

## 수면과 온도

### Sleep and Temperature

김혜금 · 서완석

Hye-Geum Kim, Wan Seok Seo

#### ■ ABSTRACT

Changes in core body temperature are closely related to initiation and maintenance of sleep, and are influenced by various factors such as air temperature, room temperature, clothing, human activities, and medications. These factors are closely related to sleep fragments, insomnia and other sleep disorders. Understanding the effect of the temperature related to human surroundings on the core body temperature and sleep, will be useful for understanding the physiology of sleep and to treat sleep disorders. **Sleep Medicine and Psychophysiology 2016 ; 23(2) : 47-52**

**Key words:** Sleep · Core body temperature · Room temperature · Circadian rhythm.

#### 서 론

수면은 인간의 신체적, 정신적 기능을 유지하기 위해 필수적인 생리 과정으로 일주기 리듬에 의해 조절된다. 일주기 리듬은 24시간 주기로 순환하는 내적, 외적 주기와 관련된 생리적인 과정을 의미하고 인간에서는 수면-각성 주기조절, 혈당수준 조절, 코르티솔 합성 조절과 같은 생리기능이 일주기 리듬과 연관이 있다(이소진 등 2015 ; 이현아 등 2014).

중심체온(core body temperature, CBT)은 인간의 신체 내부의 온도이다. 우리들의 몸에서 발생하는 열의 56%는 각종 기관(organ)에서, 18%는 근육에서 생성된다(Gilbert 등 2004). CBT가 일정 범위 내에서 안정적으로 유지되는 것은 뇌, 심장, 간과 같은 기관의 세포 기능을 유지하는데 필수적이다. CBT는 일주기 리듬의 조절을 받아 인간의 수면과 각성을 조절하는데 중요한 역할을 한다. 대체로 CBT는 36~37.5℃ 사이에서 유지되며 이른 아침에 최저 수준으로 떨어지며 이 시기는 수면 욕구가 가장 높은 시간이다.

Received: December 20, 2016 / Revised: December 28, 2016

Accepted: December 28, 2016

영남대학교 의과대학 정신건강의학교실

Department of Neuropsychiatry, Yeungnam University, Daegu, Korea

Corresponding author: Wan Seok Seo, Department of Neuropsychiatry University of Yeungnam in Korea, Yeungnam University Hospi-

tal, 170 Hyeonchung-ro, Nam-gu, Daegu 42415, Korea

Tel: 053) 620-3344, Fax: 053) 629-0256

E-mail: sws3901@ynu.ac.kr

기온이 지나치게 높거나 낮을 때 잠을 제대로 못 잔 경험은 누구나 있을 것이다. 환경 온도가 지나치게 높거나 낮으면 건강한 사람도 수면의 양과 질에 문제가 생길 수 있기 때문에 환경 온도는 수면을 조절하는데 중요한 인자로 볼 수 있다(Gilbert 등 2004). 안정적인 환경 온도는 인간에게서 건강한 수면을 유지하도록 도와주며, 이로 인해 낮 동안의 원활한 활동, 체중 조절, 삶의 질, 수명에 긍정적인 영향을 준다(Dew 등 2003 ; Hasler 등 2004 ; Manabe 등 2000). 환경 온도의 변화는 수면의 지속성에 영향을 줄 뿐 아니라 서파수면, 렘수면(Rapid eye movement sleep, REM sleep)에도 영향을 준다. 환경 온도와 더불어 인간은 체온의 항상성을 통해 수면을 안정적으로 유지하기 위해 이불을 덮거나 옷의 두께를 조절해서 입는 활동을 한다. 침대 기후(bed climate)는 인간과 침대 커버 사이 공간의 온도와 습도를 의미하는데 이 역시 수면에 중요하다. 침대 기후의 가장 이상적인 조건은 32~34℃ 사이의 온도, 40~60% 사이의 습도라고 보고되었다(Okamoto 등 1997 ; Van Someren 2006).

이 종설에서는 기존 문헌의 고찰을 통하여 중심 체온 및 환경 온도 등 온도가 수면에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 또한 중심 체온의 변화에 영향을 미치는 인자들과 환경 온도를 조절할 수 있는 의복, 주거 공간, 습도 등의 역할들을 살펴봄으로써 궁극적으로 수면의 생리를 이해하고 수면 질환을 치료하는데 도움이 되고자 한다.

## 본 론

### 1. 체온과 수면

인간의 체온은 항상성을 유지하는데 이로 인해 신체는 환경 변화에 적절하게 대응한다. 체온 항상성은 환경 변화를 예측하여 미리 적절한 대응을 할 수 있는 예측 항상성도 가진다. CBT는 다른 일주기 리듬 요소와 마찬가지로 외적인 단서를 모두 제거했을 때 24시간보다 조금 더 길지만 지구의 명암(light/dark)에 의해 24시간 주기가 유지된다(Dijk 등 2000 ; Zully 등 1981). 건강한 성인의 CBT는 사인곡선을 가지는데 일반적으로 오후 9시경 가장 높고 새벽 5시경 가장 낮다(Krauchi와 Wirz-Justice 1994). CBT는 37℃ 중심으로 좁은 범위 내에서 유지되지만 말단의 온도는 상·하의 체온 변화에 의해 바뀌게 된다. 예를 들어 실내 온도가 23℃ 일 경우 말단의 피부 온도는 CBT에 비해 7~8℃가 낮은 30℃ 정도가 되는 반면 35℃일 경우 손발의 온도는 CBT에 비해 불과 3~4℃가 낮은 33℃가 된다.

체온은 의식적 활동에 의한 영향을 받기도 하지만 대부분은 고도로 특성화되어 있는 자율신경계의 영향을 통해 조절된다. 환경 온도에 대한 정보는 피부의 냉각 수용체(20~30℃ 사이의 열변화를 감지)와 온각 수용체(30℃ 이상의 열변화를 감지)를 통해 들어온다(Boulant과 Bignall 1973). 이 수용체들을 통해 각 척수의 단계별로 체온 정보가 취합되는데, 체온이 불안정하거나 체온 변화가 급격할 때는 발화율(firing rate)이 증가된다. 이 체온 정보는 최종적으로 시각 교차앞-시상하부 앞쪽(preoptic-anterior hypothalamus, PoAH)으로 전달되는데 이 곳은 체온 정보를 취합하는 중추로 알려져 있다(Boulant 2000). PoAH는 피부, 연수의 온도 수용기, PoAH 자체의 신경 세포 등 다양한 곳에서 체온에 관한 정보를 받는다(Gilbert 등 2004). PoAH가 체온을 유지하는 정확한 기전은 아직 밝혀지지 않았지만 PoAH에 의해 체온의 기준이 정해지고 그 기준과 측정되는 온도의 차이에 따라 오류 신호가 만들어지고 그에 따라 체온 조절 기능의 작동 여부가 결정된다는 servicocontrol 모델 가설이 있다(Gilbert 등 2004). PoAH는 수면의 시작에 관여한다. PoAH는 가온(warming)과 화학적 자극을 통해 발화율이 높아지면서 수면이 시작된다(Gong 등 2000 ; McGinty과 Szymusiak 1990 ; Ramesh 등 1995). PoAH의 체온민감 세포(warm sensitive neuron, WSN)는 수면 시작 시점에서 발화율이 높아지고 기상 직전 낮아진다(Alam 등 1996 ; Sherin 등 1996). 또한 PoAH는 수면/각성을 조절하는 역할을 하는 시상하부 뒤쪽, 기저전뇌(basal forebrain), 솔기핵 등쪽(dorsal raphe nucleus)에도 영향을 끼친다(Guzman-Marin 등

2000 ; Szymusiak 1995). 말초 피부를 따뜻하게 하면 PoAH의 WSN, 시상하부 뒤쪽, 기저전뇌, 솔기핵 등쪽의 발화율이 증가한다(Guzman-Marin 등 2000 ; Szymusiak 1995). 이는 말초의 피부조직과 수면/각성 뇌 사이에 신경 경로가 존재하여 말초 피부의 체온을 증가시키는 신경생리학적 기전이 수면에 영향을 주고 있다는 것을 의미한다(Krauchi 등 2000 ; Krauchi 등 1997).

수면 전후의 온도 변화는 양성피드백 고리(positive feedback loop)를 형성하여 수면의 시작과 유지를 도와준다. 수면 전의 CBT의 저하와 열 손실의 증가는 입면을 촉진시킨다. 수면이 시작된 후 수면 자체가 CBT의 저하와 열 손실의 증가를 촉진시켜 수면 상태를 유지하게 된다. CBT 저하가 지속될 때 야간 각성도 감소와 서파수면의 증가가 발생한다(Gilbert 등 2004).

체온 조절 반응은 수면 단계에 따라 달라진다. 수면 중의 체온 조절 반응은 각성 시 보다 저하되어 있다. 렘수면 동안 체온조절 시스템은 약화되는데 그 이유는 PoAH 뉴런의 체온 민감성이 소실되고(Parmeggiani 1987), 렘수면 동안 비렘수면에 비해 더위나 추위에 대한 반응성이 줄어들기 때문이다(Jennings 등 1993). 또 발한의 시작, 발한의 비율이 줄어드는 현상이 렘수면 직전에 나타나는데 이로 인해 침실이 너무 더우면 못 견디고 깨게 된다(Dewasmes 등 1997). CBT는 우리 몸의 열 흡수와 생산이 열 손실과 균형이 맞을 경우에만 일정하게 유지되는데, 여기에는 몇몇 과정이 관여하게 된다.

### 1) 중심체온과 수면

수면의 욕구는 일주기 리듬과 연동되어 24시간 주기를 가지며 CBT가 하강할 때 높아지며 CBT가 최저일 때 가장 강력하다가 CBT가 올라가는 시점부터는 약화된다(Campbell 2000). 잠을 자기 위해 누울 때 사람의 CBT는 각성 시에 비해 약 0.11℃ 감소하고 수면 시작 후에는 0.15~0.31℃ 까지 감소한다(Barrett 등 1993 ; Mills 등 1978). 즉, 수면이 시작되면 수면 자체가 CBT를 더 떨어뜨리는 역할을 한다(Barrett 등 1993). 말단 피부는 체온 조절에 가장 중요한 역할을 한다. 말단 피부에는 풍부한 동정맥 연결(arteriovenous anastomosis)을 통해 혈류량이 조절되며, 증가된 혈류는 단위 시간당 열 손실이 빨라져 CBT를 낮춘다. 일반적으로 말단의 체온 소실이 중심에 도달하는 데 약 25~100분의 시간이 걸리는 것으로 알려져 있다(Krauchi와 Wirz-Justice 1994). 피부 말단을 통한 체온 소실은 입면 잠복기(Sleep onset latency, SOL)를 감소시킬 뿐 아니라 서파수면에도 변화를 준다(Krauchi 등 2000 ; Sung과 Tochihara 2000). 수면의 중요

한 지표 중 하나인 SOL에 가장 큰 영향을 주는 인자는 말단 열 소실의 지표 중 하나인 말단-근위 피부 기울기(distal-proximal skin gradient, DPG)이다. 수면 경향성은 말단 열 소실이 최대화 되고 CBT가 급격하게 하락할 때 가장 높은데 발을 따뜻하게 하거나 이불을 덮는 등의 행위는 피부 혈관 확장을 통해 CBT의 소실을 촉진시키고 그 결과 SOL을 당길 수 있다(Krauchi 등 1999).

## 2) 실내온도와 수면

인간을 둘러싼 환경온도는 계절의 변화, 특정한 기상 현상, 인간의 조작 등에 의해 변하게 된다. 환경온도는 인간의 수면에 가장 큰 영향을 주는 요인 중 하나이다. 고온이나 저온에 노출되면 수면 중 각성이 잦을 뿐 아니라 서파수면이 감소된다. 이불이나 잠옷도 체온 조절에 영향을 주는데 이불을 덮지 않거나 옷을 입지 않고 자는 사람들은 흔히 저온에 노출될 가능성이 높은 반면 옷이나 이불이 너무 두꺼울 경우 고온에 노출될 가능성이 높다. 실내 온도를 너무 높이거나 낮추면 멜라토닌과 무관하게 수면의 질이 떨어지는 것은 실험을 통해 증명되었다(Karacan 등 1978). 목, 어깨, 상지와 같이 이불에 의해 덮이는 부위는 하지만 몸통 보다는 환경 온도에 더 예민하게 반응한다. 고온에 노출될 경우에는 옆으로 누는 자세가 하늘을 보고 누는 자세보다는 환경 온도에 대한 예민성이 증가되는데 매트리스에 닿는 신체 부위가 적기 때문이다.

### (1) 더위와 수면

더위로 인한 수면장애는 시간이 지나도 잘 적응되지 않으며 수면 박탈을 통해 수면의 압력을 증가시켜도 잘 회복되지 않는다(Bach 등 1994 ; Libert 등 1988). 더위는 수면을 유지하기 위해 필요한 CBT의 저하, 피부 온도의 증가, 땀을 통한 열 배출을 방해한다. 높은 온도는 피부를 통한 체온 소실을 억제하기 때문에 CBT가 낮게 유지되지 못해 정상적인 수면에 부정적이다. 16명의 건강한 젊은 성인을 대상으로 중심체온이 0.3℃ 증가될 정도로 전기 담요의 온도를 높였을 때는 수면 효율의 감소, 제 1단계 수면의 증가, 잦은 수면 단계의 변화가 나타났다(Fletcher 등 1999). 높은 온도로 인한 스트레스에는 교감신경계의 활성화로 인해 능동적 혈관 확장이 일어나고, 전신의 땀 배출이 늘어나서 피부 온도가 증가되며, 각성 역시 증가된다(Pierzga 등 2003). 습도가 더위와 관련된 가장 큰 스트레스 요인인데, 고온 다습한 환경은 각성 증가, 렘수면, 서파수면 감소, CBT 저하 방해와 관련되어 있다. 우리나라 여름의 특징인 고온 다습한 환경에서는 발한 반응을 통한 열 발산이 제대로 일어나

지 않아 항상 피부가 젖어 있고 체온조절기능이 저하되어 각성이 증가되며 서파수면이 감소될 수 있다. 실내 온도 조절을 위해 에어컨을 많이 사용하는데, 에어컨을 오랫동안 사용하면 실내 온도 저하로 인해 떨기 반응이 증가되며 이로 인해 오히려 각성이 증가될 수 있기 때문에 주의해야 한다. 에어컨을 사용하여 수면에 도움을 받으려면 피부를 건조하게 유지하고, 적절한 수준의 잠옷을 입어 떨기 반응으로 인한 수면의 영향을 예방하는 것이 좋다(Okamoto-Mizuno과 Mizuno 2012). 타바스코 같은 매운 음식 역시 CBT를 증가시켜 수면 중 각성을 증가시키고 SOL을 지연시키기 때문에 주의해야 한다(Edwards 등 1992).

### (2) 추위와 수면

추운 환경에서 잠들면 수면 중에 각성이 많이 발생한다. 옷을 입지 않고 자는 사람들, 이불을 제대로 덮지 않고 자는 사람들이 추위에 노출되면 각성이 증가되고, 렘수면과 서파수면이 줄어든다(Haskell 등 1981). 하지만 추위로 인한 수면 장애는 더위에 비해 덜 흔한데, 그 이유는 사람들이 잠을 잘 때 잠옷을 입고 이불을 덮기 때문이다. 이불을 덮을 경우 실내 온도가 13~23℃, 옷까지 입고 잘 경우 3~17℃의 범위에서는 수면의 질적 차이는 없다(Muzet 등 1984 ; Okamoto-Mizuno과 Tsuzuki 2010 ; Okamoto-Mizuno 등 2009 ; Van Someren 2006). 하지만 얼굴과 머리가 추운 환경에 노출되면 심장의 부교감 신경계의 활성화, 말초 피부의 교감신경의 활성화, 삼차신경-연수반사체계의 활성이 일어난다(Hilz 등 1999). 연수의 반사증추가 활성화되면 서맥이 나타나는 반면 말초피부의 교감신경이 활성화되면 혈관 축소, 혈압 상승, 맥박변이(heart rate variability, HRV)에서의 고주파 밴드의 증가로 인해 수면에 부정적인 영향을 준다(Hilz 등 1999). 또한 수면 중에는 제자리 뛰기, 손바닥 비비기, 떨기 등의 행동이 없기 때문에 열 생산이 저하되는데 이 역시 수면 분절과 관련이 있다(Sewitch 등 1986). 겨울에는 심장과 관련한 문제들이 많이 발생하는데 수면 중의 심근경색은 기온의 저하 뿐 아니라 낮은 방의 온도와도 관련되어 있다. 추위는 혈압을 상승시키고 동맥의 혈전 생성 인자를 활성화시킬 뿐 아니라 피브리노겐 합성을 증가시킨다(Rudnicka 등 2007). 수면 단계에 따른 자율신경계의 변화 역시 혈전 증가와 관련 있다. 결론적으로 추운 겨울에도 실내 온도는 최소 10도 이상을 유지해야 하며 특히 체온조절능력이 떨어지는 노인들에서는 실내 온도 조절이 더 중요하다. 아울러 여름 뿐 아니라 겨울에는 특히 옷, 이불을 잘 덮고 자는 것이 중요하다.

### (3) 시간대별 실내온도의 조절

실내 온도를 시간에 맞춰 조절하면 비록 빛 자극 보다는 약하지만 일주기 리듬을 조절하는 효과가 있다(Refinetti 2010). 주기적인 실내 온도의 변화를 통해 체온조절, 말단의 혈액 순환에 영향을 줄 수 있으며 CBT를 최대 143분까지 조절하는 것으로 보고되었다(Dewasmes 등 1996 ; Togo 등 2007).

### (4) 온돌과 수면

온돌은 한국의 전통적인 건축 양식으로 알려져 있다. 우리나라에서 온돌은 신석기시대부터 사용되어 왔으나 세종실록에 온돌이라는 말이 처음 등장한다. 1950년대 이후 연탄이 나무 땔감을 대신하면서 전통적 온돌 문화가 변하게 되었고 미국식 온수 순환식 바닥 난방이 들어오면서 현대식 온돌 개념의 가정용 보일러가 사용되었다. 하지만 현재까지 온돌이 수면에 어떤 영향을 끼치는지에 대한 연구는 거의 없다. 국내에서는 온돌 환경이 수면의 생리반응에 미치는 영향에 대한 연구들이 몇몇 있지만 이는 주로 이불 밑 온도, 침대 기후와 관련되어 있으며 수면 단계 등에 대한 연구는 없다(Choi과 Song 2005 ; Lee과 Kweon 1998).

### 3) 목욕과 수면

앞서 언급했듯이 말단의 체온 소실은 밤 동안의 CBT 감소의 중요한 기전이다. 따뜻한 저녁의 목욕이 나이와 무관하게 SOL을 감소시키는데 이는 목욕을 통한 CBT 저하와 관련되어 있다. 저녁 무렵의 간단한 족욕도 SOL을 감소시키는 효과가 있다(Sung과 Tochiara 2000).

### 4) 운동과 수면

운동이 수면에 미치는 영향은 CBT 조절 과정과 관련이 있다. 수면 전에 운동을 하면 CBT를 최대 2℃ 높이는 것으로 알려져 있다(Krauchi과 Wirz-Justice 1994). 운동을 통해 높아진 CBT는 이후 피부 말단을 통해 급격한 소실 과정이 일어나는데 이런 급격한 CBT의 저하가 수면 촉진과 관련이 있는 것으로 알려졌다(Krauchi과 Wirz-Justice 1994).

### 5) 약물과 체온조절, 그리고 수면

수면/각성에 영향을 미치는 약물들은 체온 조절 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 멜라토닌은 수면을 촉진시키고 CBT를 낮추며 말단의 온도를 증가시키는데 이런 변화는 외부에서 멜라토닌을 투여할 경우에도 비슷하다(Burgess 등 2001 ; Gilbert 등 1999). 멜라토닌이나 벤조디아제핀계 약물들은 CBT를 감소시키는 반면 카페인 등은 CBT를 증가시킨다(Burgess 등 2001 ; Gilbert 등 2000). 11명의 젊은 남성을 대상으로

벤조디아제핀계 수면제인 temazepam을 복용했을 때는 위약을 복용했을 때에 비해 CBT는 0.3℃ 정도 하강하였으며, SOL은 14.1분 감소한 것이 증명되었다(Gilbert 등 2000). 18명의 젊고 건강한 남성을 대상으로 한 멜라토닌과 탄수화물 식이에서도 CBT와 무관하게 체온 소실이 높아졌을 때 SOL은 짧아졌다(Krauchi 등 1999).

## 2. 수면 장애와 체온과의 관련성

수면 장애의 체온 조절에 대한 연구를 통해 수면에서 체온 조절의 역할을 알 수 있다. 입면 장애에 있는 13명의 불면증 환자와 9명의 대조군에 대한 CBT 비교 연구에서 불면증 환자는 CBT 주기가 약 2.5시간 지연된 것으로 보고되었다(Morris 등 1990). 말초 혈관 확장 능력의 저하로 인한 열 손실 능력의 손상 역시 입면 장애와 관련이 있는데, 32명의 혈관 연축 증후군(vasospastic syndrome)환자와 31명의 건강한 대조군의 비교에서는 혈관 연축 증후군 환자들의 입면 시간이 유의하게 증가되었다(Pache 등 2001).

노인들은 불면증 같은 수면 장애의 발생 빈도가 높는데, 이 또한 체온조절능력의 저하와 관련이 있다. 수면 장애가 있는 노인들은 CBT 리듬이 0.75~2시간 정도 전진되어 있어서 CBT의 저하가 일어난 이후 수면을 취하는 경향이 있다(Czeisler 등 1992 ; Duffy 등 1998). 불면증이 있는 노인들은 또한 CBT의 저하 능력이 손상되기 쉽다(Lushington 등 2000 ; Weitzman 등 1982). 기면병 환자들 역시 CBT조절 능력이 정상인과 다른데, 8명의 제 1형 기면병 환자와 대조군의 비교에서 기면병 환자는 낮 동안의 CBT, 근위부 피부 온도가 유의하게 낮았으며, sodium oxybate를 투여했을 때는 정상화되었다(van der Heide 등 2015).

## 결 론

수면은 시상하부를 중심으로 고도로 자율화된 뇌의 작용과 연관되어 나타나는 생리적 현상이다. 수면을 시작하고 유지하는 데는 CBT의 변화가 밀접하게 연관되어 있다. CBT의 변화는 내적 일주기 리듬과 연관되어 있지만 기온, 실내도, 의복, 인간의 활동, 약물 등 다양한 외적 요인들과도 밀접하게 연관되어 있다. 이들 요인들은 수면의 질적, 양적인 영향뿐 아니라 수면의 분절, 불면증 및 다른 수면질환들과도 밀접하게 연관되어 있으며 수면질환의 치료에도 유용하게 활용할 수 있다. 인간을 둘러싼 환경, 인간의 의복, 주거공간과 관련된 온도, 습도가 인간의 CBT와 수면에 미치는 영향에 대한 이해를 높이면 수면의 생리를 이해하고 수면질환을 치료하는데 유용할 것으로 생각한다.

## REFERENCES

- Alam MN, McGinty D, Szymusiak R. Preoptic/anterior hypothalamic neurons: thermosensitivity in wakefulness and non rapid eye movement sleep. *Brain Res* 1996;718:76-82.
- Bach V, Maingourd Y, Libert JP, Oudart H, Muzet A, Lenzi P, et al. Effect of continuous heat exposure on sleep during partial sleep deprivation. *Sleep* 1994;17:1-10.
- Barrett J, Lack L, Morris M. The sleep-evoked decrease of body temperature. *Sleep* 1993;16:93-99.
- Boulant JA. Role of the preoptic-anterior hypothalamus in thermoregulation and fever. *Clin Infect Dis* 2000;31 Suppl 5:S157-161.
- Boulant JA, Bignall KE. Hypothalamic neuronal responses to peripheral and deep-body temperatures. *Am J Physiol* 1973;225:1371-1374.
- Burgess HJ, Sletten T, Savic N, Gilbert SS, Dawson D. Effects of bright light and melatonin on sleep propensity, temperature, and cardiac activity at night. *J Appl Physiol* (1985) 2001;91:1214-1222.
- Campbell S. Is there an intrinsic period of the circadian clock? *Science* 2000;288:1174-1175.
- Choi J-W, Song E-Y. Thermophysiological Responses of Korean During Night Sleep on Bed or Ondol. *J Korean Soc Living Environ Sys* 2005;12:56-66.
- Czeisler CA, Dumont M, Duffy JF, Steinberg JD, Richardson GS, Brown EN, et al. Association of sleep-wake habits in older people with changes in output of circadian pacemaker. *Lancet* 1992;340:933-936.
- Dew MA, Hoch CC, Buysse DJ, Monk TH, Begley AE, Houck PR, et al. Healthy older adults' sleep predicts all-cause mortality at 4 to 19 years of follow-up. *Psychosom Med* 2003;65:63-73.
- Dewasmes G, Bothorel B, Candas V, Libert JP. A short-term poikilothermic period occurs just after paradoxical sleep onset in humans: characterization changes in sweating effector activity. *J Sleep Res* 1997;6:252-258.
- Dewasmes G, Signoret P, Nicolas A, Ehrhart J, Muzet A. Advances of human core temperature minimum and maximal paradoxical sleep propensity by ambient thermal transients. *Neurosci Lett* 1996;215:25-28.
- Dijk DJ, Duffy JF, Czeisler CA. Contribution of circadian physiology and sleep homeostasis to age-related changes in human sleep. *Chronobiol Int* 2000;17:285-311.
- Duffy JF, Dijk DJ, Klerman EB, Czeisler CA. Later endogenous circadian temperature nadir relative to an earlier wake time in older people. *Am J Physiol* 1998;275:R1478-1487.
- Edwards SJ, Montgomery IM, Colquhoun EQ, Jordan JE, Clark MG. Spicy meal disturbs sleep: an effect of thermoregulation? *Int J Psychophysiol* 1992;13:97-100.
- Fletcher A, van den Heuvel C, Dawson D. Sleeping with an electric blanket: effects on core temperature, sleep, and melatonin in young adults. *Sleep* 1999;22:313-318.
- Gilbert SS, Burgess HJ, Kennaway DJ, Dawson D. Attenuation of sleep propensity, core hypothermia, and peripheral heat loss after temazepam tolerance. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2000;279:R1980-1987.
- Gilbert SS, van den Heuvel CJ, Dawson D. Daytime melatonin and temazepam in young adult humans: equivalent effects on sleep latency and body temperatures. *J Physiol* 1999;514 (Pt 3):905-914.
- Gilbert SS, van den Heuvel CJ, Ferguson SA, Dawson D. Thermoregulation as a sleep signalling system. *Sleep Med Rev* 2004;8:81-93.
- Gong H, Szymusiak R, King J, Steininger T, McGinty D. Sleep-related c-Fos protein expression in the preoptic hypothalamus: effects of ambient warming. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2000;279:R2079-2088.
- Guzman-Marin R, Alam MN, Szymusiak R, Drucker-Colin R, Gong H, McGinty D. Discharge modulation of rat dorsal raphe neurons during sleep and waking: effects of preoptic/basal forebrain warming. *Brain Res* 2000;875:23-34.
- Haskell EH, Palca JW, Walker JM, Berger RJ, Heller HC. The effects of high and low ambient temperatures on human sleep stages. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1981;51:494-501.
- Hasler G, Buysse DJ, Klaghofer R, Gamma A, Ajdacic V, Eich D, et al. The association between short sleep duration and obesity in young adults: a 13-year prospective study. *Sleep* 2004;27:661-666.
- Hilz MJ, Stemper B, Sauer P, Haertl U, Singer W, Axelrod FB. Cold face test demonstrates parasympathetic cardiac dysfunction in familial dysautonomia. *Am J Physiol* 1999;276:R1833-1839.
- Jennings JR, Reynolds CF, 3rd, Bryant DS, Berman SR, Buysse DJ, Dahl RE, et al. Peripheral thermal responsiveness to facial cooling during sleep. *Psychophysiology* 1993;30:374-382.
- Karacan I, Thornby JI, Anch AM, Williams RL, Perkins HM. Effects of high ambient temperature on sleep in young men. *Aviat Space Environ Med* 1978;49:855-860.
- Krauchi K, Cajochen C, Werth E, Wirz-Justice A. Warm feet promote the rapid onset of sleep. *Nature* 1999;401:36-37.
- Krauchi K, Cajochen C, Werth E, Wirz-Justice A. Functional link between distal vasodilation and sleep-onset latency? *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2000;278:R741-748.
- Krauchi K, Cajochen C, Wirz-Justice A. A relationship between heat loss and sleepiness: effects of postural change and melatonin administration. *J Appl Physiol* (1985) 1997;83:134-139.
- Krauchi K, Wirz-Justice A. Circadian rhythm of heat production, heart rate, and skin and core temperature under unmasking conditions in men. *Am J Physiol* 1994;267:R819-829.
- Lack L, Gradisar M. Acute finger temperature changes preceding sleep onsets over a 45-h period. *J Sleep Res* 2002;11:275-282.
- Lee H, Cho CH, Kim L. Human circadian rhythms. *Sleep Med Psychophysiol* 2014;21:51-60.
- Lee SJ, Park CS, Kim BJ, Lee CS, Cha B, Lee D. Sleep and resilience. *Sleep Med Psychophysiol* 2015;22:53-56.
- Lee SW, Kweon SA. Effect of Ondol on Physiological Responses during Sleeping (IV). *Korean J Human Ecol* 1998;7:183-195.
- Libert JP, Di Nisi J, Fukuda H, Muzet A, Ehrhart J, Amoros C. Effect of continuous heat exposure on sleep stages in humans. *Sleep* 1988;11:195-209.
- Lushington K, Dawson D, Lack L. Core body temperature is elevated during constant wakefulness in elderly poor sleepers. *Sleep* 2000;23:504-510.
- Manabe K, Matsui T, Yamaya M, Sato-Nakagawa T, Okamura N, Arai H, et al. Sleep patterns and mortality among elderly patients in a geriatric hospital. *Gerontology* 2000;46:318-322.
- McGinty D, Szymusiak R. Keeping cool: a hypothesis about the mechanisms and functions of slow-wave sleep. *Trends Neurosci* 1990;13:480-487.
- Mills JN, Minors DS, Waterhouse JM. The effect of sleep upon human circadian rhythms. *Chronobiologia* 1978;5:14-27.
- Morris M, Lack L, Dawson D. Sleep-onset insomniacs have delayed temperature rhythms. *Sleep* 1990;13:1-14.
- Muzet A, Libert JP, Candas V. Ambient temperature and human sleep. *Experientia* 1984;40:425-429.

- Okamoto-Mizuno K, Mizuno K. Effects of thermal environment on sleep and circadian rhythm. *J Physiol Anthropol* 2012;31:14.
- Okamoto-Mizuno K, Mizuno K, Michie S, Maeda A, Iizuka S. Effects of humid heat exposure on human sleep stages and body temperature. *Sleep* 1999;22:767-773.
- Okamoto-Mizuno K, Tsuzuki K. Effects of season on sleep and skin temperature in the elderly. *Int J Biometeorol* 2010;54:401-409.
- Okamoto-Mizuno K, Tsuzuki K, Mizuno K, Ohshiro Y. Effects of low ambient temperature on heart rate variability during sleep in humans. *Eur J Appl Physiol* 2009;105:191-197.
- Okamoto K, Iizuka S, Okudaira N. The effects of air mattress upon sleep and bed climate. *Appl Human Sci* 1997;16:97-102.
- Pache M, Krauchi K, Cajochen C, Wirz-Justice A, Dubler B, Flammer J, et al. Cold feet and prolonged sleep-onset latency in vasospastic syndrome. *Lancet* 2001;358:125-126.
- Palca JW, Walker JM, Berger RJ. Thermoregulation, metabolism, and stages of sleep in cold-exposed men. *J Appl Physiol* (1985) 1986;61:940-947.
- Parmeggiani PL. Interaction between sleep and thermoregulation: an aspect of the control of behavioral states. *Sleep* 1987;10:426-435.
- Pierzga JM, Frymoyer A, Kenney WL. Delayed distribution of active vasodilation and altered vascular conductance in aged skin. *J Appl Physiol* (1985) 2003;94:1045-1053.
- Ramesh V, Kumar VM, John J, Mallick H. Medial preoptic alpha-2 adrenoceptors in the regulation of sleep-wakefulness. *Physiol Behav* 1995;57:171-175.
- Refinetti R. Entrainment of circadian rhythm by ambient temperature cycles in mice. *J Biol Rhythms* 2010;25:247-256.
- Rudnicka AR, Rumley A, Lowe GD, Strachan DP. Diurnal, seasonal, and blood-processing patterns in levels of circulating fibrinogen, fibrin D-dimer, C-reactive protein, tissue plasminogen activator, and von Willebrand factor in a 45-year-old population. *Circulation* 2007;115:996-1003.
- Sewitch DE, Kittrell EM, Kupfer DJ, Reynolds CF, 3rd. Body temperature and sleep architecture in response to a mild cold stress in women. *Physiol Behav* 1986;36:951-957.
- Sherin JE, Shiromani PJ, McCarley RW, Saper CB. Activation of ventrolateral preoptic neurons during sleep. *Science* 1996;271:216-219.
- Sung EJ, Tochihara Y. Effects of bathing and hot footbath on sleep in winter. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 2000;19:21-27.
- Szymusiak R. Magnocellular nuclei of the basal forebrain: substrates of sleep and arousal regulation. *Sleep* 1995;18:478-500.
- Togo F, Aizawa S, Arai J, Yoshikawa S, Ishiwata T, Shephard RJ, et al. Influence on human sleep patterns of lowering and delaying the minimum core body temperature by slow changes in the thermal environment. *Sleep* 2007;30:797-802.
- van den Heuvel CJ, Noone JT, Lushington K, Dawson D. Changes in sleepiness and body temperature precede nocturnal sleep onset: evidence from a polysomnographic study in young men. *J Sleep Res* 1998;7:159-166.
- van der Heide A, Donjacour CE, Pijl H, Reijntjes RH, Overeem S, Lammers GJ, et al. The effects of sodium oxybate on core body and skin temperature regulation in narcolepsy. *J Sleep Res* 2015;24:566-575.
- Van Someren EJ. Mechanisms and functions of coupling between sleep and temperature rhythms. *Prog Brain Res* 2006;153:309-324.
- Weitzman ED, Moline ML, Czeisler CA, Zimmerman JC. Chronobiology of aging: temperature, sleep-wake rhythms and entrainment. *Neurobiol Aging* 1982;3:299-309.
- Zulley J, Wever R, Aschoff J. The dependence of onset and duration of sleep on the circadian rhythm of rectal temperature. *Pflugers Arch* 1981;391:314-318.