



Diagnostic du syndrome d'apnée obstructive du sommeil chez l'enfant (2–18 ans) : place de la polysomnographie et de la polygraphie ventilatoire

Overnight polysomnography versus respiratory polygraphy in the diagnosis of pediatric obstructive sleep apnea

P. Franco^{a,*}, H. Bourdin^b, F. Braun^{c,d}, J. Briffod^e, I. Pin^{f,g}, M.-J. Challamel^a

^a Unité de sommeil pédiatrique, CRNL-Inserm U1028, hospices civils de Lyon, hôpital Femme-Mère-Enfant, CHU de Lyon, 59, boulevard Pinel, 69500 Lyon, France

^b Unité d'explorations du sommeil et de la vigilance, hôpital Saint-Jacques, CHRU de Besançon, 2, place Saint-Jacques, 25030 Besançon, France

^c Centre d'otologie et de chirurgie ORL, 116, route d'Espagne, 31100 Toulouse, France

^d Clinique Médipole Garonne, 45, rue de Gironis, CS 13624, 31036 Toulouse cedex 1, France

^e Centre de chirurgie ORL, 17, rue Froment, 75011 Paris, France

^f Pédiatrie, CHU de Grenoble, 38048 Grenoble, France

^g Inserm U1209, université Grenoble-Alpes, 38042 Grenoble, France

Disponible en ligne sur

ScienceDirect

www.sciencedirect.com

Summary

The French Society of Research and Sleep Medicine (SFRMS) organized a meeting on obstructive sleep apnea syndrome (OSAS) in children. A multidisciplinary group of specialists (pulmonologists, ENT surgeons, pediatricians, neurophysiologists, sleep specialists) drew up a consensus document on the value of electrophysiological recordings in the diagnosis of OSAS in children. Technical considerations and recommended sensors, respiratory event definitions, and scoring criteria are presented according to the 2012 and 2014 recommendations of the American Academy of Sleep Medicine (AASM). Polysomnographic criteria for sleep-disordered breathing in children and the French National Authority for Health guidelines for indications of polysomnographic studies were reported. Relevance and limits of in-lab PSG, home PSG, and respiratory polygraphy were presented and guidelines were proposed to improve the diagnosis and follow-up of these children.

© 2016 Published by Elsevier Masson SAS.

Résumé

Sous l'égide de la Société française de recherche et de médecine du sommeil (SFRMS), une journée de travail a été consacrée au syndrome d'apnées obstructives du sommeil (SAOS) de l'enfant. Un groupe multidisciplinaire de praticiens spécialistes de cette pathologie (pneumologues, pédiatres, otorhinolaryngologues, neurophysiologistes, spécialistes du sommeil) a fait le point à travers leurs expériences et les données de la littérature sur la place des enregistrements électro-physiologiques dans le diagnostic du SAOS. Les critères diagnostiques recommandés par l'American Academy of Sleep Medicine (AASM), révisés en 2012 et en 2014, sont exposés : méthodologie des enregistrements de sommeil, définitions des événements respiratoires et règles de codage visuel. Les critères diagnostiques des troubles respiratoires du sommeil chez l'enfant sur les enregistrements polysomnographiques (PSG) et les recommandations de la Haute Autorité de santé sur les indications de la polysomnographie sont également rapportés. L'intérêt et les limites de la PSG en unité de sommeil, de la PSG ambulatoire et de la polygraphie ventilatoire (PV) sont décrits. Un arbre décisionnel a été élaboré dans le but de répondre au mieux au besoin diagnostique et de suivi de ces enfants.

© 2016 Publié par Elsevier Masson SAS.

* Auteur correspondant.

e-mail : Patricia.Franco@univ-lyon1.fr (P. Franco).

1. Introduction

Les explorations qui permettent de suspecter la présence d'un trouble respiratoire du sommeil sont plurielles (questionnaires, oxymétrie nocturne, polysomnographie [PSG], polygraphie ventilatoire [PV], marqueurs biologiques...). Les systèmes d'explorations polygraphiques ont été classés par l'American Sleep Disorders Association (ASDA) en 1994 en quatre types [1] (tableau 1). Le type 1 est la PSG enregistrée en laboratoire de sommeil avec surveillance technique (fig. 1). Le type 2 est une PSG réalisée en ambulatoire, sans surveillance technique. Le type 3 est une PV sans surveillance

technique qui comprend un minimum de 4 dérivations (fig. 2). Le type 4 enregistre 1 ou 2 paramètres dont l'oxymétrie est le plus habituel. Nous nous intéresserons uniquement à la PSG de type 1 et 2 et à la PV.

2. Définition des troubles respiratoires obstructifs du sommeil de l'enfant

Les troubles respiratoires obstructifs du sommeil (TROS) ont pour origine une réduction anatomique ou fonctionnelle des voies aériennes supérieures (VAS) pendant le sommeil. Ils sont caractérisés par un ronflement ou une augmentation des

Tableau 1

Classification des enregistrements du sommeil d'après l'American Sleep Disorders Association, 1994 [1].

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Surveillance technique hospitalière	Oui	Non	Non	Non
Nombre de signaux	≥ 7	≥ 7	≥ 4	≥ 1
Position corporelle	Mesurée	Peut être mesurée	Peut être mesurée	Non mesurée
EEG, EOG, EMG	Oui	Oui	Non	Non
ECG	Oui	Oui	Oui (peut être remplacé par FC)	Non
Flux aérien	Oui	Oui	Oui	Oui
Efforts respiratoires	Oui	Oui	Oui	Non
SaO ₂	Oui	Oui	Oui	Oui

EEG : électroencéphalogramme ; EOG : électro-oculogramme ; EMG : électromyogramme de surface ; ECG : électrocardiogramme ; SaO₂ : saturation artérielle en oxygène ; FC : fréquence cardiaque.

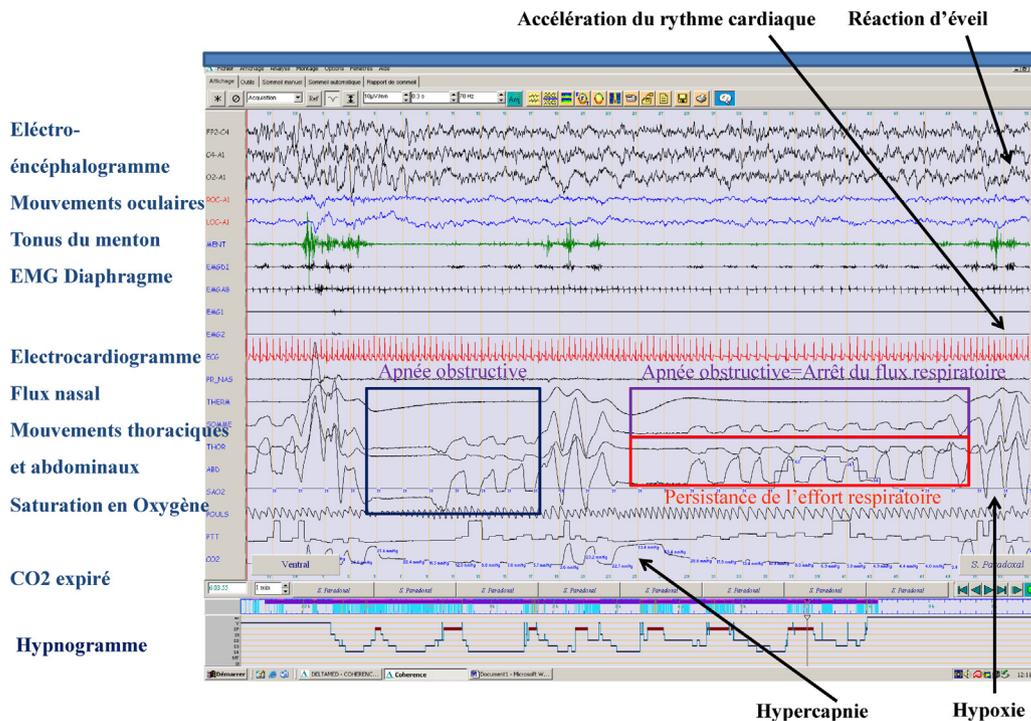


Figure 1. Tracé polysomnographique. EEG : électroencéphalogramme : FP2 : frontal ; C4 : central ; O2 : occipital ; A1 : mastoïde ; EOG : électro-oculogramme ; ROC : droit ; LOC : gauche ; EMG : électromyogramme de surface : Ment : mentonnier ; EMG DI : diaphragme ; EMG AB : abdominaux ; EMG1 : jambier gauche ; EMG2 : jambier droit ; ECG : électrocardiogramme ; PR_NAS : canule nasale ; THERM : thermistance nasobuccale ; ceintures thoraco-abdominale : THOR : thoracique ; ABD : abdominale ; SOMME : somme des ceintures thoraciques et abdominales ; SAO₂ : saturation en oxygène ; POULS : onde de pouls ; PTT : temps de transit du pouls ; CO₂ : CO₂ expiré ; hypnogramme : graphique représentant les stades de sommeil ; apnée obstructive avec leur répercussions sur le rythme cardiaque, la saturation en oxygène, la capnie et la fragmentation du sommeil.

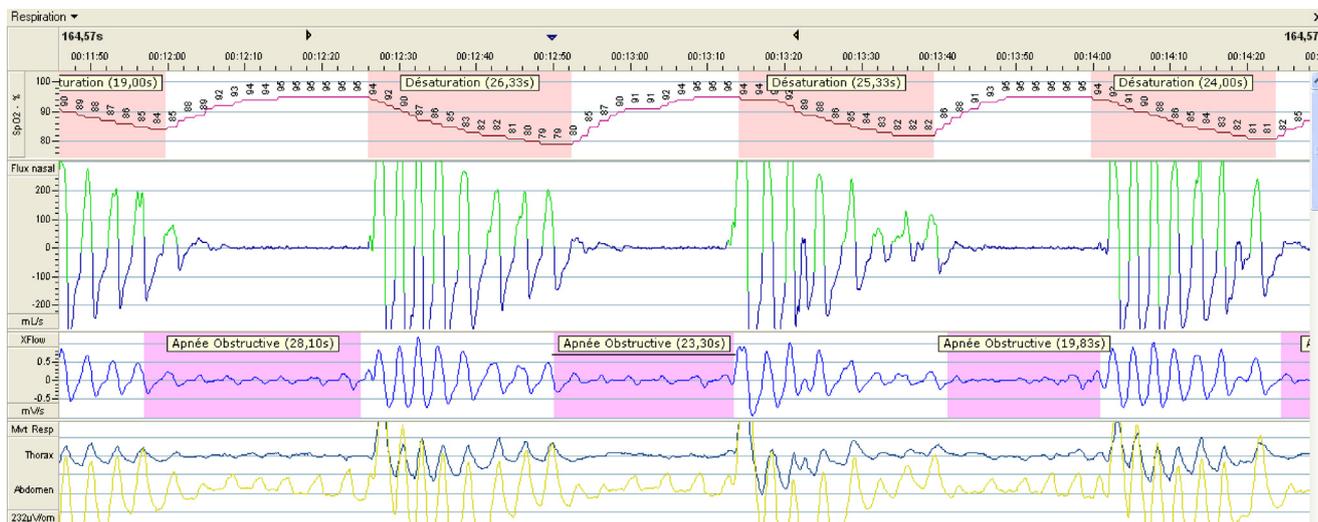


Figure 2. Tracé de polygraphie ventilatoire. SpO₂ : saturation en oxygène ; flux nasal ; Xflow : somme des ceintures thoraciques et abdominales ; mouvements respiratoires thoraciques et abdominaux.

efforts respiratoires dus à une augmentation des résistances au niveau des VAS et de la compliance pharyngée. Selon la gravité de l’obstruction des VAS et ses conséquences sur la respiration, les TROS se déclinent en quatre entités [2] :

- le ronflement primaire ;
- le syndrome de haute résistance des VAS (SHRVAS) conduisant à une augmentation des efforts respiratoires et à une fragmentation du sommeil ;
- le syndrome d’hypoventilation obstructive défini par une hypercapnie avec un taux de dioxyde de carbone (CO₂) supérieur à 50 mmHg pendant plus de 25 % du temps total de sommeil ;
- le syndrome d’apnées-hypopnées obstructives du sommeil (SAOS) caractérisé par la présence d’épisodes récurrents d’obstruction complète (apnées obstructives) ou partielle (hypopnées obstructives, apnées mixtes) des VAS interrompant la ventilation et le déroulement normal du sommeil.

Ces quatre entités représentant un continuum de gravité du ronflement primaire au SAOS.

3. Critères cliniques et diagnostiques des TROS de l’enfant

Wise et al. [2] après une analyse de 243 articles portant sur les indications de la PSG chez l’enfant ont conclu que ni l’interrogatoire, ni les questionnaires, ni l’examen physique, ni la seule PSG (qui reste cependant l’examen le plus informatif, valide, reproductible et utile cliniquement) ne permettaient d’affirmer ou d’exclure le diagnostic de TROS chez l’enfant. Le *gold standard* du diagnostic est la prise en compte des données cliniques et PSG par un spécialiste compétent. Chez l’enfant les signes cliniques et PSG ont été définis par l’American Academy

of Sleep Medicine (AASM) en 2007, 2012 et 2014 [3,4]. Toutefois, les modifications apportées en 2014 étaient limitées. Le diagnostic de TROS chez l’enfant repose sur des signes cliniques nocturnes et diurnes associés à des critères PSG [4] (Annexe 1).

4. Différentes entités cliniques

Dayyat et al. ont proposé en 2007 une classification des SAOS en trois types [5]. Les types 1 et 2 ont en commun les signes respiratoires habituels (ronflements, sommeil agité, respiration laborieuse, respiration buccale, arrêts respiratoires décrits par les parents, hypersudation) et l’existence possible de parasomnies (énurésie, terreurs nocturnes et cauchemars). Dans le type 1, il s’agit surtout de jeunes enfants sans surpoids, avec une hypertrophie adéno-amygdalienne marquée et présentant souvent des troubles de l’attention avec hyperactivité alors que dans le type 2 les enfants sont en surpoids avec une obésité viscérale et tronculaire, un diamètre du cou augmenté, une hypertrophie adéno-amygdalienne moins importante que dans le type 1, mais en revanche la somnolence diurne excessive et les troubles psychologiques (faible estime de soi, dépression, timidité pathologique) sont beaucoup plus fréquents ainsi que les complications cardiovasculaires et métaboliques. Le SAOS de type 3 survient chez des enfants porteurs de pathologies neurologiques, malformatives ou génétiques, avec malformations cranio-faciales, atteinte neuromusculaire ou squelettique (trisomie 21, syndrome de Prader-Willi, syndrome de Pierre-Robin, achondroplasie, craniosténoses...).

5. PSG de type 1

L’enregistrement PSG du sommeil nocturne enregistré en laboratoire de sommeil avec surveillance technique est

l'examen de référence. Il permet de confirmer le diagnostic de SAOS, de quantifier la fréquence et la sévérité des événements ventilatoires enregistrés ainsi que leurs répercussions sur la saturation artérielle en oxygène (SaO₂), le taux de CO₂ et la micro-fragmentation du sommeil. L'enregistrement est possible chez tout enfant, quel que soit son âge, à condition de disposer de capteurs adaptés et d'un personnel formé aux explorations pédiatriques. La PSG doit respecter les horaires de sommeil de l'enfant et être réalisée en absence de toutes médications sédatives et de toute privation de sommeil susceptibles d'entraîner une aggravation des événements obstructifs. Chez les enfants ayant une hypertrophie adénoïdo-amygdalienne, elle doit être réalisée plusieurs jours après l'arrêt d'un traitement par corticoïdes. L'enregistrement peut être réalisé sur une seule nuit puisque l'effet « première nuit » paraît minime chez l'enfant : la variabilité entre deux explorations de sommeil n'influence pas significativement le diagnostic de SAOS, mais influence l'estimation de sa sévérité [6,7].

6. Capteurs

Les recommandations techniques de l'AASM de 2012 sont les suivantes [8] (fig. 3).

6.1. Apnées obstructives

La détection de l'absence de flux nasobuccal nécessite une thermistance nasobuccale ou à défaut un autre capteur d'apnée lorsque celle-ci présente un dysfonctionnement ou

que le signal n'est pas suffisamment fiable : canule de pression nasale (avec ou sans transformation de la racine carrée), somme de pléthysmographie d'inductance respiratoire (RIP som) (étalonnée ou non), débit de pléthysmographie d'inductance respiratoire (RIP deb) (étalonnée ou non), pression de fin d'expiration en CO₂ (PetCO₂).

6.2. Hypopnées

La diminution de l'amplitude du flux nasobuccal est évaluée sur l'onde de la canule de pression nasale. En cas de dysfonctionnement du capteur de pression nasale ou lorsque le signal n'est pas suffisamment fiable on peut se référer indifféremment au flux aérien thermique oro-nasal, à la RIP som, au débit de pléthysmographie d'inductance respiratoire (RIP deb).

6.3. Capteurs pour la détection des efforts respiratoires

C'est en pratique courante la pléthysmographie d'inductance. Celle-ci mesure les variations de volume du thorax et de l'abdomen. Elle peut, si elle est calibrée, donner une mesure quantitative de la ventilation. La somme des variations des signaux thoracique et abdominal permet aussi la reconnaissance des obstructions. La pression œsophagienne est également recommandée par l'AASM pour la détection des efforts respiratoires, mais son caractère invasif la rend en fait assez peu utilisée en pratique courante.

Les EMG de surface, diaphragmatiques ou intercostaux, utiles pour confirmer une augmentation des efforts respiratoires

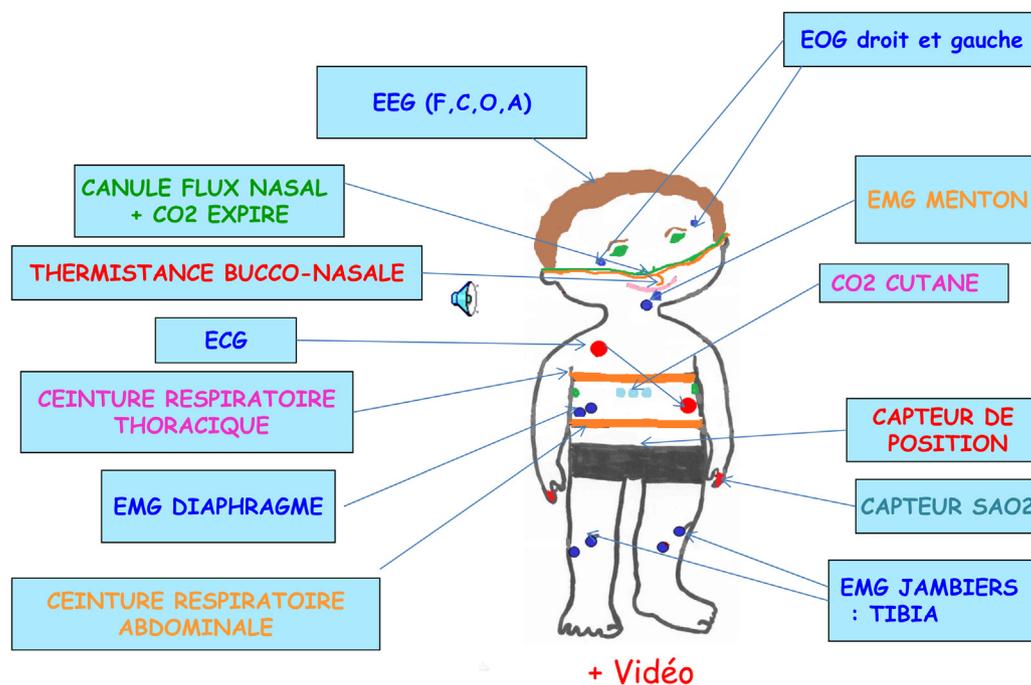


Figure 3. Capteurs de la polysomnographie. EEG : électroencéphalogramme ; EOG : électro-oculogramme ; ECG : électrocardiogramme ; EMG : électromyogramme ; F : frontal ; C : central ; O : occipital ; A : mastoïde ; SaO₂ : saturation artérielle en oxygène.

n'ont pas fait l'objet de suffisamment d'études pour être recommandés par l'AASM pour la détection des efforts respiratoires.

6.4. Échanges gazeux

6.4.1. Oxygénation artérielle

Le capteur pour la mesure de la saturation en O₂ (SpO₂) est l'oxymètre de pouls avec un moyennage inférieur ou égal à 3 secondes à une fréquence cardiaque (FC) de 80 battements par minute.

6.4.2. Pression partielle en gaz carbonique

La recherche d'une hypoventilation est recommandée dans l'exploration des TROS chez l'enfant [8,9]. L'AASM préconise l'utilisation de la gazométrie artérielle (PaCO₂), de la pression partielle transcutanée en CO₂ (PtcCO₂) ou encore de la PetCO₂. La gazométrie artérielle est peu utilisée en raison du caractère invasif de la technique, mais peut être substituée par un prélèvement artérialisé au talon de l'enfant au réveil. La PtcCO₂ nécessite un étalonnage avec un gaz de référence et les valeurs mesurées présentent un décalage de plus de 2 minutes avec la PaCO₂. La PetCO₂ a l'avantage de pouvoir être couplée avec la mesure de la pression nasale, mais l'obstruction nasale ou la respiration buccale ne permettent pas toujours d'obtenir un plateau expiratoire garant de la qualité du signal. Un capteur nasal et buccal permet le plus souvent d'améliorer cette qualité.

6.5. Détection du ronflement

L'AASM rend optionnelle la détection des ronflements. Elle préconise d'utiliser un capteur acoustique (par ex.

microphone), un capteur piézo-électrique ou un capteur de pression nasale.

6.6. Détection de la position du corps

L'AASM n'a émis aucune recommandation quant à l'utilisation de ces capteurs de position.

7. Définitions pédiatriques des événements respiratoires [9,10]

Ces notions sont illustrées sur la fig. 4.

7.1. Apnées et hypopnées obstructives

Un événement respiratoire correspond à l'absence de débit sur une période d'au moins 2 cycles respiratoires. Selon l'AASM, en présence d'efforts respiratoires une apnée obstructive est définie par la diminution de l'amplitude du flux nasobuccal égale ou supérieure à 90 %. Le codage des efforts respiratoires inducteurs de micro-éveil est optionnel pour l'AASM. Une hypopnée est retenue lorsqu'il existe une diminution de l'amplitude du flux nasobuccal égale ou supérieure à 30 % associée à un micro-éveil, un éveil ou une chute de la saturation supérieure ou égale à 3 %. Le caractère obstructif de l'hypopnée est caractérisé par la présence d'un ronflement au cours de l'événement ou une accentuation du plateau inspiratoire de la pression nasale par rapport à la respiration de référence ou encore un aspect paradoxal des mouvements thoraco-abdominaux qui se produit au cours de l'événement mais pas pendant la respiration précédant l'événement. Il existe des normes pour ces deux types d'événements respiratoires. Il y a d'autres types d'événements comme les limitations de débit

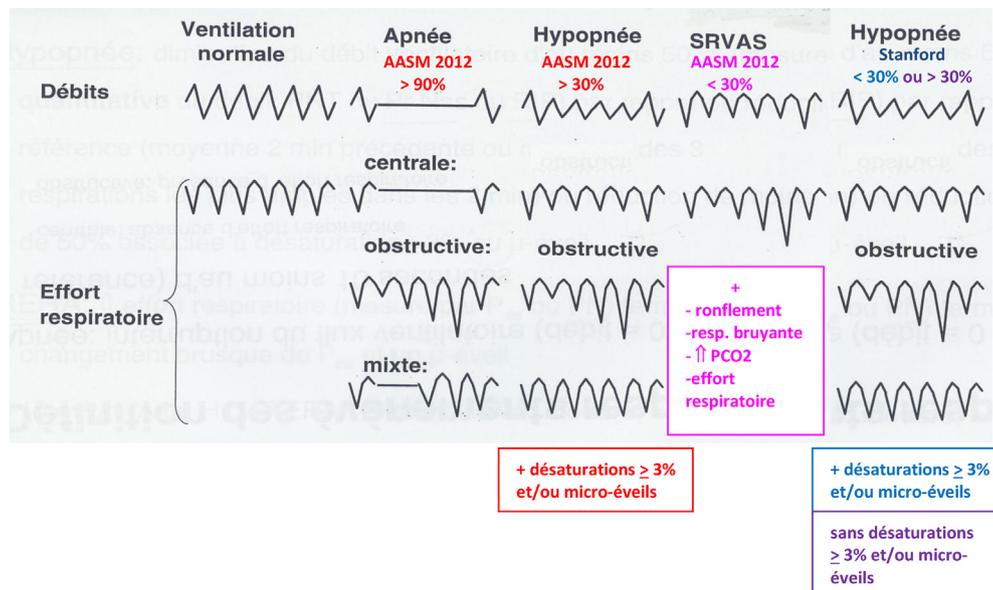


Figure 4. Evènements respiratoires chez l'enfant d'après les recommandations de l'American Academy Sleep Medecine 2012 [8]. Durée des évènements respiratoires chez l'enfant, plus de 2 cycles respiratoires manquants ; recommandations jusqu'à 18 ans ; SRVAS : syndrome de haute résistance/limitation de débit.

(≥ 2 cycles respiratoires manquants caractérisés par une augmentation des efforts respiratoires, un aplatissement de la portion inspiratoire de la pression nasale, un ronflement, ou une élévation de la P_{etCO_2} conduisant à un micro-éveil), les hypopnées non associées à un micro-éveil ou à une chute de la saturation supérieure ou égale à 3 % ou encore les hypopnées de moins de 30 % [hypopnées définies par les critères de Stanford (fig. 2)].

7.2. Apnées et hypopnées centrales

Une apnée centrale est retenue s'il n'y a pas d'efforts respiratoires pendant toute la durée de l'évènement et si un des critères suivants est présent :

- l'évènement dure 20 secondes ou plus ;
- l'évènement correspond à l'absence d'au moins 2 cycles respiratoires et il est associé à un micro-éveil, un éveil ou à une chute de la saturation de 3 % ou plus.

Une hypopnée est codée comme centrale en l'absence de ronflement pendant l'évènement, d'accentuation du plateau inspiratoire de la pression nasale et d'aspect paradoxal des mouvements thoraco-abdominaux au cours de l'évènement. Il faudra bien faire la distinction entre les évènements respiratoires obstructifs et les évènements centraux et donner le nombre d'apnées/hypopnées obstructives par heure de sommeil (index d'apnées/hypopnées obstructives par heure de sommeil [IAHO]) et le nombre d'apnées/hypopnées centrales par heure de sommeil (IAHC). En effet, l'enfant présente d'une manière physiologique beaucoup plus d'évènements respiratoires centraux que l'adulte.

7.3. Hypoventilation

L'AASM recommande le codage de l'hypoventilation chez l'enfant. Une hypoventilation est retenue chez l'enfant quand plus de 25 % du temps total de sommeil est passé avec un taux de CO_2 supérieur à 50 mmHg mesuré par la P_{tcCO_2} ou la P_{etCO_2} [8,9].

8. Évaluation de la fragmentation du sommeil : micro-éveils

La définition des micro-éveils chez l'enfant adoptée par l'AASM est identique à celle de l'adulte. Un micro-éveil est retenu s'il existe une modification brutale des fréquences électro-encéphalographique (EEG) qui dure au moins 3 secondes et qui est précédée d'une phase d'au moins 10 secondes de sommeil stable, incluant des fréquences alpha, thêta ou des fréquences > 16 Hz (à l'exclusion des fuseaux de sommeil). Le codage d'un micro-éveil pendant le sommeil paradoxal (SP) requiert aussi une augmentation du tonus mentonnier à l'électromyogramme (EMG) pendant plus de 1 seconde. Les micro-éveils sont classés en spontanés, respiratoires, liés à un mouvement périodique des jambes (MPJ) ou induits par le technicien.

9. Limite d'âge d'utilisation des critères pédiatriques

Il a été suggéré qu'à partir de 13 ans la PSG pouvait être analysée chez l'adolescent avec les critères d'adulte. Les nouvelles recommandations insistent pour que les critères pédiatriques soient adoptés de la période néonatale à 18 ans, bien qu'un spécialiste du sommeil puisse, de façon individuelle, décider d'utiliser les critères d'adulte pour les adolescents de 13 à 18 ans. En effet deux études comparant les résultats des 2 méthodes de codage chez des adolescents ont montré que l'adoption des critères d'adulte sous-estimait l'index d'anomalies respiratoires et en particulier le nombre d'hypopnées [10,11].

10. Intérêt de la PSG chez les enfants présentant des signes de TROS

10.1. Éviter des interventions inutiles

Toute intervention, y compris l'amygdalectomie comprend un risque opératoire (1 à 2 décès par an pour 30 000 interventions) et 5 % de morbidité (saignement, déshydratation, ré-intubation...). La prise en charge doit être fonction de la sévérité du SAHOS. Si l'enfant a peu de signes cliniques et un IAHO de moins de 1/h, l'attitude sera conservatrice avec un simple suivi clinique ; avec un index IAHO entre 1 et 5/h, l'enfant sera pris en charge par des traitements médicamenteux (corticoïdes locaux, antileucotriène [Montelukast] [indications hors AAM]) ou par des mesures hygiéno-diététiques (perte de poids). Au-dessus d'un IAHO à 5/h, une prise en charge plus active est recommandée (adéno-amygdalectomie [AA], orthodontie, pression positive continue [PPC]) [12]. Il ne faut pas oublier que les données cliniques comme le ronflement ou la taille des amygdales ne sont pas suffisants pour le diagnostic de SAOS [2].

10.2. Évaluer la sévérité du SAOS et des risques opératoires

Certains auteurs ont mis en relation la sévérité du SAOS avec le risque périopératoire de l'amygdalectomie [13]. Pour ces auteurs, un enfant avec un IAHO de plus de 30/h aurait 24 % de risques de complications majeures (ventilation invasive ou non invasive, admissions aux soins intensifs, ré-intubation). Avec un IAHO $> 10/h$, l'enfant présenterait un risque de complications mineures (nécessité de O_2 en postopératoire...) dans 60 % des cas. De même, une oxymétrie nocturne préopératoire pourrait permettre l'évaluation du risque opératoire. La présence de désaturations en dessous de 80 % est prédictive de complications majeures avec une sensibilité de 86 %. Les recommandations américaines préconisent que lors d'une amygdalectomie, les enfants soient hospitalisés pendant 24 h avec une surveillance postopératoire renforcée si la PSG

préopératoire révèle un IAHO supérieur à 24/h, des épisodes de désaturation nocturne < 80 % ou des épisodes d'hypercapnie supérieure à 60 mmHg [12].

10.3. Évaluer grâce à l'IAHO les risques de persistance d'un SAOS résiduel

Seulement 27 % des enfants ont une rémission de leur SAOS (IAHO < 1) après amygdalectomie. Les facteurs de risque sont l'obésité, l'âge (> 7 ans), l'asthme et un index IAHO pré-chirurgical élevé (IAHO \geq 10/h) [14]. Dans l'étude prospective Childhood Adenotonsillectomy Trial (CHAT) portant sur 464 enfants âgés de 5 à 9 ans, la résolution du SAOS après AA variait de 86 % pour un IAHO \leq 2 à 65 % pour un IHA > 2 [15]. La résolution spontanée du SAOS à 7 mois était plus fréquente chez les enfants ayant un IAHO \leq 2 (60 %) que chez ceux ayant un IAHO > 2 (26 %). Lorsqu'un SAOS persiste, les complications sont essentiellement neurocognitives [16], comportementales [17,18], cardiovasculaires [19,20] et métaboliques [21].

11. Indications de la PSG de type 1

La PSG n'est probablement pas nécessaire chez un enfant sain présentant une hypertrophie adénoïdo-amygdalienne et une symptomatologie faisant fortement suspecter un SAOS. Les indications de la PSG ont été précisées par la Haute Autorité de santé (HAS) en mai 2012. Elle est recommandée avant une AA pour les enfants chez qui l'on suspecte un SAOS dans les circonstances suivantes :

- doute sur l'efficacité de l'AA : obésité morbide, malformation crânio-faciale ou des voies aériennes supérieures, maladie neuromusculaire ;
- examen de l'enfant n'expliquant pas les troubles respiratoires : absence d'obstacle amygdalien ou adénoïdien ;
- risque opératoire élevé : trouble de l'hémostase, anomalie cardiaque, âge < 3 ans, SAOS cliniquement sévère, etc.

Elle est nécessaire si un ronflement anormal persiste après l'intervention. Dans ce cas elle doit être réalisée après un délai postopératoire minimum de 6 semaines. Les études récentes ont montré que la disparition complète du syndrome obstructif après AA n'était observée que chez 25 % des enfants non obèses [22] et 45 % des enfants obèses [23].

Elle est enfin indispensable pour la mise en route et l'évaluation de toutes autres prises en charge du SAOS (PPC, orthèse, orthodontie, chirurgie autre que l'AA).

12. Limites de la PSG de type 1 et des critères de codage

La PSG en unité de sommeil est onéreuse en temps et en personne. Elle peut être stressante pour les enfants et leurs

parents. Elle est peu accessible, en raison du nombre limité des unités de sommeil pédiatriques. Il n'existe pas encore de consensus pour définir les critères de sévérité du SAOS en termes d'IAHO, d'index de micro-éveils, ou encore des critères définissant l'hypoventilation. Les critères de l'AASM pour l'évaluation de la fragmentation du sommeil ont été critiqués par certains auteurs [24-26] regrettant l'absence de prise en compte chez l'enfant, des réactions d'éveils à ondes lentes et des micro-éveils de 1 à 3 secondes. Ces critères ont été rejetés par l'AASM du fait du faible agrément entre codeurs. Malgré la lourdeur de cet examen et la multitude de paramètres recueillis (nombre et sévérité des événements respiratoires, architecture et micro-architecture du sommeil...), il ne permet pas actuellement d'expliquer ou de prédire les déficits cognitifs des enfants porteurs d'un SAOS [18].

13. Autres types d'enregistrements

13.1. PSG de sieste

Chez l'enfant de plus d'un an, cet examen n'est pas recommandé, le sommeil de sieste ne comportant plus de sommeil paradoxal. Une PSG de sieste normale ne permet pas d'exclure l'existence d'un SAOS, celle-ci sous-estimant fréquemment la sévérité des SAOS quand elle est comparée à la PSG nocturne. En revanche, si elle est anormale, elle a une bonne valeur prédictive pour recommander, sans l'apport d'une PSG nocturne, une AA chez un enfant sain.

13.2. PSG de type 2

Les PSG sans surveillance technique ou ambulatoire sont intéressantes puisque l'analyse des stades de sommeil et des micro-éveils permet un codage fiable des perturbations ventilatoires et surtout de leurs répercussions sur le sommeil. Deux études seulement concernent les PSG de type 2 celle de Goodwin et al. [27] et de Marcus et al. [28] qui ont enregistré respectivement 157 et 201 enfants âgés de 5 à 12 ans. Plus de 90 % des tracés étaient techniquement acceptables (respectivement 91 % et 92 %), définis par des signaux interprétables dans plus de 5 heures ou plus de 75 % du temps d'enregistrement. La canule nasale est le capteur qui avait posé le plus de problèmes techniques (signal valable dans 52 % à 67 %). L'association canule nasale et thermistance avait permis d'améliorer significativement la fiabilité du signal ventilatoire. En comparant chez un petit nombre d'enfants des PSG de type 2 enregistrées à domicile avec celles enregistrées en unité de sommeil, il n'existait pas de différences significatives pour les paramètres respiratoires. La bonne faisabilité techniques de ces PSG a été attribuée par les auteurs aux faits que les enfants avaient plus de 5 ans, qu'ils ne présentaient pas de comorbidités, et que la préparation avait été réalisée au domicile de l'enfant par une technicienne spécialisée. Ces PSG de type 2 sont plus facilement acceptées par les enfants

et les parents, la durée du sommeil semble plus longue et sa stabilité meilleure qu'en laboratoire. Toutefois, elles restent presque aussi coûteuses en temps et en personnel que la PSG en laboratoire avec un risque d'échec non négligeable (perte de la canule, du capteur de la saturation), sans compter les difficultés inhérentes au domicile et à des espaces non contrôlés (interférence avec l'utilisation d'autres équipements électriques, avec les autres enfants de la fratrie, défaillance de la batterie...).

13.3. PV

La PV a fait l'objet d'une revue [28]. Comme pour la PSG ambulatoire, la principale difficulté en PV provient de la perte de capteurs indispensables à l'établissement du diagnostic et de la sévérité du TROS. La perte de la canule nasale et du capteur de la saturation sont les plus fréquentes (40 % de validité de ces signaux en PV [29]) suivis par les ceintures thoraco-abdominales (47 % de validité [30]). Pour certains auteurs [28-30], les PV sont interprétables dès lors qu'elles durent plus de 4 h ou qu'elles cumulent 4 h de signaux sans artéfacts. Si les capteurs sont mis en place par un personnel expérimenté et qu'il y a la possibilité d'appeler un plateau technique en cas de problèmes, le pourcentage de tracés interprétables est significativement meilleur (94 %). Les études de Brockmann et al. (75 enfants de 2,8 ans d'âge moyen) [30] et Rosen et al. (850 enfants de 8 à 11 ans) [31] ont montré une bonne valeur prédictive positive de la PV avec une sensibilité de 88 % et une spécificité de 98 % pour un IAHO > 5/h. Lors de la lecture du tracé, il faut également tenir compte de la durée et de la distribution des phases interprétables. Un enfant dort au moins 10 h par nuit entre 2 et 12 ans et 9 h pendant l'adolescence. Il existe aussi une répartition du sommeil paradoxal pendant la nuit, avec sa composante hypotonique pourvoyeuse de troubles respiratoires nocturnes, essentiellement en fin de nuit.

La PV a certaines limites. L'absence de critères permettant une analyse des états de vigilance se répercute sur les résultats de la PV. Les paramètres respiratoires (avec souvent une canule nasale mais pas de thermistance, pas d'enregistrement audio ou vidéo, pas de mesure du CO₂) sont calculés sur le temps d'enregistrement et non sur la durée du sommeil, il est donc difficile de les comparer aux index apportés par les PSG. En raison des problèmes techniques et de stockage, peu de PV à domicile ont été réalisées en y incorporant des enregistrements audio et vidéo. Pourtant ces enregistrements permettraient de déterminer avec plus de précision les périodes de sommeil et d'avoir une meilleure évaluation des efforts respiratoires de l'enfant. Lors d'une étude déjà ancienne utilisant cette technologie, Jacob et al. [32] qui ont étudié 21 enfants âgés de 2 à 12 ans rapportaient une sensibilité de 100 % et une spécificité de 62 % pour un seuil d'IAHO > 1/h de sommeil et une sensibilité et spécificité de 100 % pour un seuil > 5/h de sommeil. Par ailleurs, la PV sous-estime la détection des

hypopnées et des limitations de débit, puisque le codage des micro-éveils corticaux requiert l'enregistrement du sommeil. Tan et al. [33] ont montré à partir d'une étude comparative basée sur des PSG de type 1 obtenues chez 100 enfants sains âgés de 2 à 16 ans, et sur l'enregistrement des seuls paramètres respiratoires, que pour 23 % la sévérité du SAOS aurait été sous-estimée et leur prise en charge différente. En effet, 27 % des enfants avec un SAOS léger ($1 < \text{IAHO} < 5$) n'auraient pas été identifiés par la PV, 60 % des enfants avec un SAOS modéré ($\text{IAHO} > 5$ et $\text{IAHO} > 10$) auraient été considérés comme SAOS léger et n'auraient pas bénéficié d'un traitement plus actif (oto-rhino-laryngologique ou ventilation non invasive). Dans un travail récent, Alonso-Alvarez et al. ont montré une bonne sensibilité et spécificité entre PV et PSG pour un IAHO ≥ 3 à la PSG et un index d'anomalies respiratoires (IAR) $\geq 5,6$ à la PV, tous les événements obstructifs étant retenus (index d'apnées obstructives [IAO], IAHO [AASM, Stanford] et limitations de débit) [34]. De nouveaux outils apparus ces dernières années comme les indicateurs d'activation autonome pour détecter les micro-éveils autonomes (temps de transit du pouls [35] et photopléthysmogramme de pouls [36]), l'analyse des mouvements mandibulaires verticaux [37], la télétransmission [38], devront être évalués.

L'enregistrement de la PtCO₂ ou de la PetCO₂ est recommandé par l'AASM [9]. En effet, il a été récemment démontré que 13 % des 322 enfants âgés de 5 à 9 ans de l'étude CHAT présentaient une hypoventilation selon les critères de l'AASM, dont 5 % avec un IAHO < 1 [39]. Cette hypoventilation ne serait pas en relation avec l'âge, le sexe, l'indice de masse corporelle (IMC) ou l'évolution neurocognitive après AA mais serait le plus souvent présente chez les enfants afro-américains [39]. Elle est modérément corrélée à l'IAHO et au % de SaO₂ < 90 % et pourrait constituer un paramètre indépendant.

Les différents dispositifs portables de PV développés chez l'adulte n'ont pas été évalués chez l'enfant. Leur ergonomie n'est pas toujours adaptée, même si les constructeurs proposent de plus en plus des solutions. Le nombre de canaux d'acquisition des systèmes d'enregistrements portables est le plus souvent limité. Mais la mise en place du dispositif est moins complexe et moins chronophage. L'interprétation est plus facile avec un temps de lecture d'environ 20 à 30 minutes, contre 2 heures ou plus pour une PSG. Compte tenu de l'absence de contrainte de structure (examen réalisé hors laboratoire du sommeil) et du coût moindre de l'appareil pour les centres souhaitant s'équiper, de nombreux médecins peuvent pratiquer ces examens. Toutefois, la mauvaise appréciation du temps de sommeil et la méconnaissance de l'interprétation des tracés chez l'enfant amènent fréquemment à une surévaluation des événements obstructifs et une prise en charge thérapeutique non appropriée. Bien que le coût soit moindre (la polygraphie respiratoire nocturne (PV) (code GLQP 007) est facturée 145,92 euros contre 214,27 euros pour la PSG de 8 à 12 h avec enregistrement vidéo (code AMQP 013) ; CCAM

version 41 applicable au 12/11/2015). Toutefois, la répétition de la PV parfois 2 à 3 fois, sans conclusion adéquate peut représenter un coût non négligeable pour la Caisse d'assurance maladie.

14. Normes et anomalies

Les normes et anomalies des enregistrements PSG ont essentiellement été collectées lors d'études de cohorte d'enfants avec et sans signes d'appel de SAOS. La grande majorité de ces études [10,24,33,40,41] n'ont pas appliqué les règles de codage de la classification internationale des troubles du sommeil [9].

14.1. IAHO

Un index d'apnées obstructives (IAO) > 1/h et un IAHO > 1,5/h de sommeil sont considérés comme anormaux entre 1 an et 18 ans [31,40,42,43]. En effet, les apnées ou hypopnées obstructives chez l'enfant sain sont très rares [40-42,44]. Il n'existe en principe pas d'apnée obstructive de plus de 10 secondes chez l'enfant normal. Un IAHO ≥ 5 est significativement associé à une somnolence et des difficultés d'apprentissage. Un index ≥ 1 est symptomatique s'il est

associé à des chutes de saturations > 3 % [27]. Mais il n'existe pas de consensus international déterminant l'IAHO à partir duquel une thérapie doit être instaurée. Communément, on définit le SAOS léger par un IAHO compris entre 2 et 5, un SAOS modéré par un IAHO ≥ 5 et un SAOS sévère par un IAHO ≥ 10 [5]. Mais certains enfants présentent des difficultés respiratoires importantes sans atteindre ces seuils. Il faut chez ceux-ci rechercher un syndrome de haute résistance des VAS sur une augmentation des efforts respiratoires objectivée par une fragmentation du sommeil.

14.2. Index total de micro-éveils et un index de micro-éveils respiratoires

Ils sont pathologiques lorsqu'ils sont respectivement > 11-14/h et > 1 [26].

14.3. Index de désaturation en O₂ (chute de SaO₂ < 4 %)

Supérieur à 1,4 par heure de sommeil il est considéré comme anormal, de même que des valeurs de chutes de la saturation en oxygène inférieures à un seuil de 90 % [42].

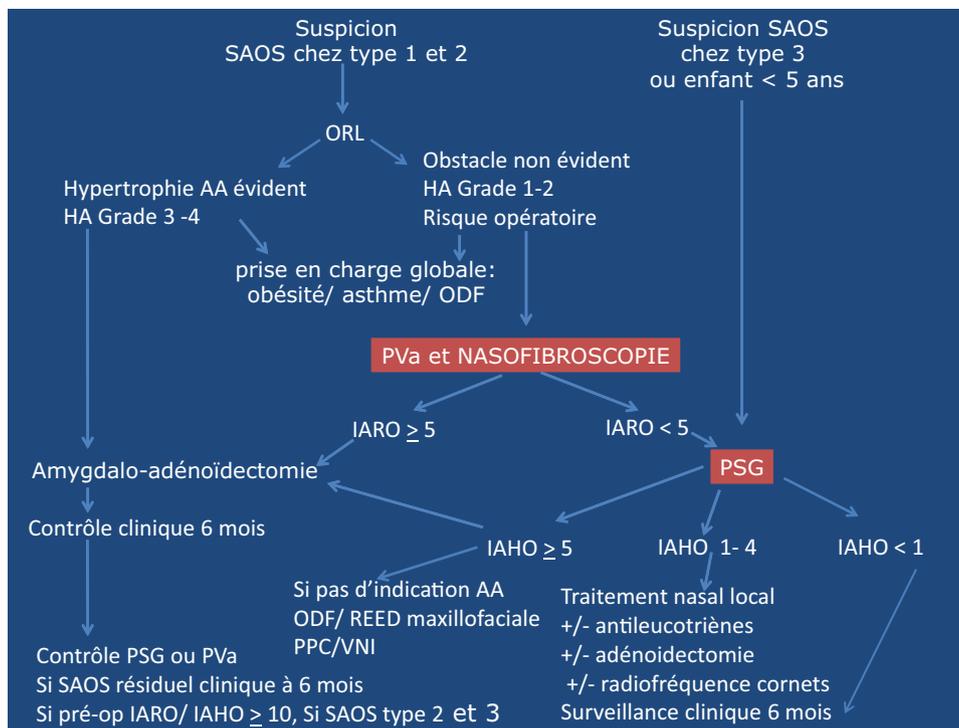


Figure 5. Organigramme du diagnostic polygraphique du SAOS de l'enfant. SAOS : syndrome d'apnée obstructive du sommeil ; type 1 : enfant non obèse ; type 2 : enfant obèse ; type 3 : enfant avec comorbidités ou enfant de moins de 5 ans ; AA : adéno-amygdalectomie ; HAA : hypertrophie adéno-amygdalienne ; volumes amygdaliens (ouverture de la bouche, langue sortie) ; grade 1 : pas visible, proche des piliers ; grade 2 : amygdales de faible volume ; grade 3 : amygdales proche de la luette ; grade 4 : amygdales jointives ; PVa : polygraphie ventilatoire ambulatoire (pose des électrodes/lecture du tracé [personnels formés], Matériels : canule + thermistance nasobuccale + microphone + CO₂ [obèses]) ; IARO : index d'anomalies respiratoires obstructives/heure d'enregistrement (comprenant les limitations de débit et les hypopnées « stanford ») ; PSG : polysomnographie ; IAHO : index d'apnées/hypopnées obstructives/heure de sommeil ; ODF : prise en charge orthodontique ; REED maxillo-faciale : rééducation maxillo-faciale ; PPC : pression positive continue ; VNI : ventilation non invasive.

14.4. Hypercapnie

L'hypercapnie est évaluée en pourcentage du temps de sommeil total (TST) passé avec une capnie dépassant un certain seuil. Un pic de $PetCO_2$ supérieur à 53 mmHg, une $PetCO_2 > 45$ mmHg pendant plus de 60 % du TST ou une $PetCO_2 > 50$ mmHg pendant plus de 10 % du TST sont des valeurs considérées comme anormales [42]. Se fondant sur une étude portant sur un grand nombre d'enfant, l'AASM a proposé que ce seuil soit augmenté à 25 % du TST passé au-dessus de 50 mmHg [9,45].

Peu d'études normatives pour la PV ont été réalisées chez des enfants témoins. Dans une étude portant sur 50 enfants de 10 ans d'âge moyen, Moss et al. ont rapporté des valeurs normatives pour les paramètres respiratoires des PV assez similaires à celles obtenues en PSG, avec un index d'IAHO $< 1/h$, un index de limitations de débit $< 1,7/h$, un index de mouvements $< 13,4/h$ et un index de désaturations (chute de $SaO_2 \geq 4\%$) $< 2,5/h$ [29].

15. Conclusion

La PSG nocturne malgré ses limites reste le *gold standard* pour l'évaluation des troubles respiratoires et de la fragmentation du sommeil, même si des critères plus pertinents et plus adaptés doivent être encore évalués. Au vu du manque d'accessibilité de la PSG de type 1 en raison du nombre limité des unités de sommeil pédiatriques, d'autres techniques d'enregistrement comme la PSG ou la PV en ambulatoire peuvent avoir leur place dans le diagnostic du SAOS de l'enfant. La PV à domicile, par sa facilité d'installation et de lecture, est souvent considérée comme la meilleure option dans l'organigramme de diagnostic du SAOS chez l'enfant (fig. 5). Elle doit toutefois respecter certaines conditions. La PV pourrait être réservée aux enfants de plus de 5 ans, sans morbidité comportementale, présentant un sommeil peu fragmenté avec présomption clinique élevée de SAOS (IAHO > 5) et en l'absence d'autres troubles du sommeil. Elle n'est pas recommandée chez les enfants présentant une pathologie associée (SAOS de type 3) avec des malformations crânio-faciales ou des maladies génétiques (Prader-Willi, Trisomie 21...), en cas de suspicion de syndrome d'hypoventilation chez les enfants obèses ou porteurs d'une maladie neuromusculaire en l'absence d'enregistrement de la $PtCO_2$ ou de la $PetCO_2$. La multiplication des capteurs respiratoires (canule nasale, thermistance nasobuccale, mesure du CO_2) et l'enregistrement audio/vidéo destiné à évaluer les périodes d'éveils sont fortement recommandés. La PV doit être réalisée par une personne expérimentée (fixation des capteurs), se déplaçant idéalement au domicile du patient, et interprétée par une équipe spécialisée dans les troubles respiratoires de l'enfant. De nouveaux dispositifs apparaissent constamment et permettront à l'avenir une meilleure disponibilité des outils diagnostiques dans cette pathologie. Il

est indispensable que ces techniques soient évaluées, que des collaborations sous forme de consultations multidisciplinaires ou de réunions d'évaluation des pratiques professionnelles soient mises en place entre les différents spécialistes, afin de permettre une prise en charge optimale des enfants souffrant de TROS.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Annexe 1. Critères cliniques et polysomnographiques des troubles respiratoires du sommeil de l'enfant

A. Les parents ont remarqué :

- a) un ronflement ou
- b) une respiration laborieuse ou des efforts respiratoires

augmentés pendant le sommeil de l'enfant.

A. Les parents ont observé **au moins** un des signes suivants :

- des mouvements paradoxaux de la cage thoracique à

l'inspiration,

- des mouvements avec réaction d'éveil,
- une transpiration anormale,
- une hyper-extension du cou pendant le sommeil,
- une somnolence diurne excessive, une hyperactivité ou un

comportement agressif,

- une croissance insuffisance,
- une énurésie secondaire,
- des céphalées matinales.

B. L'enregistrement polysomnographique montre la présence d'un ou plusieurs évènement(s) obstructif(s) par heure de sommeil de type apnée ou hypopnée.

C. L'enregistrement polysomnographique montre la présence de

l'un des 2 ensembles de signes.

1^{er} ensemble de signes

- 1) de fréquentes réactions d'éveil associées à une augmentation des efforts respiratoires,
- 2) des désaturations en O_2 associées aux épisodes apnéiques,
- 3) une hypercapnie pendant le sommeil,
- 4) des variations importantes de la pression intra-œsophagienne.

2^e ensemble de signes

Des périodes d'hypercapnie et/ou de désaturations durant le sommeil associées à un ronflement, une respiration paradoxale inspiratoire avec :

- soit de fréquents éveils nocturnes,
- soit des variations marquées de la pression œsophagienne.

D. Les signes cliniques ne sont pas expliqués par un autre trouble du sommeil, par une autre affection médicale ou neurologique, par l'utilisation de médicaments ou d'autres substances.

Références

- [1] Association SopcotASD. Practice parameters for the use of portable recording in the assessment of obstructive sleep apnea. *Sleep* 1994;17:732-7.
- [2] Wise MS, Nichols CD, Grigg-Damberger MM, et al. Executive summary of respiratory indications for polysomnography in

- children: an evidence-based review. *Sleep* 2011;34 [389AW-398AW].
- [3] American Academy of Sleep Medicine. International classification of sleep disorders. Diagnostic and coding manual, 2nd ed., Westchester, Ill: American Academy of Sleep Medicine; 2005.
 - [4] American Academy of Sleep Medicine. International classification of sleep disorders. Diagnostic and coding manual, 3rd ed., Westchester, Ill: American Academy of Sleep Medicine; 2014.
 - [5] Dayyat E, Kheirandish-Gozal L, Gozal D. Childhood obstructive sleep apnea: one or two distinct disease entities? *Sleep Med Clin* 2007;2:433-44.
 - [6] Li AM, Wing YK, Cheung A, et al. Is a 2-night polysomnographic study necessary in childhood sleep-related disordered breathing? *Chest* 2004;126:1467-72.
 - [7] Verhulst SL, Schrauwen N, De Backer WA, et al. First night effect for polysomnographic data in children and adolescents with suspected sleep-disordered breathing. *Arch Dis Child* 2006;91:233-7.
 - [8] Berry RB, Budhiraja R, Gottlieb DJ, et al. Rules for scoring respiratory events in sleep: update of the 2007 AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events. Deliberations of the Sleep Apnea Definitions Task Force of the American Academy of Sleep Medicine. *J Clin Sleep Med* 2012;8:597-619.
 - [9] Iber CA-IS, Chesson A, Quan SF, et al. The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications, 1st ed., Westchester, Illinois: American Academy of Sleep Medicine ed; 2007.
 - [10] Tapia IE, Karamessinis L, Bandla P, et al. Polysomnographic values in children undergoing puberty: pediatric vs. adult respiratory rules in adolescents. *Sleep* 2008;31:1737-44.
 - [11] Accardo JA, Shults J, Leonard MB, et al. Differences in overnight polysomnography scores using the adult and pediatric criteria for respiratory events in adolescents. *Sleep* 2010; 33:1333-9.
 - [12] Marcus CL, Brooks LJ, Draper KA, et al. Diagnosis and management of childhood obstructive sleep apnea syndrome. *Pediatrics* 2012;130:e714-55.
 - [13] Nixon GM, Kermack AS, Davis GM, et al. Planning adenotonsillectomy in children with obstructive sleep apnea: the role of overnight oximetry. *Pediatrics* 2004;113:e19-25.
 - [14] Bhattacharjee R, Kheirandish-Gozal L, Spruyt K, et al. Adenotonsillectomy outcomes in treatment of obstructive sleep apnea in children: a multicenter retrospective study. *Am J Respir Crit Care Med* 2010;182:676-83.
 - [15] Marcus CL, Moore RH, Rosen CL, et al. A randomized trial of adenotonsillectomy for childhood sleep apnea. *N Engl J Med* 2013;368:2366-76.
 - [16] Goodwin JL, Kaemingk KL, Fregosi RF, et al. Clinical outcomes associated with sleep-disordered breathing in Caucasian and Hispanic children – the Tucson Children’s Assessment of Sleep Apnea study (TuCASA). *Sleep* 2003;26:587-91.
 - [17] Melendres MC, Lutz JM, Rubin ED, et al. Daytime sleepiness and hyperactivity in children with suspected sleep-disordered breathing. *Pediatrics* 2004;114:768-75.
 - [18] Biggs SN, Walter LM, Jackman AR, et al. Long-term cognitive and behavioral outcomes following resolution of sleep-disordered breathing in preschool children. *PloS One* 2015;10:e0139142.
 - [19] Amin RS, Kimball TR, Bean JA, et al. Left ventricular hypertrophy and abnormal ventricular geometry in children and adolescents with obstructive sleep apnea. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;165:1395-9.
 - [20] Walter LM, Biggs SN, Nisbet LC, et al. Improved long-term autonomic function following resolution of sleep-disordered breathing in preschool-aged children. *Sleep Breath* 2016;20:309-19.
 - [21] Tauman R, Ivanenko A, O’Brien LM, et al. Plasma C-reactive protein levels among children with sleep-disordered breathing. *Pediatrics* 2004;113:e564-9.
 - [22] Tauman R, Gulliver TE, Krishna J, et al. Persistence of obstructive sleep apnea syndrome in children after adenotonsillectomy. *J Pediatr* 2006;149:803-8.
 - [23] O’Brien LM, Sitha S, Baur LA, et al. Obesity increases the risk for persisting obstructive sleep apnea after treatment in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2006;70:1555-60.
 - [24] Miano S, Paolino MC, Castaldo R, et al. Visual scoring of sleep: a comparison between the Rechtschaffen and Kales criteria and the American Academy of Sleep Medicine criteria in a pediatric population with obstructive sleep apnea syndrome. *Clin Neurophysiol* 2010;121:39-42.
 - [25] Lin CH, Guilleminault C. Current hypopnea scoring criteria underscore pediatric sleep-disordered breathing. *Sleep Med* 2011;12:720-9.
 - [26] Scholle S, Wiater A, Scholle HC. Normative values of polysomnographic parameters in childhood and adolescence: arousal events. *Sleep Med* 2012;13:243-51.
 - [27] Goodwin JL, Babar SI, Kaemingk KL, et al. Symptoms related to sleep-disordered breathing in white and Hispanic children: the Tucson Children’s Assessment of Sleep Apnea Study. *Chest* 2003;124:196-203.
 - [28] Marcus CL, Traylor J, Biggs SN, et al. Feasibility of comprehensive, unattended ambulatory polysomnography in school-aged children. *J Clin Sleep Med* 2014;10:913-8.
 - [29] Moss D, Urschitz MS, von Bodman A, et al. Reference values for nocturnal home polysomnography in primary schoolchildren. *Pediatr Res* 2005;58:958-65.
 - [30] Brockmann PE, Perez JL, Moya A. Feasibility of unattended home polysomnography in children with sleep-disordered breathing. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2013;77:1960-4.
 - [31] Rosen CL, Larkin EK, Kirchner HL, et al. Prevalence and risk factors for sleep-disordered breathing in 8- to 11-year-old children: association with race and prematurity. *J Pediatr* 2003;142:383-9.
 - [32] Jacob SV, Morielli A, Mograss MA, et al. Home testing for pediatric obstructive sleep apnea syndrome secondary to adenotonsillar hypertrophy. *Pediatr Pulmonol* 1995;20:241-52.
 - [33] Tan HL, Gozal D, Ramirez HM, et al. Overnight polysomnography versus respiratory polygraphy in the diagnosis of pediatric obstructive sleep apnea. *Sleep* 2014;37:255-60.
 - [34] Alonso-Alvarez ML, Teran-Santos J, Ordax Carbajo E, et al. Reliability of home respiratory polygraphy for the diagnosis of sleep apnea in children. *Chest* 2015;147:1020-8.
 - [35] Katz ES, Lutz J, Black C, et al. Pulse transit time as a measure of arousal and respiratory effort in children with sleep-disordered breathing. *Pediatr Res* 2003;53:580-8.
 - [36] Yalamançali S, Farajian V, Hamilton C, et al. Diagnosis of obstructive sleep apnea by peripheral arterial tonometry: meta-analysis. *JAMA* 2013;309:1343-50.
 - [37] Martinot JB, Senny F, Denison S, et al. Mandibular movements identify respiratory effort in pediatric obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med* 2015;11:567-74.
 - [38] Bruyneel M, Van den Broecke S, Libert W, et al. Real-time attended home polysomnography with telematic data transmission. *Int J Med Inform* 2013;82:696-701.
 - [39] Paruthi S, Rosen CL, Wang R, et al. End-tidal carbon dioxide measurement during pediatric polysomnography: signal quality, association with apnea severity, and prediction of neurobehavioral outcomes. *Sleep* 2015;38:1719-26.

-
- [40] Scholle S, Wiater A, Scholle HC. Normative values of polysomnographic parameters in childhood and adolescence: cardiorespiratory parameters. *Sleep Med* 2011;12:988–96.
- [41] Uliel S, Tauman R, Greenfeld M, et al. Normal polysomnographic respiratory values in children and adolescents. *Chest* 2004;125:872–8.
- [42] Marcus CL, Omlin KJ, Basinki DJ, et al. Normal polysomnographic values for children and adolescents. *Am Rev Respir Dis* 1992;146:1235–9.
- [43] Kaditis AG, Alonso-Alvarez ML, Boudewyns A, et al. Obstructive sleep-disordered breathing in 2- to 18-year-old children: diagnosis and management. *Eur Respir J* 2016;47:69–94.
- [44] Traeger N, Schultz B, Pollock AN, et al. Polysomnographic values in children 2–9 years old: additional data and review of the literature. *Pediatr Pulmonol* 2005;40:22–30.
- [45] Montgomery-Downs HE, O’Brien LM, Gulliver TEG, et al. Polysomnographic characteristics in normal preschool and early school-aged children. *Pediatrics* 2006;117:741–53.