

Utilidad del tiempo de tránsito del pulso en la polisomnografía

TERESA GÓMEZ GARCÍA
FERNANDA TRONCOSO ACEVEDO
NICOLÁS GONZÁLEZ MANGADO

Servicio de Neumología, Fundación Jiménez Díaz

e-mail: ums@fjd.es

RESUMEN

El tiempo de tránsito de pulso es una herramienta exenta de coste adicional a la realización de una polisomnografía y que permite complementar una gran cantidad de información. Únicamente precisa registro electrocardiográfico y un fotopletismógrafo que incorpora el pulsioxímetro. Diferentes estudios sugieren su utilidad como marcador de despertares autonómicos durante el sueño, cómo marcador en la detección de trastornos respiratorios y cómo herramienta de medición de la tensión arterial nocturna. Se revisan las pruebas publicadas hasta la fecha.

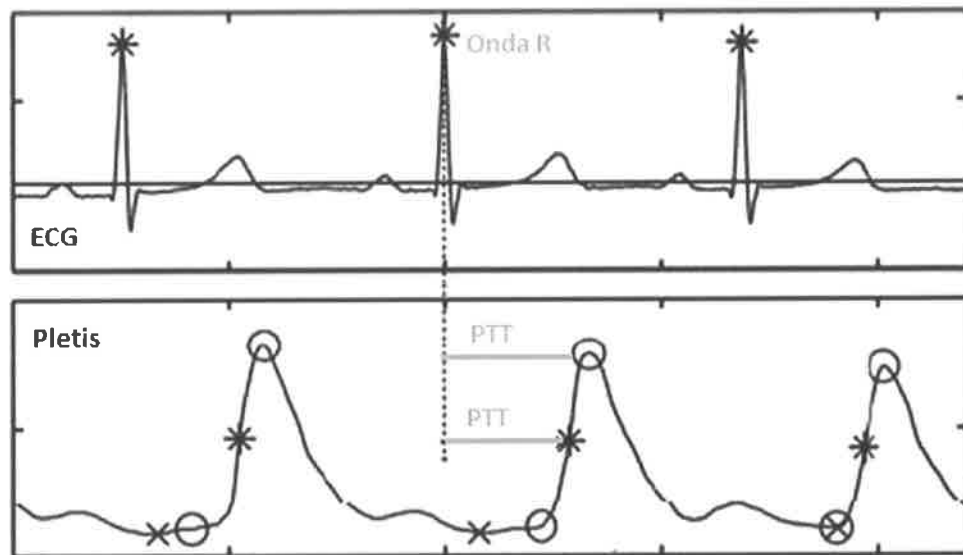
Palabras Clave: polisomnografía, sueño, ptt.

¿Qué es el tiempo de tránsito del pulso?

Es el tiempo que tarda la onda de pulso en viajar entre dos puntos arteriales conocidos. La velocidad a la que viaja esa onda de pulso es directamente proporcional a la presión arterial. De tal forma que un aumento de la presión arterial supone un aumento en el tono vascular y esta rigidez arterial se traduce en un tiempo de tránsito del

pulso más corto. De manera inversa, cuando se produce un descenso de la tensión arterial el tono vascular disminuye y el tiempo de tránsito del pulso se alarga¹.

Así, tal y como se concibió originalmente, el tiempo de tránsito del pulso se calculaba a partir del tiempo que tardaba la onda de pulso en pasar entre dos puntos arteriales consecutivos. Para ello se necesitaba colocar dos transductores uno al inicio y otro al final del segmento



arterial que se pretende estudiar, con las dificultades e incomodidades que suponía tanto la colocación como el mantenimiento de los transductores en la posición seleccionada. Posteriormente, para simplificar la medición se tomó como punto de partida la onda R o Q del electrocardiograma (que se corresponde aproximadamente con la apertura de la válvula aórtica). El punto de llegada se estima a partir de la recogida de onda de pulso en el dedo de la mano en que se coloque el fotopletismógrafo, generalmente del pulsioxímetro. Dependiendo del equipo utilizado ese punto de llegada se calculará tomando como referencia el 25% o el 50% del máximo valor obtenido en la curva de pletismografía.

De esta forma se simplifica enormemente la obtención del tiempo de tránsito del pulso ya que solamente es necesario el electrocardiograma (basta con 3 electrodos torácicos), un pulsioxímetro y un programa informatizado que calcule los tiempos. Además, este nuevo método de medición del tiempo de tránsito del pulso permite obtener valores latido a latido por lo que se consigue una monitorización continua. La identificación de la onda R es sencilla y se mantiene imperturbable a pesar de los artefactos del movimiento, pero como contrapartida introduce un factor de confusión al existir un pequeño retraso desde que se observa la onda R en el electrocardiograma hasta que se produce la apertura de la válvula aórtica. En este sentido, la medición obtenida no sería estrictamente el tiempo de

tránsito de pulso real sino que incluye el tiempo de contracción isométrica².

Utilidad del tiempo de tránsito de pulso

Como marcador de despertares autonómicos durante el sueño

Con el fin de conocer la calidad del sueño y cuantificar la fragmentación del mismo los clínicos suelen recurrir a la estadificación del sueño y al cálculo del índice de despertares (o microdespertares) observados en la polisomnografía. Durante su registro y análisis se clasifica el origen de los despertares en espontáneos, secundarios a eventos respiratorios o a movimientos periódicos de piernas. La Academia Americana de Medicina de Sueño (AASM) define el despertar como un cambio abrupto en la frecuencia del electroencefalograma, que incluye ondas alfa, theta o frecuencias incluso mayores de 16Hz durante al menos 3 segundos, y siempre que esté precedido de al menos 10 segundos de sueño estable previo.

Así, la detección de microdespertares corticales y de la fragmentación del sueño debe hacerse a través del electroencefalograma. Sin embargo, esto supone unos requeri-

mientos técnicos muy costosos y laboriosos ya que implican la realización de una polisomnografía completa. Por este motivo, algunos autores han buscado otros marcadores simplificados y ahí es donde se ha planteado la utilidad del tiempo de tránsito del pulso³.

Los microdespertares corticales que pueden conllevar cambios en el estadio de sueño o despertares suelen acompañarse de microdespertares autonómicos. De manera inversa no sucede necesariamente lo mismo. Los microdespertares autonómicos se deben a elevaciones transitorias del tono simpático que implican incrementos reflejos en la frecuencia cardíaca, en la frecuencia respiratoria, en la presión arterial y en el tono vascular cutáneo produciendo vasoconstricción. Además de todo esto, con el alertamiento puede detectarse una caída en el tiempo de tránsito de pulso. Puesto que estos reflejos se desencadenan a nivel del tronco encefálico y, por tanto, no es necesaria su transmisión a la corteza cerebral, la medición de esta respuesta autonómica podría resultar ser un marcador sensible de un mayor número de microdespertares durante el sueño

Aún existe cierto debate sobre lo que considerar un microdespertar clínicamente significativo. La definición establecida para criterios electroencefalográficos no presenta una buena correlación con medidas subjetivas u objetivas de la excesiva somnolencia diurna. Así, es posible que la monitorización electroencefalográfica pueda pasar por alto algunos microdespertares subcorticales/autonómicos y, de la misma manera, es posible que no todos los microdespertares corticales detectados tengan impacto en la somnolencia diurna. De ahí que surgiera el interés por nuevos estudios que valoraran el impacto o relación de microdespertares autonómicos o subcorticales detectados a través de las variaciones en el tiempo de tránsito de pulso con la excesiva somnolencia diurna, pero estos estudios también ofrecen resultados contradictorios^{4,5}.

En edad pediátrica en concreto se estima que los eventos obstructivos de la vía aérea conllevan un microdespertar en el electroencefalograma en menos del 50% de los casos⁶. Por ello se ha estudiado la aplicabilidad del tiempo de tránsito del pulso y su relación con los esfuerzos respiratorios que no terminan en microdespertar.

Se diseñó un estudio en neonatos para valorar los cambios en las mediciones cardiovasculares y en el tiempo de tránsito de pulso derivados de microdespertares y despertares provocados por señales auditivas⁷. En este estudio se observó que la tensión arterial tras el despertar muestra una curva bifásica, con un incremento inmediato seguido de un descenso paradójico y una vuelta a la línea basal. La primera parte es la respuesta inmediata y se debe a la activación simpática. La segunda parte se debe a la activación de los reflejos mediados por los barorreceptores que activa la respuesta vagal e inhibe al simpático. Las variaciones en la frecuencia cardíaca y el incremento del tiempo de tránsito del pulso imitan las oscilaciones de la tensión arterial en su respuesta inicial y posteriormente retornan a la línea basal de manera más lenta y sin respuesta paradójica como sucedía con la tensión arterial. Esto sugiere que el valor del tiempo de tránsito de pulso se ve menos influido por la actividad refleja que la presión arterial. Cuando lo que se observaba era un microdespertar subcortical la respuesta sobre la presión arterial era menos marcada que con el despertar.

En el adulto, el estudio de Pitson analizó la relación entre medidas aceptadas convencionalmente como índices de fragmentación de sueño (microdespertares medidos en EEG, índice de apnea hipopnea y desaturaciones de oxígeno) con los microdespertares autonómicos. Definieron el microdespertar autonómico como la variación en la presión arterial cuando se observaba una caída en el tiempo de tránsito de pulso de más de 15ms durante más de 5s y menos de 45s (equivalente a un ascenso en la tensión arterial de 15mmHg). Este umbral se fijó según los estudios previos que compararon la respuesta electroencefalográfica y autonómica a alertamientos en sujetos sanos. Basándose en el mismo estudio se fijó el microdespertar autonómico secundario a variaciones en la frecuencia cardíaca cuando se observaban ascensos en la misma de más de 10 latidos por minuto. Los resultados muestran una buena correlación entre los microdespertares detectados mediante EEG y los eventos respiratorios ($r=0.68$). La relación entre eventos respiratorios y microdespertares autonómicos fue ligeramente inferior ($r=0.56$). La relación entre los microdespertares detectados mediante EEG y los despertares autonómicos fue intermedia ($r=0.65$). En cuanto a la re-

lación de estos índices con los síntomas diurnos, la mejor correlación observada con la excesiva somnolencia medida por la escala de Epworth la presentan las desaturaciones de oxígeno y es muy modesta ($r=0.36$), siendo la del resto de parámetros incluso más pobre (para microdespertares detectados mediante EEG $r=0.29$ y para despertares autonómicos $r=0.21$). Así, los autores del estudio se plantean que puesto que la correlación entre eventos respiratorios, microdespertares detectados mediante EEG y despertares autonómicos es buena y ninguno de ellos parece ofrecer una mejor predicción de los síntomas diurnos, la medición del tiempo de tránsito del pulso ofrece la ventaja de permitir una medición automática, mucho menos laboriosa que la estadificación encefalográfica.

Cómo marcador en la detección de trastornos respiratorios del sueño

Otros estudios se encaminaron a valorar el correlato autonómico que muestran los eventos respiratorios, de tal manera que se pudiese utilizar el tiempo de tránsito de pulso como instrumento de criba de los trastornos respiratorios del sueño. A partir de la variabilidad en la frecuencia cardíaca, en la presión arterial, en el tono arterial periférico y en la amplitud de la onda de pulso, se pretendía inferir o detectar los trastornos respiratorios del sueño.

El estudio de ChouChou et al⁸ buscaba determinar la capacidad predictiva del tiempo de tránsito del pulso para detectar trastornos respiratorios del sueño. Incluyó 854 pacientes y se realizó en población de edad avanzada (media de edad 68 años, 62-71 años). Los autores comprobaron su baja capacidad como método de criba para los trastornos respiratorios del sueño sobre todo en casos leves-moderados, con un índice de menos de 15 eventos respiratorios por hora. Ante el escaso acuerdo observado entre el índice de apnea-hipopnea y el índice de activación autonómica, se plantearon que la inestabilidad del sueño era una característica de la población de edad avanzada, con independencia de la presencia o no de un trastorno respiratorio del sueño por lo que la población elegida no sería la diana ideal. Además, la respuesta cardiovascular a los eventos respiratorios está disminuida de manera fisiológica respecto a la de población más joven, con una menor ac-

tividad simpática^{9,10} encontrándose por tanto la respuesta amortiguada. En cualquier caso, este estudio presenta la limitación de haberse realizado con poligrafía respiratoria y no con polisomnografía por lo que el índice de apnea-hipopnea podría estar infraestimado y de ahí la escasa concordancia de los resultados.

Estudios previos se habían planteado la posibilidad de utilizar el tiempo de tránsito del pulso para diferenciar los eventos respiratorios centrales (ausencia de esfuerzo) de los obstructivos (con esfuerzo) en los trastornos respiratorios del sueño al alcanzar una sensibilidad del 95%, especificidad del 91% y un valor predictivo negativo del 95%¹¹. La hipótesis es que durante el esfuerzo inspiratorio que se produce en respuesta a la obstrucción de la vía aérea superior, se observan variaciones, fundamentalmente incrementos, en la presión intratorácica que modulan la presión arterial y con ello inducen cambios en el tiempo de tránsito de pulso¹¹. Así, durante la inspiración (pulso paradójico) la presión arterial sistólica cae, y lo hace de manera proporcional al esfuerzo inspiratorio¹². Cuando lo que se observa es un evento central (sin esfuerzo respiratorio) hay una disminución en ese incremento del tiempo de tránsito de pulso.

La monitorización de la presión esofágica es la técnica de referencia para detectar los cambios durante el esfuerzo inspiratorio. Sin embargo, dadas las características (técnica invasiva, con baja tolerancia e interferencia en la calidad del sueño) y logística que requieren su realización no es una técnica generalizada ni está disponible en todos los centros. Por este motivo, la aportación de otras técnicas no invasivas para diferenciar los eventos centrales y obstructivos resulta esclarecedor y muy beneficioso. Más aún cuando el planteamiento de tratamiento difiere según esta característica.

La diferenciación entre eventos centrales y obstructivos es un reto incluso más importante en pacientes sometidos a ventilación mecánica no invasiva. Dado que, por un lado, la ventilación mecánica no invasiva modifica la presión intratorácica, y por tanto afecta a las oscilaciones de la presión arterial; y por otra parte, reduce de manera significativa el esfuerzo respiratorio, se han planteado estudios para valorar la aplicabilidad del tiempo de tránsito del pulso bajo este tratamiento. Recientemente se ha publicado un estudio

de Contal et al¹³ que confirma la utilidad del tiempo de tránsito de pulso como marcador del esfuerzo respiratorio incluso bajo ventilación no invasiva. Si tenemos en cuenta que se va generando una concienciación progresiva de la necesidad de estudiar la calidad de sueño y asincronías en pacientes sometidos a ventilación mecánica no invasiva, el tiempo de tránsito de pulso podría ser una herramienta más en la evaluación del descanso de los músculos respiratorios durante la terapia.

Por último, si bien la utilización del tiempo de tránsito del pulso como índice de esfuerzos respiratorios ha generado debate, hay otros estudios que lo han utilizado para comparar la eficacia de diferentes tratamientos como el dispositivo de avance mandibular¹⁴. Del mismo modo que se evalúa el ronquido o los eventos respiratorios antes y después del inicio de la terapia, consideran las variaciones del tiempo de tránsito de pulso suficientemente ilustrativas e indicativas de la mejoría o no tras tratamiento.

Cómo medición de la tensión arterial sistémica

Existen estudios que encuentran una correlación lineal entre el tiempo de tránsito del pulso y los cambios en la presión arterial, sugiriendo la utilidad de esta medida como un marcador de la tensión arterial¹². El cálculo rápido y práctico sugeriría que variaciones en 1msec en el tiempo de tránsito de pulso pueden considerarse equivalentes a variaciones de 1mm HG en la tensión arterial^{15,16}. Como ya se mencionó en la introducción, el tiempo de tránsito del pulso medido latido a latido es inversamente proporcional a la medición continua de presión arterial sistólica: descensos en la presión arterial sistólica provocan un tiempo de tránsito de pulso alargado, y viceversa.

En los servicios de anestesia existe desde hace mucho tiempo una necesidad e interés en el conocimiento de las variaciones de la tensión arterial de un modo continuo y mínimamente invasivo. Hay estudios que comparan la correlación del tiempo de tránsito del pulso con la medición invasiva mostrando una alta correlación en la medición de la presión arterial sistólica, y no tanto en la presión arterial media o diastólica¹⁷. En la misma línea de estudio, Payne et al¹⁸ no consiguen una adecuada correlación con

la presión arterial diastólica argumentando que para poder considerar al tiempo de tránsito un marcador de estos valores habría que corregir el periodo de pre-eyección. Al no poder aceptarse como una constante, puede suponer una variabilidad importante modificando el tiempo de tránsito del pulso desde el 12-35%. Además, debe tenerse en cuenta que en los métodos del estudio no refieren si se realiza una calibración individualizada, punto fundamental según demuestran posteriores estudios. Con estas limitaciones, los autores sugieren que el tiempo de tránsito del pulso no es un marcador fiable de la tensión arterial pero puede ser válido para mostrar la variabilidad y los cambios en la presión arterial.

Otros estudios han realizado la comparación con la medición no invasiva que aporta la monitorización ambulatoria (MAPA). El interés radica en que a pesar de considerarse esta la técnica de referencia no se consigue realizar una monitorización continua (dependiendo del equipo, el inflado del manguito se programa cada 15 minutos durante el día, y cada 30 minutos en el periodo nocturno) y además introduce artefactos al provocar alteraciones en el sueño con pequeños despertares como respuesta al inflado del manguito. Así, el cambio de velocidad de la onda de pulso ofrecería una medición indirecta de la tensión arterial, continua y mínimamente invasiva. El estudio de Gesche et al¹⁹ muestra que tras realizar una calibración individual al inicio del estudio (introducir el valor de referencia de la tensión arterial medido mediante esfigmomanómetro) se consigue una buena correlación de la presión arterial sistólica, encontrando diferencias menores de 20mmHg entre ambos métodos de medición en la gráfica de Bland y Altman.

Dificultades o precauciones con el tiempo de tránsito del pulso

El principal problema que puede inducir a error es la aparición de artefactos durante la medición del tiempo de tránsito del pulso. Estos pueden deberse a interferencias en la señal del fotopleletismógrafo así como en la señal del electrocardiograma (más frecuentes aún en presencia de arrit-

mias, o bloqueos de rama). La identificación de estas zonas o tiempo de estudio como artefacto permite continuar con el análisis del resto del estudio por lo que puede aislarse o minimizarse el problema.

Puesto que existe una enorme variabilidad entre pacientes (por las diferencias en la presión arterial y en la compliancia vascular) es fundamental realizar una calibración individualizada.

Conclusión

La medición del tiempo de tránsito del pulso es sencilla, barata y bien tolerada por los pacientes. Existen muchos estudios que de manera experimental han propuesto la utilidad de esta técnica en múltiples aspectos del estudio del sueño pero falta la validación de la misma en la práctica clínica. Hasta la fecha se ha estudiado su utilidad en la identificación del esfuerzo respiratorio, en la diferenciación entre fenómenos centrales y obstructivos, en la identificación de despertares autonómicos, cómo marcador de eficacia de tratamientos y como marcador de la tensión arterial. El mayor potencial de esta técnica se encuentra en la posibilidad de simplificar el proceso y así poder emplearla en estudios domiciliarios, reduciendo costes. Quedaría pendiente en cualquier caso mejorar el desarrollo de los algoritmos de software que faciliten automatizar la interpretación de los hallazgos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Smith RP, Argod J, Pepin JL, Levy PA. Pulse transit time: an appraisal of potential clinical applications. *Thorax* 1999;54:452-457.
2. Pollack MH, Orbrist PA. Aortic-radial pulse transit and ECG Q-wave to radial pulse wave interval as indices of beat-by-beat blood pressure change. *Psychophysiology* 1983;20:21-28.
3. Pitson DJ, Stradling JR. Autonomic markers of arousal during sleep in patients undergoing investigation for obstructive sleep apnoea, their relationship to EEG arousals, respiratory events and subjective sleepiness. *J Sleep Res* 1998;7:53-59.
4. Pitson D, Chhina N, Knijn S, et al. Changes in pulse transit time and pulse rate as markers of arousal from sleep in normal subjects. *Clin Sci* 1994;87:269-273.
5. Bennett LS, Langford BA, Stradling JR, et al. The relationship between sleep fragmentation, daytime sleepiness and quality of life in OSA and predictors of improvement in quality of life on nasal CPAP. *Thorax* 1997;52(Suppl 6):A9.
6. McNamara F, Issa FG, Sullivan CE. Arousal pattern following central and obstructive breathing abnormalities in infants and children. *J Appl Physiol* 1996;81:2651-2657.
7. Galland BC, Tan E, Taylor BJ. Pulse transit time and blood pressure changes following auditory-evoked subcortical arousal and waking of infants. *Sleep*. 2007 Jul;30(7):891-897.
8. Chouchou F, Sforza E, Celle S, Pichot V, Maudoux D, Garcin A, et al. Pulse transit time in screening sleep disordered breathing in an elderly population: the PROOF-SYNAPSE study. *Sleep*. 2011 Aug 1;34(8):1051-1059.
9. Pennestri MH, Whitton S, Adam B, Petit D, Carrier J, Montplaisir J. PLMS and PLMW in healthy subjects as a function of age: prevalence and interval distribution. *Sleep* 2006;29:1183-7.
10. Goff EA, O'Driscoll DM, Simonds AK, Trinder J, Morrell MJ. The car-diovascular response to arousal from sleep decreases with age in healthy adults. *Sleep* 2008;31:1009-17.
11. Argod J, Pepin JL, Levy P. Differentiating obstructive and central sleep respiratory events through pulse transit time. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;158:1778-3.
12. Leas S, Ali N, Goldman L, Loh J, Fleetham J, Strandling J. Systolic blood pressure reflect inspiratory effort during simulated obstructive sleep apnea. *Sleep* 1990:178-181.
13. Contal O, Carnevale C, Borel JC, Sabil A, Tamisier R, Lévy P, et al. Pulse transit time as a measure of respiratory effort under noninvasive ventilation. *Eur Respir J*. 2013 Feb;41(2):346-353.
14. Stradling JR, Negus TW, Smith D, et al. Mandibular advancement devices for the control of snoring. *Eur Respir J* 1998;11:447-450.
15. The International Paediatric Work Group on Arousals. The scoring of arousals in healthy term infants (between the ages of 1 and 6 months). *J Sleep Res* 2005;14:37-41.
16. Pitson DJ, Stradling JR. Value of beat-to-beat blood pressure changes, detected by pulse transit time, in the management of the obstructive sleep apnoea/hypopnoea syndrome. *Eur Respir J* 1998;12:685-692.
17. Kim SH, Song JG, Park JH, Kim JW, Park YS, Hwang GS. Beat-to-beat tracking of systolic blood pressure using noninvasive pulse transit time during anesthesia induction in hypertensive patients. *Anesth Analg*. 2013 Jan;116(1):94-100.
18. Payne RA, Symeonides CN, Webb DJ, Maxwell SR. Pulse transit time measured from the ECG: an unreliable marker of beat-to-beat blood pressure. *J Appl Physiol* 2006;100:136-141.
19. Gesche H, Grosskurth D, Küchler G, Patzak A. Continuous blood pressure measurement by using the pulse transit time: comparison to a cuff-based method. *Eur J Appl Physiol*. 2012 Jan;112(1):309-315.