



睡眠



を学ぶ

ための

基礎講座

榎本 みのり

第4回

その他の睡眠評価法

はじめに

近年では在宅において自身の睡眠状態を評価するスマートフォンアプリなどが非常に増えており、健康志向の高まりの中で個人個人自分の睡眠状態を把握することに関心が高まっている。睡眠を評価するGold Standardは終夜睡眠ポリグラフ(polysomnography : PSG)である。本連載でもこれまで夜間の睡眠評価(睡眠ポリグラフ検査)および眠気の評価法(MSLT・MWT)について解説されている。本稿ではそれ以外の睡眠分野や睡眠医療で使用されている眠気を含めた睡眠評価方法をいくつか紹介する。

1. アクチグラフなどのウェアラブルデバイス

詳細な睡眠段階を客観的に評価するには脳波を

使ったPSG測定が必須である。しかし、装着も煩雑であるし、被検者の負担もデータ取得後の解析の負担も大きい。被検者の睡眠環境に侵襲せずに長期間記録するにはアクチグラフなどのウェアラブルデバイスは有用である。アクチグラフとは活動量計のことで、最初の報告は1972年で、Kupfer DJらが加速度計を用いて睡眠を測定する方法について報告している¹⁵⁾。その後、機器の小型化、軽量化、データ容量の増量化などのセンサーテクノロジーの発展に伴い、睡眠障害の診断分野でも広く使われるようになった。

アクチグラフは、内部に加速度計が内蔵されており、腕もしくは体幹などに装着して睡眠か覚醒かを判定する。アクチグラフの内部に内蔵されている加速度計(一～三次元)が被検者の活動量を測定し、その活動量を判定アルゴリズムの計算式を用いて測定エポックごとに睡眠/覚醒を判定することができる。計算式の1つとして、腰に装着

表1 アクチグラフを使って算出できる睡眠変数 (Fekedulegnら⁸⁾ を参照に作成)

	変数名	算出方法	備考
長さの指標	総床上時間(TIB)		消灯時刻から点灯時刻まで
	睡眠区間(SPT)		入眠時刻から最終覚醒時刻まで
潜時	入眠潜時(SOL)		消灯時刻から入眠時刻まで
睡眠量に関する指標	Sleep minutes during TIB (SMIN)	$= \sum_{i=1}^n (\text{sleep score})_i$	いわゆる総睡眠時間(TST)
	Percent sleep (PSLP)	$= (\text{SMIN}/\text{SPT}) \times 100$	睡眠区間(SPT)中のSMIN(TST)の割合
	睡眠効率(SE)	$= (\text{SMIN}/\text{TIB}) \times 100$	TIB中のSMIN(TST)の割合
覚醒量に関する指標	Wake minutes during TIB (WMIN)	$= n - \sum_{i=1}^n (\text{sleep score})_i$	TIB中の合計覚醒時間(TIBからSMIN(TST)を引いたもの)
	入眠後覚醒(WASO)		SPT中の合計覚醒時間
	Wake episodes (WEPs)		連続した覚醒エピソードの回数
活動量を使った指標	Mean activity during TIB (AMEAN)	$= \frac{\sum_{i=1}^n ZCM_i}{n}$	値が高いほどdisturbed sleep
	Median activity during TIB (AMED)		値が高いほどdisturbed sleep
	Activity standard deviation during TIB (ASD)	$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ZCM_i - \text{AMEAN})^2}{n-1}}$	値が高いほど不安定

表内の算出方法はアクチグラフでの測定間隔(1エポック)が1分のものである。Sleep score = 睡眠と判定されたエポック, ZCM = エポックあたりの平均活動量。

(Fekedulegn Dら⁸⁾の論文内ではzero crossing modeで測定された活動量を想定している)

するタイプのFS-760(アコーズ社製)の小児用睡眠/覚醒計算式⁷⁾を示す。

$$z = 0.108294x_1 + 0.147294x_2 + 0.230126x_3 + 0.099353x_4 + 0.059580x_5$$

x_3 は、当該エポックの活動量、 x_1 、 x_2 、 x_4 、 x_5 は、それぞれその前後の2エポックの活動量を表している。FS-760では1エポックが2分であるため、この判別式では当該エポックを含めて合計10分の活動量を判定に用いる。計算の結果、 $z \geq 1$ となった場合は覚醒、 $z < 1$ となった場合は睡眠と判定する。それぞれのアクチグラフのアルゴリズム計算式から睡眠/覚醒に関係する睡眠変数を算出する(表1)。健常成人や健常小児であれば、PSGでの判定結果を正解としてこれとの合致率は85~96%程度である。注意点としては、活動量しか記録していないのでPSGのように睡眠段階の判

定まではできない。同様の理由で、quiet wakefulness(lying down still, silent awakeなど)により床上でじっと動かないままで覚醒している状態を睡眠と過大評価することが起こると、入眠潜時や中途覚醒の判定の精度が低下してしまう。なるべく正確な睡眠変数を算出するには就床時刻、離床時刻を報告してもらうのがよい。

睡眠評価におけるアクチグラフ使用の最大の利点は、小さな機器を腕や腰などに装着して普段通り生活するだけでよいので、検査室へ宿泊する必要がなく、被検者のライフスタイルへの干渉や第一夜効果などを考慮せずに長期間の睡眠/覚醒の客観測定が可能なことである。夜間(睡眠時)だけアクチグラフを装着するようなケースは少なく、日中の覚醒時も装着したままで活動量の変化や日中の居眠りなども追うことができる。

現在、最も一般的なアクチグラフの形状は、腕

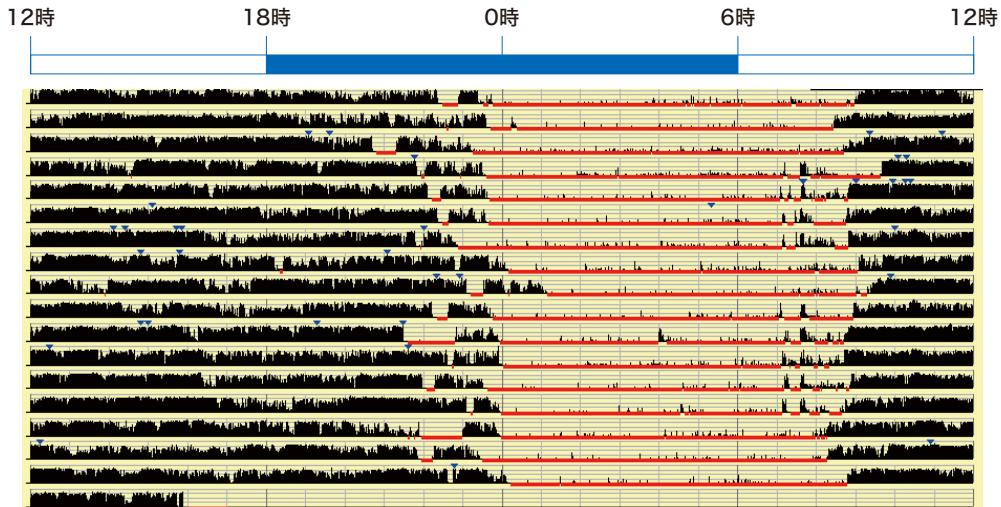


図1 アクトグラム（シングルプロット表示）

30歳代健常男性の約20日間の記録。使用機器はアクティグラフマイクロミニ型（A.M.I社製）、解析ソフトはAW2を使用。1分ごとの活動量を黒で表している。赤く塗られている時間は判定アルゴリズムにより睡眠と判定された期間。

時計タイプのもので、一般的に被検者の非利き腕の手首部分に装着し、前腕部分の加速度を持続的に測定する。非利き手に装着する理由の1つは細かなアーチファクトを避けるためであるが、低年齢児では自分では外せないような場所（足首など）に装着するのがよいだろう。被検者に対して、アクチグラフは活動パターンを日中、夜間を通して連続記録するための装置であることを説明し、とくに睡眠中は外さないように指導する。説明するまでもないが、機器を装着し忘れてしまうと、その時間の活動量データを取得できずに活動量が0となるので、アルゴリズム上は活動していない、すなわち睡眠と誤判定されてしまう。そのため、長時間アクチグラフを外す場合にはデータ解析時に申告してもらう必要がある。

アクチグラフでは視覚的に活動パターンを評価するのも得意である。経時的にグラフ表示したものをアクトグラム（actogram）と呼ぶ（図1）。アクトグラムは1日ごとに並べて表示するシングルプロット表示と、2日ごとに1日ずつずらしながら表示するダブルプロット表示がある。このアクトグラムから睡眠覚醒パターンを視覚的に判定することができる。

2. 睡眠の質および眠気に関する主観評価

睡眠検査および睡眠研究の間では睡眠の客観評価と同様、主観評価は重要なツールである。主観評価と客観評価が一致するのか、乖離があるのかということも診断や評価の1つとなり得る。ここでは睡眠の質および眠気に関する質問紙の主なものを紹介するが、ここに挙げたもの以外にも多くの種類がある。

ピッツバーグ睡眠質問票（Pittsburgh Sleep Quality Index：PSQI）は、過去1カ月の睡眠から、睡眠の質が高い/低いを判別するために Buysse DJらによって開発された質問紙である³⁾。土井らによって日本語版が作成されている⁵⁾。質問項目は問1～9までの18項目で、過去1カ月の睡眠習慣（4項目）、睡眠困難（10項目）、睡眠の質（1項目）、睡眠薬の使用（1項目）、日中の機能障害（1項目）、眠気などの日中の機能障害（2項目）の質問に回答してもらう。各構成要素の点数から総合得点（0～21点）が算出され、得点が高いほど睡眠の質が低いことを示す。総合得点での切断点を5/6点に設定した場合に、感度および特異度が最適であったとされている^{3,6)}。

あなたの眠気の状態をもっともよく表した数字に○をつけてください。

1	非常にはっきり目覚めている
2	
3	目覚めている
4	
5	どちらでもない
6	
7	眠い
8	
9	とても眠い（眠気と戦っている）

図2 The Japanese version of the Karolinska Sleepiness Scale (KSS-J)¹⁴⁾

言語表示が1尺度おきとなっているため、評価する際にたくさん文字を読まなくてよいという利点がある。

睡眠の質および量に加えて位相を測る三次元型睡眠尺度（3 Dimensional Sleep Scale：3DSS）というのも報告されている¹⁶⁾。15項目の睡眠時間や睡眠の質、睡眠リズムに関する質問に対して「とても当てはまる」「やや当てはまる」「あまり当てはまらない」「全く当てはまらない」の4段階で評価してもらう。結果は位相、量、質の三角形のレーダーチャートで示される。

眠気に関するものでは、エプワース眠気尺度（Epworth Sleepiness Scale：ESS）¹²⁾、スタンフォード眠気尺度（Stanford Sleepiness Scale：SSS）¹⁰⁾、カロリンスカ眠気尺度（Karolinska Sleepiness Scale：KSS）¹⁾などがある。ESSは8つの具体的な日常場面の状況を呈示し、眠気を感じる頻度を答えてもらう。眠ってしまう可能性を「うとうとする可能性はほとんどない（0点）」から「ほとんど眠ってしまう（3点）」までの4つの頻度の中から選ぶ。最低は0点（8項目×0点）、最高は24点（8項目×3点）となる。日本語版⁹⁾があり、簡便に測定することができる。SSSでは眠気を表す20項目が、1（非常に覚醒した状態）～7（最も強い眠気）までのカテゴリーに分けられており、回答者は自分の状態に合わせ最も当てはまる数字を選択する。SSSを日本人向けに

改編した関西学院式眠気尺度（Kwansei-gakuin Sleepiness Scale）¹¹⁾が出されている。これは22の覚醒-眠気を表す記述から自分の状態に当てはまる記述を1つもしくは複数選択する。KSSは1（非常にはっきり目覚めている）～9（とても眠い、眠気と戦っている）まで9段階から当てはまるその時の眠気の強さを評価する（図2）。日本語版（KSS-J）のvalidationがなされている¹⁴⁾。

熟眠感や眠気などの評価にVAS（Visual Analogue Scale）¹⁷⁾を用いることもできる。「眠気」を評価する場合には、100mmの水平直線の左端を「全く眠気はない」、右端を最大として、回答者に自分の眠気の強さに応じてスケール上に垂線を入れてもらう（図3）。左端からこの垂線までの距離（mm）をもって「眠気」の定量評価（0～100）とする。時間的な変動を見るのにも有用である。

睡眠時間および睡眠習慣の自記式記録方法としては睡眠表（sleep log）、睡眠日誌（sleep diary）がある。決まったフォーマット、厳密な定義はない。睡眠表では基本的には横軸に時間（0：00～24：00）、縦軸に日を取り、入眠した（と回答者本人が思った）時刻から起床した時刻までを塗りつぶすようにして記録してもらう。記録手段は用

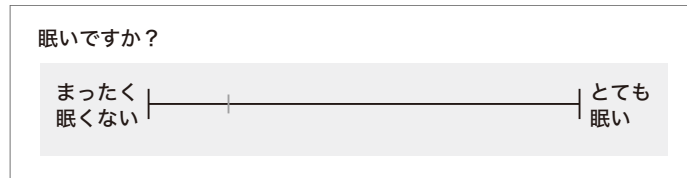


図3 Visual Analogue Scale (VAS)¹⁷⁾

眠気を評価する際に用いるVASの例。左端から回答者が評価した箇所（灰色の垂線）まで計測して眠気の値とする。

紙に直接記入してもらい、もしくはエクセルなどで作成したファイルを渡してパソコン上で入力する、もしくはスマートフォンのアプリを使うなど、さまざまである。眠っていた時間のほかにウトウトしていた時間、床上していた時間なども記入しておいてもらうと有用であるが、長期に記録してもらう場合にはあまり煩雑にならないように注意する。睡眠表は、数週間程度記録を続けることにより、アクトグラムのように睡眠/覚醒パターンの把握ができる。塗りつぶす以外の方法では、就床時刻、入眠時刻、起床時刻、中途覚醒時刻などを実際の時刻を記載してもらう方法もある。このタイプの睡眠日誌はとくに、不眠症患者における認知行動療法の場面で多く用いられている。本人の主観的記録から睡眠効率を算出し、制限療法を進めることができる。

3. MSLT以外の眠気の客観評価方法

1) Alpha Attenuation Test (AAT)¹⁸⁾

閉眼安静時の α 波出現量と、開眼による α 波の減衰が、被験者の覚醒度に対応して変動する特性を利用し、覚醒度（眠気）を数値化するものである。AATでは、 α 波が見やすいようにO1, O2を含めた複数の誘導の単極導出の脳波計測を行う。記録は、2分間ごとの閉眼、開眼を交互に3回繰り返す。開眼中はなるべく瞬きをしないようにして、注視点を設置するとよい。測定後、脳波解析には、O1-A1より導出された脳波信号を周波数分解能0.2Hzの設定で5秒ごとにFFT (fast fourier transform) によって周波数成分に変換し、12分間のパワースペクトルを算出する。開眼時の平均 α 波のパワー値に対しての閉眼時のパワー値の

比から α 波減衰係数（alpha attenuation coefficients : AAC）を算出する。このAACが高ければ高いほど眠気が低い（覚醒度が高い）、低ければ低いほど眠気が高いということになる。

2) Karolinska Drowsiness Test (KDT)¹¹⁾

AATと方法は似ているが、5分間の開眼と2分間の閉眼での脳波を記録し、 α 波と θ 波のパワースペクトル解析を行う。閉眼中では α 波が多く出現し、覚醒度が低下してくると α 波が減少し、 θ 波が増加してくる。

3) 脳波測定を用いない評価方法

ヒトが眠っているのか、起きているのかの判断の指標が脳波であるため、睡眠や眠気の客観評価には脳波計測が必要不可欠であるが、精神運動ヴィジランス課題（Psychomotor Vigilance Task : PVT）⁴⁾ や、行動版覚醒維持検査（Oxford Sleep Resistance Test : OSLERテスト）²⁾ などの脳波計測をしない方法も複数報告されている。MSLTやMWTとの相関もあり、評価の目的に合った計測法を選択するとよい。

PVTはPCソフトや専用の器機を使って、被験者にパソコン上にランダムな間隔（2～10秒）で点灯する信号を出し、信号に気がついたらすぐに手元のボタンを押すよう指示し、点灯からボタンを押すまでの反応速度（reaction time : RT）や反応遅延、反応する必要のない時に反応した回数（いわゆるお手つき）などを計測する。基本的に10分間の施行が推奨されているが、変法も多く報告されている。視覚刺激だけでなく聴覚刺激を用いたAuditory Psychomotor Vigilance Taskでは、断眠後に視覚刺激よりも鋭敏に評価することも報告されている¹³⁾。

OSLERテストはMWTと同様のスケジュールで、薄暗い遮音された部屋で40分間の測定を1日に4~5回行う。PVT同様、ランダムな間隔で点灯する視覚刺激に反応してボタンを押すという行動指標を用いる。ボタン押しができるうちは覚醒とみなす。脳波上睡眠段階1の状態でも刺激に対し反応できてしまうという問題点があるため、連続7回ボタン押しが消失した時点を入眠潜時とする。

まとめ

本稿ではPSGやMSLT・MWT以外の睡眠および眠気のその他の睡眠評価法を紹介した。ここに紹介したもの以外にも多くの評価方法があり、睡眠障害の診断に特化した評価法も多くある。評価方法をよく理解し、目的に即したものを選択することが重要である。

なお、本論文に関連して開示すべきCOIはない。

文献

- 1) Akerstedt T, et al : Subjective and objective sleepiness in the active individual. *Int J Neurosci*, 1990 ; 52 : 29-37.
- 2) Bennett LS, et al : A behavioural test to assess daytime sleepiness in obstructive sleep apnoea. *J Sleep Res*, 1997 ; 6 : 142-145.
- 3) Buysse DJ, et al : The Pittsburgh Sleep Quality Index : a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res*, 1989 ; 28 : 193-213.
- 4) Dinges DF, et al : Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 1985 ; 17 : 952-655.
- 5) 土井由利子他 : ピッツバーグ睡眠質問票日本語版の作成. *精神科治療学*, 1998 ; 13 (6) : 755-769.
- 6) Doi Y, et al : Psychometric assessment of subjective sleep quality using the Japanese version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI-J) in psychiatric disordered and control subjects. *Psychiatry Res*, 2000 ; 97 : 165-172.
- 7) Enomoto M, et al : Validity of an algorithm for determining sleep/wake states using FS-760 in school-aged children. *J Physiol Anthropol*, 2022 ; 41 : 29.
- 8) Fekedulegn D, et al : Actigraphy-based assessment of sleep parameters. *Ann Work Expo Health*, 2020 ; 64 : 350-367.
- 9) 福原俊一他 : 日本語版 the Epworth Sleepiness Scale (JESS) —これまで使用されていた多くの「日本語版」との主な差異と改訂—. *日本呼吸器学会雑誌*, 2006 ; 44 (11) : 896-898.
- 10) Hoddes E, et al : Quantification of Sleepiness : a new approach. *Psychophysiology*, 1973 ; 10 : 431-436.
- 11) Ishihara K, et al : Sleepiness scale and an experimental approach, *Shinrigaku Kenkyu*, 1982 ; 52 : 362-365.
- 12) Johns MW : A new method for measuring daytime sleepiness : The Epworth Sleepiness Scale. *Sleep*, 1991 ; 14 : 540-545.
- 13) Jung CM, et al : Comparison of sustained attention assessed by auditory and visual psychomotor vigilance tasks prior to and during sleep deprivation. *J Sleep Res*, 2011 ; 20 : 348-355.
- 14) Kaida K, et al : Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. *Clin Neurophysiol*, 2006 ; 117 : 1574-1581.
- 15) Kupfer DJ, et al : The application of Delgado's telemetric mobility recorder for human studies. *Behav Biol*, 1972 ; 7 (4) : 585-590.
- 16) Matsumoto Y, et al : Reliability and Validity of the 3 Dimensional Sleep Scale (3DSS) -day workers version- in assessing sleep phase, quality, and quantity. *Sangyo Eiseigaku Zasshi*, 2014 ; 56 : 128-140.
- 17) Monk TH : A Visual Analogue Scale technique to measure global vigor and affect. *Psychiatry Res*, 1989 ; 27 : 89-99.
- 18) Stampi C, et al : A new quantitative method for assessing sleepiness : the Alpha Attenuation Test. *Work Stress*, 1995 ; 9 : 368-376.