

基礎講座

八木 朝子

第2回

夜間の睡眠評価法
(睡眠ポリグラフ検査)

はじめに

ヒトの睡眠の量や質を客観的に評価するために
行う検査が、睡眠ポリグラフ検査 (polysomnog-
raphy : PSG) である。その名のとおり、睡眠中
(-somno-) の多種類 (poly-) の電気生理学的現
象を記録 (-graphy) する検査法である。1968年
に睡眠脳波アトラスとして国際的に標準化⁸⁾ され
た。睡眠中の脳波の徐波化と、眼球運動および筋
電図の特徴から睡眠の段階化を定義された。
RechtschaffenとKalesらの基準が採用されたた
め、通称R&K法⁴⁾ とも呼ばれていた。当時は6
チャンネル脳波計を用いて、医学研究目的で大学
などの研究施設で行われていた。その後は様々な
睡眠障害の存在が明らかとなる過程で、それら疾
患の診断のために呼吸や神経活動の項目が追加さ
れるようになり、現在の標準PSGの手法が確立さ
れた。2007年に「American Academy of Sleep

Medicine (AASM) による睡眠および随伴イ
ベントの判定マニュアル」⁴⁾ (通称AASMマニ
ュアル) として、睡眠医療を行う臨床家向けに1冊
にまとめられ、PSGは世界的に標準化された。わ
が国の睡眠医療の現場では1990年の保険収載以
降、PSGの普及とともに、このAASMマニ
ュアルがR&K法から置き換わり使用されるよう
になった。2025年現在、マニュアルはバージョン
3.0までの邦訳が出版されている¹⁾。また、睡眠障
害国際分類第3版 (International Classification of
Sleep Disorders, 3rd Edition : ICSD-3)²⁾ では、
PSGがその睡眠障害の診断に必要となるもの
には、睡眠関連呼吸障害群 (sleep related breath-
ing disorders : SRBD)、ナルコレプシー (タイ
プ1、タイプ2)、特発性過眠症、レム睡眠行動障
害 (REM sleep behavior disorder : RBD)、周
期性四肢運動障害 (periodic limb movement disor-
der : PLMD)、睡眠関連てんかんなどがある。

表1 測定パラメータと電極およびセンサの装着位置

脳波 (EEG)	国際10-20システムにより決定される装着部位
	推奨：F4-M1, C4-M1, O2-M1, F3-M2, C3-M2, O1-M2
	基準電極 (M1,M2) は左右の乳様突起
眼電図 (EOG)	推奨：E1-M2, E2-M2 両側眼窩外側縁の上方 (E2) および下方 (E1) 約1cmでその1cm外側に装着する。
顎筋電図 (EMG)	推奨：EMG Z-EMG2 (またはEMG Z-EMG1) 3つの電極を装着し、随時誘導を切り替える。
	EMGZ：正中で下顎の下縁から1cm上方 EMG1,2：下顎の下縁から2cm下方で、正中から2cm左側 (EMG1) または右側 (EMG2)
気流	推奨：無呼吸判定には口鼻の温度気流センサ (サーミスタ、サーモカップルなど) 推奨：低呼吸判定には鼻圧トランスデューサ 温度気流センサと鼻圧トランスデューサの両方を鼻孔部に装着
呼吸努力	推奨：食道内圧、呼吸インダクタンスプレチスモグラフ (RIP) センサベルト RIPベルトは胸部と腹部の2カ所に装着
いびき	推奨：音響センサ (マイクロフォンなど)、圧電センサ、鼻圧トランスデューサ
酸素飽和度 (SpO ₂)	パルスオキシメータを用いる。 最大許容信号平均化時間は心拍数80回/分において3秒以下
心電図 (ECG)	修正心電図第II誘導、体幹に電極装着 右肩と左臀部を結ぶ線と平行に装着
下肢筋電図	電極は、前脛骨筋の中央付近で長軸方向に左右対称に装着し、電極間の距離は2~3cm離すか、または筋の1/3の長さのいずれか短いほうとする。
その他	体位、呼気終末PCO ₂ 、経皮PCO ₂ 、PAP機器気流など

[米国睡眠医学会：AASMによる睡眠および随伴イベントの判定マニュアル Version 2.5 (日本睡眠学会訳)、ライフ・サイエンス、東京、2018¹⁾ を元に作成]

有病率の高い閉塞性睡眠時無呼吸 (obstructive sleep apnea：OSA) の診断の場合は、在宅に持ち帰り行う簡易呼吸検査を利用する場合があるが、OSAとその他の睡眠障害の併存や鑑別診断の場合には、PSGが適応となってくる。

AASMマニュアル

AASMマニュアル^{1,4)} は、日常診療 (ルーチン) で行うPSGの技術的仕様ならびに判定 (スコアリング) と結果を導くようにデザインされている。II章は報告すべきパラメータ、III章は記録にて推奨されるデジタル装置の各種設定、IV~VIII章はカテゴリーごと (睡眠段階、覚醒反応、心臓、運動、呼吸) の技術仕様 (推奨される測定法と使用されるセンサ類) および判定 (スコアリング) ルールである。IV章 (睡眠段階判定ルール) とVIII

章 (呼吸ルール) では、成人と小児のルールが別々に記載されている。

PSGの施行

1) 測定パラメータ

AASMマニュアル^{1,4)} で推奨されている測定パラメータは、脳波 (前頭部、頭頂部、後頭部)、顎筋電図、眼電図、気流、呼吸努力、酸素飽和度、下肢筋電図、体位、心電図である。脳波、顎筋電図、眼電図は、睡眠段階の判定に必要な記録であり、気流、呼吸努力、酸素飽和度は無呼吸や低呼吸などの呼吸イベント判定のため、下肢筋電図は周期性四肢運動判定のため、心電図は不整脈検出のために記録する。各測定パラメータの推奨されるセンサおよびトランスデューサを表1に示した。

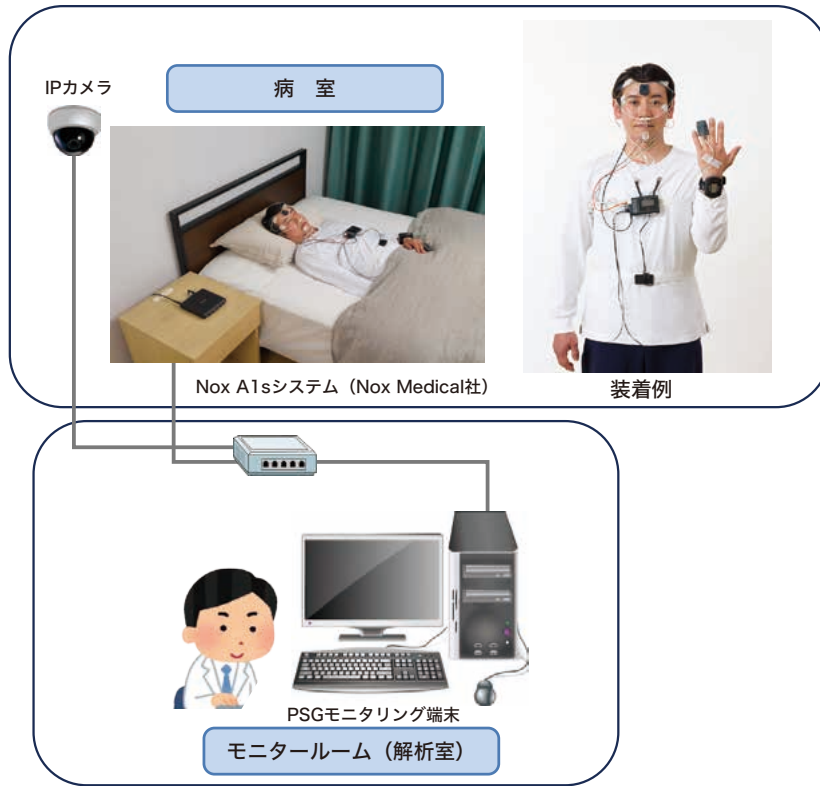


図1 病室とモニタールーム（解析室）間のPSGと関連機器の配置図例

画像提供：帝人ファーマ株式会社（<https://medical.teijin-pharma.co.jp/product/zaitaku/nox-als/img.html>）

2) デジタル装置

汎用されているPSG装置は、デジタルアンプが用いられている。各生体信号は電極やセンサ類を介してヘッドボックスに入力が集約された後に増幅される。デジタルアンプの小型化、軽量化が進み、ヘッドボックスと一体型の装置が増えてきている。生体信号は、コンピュータ（演算器）で、A/D変換（アナログデジタル変換）され、各信号の周波数特性に応じて、フィルター処理を行う。

3) 映像音声記録

カメラおよびマイクロフォンを室内に設置し、映像や音声をPSG装置に入力する（図1）。就寝中の記録のため、赤外線暗視カメラが望ましく、また目的部位に焦点を合わせる調整機能が必要となる。映像と音声は、その他の測定パラメータの波形と同期させてモニター上に表示させることにより、睡眠中の運動や行動、発声や叫び声などを

検出することが可能となる。

4) 終夜監視

施行は、訓練された専門の検査者が終夜監視下（attended PSG）で行うほうが、正確性と安全性を確保できる点で有利である⁷⁾。また夜間の異常運動や行動の発見も容易となるため睡眠障害の診断に寄与できる。さらには検査中に医療的な介入、処置、治療が必要なアクシデント⁶⁾には速やかな対応が可能となる。そのためにPSG安全管理マニュアルの配置と遵守が必要となる。

PSGの判定

1) 判定

人工知能（AI）による自動判定が登場したことにより、自動判定の精度は高まっているものの、アーチファクトの鑑別や、異常所見（てん

表2 睡眠段階の定義

sleep stage		定義		
		脳波 (EEG)	眼電図 (EOG)	顎筋電図 (EMG)
stageW		閉眼時： α 律動が区画の50%以上と優勢(後頭部にて) 開眼時：低振幅かつ様々な周波数帯 (LAMP) の脳波	開眼時：急速眼球運動 (REMs) (<500ミリ秒)や瞬き 閉眼時：平坦、瞬き、読書眼球運動	高振幅持続性
レム睡眠	stage N1	α 律動が区画の50%以下 背景波はLAMP 頭頂部鋭波 (<0.5秒) 出現	緩徐眼球運動 (SEMs) (>500ミリ秒)	高振幅持続性
	stage N2	背景波はLAMP K-複合波 (≥ 0.5 秒) や紡錘波 (≥ 0.5 秒) の出現	消失	相対的振幅低下傾向 活動は持続性
	stage N3	2Hz以下かつ75 μ V以上 (peak-to-peak) の δ 波が区画の20~50%を占める(前頭部にて)	消失 高振幅 δ 波の混入	相対的振幅低下傾向 活動は持続性
ノンレム睡眠	stage R	LAMPだがstageN1より低振幅 α 波混入あり、鋸歯状波出現	急速眼球運動 (REMs) (<500ミリ秒)	最低振幅 単発の筋活動を認める

REMs : rapid eye movements, SEMs : slow eye movements, LAMP : low amplitude mixed frequency

表3 呼吸イベント（無呼吸・低呼吸）の判定基準

■ 無呼吸 (推奨) 1. 以下の両方の基準を満たす場合、無呼吸と判定する。 1) 口鼻温度センサーにおいて最大信号の振れがイベント前の基準値から90%以上低下している 2) 90%以上低下した持続時間が10秒以上である 2. 無呼吸の基準を満たし、気流停止している全期間で吸気努力の持続あるいは増加を伴う場合、閉塞性と判定する。 3. 無呼吸の基準を満たし、気流停止している全期間で吸気努力が消失している場合、中枢性と判定する。 4. 無呼吸の基準を満たし、イベントの初期部で吸気努力が消失し、その後に吸気努力が再開する場合、混合性と判定する。 ■ 低呼吸 (推奨) 以下のすべての基準を満たした場合に低呼吸と判定する。 1) 鼻圧センサーにおいて最大信号の振れがイベント前のベースラインより30%以上低下している 2) 信号振幅の30%以上の減少が10秒以上持続低下した持続 3) 酸素飽和度がイベント前のベースラインから3%以上低下あるいは覚醒反応を伴う (代替) 以下のすべての基準を満たした場合に低呼吸と判定する。 1) 鼻圧センサーにおいて最大信号の振れがイベント前のベースラインより30%以上低下している 2) 信号振幅の30%以上の減少が10秒以上持続低下した持続 3) 酸素飽和度がイベント前のベースラインから4%以上低下

付記1) 無呼吸の特定には、酸素飽和度低下の最低基準は必要としない

2) 呼吸イベントの一部分が低呼吸基準に合致しても、無呼吸基準を満たすのであれば全体のイベントは無呼吸と判定する

5) 混合性無呼吸中の中枢性と閉塞性成分の持続時間の特定については十分なエビデンスがないため、これらの部分に関する持続時間の特定は推奨しない

[米国睡眠医学会：AASMによる睡眠および随伴イベントの判定マニュアル Version 2.5 (日本睡眠学会訳)。ライフ・サイエンス、東京、2018¹⁾を元に作成]

かん発作波、不整脈、異常運動など)の検出には課題がある。判定の基本は視察判定であり、基準やルールはAASMマニュアル^{1,4)}に準拠する。

①睡眠段階

睡眠中の脳波変化と、顎筋電図および眼電図の特徴(表2)から睡眠深度を判定するのが睡眠段階

法である。睡眠深度は、stageWと、stageN1からstageN3で構成されるノンレム睡眠、およびレム睡眠(stageR)に区別される。判定は30秒の一区画(エポック)ごとに行うが、エポック中に2つ以上の睡眠段階が混在した場合はより多くの比率を占めている睡眠段階を割り付ける。エポック

表4 報告すべきパラメータ

指標名	略語	単位	定義
A) 睡眠構築			
消灯時刻	Lights Out	時：分	消灯時刻
点灯時刻	Lights On	時：分	点灯時刻
総記録時間	TRT	分	消灯から点灯までの時間
総睡眠時間	TST	分	stageN1 + N2 + N3 + stageR
睡眠効率	SE	%	TST/TRT×100
入眠潜時	SL	分	消灯からいずれかの睡眠段階が出現した最初のエポックまでの時間
stageR潜時	REM latency	分	入眠からstageRの最初のエポックまで
入眠後覚醒	WASO	分	TRT-SL-TST
各stage時間		分	各stageの総時間
各stageの出現率	%stage	%	(各stage時間/TST) ×100
B) 覚醒反応			
覚醒反応数	No. of arousal	回	覚醒反応の総数
覚醒反応指数	Arl	回/時	覚醒反応数×60/TST
C) 呼吸イベント			
閉塞性無呼吸数	No. of OA	回	閉塞性無呼吸数
混合性無呼吸数	No. of MA	回	混合性無呼吸数
中枢性無呼吸数	No. of CA	回	中枢性無呼吸数
低呼吸数	No. of H	回	低呼吸数/TST
総無呼吸・低呼吸数	No. of A+H	回	無呼吸・低呼吸の総数
無呼吸指数	AI	回/時	無呼吸数/TST
低呼吸指数	HI	回/時	低呼吸数/TST
無呼吸・低呼吸指数	AHI	回/時	(無呼吸+低呼吸数) /TST
体位別AHI	Supine/Left/Right/ Prone AHI	回/時	各体位別のAHI
睡眠期別AHI	NREM/REM AHI	回/時	ノンレム期とレム期のAHI
D) 血中酸素飽和度 (SpO₂)			
睡眠中平均SpO ₂ 値	Mean SpO ₂	%	睡眠中の平均SpO ₂ 値
睡眠中最低SpO ₂ 値	Lowst SpO ₂	%	睡眠中の最低SpO ₂ 値
90%以下持続時間	ODT<90%	分	SpO ₂ 値が90%未満となった合計時間
90%以下の割合	% ODT<90%	%	(ODT<90%) /TST×60
3%desaturation指数	ODI3	回/時	1時間当たりの3%desaturation回数
E) 運動イベント			
睡眠時周期性四肢運動指数	PLMSI	回/時	PLMS×60/TST
PLMS覚醒反応指数	PLMSArl	回/時	覚醒反応を伴うPLMS数かける60/TST
E) 心電図			
覚醒時平均心拍数	HR in wake	回/分	覚醒時の平均心拍数
睡眠時平均心拍数	HR in sleep	回/分	睡眠中の平均心拍数
最大心拍数	Max HR	回/分	睡眠中の最大心拍数
最小心拍数	Min HR	回/分	睡眠中の最小心拍数

[米国睡眠医学会：AASMによる睡眠および随伴イベントの判定マニュアル Version 2.5（日本睡眠学会訳）、ライフ・サイエンス、東京、2018¹⁾を元に作成]

ク中に3つ以上の異なる睡眠段階が混在している場合、まずはエポック中に睡眠（stageN1, N2, N3, あるいはR）が多く比率を占める場合、エポックは睡眠で判定すべきとして、睡眠の最も多くの比率を占めている段階を割り付ける。

②覚醒反応

睡眠段階に影響しない程度に持続時間の短い覚醒（3秒以上の脳波の急激な周波数変化）を覚醒反応と定義し、その頻度を睡眠の分断化の指標とする。加齢とともに増加することが知られてい

る³⁾が、SRBD、PLMDなどの患者では高頻度に生じ日中傾眠との関連が報告されている⁵⁾。

③呼吸イベント

判定する呼吸イベントは主に無呼吸と低呼吸である。温度センサ波形と鼻圧波形の減少量から無呼吸および低呼吸の区別を行う。また随伴するSpO₂の低下や脳波覚醒反応の有無が判定に関与する(表3)。また無呼吸は呼吸努力運動波形のパターンにより閉塞性、中枢性、混合性かの判別を行う。SRBDは、OSA以外に中枢性睡眠時無呼吸症、チェーン・ストークス呼吸、低換気症候群(肥満低換気障害群を含む)に分類されるが、その診断においては呼吸イベントの種類(閉塞性か中枢性)と優位性で決定される。

④運動イベント

睡眠中に繰り返し生じる不随意的四肢運動は睡眠時周期性四肢運動(periodic limb movement of sleep: PLMS)と呼ばれ、それに伴ったarousalが高頻度に出現した場合は、熟眠感の欠如や昼間の眠気をきたす⁷⁾。一般的に左右の下肢筋電図にてPLMSの判定を行うが、場合によっては上肢(浅指屈筋や総指伸筋)運動の検出も行う。その他では、レム睡眠中の筋活動の低下を伴わないレム睡眠(REM sleep without atonia: RWA)所見がある。RBD患者では、睡眠中の夢体験に合致した粗暴な行動と、その生理的基盤となるRWAを認めるのが特徴であるため、RWAの評価は診断に必須となる。マニュアルでは、RWA所見はレム睡眠中の持続性筋活動(tonic activity)と過剰な一過性筋活動(phasic activity)の2つに分類され、両者のレム睡眠時間に対する量的評価を%RWAとして算出する。

2) レポート作成

検査結果として数多くのパラメータ(表4)を算出する。またサマリー記述として、脳波異常、心電図異常(不整脈)、行動観察所見、診断に関連する所見がある。また、睡眠経過図(ヒプノグ

ラム)、イベントプロット図、トレンドグラムなどは、イベントの発生と睡眠の変化との関係の理解に役立つ。

まとめ

PSGは各種睡眠障害の診断に必要な検査であり、また睡眠構造を定量評価できる最も信頼性が高い検査である。1つの検査であるが、その施行や判定の技術専門性は極めて高く、実施できる医療機関には限りがあるものの、さらなる睡眠医療の発展のためにも、PSGの実施医療機関が増えることが望まれている。

文 献

- 1) 米国睡眠医学会: AASMによる睡眠と随伴イベントの判定マニュアル。ルール、用語、技術仕様の詳細 VERSION 2.5 (日本睡眠学会訳)。ライフ・サイエンス、東京、2018
- 2) 米国睡眠医学会: 睡眠障害国際分類第3版(日本睡眠学会診断分類委員会監訳)。ライフ・サイエンス、東京、2018
- 3) Carskadon MA et al: Sleep fragmentation in the elderly: Relationship to daytime sleep tendency. *Neurobiol Aging*, 1982; 3: 4, 321-327.
- 4) Iber C et al: Scoring Manual: The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events Rules, Terminology and Technical Specifications, American Academy of Sleep Medicine, Westchester, Illinois, 2007
- 5) Kimoff RJ: Sleep fragmentation in obstructive sleep apnea. *Sleep*, 1996; 19: S61-66.
- 6) Kolla BP et al: Patient safety incidents during overnight polysomnography: a five-year observational cohort study. *J Clinical Sleep Med*, 2013; 9: 11, 1201-1205.
- 7) Kushida CA et al: Practice parameters for the indications for polysomnography and related procedures: an update for 2005. *Sleep*, 2005; 28: 499-519.
- 8) Rechtschaffen A: A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects (Rechtschaffen A, Kales A eds.), Public Health Service, US Government Printing Office, Washington DC, 1968