

# Polisomnografía nocturna y métodos alternativos para el estudio de los trastornos respiratorios del sueño

Helena Larramona Carrera<sup>(1)</sup>, Isidoro Cortell Aznar<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Servicio de Pediatría. Corporació Sanitària Parc Taulí. Barcelona

<sup>(2)</sup>Servicio de Pediatría. Hospital Universitario Materno Infantil La Fe. Valencia

Larramona Carrera H, Cortell Aznar I. Polisomnografía nocturna y métodos alternativos para el estudio de los trastornos respiratorios del sueño. *Protoc diagn ter pediatr.* 2017;1:67-84.



## RESUMEN

El síndrome de apneas hipopneas obstructivas del sueño (SAHS) pediátrico se asocia a trastornos neurocognitivos, cardiovasculares y metabólicos. Por tanto, es importante realizar un diagnóstico preciso en un tiempo apropiado para poder intervenir terapéuticamente y potencialmente reducir la morbilidad asociada. En este capítulo se describe la polisomnografía (PSG) y los métodos alternativos para el estudio de los trastornos respiratorios del sueño (TRS) en Pediatría.

## 1. POLISOMNOGRAFÍA

La PSG nocturna en el laboratorio de sueño es el *gold standard* para el diagnóstico de los TRS. Estos constituyen un espectro amplio que abarca desde el ronquido primario, pasando por el síndrome de resistencia elevada de la vía aérea superior (VAS) hasta el SAHS. La PSG proporciona información objetiva de patrones de sueño y cardiorespiratorios. Los parámetros obtenidos más relevantes son: arquitectura del sueño, eficiencia del sueño, índice de *arousals*

espontáneos, índice de *arousals* respiratorios, índice de apneas-hipopneas (IAH), índice de apneas-hipopneas obstructivas (IAHO), índice de apneas centrales (IAC), índice de trastorno respiratorio (*respiratory disturbance index*, [RDI]), porcentaje del tiempo total de sueño (TTS) con respiración periódica, índice de desaturación de oxígeno (ODI), nadir de la saturación de oxígeno, porcentaje del TTS con presión de CO<sub>2</sub> (PCO<sub>2</sub>) superior a 50 mmHg, índice de movimientos periódicos de piernas durante el sueño (PLMS).

### 1.1. Indicaciones respiratorias de la PSG

La indicación más frecuente para realizar una PSG es la evaluación diagnóstica de un niño con sospecha de SAHS. La prevalencia de niños roncoadores es de hasta una 25% aunque varía según los criterios utilizados y la población estudiada. En cambio, la disponibilidad de laboratorios de sueño pediátricos para la realización e interpretación de una PSG es baja. Por ello, existen diversas guías clínicas que facilitan la decisión de realizar una PSG de manera selectiva. Una de las guías clínicas probablemente más ajustada a los medios disponibles de la mayoría de centros hospitalarios es la guía de la American Academy of Otolaryngology y la Head and Neck Surgery (AAO/HNS) (Tabla 1). Está basada en evitar intervenciones quirúrgicas innecesarias en niños con elevado riesgo quirúrgico, planificar aquellos niños que requerirán una monitorización prolongada hospitalaria y minimizar el sobre- o infratratamiento, ya que la evaluación clínica no permite diagnosticar de manera fiable el SAHS (ninguna combinación de hallazgos de la historia clínica y de la exploración física tiene capacidad discriminatoria para diagnosticar o descartar la presencia de SAHS).

Una de las indicaciones más frecuentes para solicitar una PSG por el otorrinolaringólogo es la falta de concordancia entre la historia clínica y la exploración física. Recientemente, un estudio demostró que la evaluación por especialistas con formación en sueño pediátricos resultó en solicitudes de PSG más apropiadas con reducción del coste sanitario. La American Academy of Sleep Medicine (AASM) contempla un número mayor de indicaciones de PSG que las de la AAO/HNS. La American Academy of Pediatrics (AAP) declara que, si un niño o adolescente ronca de manera habitual y presenta signos o síntomas sugestivos de SAHS, es recomendable idealmente solicitar una PSG, aunque el pediatra puede referir el paciente a un especialista del sueño o a un otorrinolaringólogo. Además, recomienda que después de una adenoamigdalectomía por SAHS se reevalúe a aquellos niños con riesgo de SAHS persistente, como son los que presentan una PSG significativamente alterada. Indudablemente, en la actualidad, a pesar de disponer en España de numerosos laboratorios de sueño (especialmente en su origen para adultos), no es posible realizar una PSG nocturna a todos los niños roncoadores. En Europa, el número de laboratorios de sueño pe-

**Tabla 1.** Indicaciones principales de PSG según la American Academy of Otolaryngology/Head and Neck Surgery

1. Antes de realizar amigdalectomía, si existe cualquiera de lo siguiente: obesidad, síndrome de Down, anomalías craneofaciales, enfermedades neuromusculares, drepanocitosis o mucopolisacaridosis
2. Antes de realizar amigdalectomía, si el niño no tiene ninguna de las comorbilidades descritas previamente pero la necesidad de cirugía es dudosa o existe discordancia entre el tamaño amigdalario y la clínica de TRS referida por los padres
3. Se debe realizar ingreso hospitalario posterior a amigdalectomía durante una noche en niños con SAHS definido por PSG si son menores de 3 años o tienen SAHS grave (IAH $\geq$ 10/h) o nadir $<$ 80% o ambos

diátricos es escaso, por lo que las recomendaciones de la AAP no son realistas y han surgido guías clínicas que se adaptan a los recursos disponibles de cada país/centro hospitalario. Las indicaciones de PSG más aceptadas en un niño con sospecha de SAHS son la presencia de comorbilidades, edad inferior a 3 años y obesidad. La realización de una PSG posterior a ade-noamigdalectomía se considera si existe riesgo de persistencia de SAHS; los factores asociados a SAHS persistente son un IAH > 4,7-10/ h, edad superior a 7 años, obesidad, raza afroamericana y, en algunos estudios, asma.

Los niños y adolescentes con síndrome de Down y síndrome Prader-Willi, entre otros, constituyen ejemplos de indicaciones específicas de realización de PSG independientemente de la presencia de ronquido y/o signos-síntomas de SAHS. Así, particularmente en los niños con Prader-Willi, se indica PSG antes de iniciar tratamiento con hormona de crecimiento, siendo necesario tratar el SAHS severo antes de comenzar esta terapia.

Otras indicaciones específicas de la PSG son la evaluación de la función cardiorrespiratoria en niños y adolescentes con enfermedad neuromuscular y enfermedad pulmonar crónica. La edad a la que se realiza una PSG en niños con enfermedad neuromuscular es variable, aunque se debe tener en cuenta que la propia debilidad muscular ocasiona que el ronquido sea poco perceptible y no haya esfuerzo respiratorio incrementado. La monitorización de la  $PCO_2$  se considera muy importante en estos niños para evaluar la hipoventilación durante el sueño. La PSG también puede utilizarse para evaluar la hipoventilación e hipoxemia de lactantes con enfermedad crónica pulmonar y titulación de las necesidades de oxígeno. Estos

lactantes y niños pueden mostrar saturaciones de oxígeno normales en vigilia y desaturar durante el sueño. Estudios en lactantes con displasia broncopulmonar han encontrado que mantener valores de saturación de oxígeno  $\geq 93\%$  durante el sueño se asocia a un mayor crecimiento. Además, la PSG es útil para evaluar a lactantes y niños con sospecha de apneas centrales patológicas e hipoventilación central, siendo necesario monitorizar la  $PCO_2$ .

La decanulación de una traqueostomía es otra indicación de la PSG. Es útil valorar la obstrucción funcional de la VAS en un niño que se piensa está preparado para la decanulación. Durante la PSG, el niño es monitorizado inicialmente con el tubo de la traqueostomía sin tapar; luego, se tapa y se monitorizan el flujo aéreo y *end-tidal* de  $PCO_2$  mediante la cánula y el termistor oronasal, vigilando especialmente la presencia de trabajo respiratorio y eventos respiratorios. Esta PSG solo debe realizarse una vez que el paciente tolera que se le tape la traqueostomía en vigilia, e idealmente se habrá disminuido el tamaño de la cánula previamente. La PSG es también útil para la titulación de los dispositivos de presión continua positiva en la vía aérea (CPAP) y ventilación no invasiva (VNI). La AASM describe las recomendaciones para establecer los parámetros del respirador y CPAP en función de la presencia de los eventos respiratorios y fases del sueño.

## 1.2. Características técnicas de la PSG

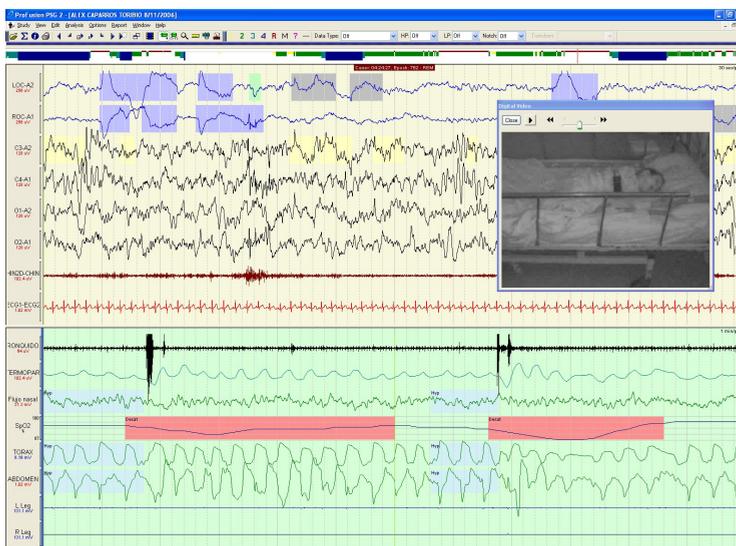
La PSG pediátrica se realiza idealmente en 10-12 horas de sueño (según edad del niño) en una habitación oscura y tranquila, con una temperatura agradable, con el niño acompañado de uno de los padres. No se recomienda

dar medicación para inducir el sueño ni cansar al niño para que se duerma antes. Los niños requieren un ambiente adecuado a ellos, diferente al del adulto, con un equipo especializado y generalmente, sensores de menor tamaño que los adultos. Los sensores y filtros utilizados en la adquisición de señales son relevantes en la obtención del registro PSG. Los parámetros neurofisiológicos que se miden son: electroencefalograma de seis canales (recomendación de la AASM: F4-M1, C4-M1 y O2-M1; electrodos contralaterales generalmente también se aplican F3-M2, C3-M2, and O1-M2), electrooculograma (derecho e izquierdo), electromiograma de la barbilla y tibial anterior bilateral para identificar movimientos de las piernas. Los parámetros respiratorios medidos son: flujo oronasal (mediante el termistor y la cánula nasal, y si es posible, un capnógrafo en una de las luces de la cánula nasal);

movimientos toracoabdominales (mediante las bandas toracoabdominales), electrocardiograma, ronquido (mediante un micrófono cercano a la tráquea), saturación de oxígeno (SatO<sub>2</sub>) (mediante pulsioxímetro) y un sensor de posición. Además, es muy recomendable disponer de un vídeo que grabe simultáneamente durante todo el registro. El vídeo es muy útil para evaluar parasomnias, convulsiones y eventos respiratorios inusuales, así como los momentos en los que hay pérdida de señales en el registro. Véase la **Figura 1** para ejemplo de registro de una PSG.

El electroencefalograma (EEG), electrooculograma (EOG) y el electromiograma (EMG) permiten codificar las distintas fases de sueño no REM y sueño REM en función de la frecuencia y amplitud de las ondas y de diferentes elementos (ondas K, *spindles* o husos de sueño).

**Figura 1.** Registro PSG en el que se aprecian las señales de arriba abajo: EOG, EEG, EMG mentoniano, ECG, ronquido, termistor y flujo nasal, SatO<sub>2</sub>, bandas torácicas y abdominales y EMG tibiales



Así, diferenciamos el sueño REM con movimientos oculares rápidos y el sueño no REM sin movimientos oculares. En el sueño no REM se diferencian además tres fases que representan cada vez más profundidad del sueño (N1, N2 y N3). La codificación del sueño o estadije del sueño se realiza por épocas, registro de 30 segundos. A cada época se le asigna un estadio (vigilia, N1, N2, N3 o REM). También se codifican los *arousals* o despertares electroencefalográficos. Los *arousals* corticales están presentes en aproximadamente el 51% de los eventos obstructivos de los niños. Un *arousal* constituye un reflejo protector que abre la vía aérea al activar los músculos dilatadores de la faringe y que pone fin a la obstrucción. Aunque el *arousal* restaura la vía aérea, provoca una fragmentación del sueño y/o una activación simpática. También pueden presentar *arousals* subcorticales. Estos se definen como una activación autonómica (variabilidad de la frecuencia cardíaca, elevación de la presión arterial) posterior a un evento obstructivo sin cambios EEG.

La cánula nasal mide el flujo nasal de manera semicuantitativa. Aunque la severidad del SAHS puede estar infraestimada si no se usa cánula nasal, esta solo detecta flujo nasal, por lo que no resulta útil en niños con respiración bucal, por ejemplo si hay hipertrofia severa de adenoides. Además, se obstruye fácilmente con mocos y es frecuente que se pierda la señal en una parte del registro por desplazamiento de la cánula. Por ello, en niños se recomienda utilizar simultáneamente varios sensores de flujo aéreo: termistor (detección de apneas), cánula nasal (detección de hipopneas) y si es posible *end-tidal* de  $PCO_2$  (sensor alternativo de apneas-hipopneas), además de las bandas toracoabdominales de pletismo-

grafía de inductancia (valoran principalmente el esfuerzo respiratorio, son un sensor alternativo de apneas-hipopneas).

La medición de la  $PCO_2$  se recomienda para evaluar la presencia de hipoventilación y también para detectar patrones respiratorios de obstrucción parcial persistente, ya sea mediante la medición del *end-tidal* de  $PCO_2$  acoplada a la cánula nasal o sensor transcutáneo de  $PCO_2$ . La ventaja del primer sensor es que permite valorar una señal de calidad al registrarse la onda “cuadrada y no picuda”. El ensayo controlado aleatorizado The Childhood Adenotonsillectomy Trial (CHAT) encontró que solo el 17% de los niños de edades entre 5-9 años con SAHS cumplían criterios pediátricos de hipoventilación, y la media del TTS con un *end-tidal* de  $PCO_2 > 50$  mmHg se correlacionó pobremente con el IAH. Además, tampoco fue predictor de cambios en morbilidad neurocognitiva posterior a la adenoamigdalectomía. La señal de *end-tidal* de  $PCO_2$  puede usarse como sensor alternativo para detectar apneas solamente en Pediatría, aunque es demasiado sensible y se debe usar solo como ayuda a los sensores de flujo recomendados.

Se aconseja medir los movimientos toracoabdominales que permitirán diferenciar los eventos obstructivos (con esfuerzo respiratorio) de los centrales mediante bandas de pletismografía de inductancia (*respiratory inductance plethysmography* [RIP]). Estas evalúan el volumen corriente en función de cambios de inductancia de la espiral que recorre toda la banda. En caso de perder la señal de flujo, se consideran sensores alternativos para identificar eventos respiratorios. Otros sensores utilizados para detectar el esfuerzo respiratorio son las bandas piezoeléctricas; el catéter eso-

fágico que es el *gold-standard* raramente se usa dada su invasividad.

El pulsioxímetro debe mostrar simultáneamente los valores y la onda de pulso con una frecuencia de muestreo de señal no superior a 3 segundos. Los niños tienden a moverse mucho durante el sueño, por lo que la monitorización de la onda de pulso ayuda a distinguir entre un artefacto de movimiento y una desaturación verdadera. Algunos pulsioxímetros permiten la medición del tiempo de tránsito de pulso (PTT), que permite identificar la presencia de *arousals* autonómicos. El PTT es el tiempo que transcurre entre el latido monitorizado a través de un canal ECG para el reconocimiento de la onda R y la llegada de la onda de presión sanguínea al punto periférico donde está situado el sensor de pulsioximetría. El PTT es inversamente proporcional a la presión sanguínea, la onda de presión se desplaza con mayor rapidez por lo que el PTT disminuye. Se puede estimar así el esfuerzo respiratorio.

Las características técnicas que diferencian la PSG pediátrica de los adultos son: 1) mayor número de horas de sueño (un niño de 8 años puede necesitar unas 10 horas de sueño); 2) proporción un técnico de sueño por 1-2 estudios; 3) dificultades en la colocación del montaje, especialmente los electrodos de EEG y la cánula nasal; 4) distracción y juegos apropiados para la edad del niño, excepcionalmente el uso de dispositivos electrónicos, a pesar de que no se recomiendan en la rutina de sueño habitual.

En las PSG pediátricas existe poca variabilidad noche a noche, por lo que una PSG nocturna es suficiente para el diagnóstico de la presencia de SAHS. Sin embargo, debe constar en el in-

forme si los padres consideran que ha sido una noche típica tanto del sueño como de la respiración del niño. Diversos estudios han documentado una estacionalidad del número de eventos obstructivos, con mayor número de eventos en invierno y primavera comparado con otoño y verano.

### 1.3. Interpretación de la PSG

La interpretación de la PSG para el diagnóstico de SAHS pediátrico tiene en cuenta los valores de referencia de los parámetros polisomnográficos encontrados en la población sana pediátrica, patrones de alteraciones frecuentemente encontrados en niños con morbilidad asociada a SAHS y aquellos parámetros que mejoran o se normalizan después de intervenciones terapéuticas del SAHS y están relacionadas con la resolución de la morbilidad del SAHS.

Los valores de normalidad de las variables polisomnográficas que sugieren los estudios de población pediátrica sana se encuentran expresados de manera aproximada en las **Tablas 2 y 3**. Los valores de anormalidad deducidos de estos valores constituyen más valores estadísticos que criterios clínicos de presencia de enfermedad y, por tanto, se deben interpretar junto a la clínica, morbilidades y presencia de anormalidades predisponentes a la hora de tomar decisiones terapéuticas. Esto es corroborado por los hallazgos de un estudio reciente, efectuado en 209 niños sanos, alemanes, asintomáticos, a los que se les realizó una PSG, encontrándose que el percentil 90 para el IAH (criterios de la AASM, 2007) fue 3,2/h para niños de edad < 2 años, de 2,5/h para niños de entre 2-6 años y de 2,1/h para niños de entre 6-18 años. Por tanto, la presencia de síntomas

**Tabla 2.** Valores polisomnográficos de normalidad en niños y adolescentes de 1-18 años

Parámetro	Valor
IAH obstructivo (N/hora)	≤ 1,4
IAC (N/hora)	≤ 0,4
Tiempo con SatO <sub>2</sub> < 90% del TTS (%)	0
Nadir SatO <sub>2</sub> (%)	≥ 91
Tiempo con PCO <sub>2</sub> ≥ 50 mm Hg (% TTS)	< 25

IAH: índice apnea-hipopnea; IAC: índice apnea central; TTS: tiempo total de sueño.

Datos derivados de la media ± 2 desviaciones estándar basado en estudios poblaciones con muestras grandes.

**Tabla 3.** Arquitectura del sueño normal en niños y adolescentes de 1-18 años

Latencia del sueño (min)	23
Eficiencia (%)	89
Índice arousal (N/hora)	9-16
Sueño N1 (% TTS)	4-5
Sueño N2 (% TTS)	44-56
Sueño N3 (% TTS)	29-32 (< 10 años); 20 (> 10 años)
Sueño REM (% TTS)	17-21*

TTS: tiempo total del sueño.

\*Puede ser mayor en niños de edades más jóvenes.

Datos son una aproximación de los valores medios y medianas de estudios en controles con muestras grandes.

y morbilidad asociada al SAHS es relevante al interpretar el IAH y los otros parámetros PSG.

Cuando se interpreta una PSG se deben considerar también los filtros y sensores utilizados, así como las normas con las cuales se ha codificado. Las normas de codificación de los eventos del sueño y respiratorios están descritas en el manual de la AASM actualizado en el 2012 (existe una última actualización referida a lactantes en el 2015). Debido a las diferencias fisiológicas y del desarrollo respecto a los adultos, los criterios de codificación e interpretación polisomnográficos son propiamente pediátricos y diferentes a los criterios de los adultos,

con normas ajustadas a la edad del niño, particularmente en la duración de los eventos pediátricos (al menos dos ciclos respiratorios). Un cambio respecto al manual de la AASM previo (2007) es la definición de hipopnea; actualmente una hipopnea se codifica cuando hay una disminución del flujo oronasal de ≥ 30% respecto al flujo basal precedente durante al menos dos ciclos respiratorios, acompañado de una desaturación ≥ 3% y/o un arousal. El manual de la AASM de 2012 permite codificar niños de edad ≥ 13 años utilizando criterios respiratorios de adultos. Sin embargo, los criterios pediátricos también pueden ser utilizados en todos los niños y adolescentes con edad inferior a 18 años. Varios estudios demostraron diferencias significativas cuando la misma PSG de adolescentes era codificada con criterios pediátricos o adultos. No solo hallaron diferencias en el valor del IAH sino también en el número de adolescentes con valores de IAH ≥ 5/h como criterio de SAHS. Los criterios pediátricos permitían diagnosticar más eventos respiratorios que los criterios de los adultos.

Una característica pediátrica es que los eventos obstructivos en niños y adolescentes prácticamente ocurren durante el sueño REM. Si no hay suficiente sueño REM en una PSG, la

presencia y severidad del SAHS probablemente será infraestimada. Por tanto, es importante valorar si hay una cantidad adecuada de TTS y de sueño REM, al menos 180 minutos de sueño y dos sueños REM.

La respiración periódica se observa frecuentemente en prematuros o niños que viven en lugares de elevada altitud, ocasionalmente en niños mayores con patología del sistema nervioso central o brevemente como un fenómeno normal al inicio del sueño. Las apneas centrales son frecuentemente observadas en niños, incluso de larga duración, posterior a movimientos o suspiros, y frecuentemente durante el sueño REM. Por ello, solo se codifican según las normas de la AASM 2015 si su duración es  $\geq 20$  segundos o con menor duración si se asocian a un *arousal* con una desaturación  $\geq 3\%$ , o en lactantes ( $< 1$  año de edad), si la pausa respiratoria se asocia a una frecuencia cardíaca  $< 50$  al menos durante 5 segundos o frecuencia cardíaca  $< 60$  durante 15 segundos. Sin embargo, la presencia de apneas centrales o respiración periódica al inicio del sueño es relativamente infrecuente.

El parámetro usado más frecuentemente para definir el SAHS, tanto en la práctica clínica como en los estudios de investigación, es el IAH. Las apneas centrales están incluidas en el IAH (AASM, 2012). En algunos centros y trabajos de investigación, se utiliza el índice obstructivo de eventos respiratorios (IAHO), sin incluir las apneas centrales para diferenciarlas de las obstructivas. Un estudio de 53 niños de edades entre 7 y 12 años observó que las apneas centrales inducidas por movimientos, pero no las espontáneas, fueron más frecuentes en niños con SAHS modera-

do-severo comparados con los niños sanos control. Además, estas apneas centrales inducidas por movimientos presentaban cambios significativos en la frecuencia cardíaca y presión arterial a diferencia de las apneas centrales espontáneas, sugiriendo un potencial papel en la morbilidad cardiovascular. En cambio, un estudio en niños sanos de edad menor de 2 años encontró que el umbral de apneas centrales para lactantes de  $< 6$  meses fue de 10/h y para niños de 6 meses-2 años de 3/h.

El manual de la AASM de 2012 permite sumar al IAH los eventos denominados RERA, que constituyen esfuerzos respiratorios asociados a *arousals*; estos son caídas en el flujo respiratorio que no cumplen los criterios de hipopnea y están asociados a un *arousal*. Un parámetro que abarca ampliamente los eventos respiratorios es el *respiratory disturbance index* (RDI) que incluye apneas, hipopneas y RERA.

Existen varias definiciones diagnósticas de SAHS. Se considera estadísticamente anormal un IAH  $> 1,5/h$  en niños de edad superior a un año. Como se ha mencionado previamente, el IAH es la suma de eventos obstructivos, centrales y mixtos por hora respecto al tiempo total de sueño. Sin embargo, se desconoce todavía el umbral del IAH que define significativamente la presencia de anomalías clínicas, o el valor de IAH al cual el tratamiento producirá una respuesta favorable. Un conjunto de factores interviene en la disfunción de los órganos responsables de las morbilidades del SAHS pediátrico; así, la interacción entre la obstrucción de la VAS y la susceptibilidad individual, además de factores ambientales (por ejemplo, duración del sueño, ritmo circadiano...), tienen influencia en

el daño final del sistema nervioso central (SNC), metabólico y cardiovascular. Esto podría explicar la pobre correlación de la PSG con la morbilidad del SAHS, con elevada variabilidad de las morbilidades presentes en el SAHS pediátrico incluso en los casos más severos. Sin embargo, la PSG es capaz de evaluar objetivamente los trastornos respiratorios relacionados con la patofisiología de la morbilidad del SAHS, como son la fragmentación del sueño y la hipoxia intermitente. Por tanto, los resultados de la PSG (incluido el IAH y otros parámetros de la PSG) se deben utilizar junto a la presencia de signos y síntomas de SAHS y sus morbilidades, así como, a los factores predisponentes de SAHS con el objetivo de identificar la necesidad y el tipo de tratamiento más adecuado.

Una definición de SAHS (usada tanto en muchos laboratorios de sueño pediátricos como en estudios de investigación) es la presencia de un IAH obstructivo  $\geq 2$  /h o un índice de apnea obstructivo  $\geq 1$ /h en un contexto de un niño con síntomas de TRS y hipertrofia adenoamigdalar con posible normalización del IAH posterior a adenoamigdalectomía. La probabilidad de normalización del IAH es menor en un SAHS leve (IAH obstructivo de 2-5/h) que en un SAHS moderado-severo (IAH obstructivo  $> 5$ /h). La definición de SAHS pediátrica más aceptada es un IAH  $\geq 1$ /h en el contexto de un niño con síntomas de TRS; esta definición presenta menor respuesta respecto a los síntomas de hiperactividad y trastorno de atención posterior a adenoamigdalectomía. Por otra parte, existe evidencia que niños con IAH  $> 5$ /h presentan elevaciones significativas de la presión sistólica en vigilia, y la presión diastólica en vigilia y durante el sueño.

#### 1.4. Cambios polisomnográficos posteriores a una adenoamigdalectomía

El IAH es también el parámetro más utilizado para definir el éxito posterior a la adenoamigdalectomía o resolución del SAHS. Así, algunos estudios definen como curación un IAH  $< 1$ /h, mientras otros definen un IAH  $< 5$ /h. La PSG puede predecir los niños con mayor riesgo de eventos respiratorios adversos en el postoperatorio inmediato siendo: un elevado IAH (31,8 frente a 14,1), un índice de hipopnea alto (22,6 frente a 8,9), un índice de masa corporal aumentado (IMC) (*z-score* de 1,43 frente a 0,70), y una saturación de oxígeno mínima baja (del 72% frente al 84%). Se recomienda monitorización nocturna posterior a la adenoamigdalectomía si el IAH  $\geq 10$ /h y/o el nadir  $< 80\%$ .

Un metaanálisis que evaluó 3413 niños encontró cambios en varios parámetros de la PSG posterior a la adenoamigdalectomía. Hubo mejoras significativas en parámetros de sueño, con disminución del sueño N1, aumento del sueño N3, sueño REM y eficiencia del sueño. También hallaron disminución significativa en el IAH (diferencia media entre pre- y posadenoamigdalectomía de 12,4), reducción del índice obstructivo, de hipopneas, de apneas centrales y de *arousal*. La saturación de oxígeno media y nadir durante el sueño aumentaron. Sin embargo, casi la mitad de los niños presentaron un SAHS residual, especialmente los obesos y los más severos. Un estudio multicéntrico retrospectivo evaluó los factores asociados a persistencia de IAH elevado tras la adenoamigdalectomía, encontrando que estos son: edad  $> 7$  años, elevado índice de masa corporal (IMC) para la edad, asma, severidad del SAHS antes de la intervención e IAH  $> 10$ /h. En el primer ensayo controlado aleatorizado de adenoamig-

dalectomía para el SAHS pediátrico (CHAT estudio) hallaron que fue menos probable que los parámetros de la PSG se normalizaran en niños de origen afroamericano, niños con un IAH > 4,7/h previo a la adenoamigdalectomía y niños obesos. Por otra parte, un estudio reciente ha demostrado que en niños preescolares con TRS presentan una mejoría significativa a los tres años de la adenoamigdalectomía respecto a los niños con TRS a los que no se les intervino, mostrando un menor IAH, RDI y menores índices de *arousabilidad* espontáneos y respiratorios.

### 1.5. PSG domiciliaria (no vigilada)

Existen varios estudios que han realizado la PSG en el domicilio del niño, encontrando que más del 90% de los registros cumplen unos criterios de calidad prefijados. La viabilidad de la PSG domiciliaria se ha demostrado en estudios poblacionales de niño con ronquido habitual (TuCASA) y en exprematuros, aunque no en niños con comorbilidades. La pérdida de señal de la cánula nasal es el hallazgo más frecuente. Una limitación importante es que un técnico debe ir a casa del niño para el montaje. Las ventajas potenciales son que posiblemente el registro sea más representativo del sueño habitual, al realizarse en su propia casa, la reducción potencial del coste de dormir en el hospital y del técnico para su vigilancia (obviamente los estudios domiciliarios no son vigilados) y que posibilita realizar PSG simultáneamente a un mayor número de niños. Sin embargo, se desconoce si estos estudios son fiables en diferentes poblaciones, en edades muy tempranas y los criterios de calidad que permitan una fiabilidad diagnóstica aceptable, además del coste de la pérdida de estudios y/o aparatos y coste del personal que se desplaza al domicilio para el montaje.

### 1.6. Limitaciones de la PSG

Sin duda la limitación más importante de la PSG es que no existe una correlación entre las variables que miden la presencia y severidad de los eventos obstructivos (IAH, IAHO, RDI, ODI, índice de *arousals*...) y la morbilidad asociada al SAHS. Es decir, la severidad del SAHS cuantificada por la PSG no es indicativa de mayor severidad de los trastornos de aprendizaje, atención, conducta, y demás morbilidades asociados al SAHS pediátrico. Así, incluso el ronquido primario se ha asociado a trastornos de conducta y aprendizaje, y niños roncadores relativamente asintomáticos pueden presentar una PSG con evidencia de trastornos obstructivos respiratorios graves. Existen estudios que han intentado obtener nuevos parámetros de la PSG fiables en la predicción de la morbilidad. Así, se realizó PSG con monitorización del esfuerzo respiratorio mediante catéter esofágico. Sin embargo, tampoco fue útil en la predicción de la morbilidad del SAHS pediátrico. Otras aproximaciones para la identificación de fragmentación del sueño (patrón cíclico alternante, cambios EEG relacionados con eventos respiratorios) o la inclusión de *arousals* autonómicos (medidos por variabilidad de la frecuencia cardiaca, PTT, tono arterial periférico) se han evaluado en diferentes estudios con resultados variables, además de ser difíciles de implementar en la práctica clínica habitual.

Aunque las medidas obtenidas con la PSG predicen pobremente la morbilidad del SAHS pediátrico, cuantifican objetivamente las anomalías relacionadas con la obstrucción intermitente de la VAS durante el sueño, la hipoxia intermitente y la fragmentación del sueño, que son el sustrato patológico de las

morbilidades del SAHS. Se debe tener en cuenta además que la morbilidad asociada al SAHS pediátrico puede requerir un periodo de tiempo prolongado hasta que se manifieste y factores individuales genéticos y ambientales intervienen en su aparición y severidad. De todos modos, no se conocen de manera precisa cuáles son los criterios de los parámetros polisomnográficos que, de manera fiable, identifican aquellos niños que requieren tratamiento y/o se benefician de un tratamiento determinado.

### 1.7. Ventajas y desventajas de la PSG

La PSG cuantifica la severidad del SAHS y puede predecir el riesgo perioperatorio y la probabilidad de anomalías persistentes posteriores a una intervención terapéutica, indicando la necesidad de seguimiento.

Es un procedimiento relativamente caro, no disponible en todos los centros, que requiere personal entrenado y con experiencia para su realización, codificación e interpretación; y exige, cuando es realizada en el laboratorio del sueño, monitorización durante toda la noche y la incomodidad ocasionada por dormir fuera de casa para el niño y tutor.

En resumen, la PSG nocturna en el laboratorio de sueño es la prueba *gold standard* para el diagnóstico de la presencia y severidad del SAHS. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las alteraciones polisomnográficas no se correlacionan con la morbilidad asociada en el SAHS, que los valores definidos como anormales tienen más significado estadístico que clínico y que en la actualidad no es posible realizar una PSG a todo niño roncadador.

## 2. OTROS MÉTODOS DIAGNÓSTICOS

Aunque la PSG es el método diagnóstico más preciso, fiable, seguro y que permite descartar el SAHS; cuando no es posible la realización de una PSG, por su complejidad técnica o por la inexistencia de laboratorios del sueño, se pueden considerar pruebas diagnósticas alternativas que hayan sido evaluadas y validadas, como la poligrafía respiratoria (PR) y, cuando esta no está disponible, la pulsioximetría o las videograbaciones con sonido. Estas técnicas diagnósticas pueden ser útiles si son positivas; pero si son negativas, dado su alto porcentaje de falsos negativos, suponen realizar una PSG para descartar la presencia de SAHS. La AAP, en su guía de práctica clínica, sugiere solicitar una prueba alternativa si la PSG no está disponible. Si bien estos exámenes alternativos tienen un bajo valor predictivo negativo que significa que un resultado negativo no es suficiente para excluir un SAHS, la prueba objetiva es preferible a la evaluación clínica sola.

### 2.1. Poligrafía respiratoria (PR)

La AASM publicó la guía clínica para el uso de la poligrafía cardiorrespiratoria domiciliaria en adultos y, aunque no hay directrices para niños, se han publicado estudios en niños que encontraron resultados fiables de la PR con respecto a la PSG realizada en laboratorio en niños escolares, y tiene su papel en la detección urgente ante la alta sospecha de SAHS moderado o severo.

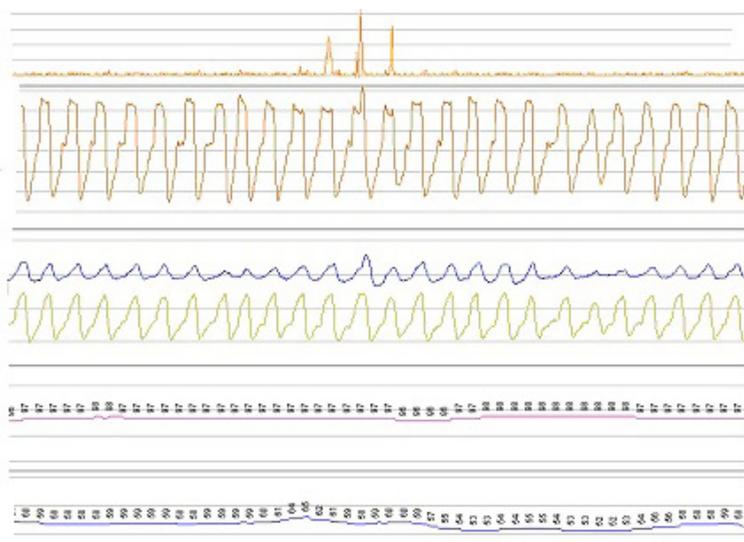
Es una prueba sencilla y bien tolerada. El montaje de la PR siempre debe ser realizado por un técnico y generalmente se usa en el domicilio, vigilando al niño los padres o cuidadores. Estos pueden recolocar la cánula nasal, el ter-

mistor y el pulsioxímetro con el objetivo de lograr una señal aceptable para su posterior codificación e interpretación. La PR excluye los parámetros neurofisiológicos y registra los parámetros cardiorrespiratorios, como son el flujo aéreo mediante cánulas nasales (registran el flujo de aire por cambios de presión) o termistores (registran el flujo por cambios de temperatura del aire en la inspiración y espiración), el esfuerzo respiratorio mediante las bandas torácicas y abdominales piezoeléctricas o inductivas (detectan los movimientos respiratorios de tórax y abdomen), la medición de la saturación de oxígeno y la frecuencia cardiaca mediante un pulsioxímetro y la detección del ronquido mediante un micrófono. Un ejemplo de registro PR puede verse en la **Figura 2**. En las poligrafías respiratorias en las que se utilizan cánulas, se puede determinar el ronquido y su frecuencia por medio de la de-

tección de los milibares de presión del flujo de aire. En algunos polígrafos cardiorrespiratorios existen canales accesorios a los que se les pueden adaptar diferentes tipos de sensores: de detección de la posición corporal, de movimientos, de detección de movimientos de miembros inferiores o también de detección del  $PCO_2$ .

Es una técnica más sencilla de interpretar, con alta especificidad, lo que permite diagnosticar pacientes con pocos falsos positivos, y alta sensibilidad, lo que permite identificar pacientes con SAHS. Esta técnica diagnóstica pertenece al nivel III según la AASM, debiendo registrar al menos cuatro parámetros: flujo aéreo, movimientos respiratorios, frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno, y los dispositivos deben estar validados comparados con la PSG. Un sensor de posición corporal durante el

**Figura 2.** Registro poligráfico en el que se aprecian las señales de arriba abajo: ronquido, flujo nasal, bandas torácicas y abdominales, frecuencia cardiaca y  $SatO_2$



registro ayuda a interpretar falsas caídas en la saturación por cambios de posición, especialmente útil en la PR y en la PSG si no hay grabación de vídeo.

El menor coste y la facilidad de realizar el registro en el domicilio permiten tomar una decisión antes en caso de baja disponibilidad de la PSG. Sin embargo, se ha de conocer sus limitaciones. Al carecer de parámetros neurofisiológicos, pueden fallar en detectar SAHS en los que predominen eventos de obstrucción parcial asociados a *arousal*/movimientos y no permite diagnosticar el síndrome de resistencia aumentada de la vía aérea superior. Algunos estudios han relacionado la presencia de microdespertares electroencefalográficos con otras variables como la disminución del tiempo de tránsito de pulso, el aplanamiento de la señal del flujo inspiratorio al final de la inspiración o la disminución de la amplitud de las bandas toracoabdominales seguido de hiperventilación para identificar estos patrones de *arousals* y/o limitación al flujo en la PR. Otra particularidad a tener en cuenta es que la PR utiliza el tiempo en cama como denominador de los distintos índices de del estudio, lo que puede producir falsos negativos al ser el tiempo en cama mayor que el tiempo real de sueño. Esta diferencia en el denominador (TTS frente a tiempo en cama) utilizado para obtener el IAH es la base en la que se fundamenta un interesante estudio que evalúa las diferencias en el IAH entre la PSG en el laboratorio y la PR utilizando la parte respiratoria de esa misma PSG. El objetivo fue valorar si afecta a la decisión clínica terapéutica del SAHS. Se estudiaron 100 niños con PSG, y la parte respiratoria se usó como PR, siendo vigilada. La PR infraestimó el IAH a pesar de que estas PR

permitían un mejor cálculo del TTS, debido a que no identifica hipopneas asociadas a *arousals*. Estas diferencias afectaron a la decisión clínica terapéutica del SAHS en caso de presencia de SAHS leve-moderado ( $1 < \text{IAH} < 10/\text{h PSG}$ ).

Los estudios con PR domiciliarios, al no ser vigilados por técnicos, pueden presentar mayor frecuencia de pérdida de datos en el registro, que dificultan la codificación e interpretación, pudiendo requerir repetir el estudio. Un estudio prospectivo con 50 niños de edades entre 2 y 14 años con sospecha clínica de SAHS evaluó la rentabilidad diagnóstica de la PR domiciliaria. Se estableció como diagnóstico de SAHS la presencia de un RDI  $\geq 3/\text{h}$  por PSG, es decir, los RERA y limitación al flujo se añadieron al IAH. El IAH de la PR domiciliaria óptimo que correspondió a la definición de SAHS-PSG fue  $\geq 5,6/\text{h}$ . El montaje de la PR fue realizado por un técnico en el domicilio del niño. Consistió en termistor oronasal, cánula nasal, bandas toracoabdominales RIP, sensor de posición, micrófono y pulsioxímetro. Se consideró excluir aquellas PR con señal de flujo  $> 60\%$  no interpretable, aunque los autores refieren que ningún estudio de sueño, ni PSG ni PR domiciliaria fue descartado. Esto contrasta con un estudio también realizado en España que encontró que aproximadamente el 50% de las PR domiciliarias de una muestra de niños con sospecha de SAHS realizadas no fueron interpretables por pérdida de señales. Un metaanálisis de dispositivos multicanal no vigilados mostró que un valor de corte de IAH  $> 1/\text{h}$  para el diagnóstico de SAHS resultó más útil debido a su elevada sensibilidad (88%), aunque su moderada especificidad (71%) sugiere su uso en aquellos niños con sospecha de SAHS más severo.

En un estudio retrospectivo en la Unidad de Neumología Pediátrica del Hospital Universitario Materno Infantil La Fe de Valencia se evaluaron los datos de 238 PR domiciliarias con el objetivo de establecer asociaciones entre el IAH y otras variables categóricas como sexo, edad, la patología de base (hipertrofia adenoidea y amigdalar, malformaciones congénitas craneofaciales, metabopatías, enfermedades neuromusculares) y otras variables obtenidas durante el registro, como el índice de desaturaciones por hora de registro, la saturación media de oxígeno durante el tiempo del registro y el tiempo con  $\text{SatO}_2 < 90\%$ . Aunque el número de varones era mayor que el de mujeres, no encontraron diferencias entre en IAH de ambos sexos como en los resultados publicados con PSG. Se observó una tendencia a aumentar el ODI en relación al incremento del IAH y una relación significativa entre el tiempo de saturación de oxihemoglobina por debajo del 90% con la saturación media de oxígeno. En esa muestra, el 50% de los pacientes a los que se realizó el estudio de sueño mediante PR domiciliaria presentaron un estudio normal por tanto como prueba del cribado no fue aceptable, debiendo incidir más en las guías clínicas respecto a la derivación para descartar SAHS.

## 2.2. Vídeos domésticos

El diagnóstico de SAHS usando la grabación realizada con un vídeo doméstico, además de la historia clínica y el examen físico, mostró una sensibilidad del 92% comparada con la PSG, pero una especificidad del 29%. Se ha de tener en cuenta que una grabación supone el registro de una porción de la noche. Esto condiciona que, si esa grabación coincide con un periodo de REM, posibilita observar la presen-

cia de apneas obstructivas ya que, en los niños, los eventos obstructivos se producen casi exclusivamente en sueño REM. Es importante ser prudente cuando se establece un diagnóstico y posterior decisión quirúrgica, a partir de una grabación de una parte limitada de la noche, sabiendo que la severidad de los TRS puede variar a lo largo de la noche, siendo más severa habitualmente en sueño REM.

## 2.3. Pulsioximetría

Los pulsioxímetros monitorizan la saturación de la oxihemoglobina, la frecuencia y amplitud del pulso mediante un sensor espectrofotométrico colocado en un dedo o en el lóbulo de la oreja. La pulsioximetría como técnica para el diagnóstico como método aislado de los TRS es muy limitada porque las desaturaciones pueden tener una causa distinta al SAHS. Es útil en pacientes con clínica sugestiva, como hipertrofia amigdalar, si su resultado es positivo, con un valor predictivo positivo alto. Pero, si es negativo, dado su pobre valor predictivo, no permite descartar la presencia de SAHS. Así, un estudio que comparó pulsioximetría con PSG en un grupo de niños roncadores con hipertrofia amigdalar demostró un elevado valor predictivo positivo (97%), pero un valor predictivo negativo bajo (53%). Esto es debido a que los niños pueden presentar eventos obstructivos con aumento del esfuerzo respiratorio con *arousal* o movimiento sin asociar hipoxemia. Los pulsioxímetros deben permitir distinguir artefactos con fiabilidad. Sin embargo, con algunos pulsioxímetros es difícil diferenciar artefactos.

La pulsioximetría nocturna se ha utilizado en niños con obesidad, enfermedad crónica pulmonar, enfermedad cardíaca, anormalidades

craneofaciales y síndrome de Down. Como se ha mencionado, es capaz de cribar de manera fiable en los casos con mayor severidad de SAHS, pero hay un subgrupo de SAHS severo sin marcadas desaturaciones y, por tanto, no serán diagnosticados.

Existen varios criterios en la literatura médica, con la mayoría de ellos estableciendo una duración ideal del registro de 6 horas. Los criterios de Brouillette establecen que una desaturación es una caída en la saturación de oxígeno  $\geq 3\%$  respecto a la basal y un grupo de desaturaciones es definido como  $\geq 5$  desaturaciones en un periodo de 10-30 min. Una pulsioximetría se considera positiva si existen  $\geq 3$  grupos de desaturación, y  $\geq 3$  desaturaciones  $< 90\%$ . Se considera negativa cuando no hay grupos de desaturaciones y ausencia de saturación  $< 90\%$ . Un pulsioximetría se considera no concluyente cuando no cumple criterios de positiva ni negativa. El sistema de codificación de McGill establece 4 niveles de severidad. El nivel 1 (normal o no concluyente):  $\text{SatO}_2$  basal  $> 95\%$  con  $< 3$  grupos de desaturación (47-49% de los niños tienen SAHS). El nivel 2 (ligera-mente anormal):  $\geq 3$  grupos de desaturación y  $\geq 3$  desaturaciones  $< 90\%$ , pero no inferior a 85% (IAH obstructivo promedio de 12,6/h). El nivel 3 (moderadamente anormal):  $> 3$  grupos de desaturación y  $> 3$  desaturaciones de  $< 85\%$ , pero no inferior a 80% (IAH obstructivo promedio de 13,3/h). El nivel 4 (gravemente anormal):  $> 3$  grupos de desaturaciones y  $> 3$  desaturaciones  $< 80\%$  (IAH obstructivo promedio de 39,9/h).

Un aspecto útil en la práctica clínica de la pulsioximetría es que los niños que no presentan grupos de desaturaciones tienen menor riesgo de complicaciones graves respiratorias poste-

riores a la adenoamigdalectomía. Se considera que es raro encontrar  $> 1$  desaturación  $< 90\%$  y  $> 2$  grupos de desaturaciones en niños sin SAHS en un periodo de registro de pulsioximetría nocturna de  $\geq 5$  h.

Otro parámetro descrito es el índice de desaturación de oxígeno (ODI). Considera todas las desaturaciones de  $\geq 3\%$  ( $\text{ODI}_3$ ) o  $> 4\%$  ( $\text{ODI}_4$ ) respecto a la saturación basal precedente y se divide el número total de desaturaciones por el TTS. Varios niveles de corte en diferentes estudios se han descrito como útiles  $\text{ODI}_4 > 2$ ,  $> 3$ ,  $> 5/\text{h}$ . Estos estudios encuentran que el  $\text{ODI}_4$  infraestima el IAH, especialmente para valores de IAH  $> 10/\text{h}$ . Otros estudios recomiendan el uso de un  $\text{ODI}_3 \geq 3,5/\text{h}$ . Sin embargo, un estudio retrospectivo de 130 niños obesos demostró que la pulsioximetría utilizada como único método de cribado de SAHS resultó insuficiente, considerando como definición de SAHS un IAH obstructivo en PSG  $\geq 2/\text{h}$ . Destaca que este estudio usó la pulsioximetría del montaje de la PSG, siendo la mayoría de ellas no concluyentes. Cuando se eligió un valor de  $\text{ODI}_4 > 2/\text{h}$ , su especificidad fue inferior a las definiciones de SAHS de los criterios de Brouillette. Esto podría ser debido a la probabilidad de presentar SAHS en esa población de niños obesos difiere de la de los niños de peso adecuado para la edad y niños con síndrome de Down, donde la pulsioximetría muestra una mayor rentabilidad en predecir la presencia de SAHS.

## 2.4. Cuestionarios

El uso de cuestionarios clínicos elaborados para distinguir niños roncadores de niños con SAHS presenta una sensibilidad y especificidad bajas. Un estudio reciente encontró que el

ronquido, la excesiva somnolencia diurna y problemas de aprendizaje referidos por los padres son muy específicos, pero poco sensibles de TRS en niños de 6-11 años. Aunque los cuestionarios clínicos con preguntas dirigidas a los síntomas asociados a SAHS pueden ser útiles para dirigir la atención de los padres tanto a los síntomas diurnos como nocturnos, no son suficientes para confirmar o descartar la presencia de SAHS.

El Pediatric Sleep Questionnaire incluye en una página 22 ítems de trastornos de la respiración en relación con el sueño, *sleep related breathing disorder* (SRBD) con una escala que predice los resultados de la PSG. Es útil para investigación clínica, pero múltiples estudios evidencian que la escala SRBD no puede sustituir a la PSG en la identificación del SAHS pediátrico. Sin embargo, resulta útil en algunos contextos clínicos. Los datos obtenidos con estos cuestionarios, en contraste con la PSG, generan una puntuación que muestra asociación del SAHS en relación a trastornos de comportamiento, calidad de vida y somnolencia y pueden ayudar a predecir la mejora de estas comorbilidades después de la adenoamigdalectomía. La escala SRBD contiene una subescala de cuatro ítems de somnolencia.

### 3. CONCLUSIONES

La PSG nocturna en el laboratorio de sueño es el *gold standard* para el diagnóstico de los TRS. Cuando no es posible la realización de la PSG, se pueden considerar pruebas diagnósticas alternativas que hayan sido evaluadas y validadas como la poligrafía respiratoria y cuando esta no está disponible, la pulsioximetría o las videograbaciones con sonido.

Existen limitaciones, tanto de la PSG como de los otros métodos alternativos, para identificar el niño con SAHS que requiere tratamiento; por ello, es recomendable utilizar algoritmos, por ejemplo, el propuesto por la Sleep Pediatric Task Force de la European Respiratory Society 2016, que considera una aproximación escalonada en el manejo clínico del niño con sospecha de TRS. De esta manera, los hallazgos de la PSG o de otro tipo de estudios de sueño, además de los signos y síntomas de SAHS y las morbilidades asociadas al SAHS pediátrico (neurocognitivas, metabólicas y cardiovasculares) se tienen en cuenta para identificar el niño que con mayor probabilidad se beneficiara de una intervención terapéutica.

### BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Alonso-Álvarez ML, Terán-Santos J, Ordax Carbajo E, Cordero-Guevara JA, Navazo-Egüía AI, Kheirandish-Gozal L, *et al.* Reliability of home respiratory polygraphy for the diagnosis of sleep apnea in children. *Chest*. 2015 Apr;147(4):1020-8.
- Berry RB, Budhiraja R, Gottlieb DJ, Gozal D, Iber C, Kapur VK, *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.
- Berry RB, Gamaldo CE, Harding SM, Brooks R, Lloyd RM, Vaughn BV, *et al.* AASM Scoring Manual Version 2.2 Updates: new chapters for scoring infant sleep staging and home sleep apnea testing. *J Clin Sleep Med*. 2015 Nov 15;11(11):1253-4.
- Bhattacharjee R, Kheirandish-Gozal L, Spruyt K, Mitchell RB, Promchiarak J, Simakajornboon N, *et*

- al.* Adenotonsillectomy outcomes in treatment of obstructive sleep apnea in children: a multicenter retrospective study. *Am J Respir Crit Care Med.* 2010 Sep 1;182(5):676-83.
- Brouillette RT, Morielli A, Leimanis A, Waters KA, Luciano R, Ducharme FM. Nocturnal pulse oximetry as an abbreviated testing modality for pediatric obstructive sleep apnea. *Pediatrics.* 2000 Feb;105(2):405-12.
  - Certal V, Camacho M, Winck JC, Capasso R, Azevedo I, Costa-Pereira A. Unattended sleep studies in pediatric OSA: a systematic review and meta-analysis. *Laryngoscope.* 2015 Jan;125(1):255-62.
  - Chang L, Wu J, Cao L. Combination of symptoms and oxygen desaturation index in predicting childhood obstructive sleep apnea. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2013;77:365-71.
  - Chervin RD, Ruzicka DL, Hoban TF, Fetterolf JL, Garrett SL, Guire KE, *et al.* Esophageal pressures, polysomnography, and neurobehavioral outcomes of adenotonsillectomy in children. *Chest.* 2012 Jul;142(1):101-10.
  - Jaryszak EM, Shah RK, Vanison CC, Lander L, Choi SS. Polysomnographic variables predictive of adverse respiratory events after pediatric adenotonsillectomy. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2011 Jan;137(1):15-8.
  - Kaditis A, Kheirandish-Gozal L, Gozal D. Algorithm for the diagnosis and treatment of pediatric OSA: a proposal of two pediatric sleep centers. *Sleep Med.* 2012;13:217-27.
  - Kaditis AG, Alonso Álvarez ML, Boudewyns A, Alexopoulos EI, Ersu R, Joosten K, *et al.* Obstructive sleep disordered breathing in 2- to 18-year-old children: diagnosis and management. *Eur Respir J.* 2016 Jan;47(1):69-94.
  - Kirk VG, Bohn SG, Flemons WW, Remmers JE. Comparison of home oximetry monitoring with laboratory polysomnography in children. *Chest.* 2003;124:1702-8.
  - Lee CH, Hsu WC, Chang WH, Lin MT, Kang KT. Polysomnographic findings after adenotonsillectomy for obstructive sleep apnea in obese and non-obese children: a systemic review and meta-analysis. *Clin Otolaryngol.* 2016 Oct;41(5):498-510.
  - Marcus CL, Brooks LJ, Draper KA, Gozal D, Halbower AC, Jones J, *et al.* Diagnosis and management of childhood obstructive sleep apnea syndrome. *Pediatrics.* 2012 Sep;130(3):e714-55.
  - Marcus CL, Moore RH, Rosen CL, Giordani B, Garrett SL, Taylor HG, *et al.* A randomized trial of adenotonsillectomy for childhood sleep apnea. *N Engl J Med.* 2013;368:2366-76.
  - Marcus CL, Moore RH, Rosen CL, Giordani B, Garrett SL, Taylor HG, *et al.* A randomized trial of adenotonsillectomy for childhood sleep apnea. *Childhood Adenotonsillectomy Trial (CHAT).* *N Engl J Med.* 2013 Jun 20;368(25):2366-76.
  - Marcus CL, Traylor J, Biggs SN, Roberts RS, Nixon GM, Narang I, *et al.* Feasibility of comprehensive, unattended ambulatory polysomnography in school-aged children. *J Clin Sleep Med.* 2014 Aug 15;10(8):913-8.
  - Nixon GM, Kermack AS, Davis GM, Manoukian JJ, Brown KA, Brouillette RT. Planning adenotonsillectomy in children with obstructive sleep apnea: the role of overnight oximetry. *Pediatrics.* 2004;113:e19-25.
  - O'Driscoll DM, Foster AM, Ng ML, Yang JS, Bashir F, Wong S, *et al.* Central apnoeas have significant effects on blood pressure and heart rate in children. *J Sleep Res.* 2009;18:415-421.

- Paruthi S, Rosen CL, Wang R, Weng J, Marcus CL, Chervin RD, *et al.* End-tidal carbon dioxide measurement during pediatric polysomnography: signal quality, association with apnea severity, and prediction of neurobehavioral outcomes. *Sleep*. 2015 Nov 1;38(11):1719-26.
- Roland PS, Rosenfeld RM, Brooks LJ, Friedman NR, Jones J, Kim TW, *et al.* Clinical practice guideline: polysomnography for sleep-disordered breathing prior to tonsillectomy in children. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2011 Jul;145(1 Suppl):S1-15.
- Saito H, Araki K, Ozawa H, Mizutari K, Inagaki K, Habu N, *et al.* Pulse-oximetry is useful in determining the indications for adeno-tonsillectomy in pediatric sleep-disordered breathing. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2007 Jan;71:1-6.
- Scholle S, Wiater A, Scholle HC. Normative values of polysomnographic parameters in childhood and adolescence: cardiorespiratory parameters. *Sleep Med*. 2011 Dec;12(10):988-96.
- Tan HL, Gozal D, Ramirez HM, Bandla HP, Kheirandish-Gozal L. Overnight polysomnography versus respiratory polygraphy in the diagnosis of pediatric obstructive sleep apnea. *Sleep*. 2014 Feb 1;37(2):255-60.
- Tsai CM, Kang CH, Su MC, Lin HC, Huang EY, Chen CC, *et al.* Usefulness of desaturation index for the assessment of obstructive sleep apnea syndrome in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2013;77:1286-290.
- Urschitz MS, Wolff J, Von Einem V, Urschitz-Duprat PM, Schlaud M, Poets CF. Reference values for nocturnal home pulse oximetry during sleep in primary school children. *Chest*. 2003;123:96-101.
- Van Eyck A, Lambrechts C, Vanheeswijck L, Van Hoorenbeeck K, Haentjens D, Boudewyns A, *et al.* The role of nocturnal pulse oximetry in the screening for obstructive sleep apnea in obese children and adolescents. *Sleep Med*. 2015 Nov;16(11):1409-12.
- Walter LM, Biggs SN, Nisbet LC, Weichard AJ, Hollis SL, Davey MJ, *et al.* Long-term improvements in sleep and respiratory parameters in preschool children following treatment of sleep disordered breathing. *J Clin Sleep Med*. 2015 Oct 15;11(10):1143-51.