

주관적 각성정도, 기분, 수행능력의 일중변화

Circadian rhythms in subjective activation, mood, and performance efficiency

윤인영*

In-Young Yoon, M.D.*

Abstract

Circadian rhythms in subjective alertness, mood, and performance can be classified as psychological rhythm, compared with physiological rhythm such as body temperature and hormonal change. While in normal condition entrained by 24hr zeitgeber, subjective alertness would reach its maximum value around midday, subjective alertness would parallel body temperature rhythm with its peak at evening in non-entrained, free-running state. With desynchronization technique, subjective alertness rhythm is thought to be controlled by both temperature and sleep-wake rhythm oscillator. Circadian performance rhythms depend on the kind of task tested. It shows parallelism with body temperature rhythm when subjects are tested with simple, repetitive task. But when tested with tasks requiring complex verbal reasoning or immediate memory, subjects would perform them best at early morning, with performance decreasing as time of day advances. The desynchronization technique shows that circadian performance rhythm of simple, repetitive task is dependent on temperature oscillator but circadian performance rhythm of complex verbal reasoning is influenced by both temperature and sleep-wake rhythm oscillator or another independent oscillator.

It would be worthwhile to compare psychological rhythm with hormonal change such as cortisol and melatonin. And more simple and time-saving method than desynchronization technique may facilitate the study of the mechanism underlying psychological rhythm. (Sleep Medicine and Psychophysiology 5(1):12-17 1998)

Key words: circadian rhythm in subjective alertness, circadian performance rhythm, desynchronization

서론

주관적인 각성정도, 기분, 수행능력 등이 24시간 동안 어떻게 변하는가 하는 것은 심리적 리듬(psychological rhythm)에 해당하는 것으로 24시간에 걸친 체온, 호르몬 변화 등의 생리적 리듬(physiological rhythm)과 비교하여 생각할 수 있으며 심리적 리듬과 관련하여 사용되는 대표적인 생리적 리듬은 체온이다. 이렇게 체온이 사용되는 이유는 심리적 리듬의 연구는 주로 심리학자들에 의해 행해지는데 이들에게 호

르몬 변화보다는 체온이 비교적 쉽게 측정가능한 것이라는 점과 오래전부터 심리적 리듬을 체온 리듬에 연결시키려는 역사적인 배경도 생각할 수 있다(1). 또한 일중변동 체계(circadian system)의 수학적 모형이 수면-각성 주기와 체온 리듬을 관장하는 진동자(oscillator)에 의해 영향을 받는다는 주장도 체온 리듬의 중요성을 대변하는 것이라 할 수 있다(2).

심리적인 변인을 측정하는데 있어 생리적 변인 측정시와는 달리 몇가지 고려해야 할 점이 있다.

첫째, 검사를 반복하면서 나타나는 연습효과(practice or

*용인정신병원

*Yong-In Mental Hospital

learning effect)이다. 이를 극복하기 위해 다른 실험군이 각각 다른 시간에 검사를 하여 비교하거나 검사순서를 바꾸는 실험설계(counterbalance design)를 생각할 수 있고 아니면 피험자로 하여금 그 검사에 완전히 익숙해져서 연습효과가 더 이상 나타나지 않도록 검사전에 연습을 반복시킬 수도 있다(3).

둘째, 수행능력을 측정하는 검사의 부정확성이 문제인데 이를 극복하기 위해서는 시간이 많이 들고 힘들기는 하나 검사를 여러번 반복해야 한다.

셋째, 수면시에는 심리적 리듬을 측정하기가 곤란하다는 점이다. 각 대상을 자기 못하게 하거나 수면중 깨워서 측정할 수도 있지만 이는 모두 수면장애를 초래하여 24시간 변화리듬에 영향을 미치게 된다.

본 론

1. 주관적 각성정도의 일중변화 (Circadian Rhythms in Subjective Alertness)

1) 측정방법

각성(alertness)은 졸림(sleepiness)과 반대되는 것으로 생각할 수 있는데 객관적인 각성정도 혹은 졸림정도는 수면잠복기 반복검사(multiple sleep latency test, MSLT), 각성유지검사(maintenance of wakefulness test, MWT)등으로 평가하는데 반해 주관적인 각성정도는 아날로그식 시각척도(Visual Analogue Scale, VAS)를 사용하여 평가한다. 이는 왼쪽 끝에 가장 졸린 상태(very drowsy or drowsiest)를 표시하고 오른쪽 끝에는 가장 각성된 상태(very alert or alertest)를 표시한 일정길이의 선(line)상에 실험대상으로 하여금 자신의 현재상태를 나타낸다고 생각되는 위치에 점을 찍도록 한다. 왼쪽 끝에서 이점까지의 거리를 재서 각성정도를 평가하는 것이다(4). 이러한 아날로그식 시각척도가 일중변동연구에서 자주 쓰이는 이유는 설문조사보다는 간단하고 시간이 소요되지 않으며 스탠포드 졸림척도(Stanford Sleepiness Scale, SSS)보다는 정확하기 때문이다.

2) 주관적 각성정도의 변화에 영향을 미치는 요인으로서 수면각성리듬과 체온

(1) 현재 일중변동체계에는 2가지 인자가 관여하고 있다고 생각된다. 그 하나가 외부의 영향을 많이 받지 않고 동조화의 범위(limit of entrainment)가 좁은 강력한 내

적 진동자(endogenous circadian oscillator)로서 체온이 이에 영향을 받으며 다른 하나는 외부의 영향을 쉽게 받으면서 동조화의 범위가 넓은 수면-각성주기 체계이다(5). 따라서 주관적 각성정도의 일중변화에 이 2가지 인자중에 어떤 것이 더욱 큰 영향을 미치는가에 관심을 가지게 되었다.

(2) 우리가 외부시간신호인자(zeitgeber, 이후 외부시간인자)에 의해 동조화(entrained)되어 24시간을 주기로 살고 있는 정상적인 상황에서 행해진 실험을 살펴보면 저자에 따라 약간의 차이는 있지만 거의 일치하는 결과를 보고하고 있다. 즉, 낮 12시 전후에 주관적으로 가장 각성되었다고 느꼈으며 이는 체온의 정점(acrophase)보다 8시간정도 앞서는 것이다. 이러한 결과는 체온의 상승과 각성정도의 상승이 별다른 위상차(phase difference)없이 동시에 나타날 것(parallelism between body temperature and subjective alertness)이라는 예상에 배치되는 것이다. 따라서 각성정도는 깨어나서 일정시간이 지난 후에 최고상태에 이른다는 점을 감안할 때 수면각성주기에 의해 영향을 받는 것으로 생각할 수 있으나 외부와 시간이 차단된(time isolation) 자유상태(non-entrained, free-running state)에서의 연구에서는 다른 결과가 관찰되었다.

(3) 자유상태에서의 연구결과를 살펴보기 전에 우선 비동기화(desynchronization)현상에 대해 설명해보자. 우리는 평상시에 24시간의 외부시간인자에 동조화되어 체온이나 수면각성리듬이 24시간을 주기로 변하고 있다. 그러나 인위적으로 외부의 시계를 변화시켜 체온이 동조화될 수 있는 한계를 넘어버리면(beyond the range of entrainment) 체온은 더 이상 외부시간인자의 주기를 따르지 않고 자신의 내적인 리듬에 따라 25시간을 주기로 변하게 되며 외부시간인자의 영향에 민감한 수면-각성 주기는 여전히 동조화된 양상을 보여 체온과 수면각성리듬은 더 이상 같은 주기를 가지고 변하지 않게 된다. 이런 상태를 비동기화라고 하는데 이는 체온과 수면각성리듬의 영향을 각각 측정하는데 유용한 기법으로 사용될 수 있다(6).

(4) 2-5주동안 수면각성주기를 26시간 혹은 23시간 가까이 하여 비동기화를 유발한 후에 각성정도가 어떠한 변화를 보이는지 살펴보았다(7). 24시간을 주기로 동조화되어 있을 때와는 달리 각성정도와 체온은 위상차가 거의 없이 최고점과 최저점이 나타나는 시간이 일치를 보이면서 유사한 변화양상이 관찰되어 체온이 각성정도에 미치는 영향을 확인하였다. 한편 각성정도는 기상

하여 잠들 때까지의 각성시간에 대하여 역전된 U자(inverted U)형태를 보이면서 대체로 각성시간의 중간쯤에 최고치를 보여 수면각성주기 역시 각성정도에 영향을 미침을 알 수 있었다. 수면각성리듬을 관장하는 process S가 깨면서부터 차차 증가하여 수면전에 최고점에 도달하는 사실을 고려하여 수면각성리듬에 영향을 받는 각성정도는 시간이 흐르면서 점차 감소된다는 것이 발견됐다면 각성상태에 대한 수면각성리듬의 역할을 쉽게 가정할 수 있었을 것이나 이러한 사실이 발견되지 않았더라도 결코 수면각성리듬의 역할을 배제할 수 있는 것은 아니다.

(5) 결론적으로 각성정도는 체온을 관장하는 진동자와 수면각성리듬을 주관하는 진동자에 모두 영향을 받는다고 생각할 수 있으며 24시간의 주기에 동조화되어 있는 정상시에는 수면각성리듬이 좀 더 큰 영향을 미치는 것으로 생각할 수 있다(1).

(6) 비동기화 기법을 사용하여 다른 결과를 보인 연구(6)를 살펴보겠다. 3주간에 걸쳐 수면각성주기를 피검자가 모르게 매일 12분 혹은 6분씩 줄여서 22시간까지 줄였다. 주기가 23시간일때까지는 각성정도와 체온리듬의 위상관계는 변화를 보이지 않다가 시간이 더욱 줄어들면서 체온의 주기는 여전히 외부시간인자에 동조화된 양상을 보였지만 각성정도주기는 외부시간인자, 즉 수면각성주기와는 달리 25.48시간을 보였다. 22시간에 가까워지면서 양자 모두 자유리듬(free-running rhythm)을 나타내었는데 그 시간은 체온이 24.49시간, 각성정도가 24.47시간이었으며 위상관계가 변화를 보여 체온의 극점이 먼저 나타났다. 이 연구에서 각성정도가 수면각성리듬에 독립적임을 알 수 있었고, 변화하는 수면각성리듬에 대해 체온보다 각성정도가 먼저 비동기화되었다는 사실을 고려할 때 수면각성리듬의 각성정도에 대한 영향력은 체온에 대한 영향력보다 미비함을 알 수 있었다. 또한 체온과 각성정도간에 동조화의 범위(limit of entrainment)가 서로 상관관계가 없는 것으로 관찰되었는데 이는 두 리듬을 관장하는 진동자가 서로 다름을 의미하는 것이다.

3) 나이에 따른 각성정도의 일중변화

70세 이상의 노년기의 남녀를 중년기의 남자와 비교하여 나이에 따른 각성정도의 일중변화를 살펴보았다. 중년기에 비해서 노년기남자의 경우 각성정도의 일중변화전폭 혹은 리듬이 크게 감소하였으며 노년기여자

는 양자사이에 중간이었다. 그러나 각성정도와 연관이 있다고 생각되는 체온리듬의 경우 세군간에 차이를 보이지 않아서 결론적으로 내적 일중변동 조율기(endogenous circadian pacemaker, ECP)가 나이에 따라 그 힘이 약해지기보다는 이 힘이 외부로 전달되는 과정에 문제가 생긴 것으로 생각된다고 하였다(8).

2. 기분의 일중변화(Circadian Rhythms in Mood)

(1) 기분의 일중변화는 앞에서 언급한 각성정도의 일중변화나 뒤에서 언급할 수행능력에 있어서의 일중변화에 비해 뚜렷하지 않고 그 중요성이 떨어지는 것은 사실이나 우울증, 교대근무, 시차적응등의 병적인 상태에서 나타나는 문제이므로 진단 및 치료에 있어서 그 임상적 의의를 무시할 수는 없다

(2) 행복감(happiness), 슬픔(sadness), 평정(calmness), 긴장(tension), 다행감(well-being)등에 관해 아날로그식 시각척도(VAS)를 사용해 일중변화를 살펴보았다(9). 이때 tense/calm 항목에서는 일중변화가 관찰되지 않았고 happiness, well-being의 항목에서 변화가 관찰되어 기상 4시간후인 늦은 아침에 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 늦은 아침에 각성정도가 최고치를 보이고 동기상실이 최저치를 보인다는 사실과 무관하지 않을 것이다. 흥미있는 사실은 우울증환자의 경우 아침에 우울감이 가장 심하고 시간이 지나면서 차차 나아져 저녁에는 어느정도 회복을 보이는데 이는 정상인의 감정이 아침에 가장 다행감을 보인다는 소견과 반대되는 것이다. 따라서 정상인에 있어서의 기분의 일중변화의 기전을 이해하게 되면 이것이 역전된 현상으로 나타나는 우울증의 치료에 도움을 얻을 수 있을 것이다.

3. 수행능력의 일중변화(Circadian Performance Rhythms)

1) 초기의 연구

수행능력이 하루중 시간에 따라 변할 것이라는 생각은 일중변화(circadian)라는 말이 생기기 훨씬 전부터 관심을 갖게 되었고 이는 학교수업에서 어떤 항목을 언제 가르쳐야 할 것인가하는 실제적인 문제와 연관되었다. 1920년을 전후하여 당시까지의 연구를 종합하여 내린 결론은 시간이 지나면서 정신적 피로가 쌓이므로 오전에 지적인 작업을 하고 오후에 운동기능을 주로 사용하는 일을 해야한다는 것이었는데 이로써 수행능력의 일중변화를 수면-각성주기를 담당하는 진동자에

연결시키려고 하였다(3). 이후에 수행능력이 각성정도와 연관이 있으므로 체온변화와 어떤 연관이 있는 것이 아닌가 생각하게 되었고 또한 작업의 종류에 따라 수행능력의 변화가 다르게 관찰되었다.

2) 작업의 종류에 따른 수행능력의 일중변화

(1) 문장속에서 어떤 문자를 찾거나(serial visual search task), 단순히 어떤 문자를 지우거나(simple letter cancellation test), 양손의 숙련도를 알아보는 작업(manual dexterity task)등과 같이 단순반복적인 일(simple repetitive task)의 경우 정확히 체온의 변화를 따르는 것으로 생각된다(parallelism between performance and temperature circadian rhythm). 즉, 이른 아침에 최저치를 기록하다가 시간이 흐르면서 점차 증가하여 저녁에 최고치를 보이는 일중변화를 나타낸다. 여기서 주의할 점은 단순반복적인 일이라고 하더라도 우리가 측정하는 것이 수행능력의 속도가 아니라 정확성을 잴다면 체온변화와 달리 시간에 따라 감소하게 되며 또한 연습을 통하여 그 일에 익숙해졌을 때 체온변화에 따르는 효과가 좀 더 분명해진다는 점이다.

(2) 좀 더 복잡한 언어추상능력(complex verbal reasoning)을 요하는 작업이나 1-2분전에 제시된 정보를 기억하는 즉각기억(immediate memory)과 연관된 작업의 경우 체온변화와 정반대의 양상을 보이게 된다. 이른 아침에 최고값을 나타내고 시간이 지나면서 감소하다가 체온이 정점에 떨어지는 저녁시간에 다시 증가하게 된다. 획득한 정보를 장기간 저장하는 경우에는 이른 아침에 획득한 정보는 저장이 잘 되지만 이후 장기저장 능력은 급속히 감소하다가 정오경에 다시 증가되는 양상을 보이면서 오후 4시전후에 최고의 기능을 나타낸다. 따라서 오후나 저녁시간에 비록 즉각기억력은 떨어지지만 이때 획득한 정보가 장기간 저장되는 것으로 생각된다.

(3) 문장이나 말을 이해하는데 사용되고 수학적계산을 하는데 사용되는 작업기억(working memory)의 경우 개인의 능력이나 나이를 고려한 기억부하량(memory load)에 따라 최고값이 나타나는 점이 틀려진다. 즉, 기억부하량이 클수록 작업능력의 최고값은 정오전에 일찍 나타나게 되고 기억부하량이 작을수록 최고값은 늦은 시간에 나타나게 된다. 이러한 작업기억에서의 결과는 단순반복적인 일은 저녁에 최고치를 보이고 복잡한 인지기능을 요하는 일은 이른아침에 최고치를 보인

다는 사실과 일치되는 소견으로 생각된다.

3) 수행능력의 일중변화를 조절하는 진동자(oscillator)

앞에서 언급한 비동기화기법을 사용하여 수행능력의 일중변화가 체온변화에 의해 조절되는지 수면각성리듬에 의해 조절되는지 아니면 어떤 다른 진동자에 의해 조절되는지 알아보고자 하였다(10). 외부시계를 22시간까지 짧게 하거나 29시간이상으로 길게 하여 체온변화주기와 수면각성주기의 비동기화를 유발한 후에 문자삭제와 같은 단순반복적인 일과 언어추상능력을 요하는 일을 수행토록 하였다. 문자삭제작업의 경우 체온변화에 따라 수행능력이 변화하는 양상을 보였는데 이는 체온변화를 관장하는 진동자가 단순반복적인 일의 수행능력변화에도 뚜렷한 영향을 미친다는 것을 의미한다. 언어추상능력을 요하는 일의 경우 몇몇 피험자에서 21시간을 주기로 변하는 것이 관찰되었으며 앞에서 언급한 기억부하량에 따른 작업기억능력을 살펴보았을 때 기억부하량이 적을 때에는 체온변화에 따르는 수행능력변화를 보였고 기억부하량이 많을 때에는 21시간을 주기로 하는 변화를 보였다. 따라서 추상적이고 기억부하량이 많은 작업의 경우 지금까지 확인되지 않은 21시간을 주기로 하는 진동자에 의해 조절된다고 가정할 수 있다. 한편 비동기화 상태에서 단순수작업의 수행능력과 추상능력을 필요로 하는 작업을 비교한 연구(11)에서 역시 단순수작업의 수행능력은 체온변화에 따르는 변화를 보이나 추상능력은 체온과 수면각성리듬 모두에 의해 영향을 받는다고 하였다. 결론적으로 단순반복적인 작업의 경우 체온조절 진동자에 의해 영향받는다는 것에는 대체로 일치를 보이고 있으나 복잡한 인지기능을 요하는 작업의 경우 이를 관장하는 독립적인 진동자가 존재할 수도 있고 아니면 수면각성리듬 진동자 및 체온조절 진동자의 양 진동자가 영향을 미칠 가능성도 제시되고 있다.

4) 수행능력의 일중변화에 영향을 미치는 개인적인 변인

(1) 개인에 따라 작업능력이 아침에 증가되는 성향(morning active subjects)을 보이기도 하고 저녁에 증가되는 성향(evening active subjects)을 보이기도 한다. 이러한 개인간의 차이가 단지 수면습관차이에 기인하는 것인지 아니면 내적 일중변화리듬(endogenous circadian

rhythm)의 차이에 기인하는 것인지에 관해 의문이 제기되어 왔다. 설문지로 아침에 적극적인 사람(morningness)과 저녁에 적극적인 사람(eveningness)으로 구분하고 외부와 격리시킨 후 72시간동안 수면박탈상태에서 심리적 수행능력검사, 체온 및 아드레날린등의 생리학적 변인측정, 각성정도에 대한 자기평가척도측정등을 시행하였다(12). 양군간에 심리적, 생리적 변인모두에서 차이를 보이지 않았다. 양군간에 차이가 있다는 이전의 연구보고도 있었지만 이는 수면박탈을 하지 않고 그들의 일상생활을 그대로 유지하면서 실험을 했기때문으로 생각된다. 따라서 각 개인간의 차이는 변화가능한 수면각성리듬의 차이에 기인하는 것이지 내적 일중변화리듬의 차이는 아니라고 생각할 수 있다.

(2) 한편 다음과 같이 요인이 개인의 수행능력에 영향을 미친다고 생각된다(13). 첫째, 수행능력변동의 범위(range of oscillation)이다. 변동의 범위란 24시간 주기 내에서 최고의 수행능력을 보일 때와 최저의 수행능력을 보일 때의 차이를 의미하는 것으로 이 범위가 작을 수록 수행능력이 증가되는 경향이 있다. 둘째, 연습정도와 동기가 영향을 미치게 되며 셋째, 성격에 따라 차이를 보이는데 외향적인 사람이 내향적인 사람에 비해 수행능력의 최고치와 최저치가 늦게 나타나게 되며(evening type) 노이로제환자의 경우 외부와 차단되었을 때에 비동기화의 정도가 심하게 된다. 넷째, 수면각성주기도 수행능력과 연관이 있다. 야간 수행능력의 감소는 지지 않고 계속 깨어 있는 상태보다 자다가 깨울 때에 현저하게 나타나며 교대근무시 일중변동의 폭이 작아지고(flattening), 수면박탈시에는 일중변동의 폭이 커지는데 이는 최저값이 더욱 감소하기 때문이다. 한편, 교대근무나 시차적응의 경우 피로(fatigue)요인이 일중변동보다 수행능력에 더 중요한 영향을 미치는 것으로 생각되기도 한다(14).

5) 교대근무 및 시차적응과의 연관성

정상상태에서부터 8시간의 위상차를 유지하면서 수일이 지난 후에 체온이나 수행능력이 회복되는 것을 살펴보았다(15). 정상상태에 비교할 때, 추상능력을 사용하는 작업이 가장 빠른 회복을 보였고 다음이 단순작업능력이었으며 체온의 적응정도가 가장 떨어졌다. 이는 단순작업능력은 체온변동의 영향이 지배적이고 추상능력은 체온변동 및 수면각성리듬에 영향을 받는다는 사실과, 수면각성리듬에 비해 체온리듬의 적응이

늦다는 것을 고려하면 타당한 결과라고 생각된다. 한편 수면각성주기를 30시간으로 고정한 상태에서 체온, 각성정도, 여러 가지 수행능력등의 변동이 25시간을 주기로 하는 내적 요인(endogenous component), 즉 내적 일중변동 조율기에 의해 어느 정도 영향을 받고 30시간을 주기로 하는 외적 요인(exogenous component), 즉 수면각성주기에 의해 어느 정도 영향을 받는지 살펴 보았다(16). 체온에 비해 각성정도나 몇몇 수행능력부분이 외적 요인에 의해 영향을 많이 받았는데 이는 교대근무나 시차적응시에 체온에 비해 이들 요인이 빨리 적응할 수 있다는 것을 나타낸다. 또한 외적 요인의 영향정도에 근거한 수행능력의 개별적인 적응정도를 평가하여 작업계획을 세우는데 도움을 받을 수 있을 것이다.

결론

지금까지 심리적 리듬의 일중변화는 서론에서 언급한 바처럼 체온의 변화와 관련지어 연구되어 왔는데 멜라토닌, 코티졸, 프로락틴등의 일중변화가 알려진 만큼 이러한 호르몬들의 일중변동과 연관성을 살펴보는 것도 의미가 있을 것으로 생각된다. 특히 멜라토닌의 경우 수면-각성에 따라 영향을 받지 않고 주로 밤에만 분비되므로 이에 대한 연구는 교대근무 및 시차적응시 문제되는 수행능력저하를 개선하는데에 큰 기여를 할 수 있을 것이다. 한편 심리적 리듬의 변화는 사람에서만 측정가능하고 동물실험이 불가능한 상태에서 리듬변동의 기전을 밝히기 위해 비동기화기법이 주로 사용되었다. 이 기법은 시간이 오래 걸리고 비용면에서 불리하므로 몇 명의 대상에 대해서만 행해졌고 따라서 결과의 불일치가 저자간 혹은 한 저자내에서 발견되곤 하였다. 좀 더 간단하고 실행가능한 방법도 입된다면 심리적 리듬의 변화기전을 밝히기 위해 좀 더 많은 연구자가 좀 더 많은 사람을 대상으로 연구하는 것이 가능할 것이다.

중심단어 : 일중리듬, 주관적 각성, 수행능력, 비동기화

REFERENCE

1. 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, Dement WC, Philadelphia, W.B. Saunders Company 1994; 321-330.
2. Kronauer RE, Czeisler CA, Pilato SF, Moore-EdeWeitzman ED. Mathematical model of the human circadian system with two interacting oscillators. *Am J Physiol* 1982; 242: R13-R17.
 3. Folkard S, Monk TH. Circadian performance rhythms. In *Hours of Work: Temporal Factors in Work Scheduling*, ed by Folkard S, Monk TH, New York, John Wiley and Sons 1985; 37-52.
 4. Monk TH, Leng VC, Folkard S, Weitzman ED. Circadian rhythms in subjective alertness and core body temperature. *Chronobiologia* 1983; 10: 49.
 5. Winget CM, Deroshia CW, Markley CL, Holley DC. A review of human physiological and performance changes associated with desynchronization of biological rhythms. *Aviat Space Environ Med* 1984; 55: 1085-1096.
 6. Folkard S, Hume KI, Minors DS, Waterhouse JM, Watson FL. Independence of the circadian rhythm in alertness from the sleep/wake cycle. *Nature* 1985; 313: 678-679.
 7. Monk TH, Moline ML, Fookson JE, Peetz SM. Circadian determinants of subjective alertness. *J Biol Rhythms* 1989; 4: 393-404.
 8. Monk TH, Buysse DJ, Reynolds III CF, Kupfer DJ, Houck PR. Subjective alertness rhythms in elderly people. *J Biol Rhythms* 1996; 11: 268-276.
 9. Monk TH, Fookson JE, Moline ML, Pollak CP. Diurnal variation in mood and performance in a time-isolated environment. *Chronobiol Int* 1986; 2: 185-193.
 10. Folkard S, Wever RA, Wildgruber CM. Multi-oscillatory control of circadian rhythms in human performance. *Nature* 1983; 305: 223-226.
 11. Monk TH, Weitzman ED, Fookson JE, Moline ML, Kronauer RE, Gander PH. Task variables determine which biological clock controls circadian rhythms in human performance. *Nature* 1983; 304: 543-545.
 12. Froberg JE. Twenty-four-hour patterns in human performance, subjective and physiological variables and differences between morning and evening active subjects. *Biol Psychol* 1977; 5: 119-134.
 13. Klein KE, Wegmann HM, Athanassenas G, Hohlweck H, Kuklinski P. Air operations and circadian performance rhythms. *Aviat Space Environ Med* 1976; 47: 221-230.
 14. Dodge R. Circadian rhythms and fatigue: a discrimination of their effects on performance. *Aviat Space Environ Med* 1982; 53: 1131-1136.
 15. Hughes DG. Adaptation to an 8-h shift in living routine by members of a socially isolated community. *Nature* 1976; 264: 432-434.
 16. Folkard S, Totterdell P. Dissecting circadian performance rhythms: implications for shiftwork. *Ergonomics* 1993; 36: 283-288.