

수면 단계 및 각성 스코어링 규칙



김 대 영

충남대학교 의과대학 충남대학교병원 신경과

Sleep staging and arousal rules

Daeyoung Kim, MD, PhD

Department of Neurology, Chungnam National University School of Medicine, Chungnam National University Hospital

Scoring of sleep stages and arousals constitute backbone of interpretation of polysomnography. The American Academy of Sleep Medicine (AASM) Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events divides sleep into four distinct stages: Stage N1 (formerly stage 1 sleep of Rechtschaffen and Kales rules), stage N2 (formerly stage 2), stage N3 (formerly stage 3 and 4), and stage R sleep (formerly stage REM sleep). Each stage of sleep is rather a gradual transition than distinct entities. In this review, the author describes rules for scoring sleep stages and arousals according to the latest version 2.6 of the AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events.

수면의 단계와 각성의 스코어링은 수면다원검사의 판독의 근간에 해당한다. 수면 단계의 스코어링에 관하여 수면 연구자들의 합의에 의한 첫 번째 규칙은 1968년 발표된 Rechtschaffen and Kales sleep scoring manual로, 흔히 R and K rules로 알려져있다.¹ R and K rules는 수면을 1단계, 2단계, 3단계, 4단계, REM 단계의 다섯 단계로 나누었다. R and K rules가 발표된지 35년 가량이 지난 2004년경부터 American Academy of Sleep Medicine (AASM)에서 스코어링 규칙의 개정 작업에 착수하였고, 2007년 The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications가 발표되었다.² AASM의 개정된 지침은 수면 검사실간의 균일성과 개념적 간결성을 높이는데 주안을 두었으며, 수면을 N1 단계(구 1단계), N2 단계(구 2단계) N3 단계(구 3단계와 4단계), R 단계(구 REM 단계)의 네 단계로 나누었다. 수면 감시 기술의 발달과 2007년 AASM 스코어링 지침에 따른 해석에

서의 문제점들을 반영하여 새로운 개정이 이루어졌다.³ 이 개정판은 또한 디지털 정보 기술의 확산을 반영하여 전자문서로 제작되었고, 이에 통상적인 2판이 아닌 버전 2.0으로 발표되었으며, 필요에 따라 빠르게 개정이 이루어져 현재 최신 개정판은 버전 2.6이다.⁴ 본 종설에서는 AASM 스코어링 지침 버전 2.6에 기반하여 성인에서의 수면 단계와 각성의 스코어링을 소개한다.

수면 단계 스코어링 일반

성인의 수면다원검사 단계는 W (각성), N1 (NREM 1), N2 (NREM 2), N3 (NREM 3), R (REM)의 다섯 가지 용어로 분류한다. 수면다원검사 기록은 검사 시작 시점에서부터 연속적인 30초 epoch으로 나누며, 각각의 epoch에 대하여 단계를 스코어링한다. 만약 하나의 epoch에 두 가지 이상의 수면 단계가 존재한다면, 더 많은 부분을 차지하는 단계로 스코어링한다. 만약 하나의 epoch에 세 개 이상의 다른 단계에 합당한 부분이 있다면, 우선 해당 단계에서 N1, N2, N3, R에 해당하는 부위가 더 많다면 해당 epoch을 수면으로 스코어링한 후, 수면에 해당하는 부분에서 더 많은 부분을 차지하는 단계로 스코어링한다. 수면 단계를 스코어링하는데 있어 뇌

Daeyoung Kim, MD, PhD

Department of Neurology Chungnam National University School of Medicine, Chungnam National University Hospital 282 Munhwa-ro, Jungu, Daejeon 35015, Republic of Korea E-mail: bigbread.kim@gmail.com

파 주파수 대역은 다음과 같이 정의한다: 델타파는 0-3.99 Hz이고, 세타파는 4-7.99 Hz, 알파파는 8-13 Hz, 베타파는 13 Hz 초과이다.

수면 단계 스코어링을 위한 주요한 용어들은 다음과 같다.

- 알파리듬(alpha rhythm): 눈을 감고 있을 때 후두부에서 8-13 Hz의 사인파 모양으로 나타나며, 눈을 뜨면 감약(attenuation)되는 패턴
- 저진폭 혼잡주파수(low-amplitude, mixed-frequency, LAMF) 뇌파 활동: 낮은 진폭의 4-7 Hz가 주를 이루는 활동
- 서파활동(slow wave activity): 0.5-2.0 Hz이고 전두부에서 측정된 peak-to-peak 진폭이 75 μ V를 초과하는 파형.
- Vertex sharp waves (V waves): 중심부 위에서 최고진폭을 보이며 배경파에서 뚜렷이 구분되는 지속시간 0.5초 미만의 날카로운 파형(N1 수면에서 가장 흔히 보이지만 N2 수면에서도 나타날 수 있음)
- K 복합체(K complex): 배경파에서 두드러지게 관찰되고, 음전위의 예파 바로 다음에 양전위가 뒤따르며, 지속시간은 0.5초 이상. 대개 전두부 유도에서 가장 큰 진폭으로 나타난다. K 복합체와 동시에 혹은 K 복합체의 종료 1초 이내에 각성이 나타날 경우 각성과 연관된 K 복합체라 한다.
- 수면방추: 일련의 두드러지는 사인파 모양의 파형으로 주파수는 11-16 Hz (흔히는 12-14 Hz)이며 지속시간은 0.5초 이상이고, 대체로 중심 유도에서 최대 진폭을 보임
- 톱니파(sawtooth waves): 뇌파에서 일련의 날카로운 윤곽의 혹은 삼각형 모양의 톱니 같은 2-6 Hz의 파형으로, 중심부에서 가장 큰 진폭을 보이며, 늘 그런 것은 아니지만 흔히 빠른 눈 운동에 선행하여 나타난다
- 눈깜빡임(eye blinks): 각성 중 눈을 뜨거나 감음에 의해 나타나는 0.5-2 Hz 빈도의 동향 수직 눈운동
- 읽기 눈 운동(reading eye movements): 책 등을 읽을 때 나타나는 한 쪽 방향으로의 느리게, 그리고 반대 방향으로의 빠르게 나타나는 일련의 동향 눈 운동.
- 빠른 눈 운동(rapid eye movement, REM): 안전도에서 기록되는 동향의 불규칙하고 정점이 날카로운 눈 운동으

로 파형의 최초 편위의 지속 시간이 500 msec 미만인 것. R 단계 수면의 특징임과 동시에 각성 중 사람이 주변 환경을 훑어볼 때 관찰된다.

- 느린 눈 운동(slow eye movement, SEM): 동향의 규칙적이고 사인파 모양의 눈 운동으로 대개 최초 편위의 지속 시간이 500 msec를 넘는다. 각성시와 N1 단계에서 모두 보일 수 있다.
- 수면 개시(sleep onset): W 단계가 아닌 수면 단계가 처음 나타나는 epoch
- 낮은 턱 근전도 긴장(low chin EMG tone): 턱 유도에서 기저 근전도 활동이 다른 어떤 수면 단계보다 높지 않은 상태로, 대개 기록 전체에서 가장 낮은 수준
- 일시적 근육 활동(transient muscle activity): 짧고 불규칙한 돌발성 근전도 활동으로 지속시간은 대개 0.25초 미만이다. 턱이나 전경 근전도에서 관찰되나 뇌파나 안전도에서도 보일 수 있다. 흔히 R 단계에서 REM과 연관되어 최고치로 나타난다.
- 주요 몸 운동(major body movement): 한 epoch의 과반에서 움직임과 근육 잡파가 뇌파를 가려서 수면 단계를 결정할 수 없는 것

W 단계의 스코어링

W 단계는 각성 상태를 말하는데, 완전히 명료한 상태에서부터 drowsiness의 초기단계까지 포함한다. 따라서 drowsiness의 표지자는 W 단계에서도 나타날 수 있고 N1 단계까지 지속될 수도 있다. 각성 단계에서 중요한 뇌파 파형 중 하나는 알파리듬이다. 하지만 약 10%의 사람에서는 눈을 감고 있어도 알파리듬이 나타나지 않아 눈을 감을 때나 뜰 때나 비슷한 후두부 뇌파 활동을 보인다. 각성 중 흔히 보이는 안구 운동은 눈깜빡임, 읽기 눈 운동, REM이며, drowsiness에서 동반되는 SEM은 W 단계와 N1 단계 모두에서 나타날 수 있다.

하나의 epoch의 50% 넘는 부분에서 알파리듬이 관찰되면 W 단계로 스코어링한다. 혹은 하나의 epoch의 50% 넘는 부분에서 눈깜빡임이나 읽기 눈 운동, 혹은 REM이 정상적인 혹은 증가된 턱근육긴장과 함께 나타날 때도 W 단계로 스코어링한다. W 단계에서의 턱 근전도는 다양하게 나타나지만 통상 수면 단계들 보다는 높은 활동을 보인다. 환자와 기록장비간의 연결이 끊긴 상태는 W 단계로 스코어링한다.

N1 단계의 스코어링

알파리듬을 보이는 사람에서 한 epoch의 50% 넘는 부분에서 알파리듬이 약화되고 LAMF 뇌파 활동으로 바뀌면 N1 단계로 스코어링한다. 만약 알파리듬이 나타나지 않는 사람이라면, 배경파가 4-7 Hz의 범위이면서 W 단계보다 1 Hz 이상 느려졌을 때, 혹은 V wave가 관찰될 때, 혹은 느린 눈 움직임이 관찰될 때 해당 epoch을 N1으로 스코어링한다. 여기서, 신경학적 질환에 의해 나타나는 병적 서파를 배경파가 1 Hz 이상 느려지는 것으로 오인해서는 안된다.

Epoch의 가장 많은 부분이 N1의 기준(뇌파에서 LAMF 뇌파 활동을 보임)에 맞고, 다른 수면 단계의 근거가 없다면 N1으로 스코어링한다. 이후 따라오는 epoch도 LAMF 뇌파 활동을 보이고 다른 수면 단계의 근거가 나타나기 전까지는 N1으로 스코어링한다. 만약 N2 수면 중 각성이 나타날 경우, 이후의 부분에서 LAMF 뇌파 활동이 지속되나 N2 수면의 근거가 나타나지 않는다면 N1으로 스코어링한다. R 단계 수면 중에서도 각성이 나타난 후 LAMF 뇌파 활동이 지속되는 경우, 턱 근전도 활동 저하가 지속된다 해도 다른 수면 단계의 근거가 없다면 N1으로 scoring한다.

N2 단계의 스코어링

한 epoch의 전반부 혹은 직전 epoch의 후반부에서 (1) 하나 이상의 각성과 연관되지 않은 K 복합체, 혹은 (2) 하나 이상의 수면방추 중 하나가 나타나는 경우 N2 단계로 스코어링하며, 이를 definite N2 단계라 한다. N1 단계가 지속되다가 각성과 연관된 K 복합체가 나타나고 그 외에 N2 수면에 부합하지 않는다면 계속 N1 단계로 스코어링한다. 한 epoch의 가장 많은 부분이 N2 단계의 기준에 만족하면 N2 단계로 스코어링하고, 만약 각성과 연관되지 않은 K 복합체나 수면방추가 나타난 이후에 해당 epoch나 이후의 epoch에서 각성이 나타난다면 각성이 나타나기 전까지는 N2로 스코어링한다. N2 epoch 이후 epoch들이 LAMF 뇌파 활동을 유지하고 각성이 없다면 비록 각성과 연관되지 않은 K 복합체나 수면방추가 없다 해도 계속 N2로 스코어링한다. N3 단계 epoch에 뒤따르는 epoch이 더 이상 N3 단계를 만족하지 않을 경우, 각성이 없고 W나 R 단계를 만족하지 않는다면 N2로 스코어링한다. N2 단계의 수면에서는 일부 예외적인 사람들이 있기는 하나 SEM이 거의 없다. 다음 중 한가지가 나타난다면 N2 수면이 종료된다: (1) W 단계로의 이행, (2) 각성이 나타

난 이후 지속되는 LAMF 뇌파 활동(이 경우 각성과 연관되지 않은 K 복합체나 수면방추가 다시 나타나기 전까지는 N1 단계로 스코어링한다), (3) 주요 몸 움직임이 나타난 후 SEM과 LAMF 뇌파 활동이 지속되면서 각성과 연관되지 않은 K 복합체나 수면방추가 없는 경우(이 경우 N1으로 스코어링하고, 만약 주요 몸 움직임 이후 SEM이 없이 LAMF 뇌파 활동만 지속된다면 N2로 계속 스코어링한다), (4) N3 단계로의 이행, (5) R 단계로의 이행. 만약 N2 단계의 기준과 R 단계의 기준이 충돌한다면, R 단계의 기준이 우선된다.

N3 단계의 스코어링

한 epoch의 20% 이상에서 서파활동이 나타난다면 N3 단계로 스코어링한다. K 복합체도 서파활동의 기준에 부합한다면 서파로 간주한다. 그러나 신경학적 질환에 의해 나타나는 병적 서파는 서파활동의 기준에 부합한다 하더라도 수면의 서파활동으로 보아서는 안된다. 마찬가지로 잡파나 뇌에서 기인하지 않은 파형들 또한 서파활동의 스코어링에 포함되지 않아야 한다. N3 단계에서도 수면방추는 나타날 수 있다. N3 수면에서는 대개 눈움직임이 없다. 턱 근전도 진폭은 다양할 수 있으나 대체로 N1이나 N2 수면보다 낮고 때로는 R 수면만큼 낮다.

R 단계의 스코어링

한 epoch에서 다음 세 가지가 모두 나타날 경우 R 단계로 스코어링한다: (1) LAMF 뇌파 활동을 보이고 K 복합체나 수면방추가 없음, (2) epoch의 과반에서 낮은 턱 근전도 긴장을 보이며 REM이 동반됨, (3) REM은 해당 epoch의 어느 위치에 있어도 무방. 이상의 기준에 의해 스코어링된 epoch을 definite R 단계라 한다.

한 epoch이 R 단계로 scoring되었다면, 그 직전 epoch에서 REM이 없더라도 다음을 모두 만족한다면 R 단계로 스코어링한다: (1) LAMF 뇌파 활동을 보이며 K 복합체나 수면방추가 없음, (2) 턱 근전도 긴장이 R 단계 수준으로 낮음, (3) 각성이 없음, (4) 각성이나 W 단계에 뒤따르는 SEM이 없음. R 단계에서의 LAMF 뇌파 활동은 N1 수면의 그 것과 유사하다. 그러나 일부에서는 R 단계에서 N1 단계보다 알파 활동이 더 많이 보일 수 있다. 그러나 R 단계에서의 알파 활동은 W 단계보다는 1-2 Hz 느린 것이 보통이다. SEM은 R 단계에서 나타날 수 있지만 각성 이후에 SEM이 나타난다면

이는 (비록 턱 근전도 긴장이 낮다 해도) N1 수면으로의 이행을 시사한다. 톱니파와 일시적 근육 활동은 R 단계의 스코어링 기준에는 포함되어 있지 않지만 R 수면을 강하게 시사하는 소견이기 때문에 스코어링에 있어 의문이 있을 때 도움이 될 수 있다. Definite R 단계로 스코어링 된 epoch 이후의 epoch에서는 REM이 없더라도 (1) LAMF 뇌파 활동을 보이고 K 복합체나 수면방추가 없으며, (2) epoch 과반에서 턱 근전도 긴장이 이전 R 수면 수준으로 낮고, (3) 각성이 없다면, (즉, 앞선 세 가지 기준을 다 만족한다면) 계속 R 단계로 스코어링한다. 한 epoch의 대다부분이 R 단계의 기준에 맞을 경우 해당 epoch은 R 단계로 스코어링하며, R 단계에 대한 규칙은 N2에 대한 규칙에 우선하여 적용된다.

다음 중 한가지 이상을 보일 경우 R 단계는 종료된다: (1) W 단계 혹은 N3 단계로의 이행, (2) epoch의 과반에서 턱 근전도 긴장이 기존 R 단계를 넘는 수준으로 증가하고 N1 단계의 기준을 충족함, (3) 각성 이후에 LAMF 뇌파 활동과 SEM이 나타남(이 경우 N1으로 스코어링한다; 만약 각성 이후 SEM이 없고 턱 근전도 긴장이 계속 낮다면 R 단계로 스코어링한다), (4) 주요 몸 움직임 이후 LAMF 뇌파 활동과 SEM이 나타나고 각성과 연관되지 않은 K 복합체나 수면방추가 없음(이 경우 N1 단계로 스코어링한다; SEM이 없고 턱 근전도 긴장이 계속 낮다면 R 단계로 스코어링한다; 그 외에 주요 몸 움직임을 스코어링 규칙을 따른다), (5) 턱 근전도 긴장이 여전히 낮다 해도 REM이 없고 하나 이상의 각성과 연관되지 않은 K 복합체나 수면방추가 epoch의 전반에 있을 경우. 턱 근전도 긴장이 낮고 REM이 있으면서 수면방추나 K 복합체가 있는 경우에는 다음과 같이 스코어링한다: (1) 두 개의 K 복합체 사이에, 두 개의 수면방추 사이에, 혹은 K 복합체와 수면방추 사이에 REM이 없다면 그 구간은 N2 단계로 간주하고, (2) REM이 있고 K 복합체나 수면방추가 없고 턱 근전도 긴장이 턱 근전도 긴장이 R 단계 수준으로 낮을 경우 R 단계로 간주하며, (3) 만약 epoch의 과반 부분이 N2 단계로 간주되면 N2 단계로 스코어링하며 epoch의 과반 부분이 R 단계로 간주된다면 R 단계로 스코어링한다.

주요 몸 운동을 포함한 epoch의 스코어링

만약 epoch 일부에서 알파리듬이 관찰된다면 W 단계로 스코어링한다. 만약 알파리듬이 식별되지 않는다 해도 직전이나 직후 epoch을 W 단계로 스코어링할 수 있다면 해당 epoch도 W 단계로 스코어링한다. 그 외의 경우에는 직후

epoch과 같은 단계로 스코어링한다.

각성 스코어링 규칙

N1, N2, N3, 혹은 R 단계에서 최소 10초 이상의 안정적인 수면이 있다가 갑작스럽게 뇌파 주파수가 알파, 세타, 그리고 /혹은 16 Hz 넘는(다만 수면방추가 아니어야 한다) 주파수로 변화하고, 이 변화가 3초 이상 지속될 경우 각성으로 스코어링한다. R 단계에서는 각성을 스코어링하기 위해서는 전술한 조건에 추가로 1초 이상의 턱 근전도 긴장 증가가 동반되어야 한다. 각성 전에 10초 이상의 안정적인 수면은 해당 epoch이 아닌 직전 epoch에 있더라도, 그리고 직전 epoch이 W 단계라도 무방하다. 각성의 스코어링에는 전두부, 중심부, 그리고 후두부 유도들을 종합적으로 보아야 한다. 각성의 스코어링을 향상시키기 위해서 수면 사건이나 다른 뇌파 채널에서 추가적인 정보를 사용할 수 있다. 그러나 전술한 각성의 기준을 배제하고 이러한 추가적인 정보만으로 각성을 스코어링하거나 전술한 각성의 기준에 의해 스코어링한 각성을 배제해서는 안된다. 전술한 스코어링 기준을 충족하는 각성은 비록 각성 단계라 해도 각성으로 스코어링하고 각성지수 계산에 포함되어야 한다. 각성이 W 단계로의 이행에 바로 선행할 때에도 역시 각성을 스코어링할 수 있다.

결론

수면다원검사의 여러 사건들의 스코어링은 수면 단계, 그리고 각성과의 시간적 연관 여부에 크게 영향을 받는다. 수면다원검사의 해석을 위해서는 수면 단계와 각성에 대한 이해와 적절한 스코어링 능력이 전제되어야 한다.

References

1. Rechtschaffen A, Kales A. A manual of standardized terminology, techniques, and scoring system for sleep stages of human participants. Los Angeles, CA: University of California 1968.
2. Iber C, Iber C. The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications. American Academy of Sleep Medicine Westchester, IL, 2007.
3. American Academy of Sleep Medicine. The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications, Version 2.0. American Academy of Sleep Medicine 2012.
4. American Academy of Sleep Medicine. The AASM Manual

for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules,
Terminology and Technical Specifications, Version 2.6.

American Academy of Sleep Medicine 2020.