycling during napping. *Arch Gen Psychiatr* 1964; 11: 503-508.
 23. Webb WB, Agnew HW. Stage 4 sleep: Influence of time course variables. *Science* 1971; 174:1354-1356.
 24. Dick DJ, Beersma DGM, Dann S. EEG power density during naps; reflections of an hourglass measuring the duration of prior wakefulness. *J Biol Rhythms*. 1987; 3: 207-219.

25. Webb WB. Enhanced slow sleep in extended sleep. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 64; 27-30: 1986.
26. Campbell SS, Zuley J. Napping in time-free environments: In, *Sleep and Alertness; Chrono-biological, behavioral, and medical aspects of napping*. D.F. Dinges and R.J. Bohgton, eds. Raven press, New York. 1989;121-138.
27. Kronauer RE. Temporal subdivision of the circadian cycle. *Lect Math Life Sci* 1987; 19:63-120.
28. Dement WC, Kleitman N. Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility and dreaming. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1956 ; 9: 673-690.
29. Kleitman N. The nature of dreaming. In, G EW Woistenholme and MO O' Connor (eds), *The Nature of Sleep*. Churchill, London, 1961: 349-364.
30. Kleitman N. *Sleep and Wakefulness*. University of Chicago Press, Chicago, 1963: 364.
31. McCarley RW, Hobson JS. Neuronal excitability modulation over the sleep cycle: A structural and mathematical model. *Science* 1975;189:58-60.
32. McCarley RW, Masaquoi SG. A limit cycle mathematical model of the REM sleep oscillator system. *Am J Physiol* 1986; 251(Reg Integrative Comp Physiol 20): R1011-1029.
33. Lavie P, Zomer J. Ultrashort sleep-waking Schedule. II. Relationship between ultradian rhythms in sleepability and the REM-NREM cycles and effects of the circadian phase". *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1984; 57: 35-42.
34. Broughton RJ. Three central issues concerning ultradian rhythm. In, H Schulz and P Lavie(eds), *Ultradian Rhythms in Physiology and Behavior*. Springer-Verlag. Berlin, 1985: 217-233.
35. Busby K, Broughton RJ. Waking ultradian rhythms in hyperkinetic and normal children. *J Abnorm Child Psychol* 1983; 11: 431-442.
36. Kripke DF. An ultradian biological rhythm associated with perceptual deprivation and REM sleep. *Psychosom Med* 1972; 34: 221-234.
37. Manseau C, Broughton RJ. Ultradian variations in human daytime EEGs: A preliminary report. In, W Koella(eds), *Sleep* 1982. Kager, Basel, 1983:196-198.
38. Manseau C, Broughton RJ. Bilateral synchronous ultradian EEG rhythms in adult humans. *Psycho-physiology* 1984; 21: 265-273.
39. Okawa M, Matousek M, Petersen I. Spontaneous vigilance fluctuations in the daytime. *Psychophysiology* 1984; 21: 207-211.
40. Orr WC, Hoffman HG, Hegge FW. Ultradian rhythms in extended performance. *Aerospace Med* 1974; 45: 995-1000.
41. Lavie P. Ultradian rhythms in alertness-a pupillometric study. *Biol Psychol* 1979; 9: 49-62.
42. Lavie P, Scherson A. Ultrashort sleep-waking cycle. I. Evidence of ultradian rhythmicity in "sleepability". *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1981; 52: 163-174.
43. Kripke DF, Mullaney DJ, Fleck PA. Ultradian rhythms during sustained performance. In, H Schulz and P Lavie(eds), *Ultradian Rhythms in Physiology and Behavior*. Springer-Verlag. Berlin, 1985: 200-216.