

*Monitorización
de la profundidad
anestésica y sus
aplicaciones
clínicas en TIVA*



Dr. Erik Weber Jensen

Universidad Politécnica de Cataluña.
Departamento de Bioingeniería médica
(Barcelona).

Introducción

La mayoría de los métodos que se utilizan en la actualidad para monitorizar la profundidad anestésica se basan en el análisis de la señal electroencefalográfica (EEG). En general, estas metodologías se pueden clasificar en dos tipos: la **monitorización activa**, en la cual se mide una respuesta específica del EEG a estímulos acústicos definidos (potenciales evocados auditivos, una parte del EEG) y la **monitorización pasiva**, en la cual se analizan parámetros calculados a partir de la actividad espontánea del EEG.

Dentro del primer grupo, los monitores activos, hay en el mercado dos monitores, primero el monitor de PEA desarrollado por el grupo de investigación en Glasgow, liderado por Dr. Gavin Kenny y luego el monitor PEA con el índice AAI comercializado por Danmeter A/S y diseñado por Erik Weber Jensen (EWJ).

Dentro del segundo grupo de monitores, los que analizan el EEG pasiva, se encuentra el BIS (Aspect Medical, USA) que utiliza la tecnología biespectral, el Módulo de Entropía (GE Healthcare, Finland) el SNAP (Everest Biomedical, USA) que destaca por el uso de frecuencias altas (300-400 Hz) del EEG, el Sedline (antes PSA 4000) (Hospira, USA) que analiza señales de ambos hemisferios. Entre los fabricados en Europa encontramos el Narcotrend (Narcotrend, Hannover) y el más reciente, el Cerebral State Monitor (CSM), (Danmeter A/S), también diseñado por EWJ. El CSM analiza parámetros del espectro frecuencial del EEG generando el índice CSI a través de un sistema fuzzy.

En los siguientes capítulos haremos una descripción de los monitores disponibles en la actualidad en España: el AEP-monitor/2, el BIS, el CSM y el módulo de Entropía.

Objetivos de la monitorización de la profundidad anestésica

Monitorizar la profundidad anestésica tiene como primer objetivo ajustar en tiempo real las cantidades de fármacos administrados al paciente a sus necesidades reales. Por un lado, el nivel de anestesia tiene que ser lo suficientemente profundo como para impedir la conciencia del paciente¹. En este sentido, el uso de bloqueantes neuromusculares ha oscurecido la interpretación de los signos clínicos clásicos de profundidad anestésica como los movimientos musculares y respiratorios. Como consecuencia se reportan casos de pérdida incompleta de la conciencia durante los actos quirúrgicos, con recuerdos desde conversaciones hasta percepción de dolor². Esto constituye una experiencia traumática para el paciente que luego padece de secuelas psicológicas³. Por otro lado, interesa limitar la cantidad de fármacos administrados para facilitar y acelerar la fase de recuperación del paciente⁴, tanto para reducir los costes sanitarios como por razones de salud. En el congreso de la ASA 2005 se presentó un abstract cuya hipótesis era que la anestesia guiada con un índice de profundidad anestésica, en este caso el AAI, tendría varios efectos beneficiosos para el paciente, tales como reducción en las náuseas y vómitos post-operatorios, neumonía e infección de heridas. En general se observaron menos complicaciones en los pacientes con anestesia guiada con el AAI⁵.

Índice A-line ARX Index (AAI)

Para poder cuantificar de forma sencilla el nivel de profundidad hipnótica, los Potenciales Evocados Auditivos de Latencia Media (PEALM) se suelen transformar en un índice numérico^{6 7 8}. Por ejemplo, el AAI es la transformación de las señales de los PEALM, que se expresan en dimensiones de amplitud y tiempo en una sola señal, como representa de forma numérica y gráfica el AEP-Monitor/2 (Danmeter A/S, Odense, Dinamarca)^{9 10}.

Para obtener las señales de PEA se requiere: un par de auriculares para enviar un estímulo acústico definido y 3 electrodos para recibir las señales que se generan en el EEG. Los electrodos se colocan en el mastoides izquierdo (electrodo negativo), medio frontal (electrodo positivo) y frontal izquierdo (electrodo de referencia). Por los auriculares se envía un estímulo acústico de 65 decibelios (dB), con una duración de 2 ms y una frecuencia de repetición de 9 Hz. Las señales que se obtienen son procesadas en el monitor, que las amplifica, filtra las interferencias, aplica el modelo de identificación de sistemas llamado auto-regresivo (ARX) y luego, siguiendo un algoritmo matemático definido por Jensen y col⁹, que toma en cuenta de forma equilibrada los cambios en la latencia y amplitud de los PEALM, las transforma en el índice AAI.

La aplicación del modelo autoregresivo ARX para procesar las señales, es una de las características del AEP-monitor/2. De esta manera se pueden extraer los PEALM de 18 barridos del EEG, en lugar de extraerlos de los 250-1000 barridos que se requieren para obtener una señal de buena calidad cuando se usan los modelos convencionales con la media móvil (MTA). La rangos de la escala AAI y su estado clínico correspondiente se muestran en la siguiente tabla.



TABLA 1 La escala AAI

Índice Biespectral (BIS)

El índice BIS (Aspect Medical Systems, USA) se ha definido mediante el análisis biespectral del EEG de un gran número de pacientes durante diferentes tipos de anestesia general^{55, 85}. El análisis biespectral es un método matemático que permite estudiar los trenes de ondas de la señal del EEG mediante las posibles interacciones entre las diferentes ondas sinusoidales.

Para definir el índice BIS, se utilizan cuatro componentes del EEG:

- Índice Beta (relación log 30-47 Hz / 11-20Hz).
- Sincronización rápida-lenta (relación log biespectros 0,5-47Hz / 40-47Hz).
- Tasa de brotes de supresión.
- Tasa de brotes de casi supresión.

Los brotes de supresión son períodos de actividad del EEG con bajo voltaje o isoelectrícos (voltaje < 5 μ V) con una duración de al menos 0,5 segundos, que se alternan con períodos de voltaje normal. Pueden ser provocados por una anestesia profunda u otras situaciones de baja actividad cerebral como la hipotermia o la isquemia cerebral¹¹.

Con los registros de gran cantidad de pacientes despiertos y anestesiados, asociados a los signos clínicos y a los datos farmaco-cinéticos, se han realizado análisis multivariantes que han permitido desarrollar un algoritmo que define el índice BIS¹². Este índice BIS se expresa en un valor numérico adimensional de 0 a 100, y tiene una buena correlación con la profundidad hipnótica (100= despierto, 0= anestesia muy profunda)¹³. Aunque algunos autores han calculado la probabilidad de que el paciente pierda y recupere la conciencia con determinados niveles de BIS, lo correcto no es dar valores absolutos, sino rangos de respuesta. Se considera que un paciente está en un plano hipnótico adecuado cuando el BIS marca entre 60 y 40, aunque se han descrito grandes variaciones interindividuales para un mismo tipo de fármaco. La Tabla 2 muestra los distintos rangos del índice BIS.

BIS	Estado
100-80	Awake Responds to normal voice
80-60	Responds to loud commands or mild prodding/shaking
60-40	General Anesthesia Low probability of explicit recall Unresponsive to verbal stimulus
40-20	Deep Hypnotic State
0-20	Burst Suppression
0	Flat Line EEG

TABLA 2 Índice BIS y corespondencia clínica

Con el objetivo de intentar guiar el manejo anestésico en base a la lectura del índice BIS se han publicado guías como la que reproducimos a continuación.

Respuesta Intraoperatoria	BIS	Tratamiento
Aumento TA, FC o respuesta autonómica	>65	Aumentar hipnosis y analgesia; identificar el estímulo quirúrgico
Estable	>65	Artefacto o aumentar hipnosis
HipoTA o inestabilidad	>65	Tratar hipoTA, disminuir analgesia
HTA, taquicardia, aumento respuesta autonómica o somática	50-65	Aumentar analgesia, mantener hipnótico, mejorar relajación muscular, antihipertensivo
Estable	50-65	Situación óptima
HipoTA o inestabilidad	50-65	Tratar hipoTA, disminuir analgesia
Aumento TA, FC, respuesta somática y autonómica	<45	Disminuir hipnosis, aumentar analgesia, antihipertensivo
Estable	<45	Disminuir hipnótico, valorar disminuir analgesia
HipoTA o inestabilidad	<45	Tratar hipoTA, disminuir hipnótico y analgésico

Entropía del EEG

La Entropía es un concepto que especifica aleatoriedad y predictibilidad en los sistemas físicos y se usa para caracterizar comportamientos caóticos en series temporales¹⁵.

Como los sistemas neuronales tienen un comportamiento no lineal y las ondas del EEG se comportan como un modelo caótico¹⁶, se pueden aplicar métodos matemáticos de la teoría de la dinámica no lineal para analizar las señales del EEG¹⁷.

La anestesia produce un aumento en la regularidad de las señales del EEG, por lo que se podría aplicar el algoritmo de Entropía Aproximada, útil para realizar el cálculo rápido de la regularidad de señales biológicas¹⁸. El monitor S/5 de entropía (GE Healthcare, USA) calcula dos índices: la entropía de estado y la entropía de respuesta. El cálculo de la entropía de respuesta incluye las frecuencias del EEG hasta los 47Hz con el objetivo de reflejar la actividad de los músculos faciales y lograr una respuesta más rápida.

Entropía	Estado
100	Fully awake and responsive
60-40	Clinically meaningful anesthesia Low probability of consciousness
0	Suppression of cortical electrical activity

TABLA 3 Índice de entropía

Cerebral State Monitor (CSM)

El objetivo del CSM es monitorizar la profundidad anestésica durante la anestesia general. El monitor calcula el Cerebral State Index (CSI), un índice que se representa en una escala de 0 a 100, donde 0 indica una señal electroencefalográfica (EEG) "plana" y 100 indica el estado despierto. El rango CSI recomendado para un nivel anestésico adecuado está entre 40 y 60, como se muestra en la Tabla 1.

CSI	Estado Clínico
90-100	Despierto
80-90	Adormecido
60-80	Anestesia superficial o sedación
40-60	Rango considerado adecuado para anestesia quirúrgica
10-40	Anestesia profunda, frecuentemente acompañada de burst suppression
0-10	BS mayor de 75. Cuando el CSI es menor de 3, el EEGes prácticamente iso-eléctrico

TABLA 4 Rangos del Cerebral State Index (CSI)

El CSM es un monitor compacto (114x60x31 mm). Utiliza tres electrodos que se colocan en la parte central (electrodo positivo) e izquierda (electrodo de referencia) de la frente, y mastoides izquierdo (electrodo negativo). Los electrodos pueden colocarse también en el lado derecho de la cabeza siempre y cuando se siga el orden positivo-referencia-negativo.

Además del CSI, el monitor proporciona los valores de electromiografía (EMG), porcentaje de supresión de ondas del EEG (BS%), e indicaciones de impedancia de los electrodos y calidad de la señal. La evolución de los parámetros principales se muestra en ventanas de 5 y 30 minutos, así como la señal EEG.



Agradecimientos

Agradezco a Bernardo Rodriguez y Dr. Hector Litvan por sus comentarios y revisiones.

Referencias

- 1 H Litvan, Monitorización de profundidad anestética. Universitat Barcelona, 2004.
- 2 P.S. Sebel, T.A. Bowdle, M.M. Ghoneim, I.J. Rampil, R.E. Padilla, T.J. Gan, K.B. Domino, "The incidence of awareness during anesthesia: a multicenter United States study", *Anesthesia & Analgesia*, vol. 99 (3), September 2004, pp. 833–839.
- 3 D. Schwender, H. Kunze-Kronawitter, P. Dietrich, S. Klasing, H. Forst, C. Madler, "Conscious awareness during general anaesthesia: patients' perceptions, emotions, cognition and reactions", *Br J Anaesth* 1998 80 133-139.
- 4 M. Luginbuhl, S. Wuthrich, S. Petersen-Felix, A. M. Zbinden, T.W. Schnider, "Different benefit of bispectral index (BIS) in desflurane and propofol anesthesia", *Acta Anaesthesiol Scand*. 2003 Feb;47(2):165-73.
- 5 MT Chan, T Gin, B Law, KK Liu. Quality of Recovery after AEP-Guided Anesthesia. Results of a Randomized Trial American Society of Anesthesiologists annual meeting 2005, A48.
- 6 Litvan H, Jensen EW, Maestre M, Galan J, Campos JM, Villar Landeira JM. Assessing Depth of Anaesthesia by Auditory Evoked Potentials during Continuous Propofol Infusion. *Br J Anaesth* 1999;82 Suppl 2: A20.
- 7 Mantzaridis H, Kenny GNC: Auditory evoked potential index: a quantitative measure of changes in auditory evoked potentials during general anaesthesia. *Anaesthesia* 1997; 52:1030-1036.
- 8 Dutton RC, Smith WD, Rampil IJ, Chortkoff BS, Eger II EI. Forty-hertz midlatency auditory evoked potential activity predicts wakeful response during desflurane and propofol anesthesia in volunteers. *Anesthesiology* 1999;91:1209-20.
- 9 Jensen EW, Lindholm P, Henneberg SW. Auto Regressive Modelling with exogenous Input of Auditory Evoked Potentials to produce an on-line. Depth of Anaesthesia Index. *Methods of Information in Medicine* 1996; 35: 256-60.
- 10 Jensen EW, Litvan H, Campos JM, Henneberg SW. Fast extracted auditory evoked potentials index for monitoring hypnotic level during anaesthesia. *Anesthesiology* 1999;91 Suppl 1: A500
- 11 Sigl JC, Chamoun NG. An introduction to bispectral analysis for the electroencefalogram. *J Clin Monit* 1994;10:392-404.
- 12 Sebel PS, Lang E, Rampil IJ, White PF, Cork R, Jopling M, Smith NT, Glass PSA Manberg P. A multicenter study of bispectral electroencefalogram Analysis for Monitoring Anesthetic effect. *Anesth Analg* 1997;84:891-899.
- 13 Rosow C, Manberg PJ. Bispectral index monitoring. *Anesth Clin North Am* 1998; 2:89-107.
- 14 Bispectral monitoring technology: clinical applications. Sebel. *Anesthesia for the new millennium. Modern anesthetic clinical pharmacology*. Edited by Theodore H. Stanley and Talmage D. Egan. Kluwer Academic Publishers. 1999; 99-104.
- 15 Grassberger P, Procaccia I. Estimation of the Kolmogorov entropy from a chaotic signal. *Phys Rev* 1983;28:2591-93.
- 16 Elber T, Ray W, Kowalik Z, Skinner J, Graf K, Birbauer N. Chaos and physiology: Deterministic chaos in excitable cell assemblies. *Physiol Rev* 1994;74:1-47.
- 17 Fell J, Röschke J, Mann K, Schäffner C. Discrimination of sleep stages: A comparison between spectral and nonlinear EEG measures. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1996;98:401-10.
- 18 Bruhn J, Röpcke H, Hoeft A. Approximate Entropy as an Electroencephalographic Measure of Anesthetic Drug Effect during Desflurane Anesthesia. *Anesthesiology*; 2000;92: 715-26.

*Aplicaciones
prácticas:
Sedaciones
monitorizadas*



Dra. María José Linares Gil
Hospital de Viladecans (Barcelona).

I.TERMINOLOGIA

El término "*Sedación Consciente*" introducido por la "*American Dental Society of Anesthesiology*"¹, se refiere a un estado de depresión de la consciencia inducido por drogas, durante el cual, el paciente responde a órdenes verbales, solas o bien acompañadas de ligeros estímulos táctiles. No requiere intervención para mantener la vía aérea, presenta una ventilación espontánea adecuada y la función cardiovascular está normalmente mantenida. (definición aprobada por la "*ASA House of delegated*" en el 1999 y refrendada en el 2004).

La "*American Society of Anesthesiologists*" (ASA) prefirió acuñar el término "*Sedación/Analgesia*" para referirse a la "*Sedación Consciente*", definiéndola como la administración de sedantes y analgésicos durante la realización de algún procedimiento bajo anestesia local o sin ésta. Este cambio en la terminología existente se debió, entre otras razones, a la aparición de algunos accidentes anestésicos en los cuales coincidieron varios factores:

El paso de un estado de "*Sedación Consciente*" a un nivel de sedación más profunda. Éste paso se produce frecuentemente y con gran facilidad, ya que mantener el mismo nivel de sedación el 100% del tiempo que dura el estímulo doloroso ya sea diagnóstico, terapéutico o quirúrgico es casi imposible. Esta dificultad se debe a la gran variabilidad de la intensidad con que el estímulo doloroso se produce, no solo entre diferentes pacientes y diferentes especialistas, sino incluso en un mismo paciente con un mismo especialista a lo largo del tiempo que dura éste. En el estado de sedación profunda el paciente queda desprotegido por la depresión de los reflejos protectores, situación en la cual es necesaria la presencia de un anesthesiólogo o persona entrenada, así como la disponibilidad de un utillaje específico.

Los requisitos mínimos exigidos en las áreas destinadas a la práctica de la "*sedación consciente*" se mostraron insuficientes en los casos que se produjo una profundización de la sedación.

Tal como hemos explicado anteriormente la aparición de accidentes anestésicos en las circunstancias anteriores, cuando de forma inesperada se deprimían los reflejos protectores del paciente, fueron algunas de las razones entre otras, que supusieron un incentivo no solo para cambiar la terminología sino para establecer una normativa específica para este tipo de prácticas. Esta normativa incluiría: 1) una monitorización del paciente completa (ECG, tensión arterial, saturación de oxígeno, capnografía, temperatura). 2) presencia de un anesthesiólogo o de una persona adecuadamente entrenada. 3) disponibilidad del equipo idóneo para el manejo de la vía aérea, posibilidad de suministro de oxígeno y de las drogas y medicamentos necesarios para manejar correctamente cualquier posible complicación.

I.DEFINICIÓN Y DATOS EPIDEMIOLOGICOS

La sedación en el paciente consciente o la "*Sedación/Analgesia*" es una técnica anestésica indicada en pacientes sometidos a intervenciones quirúrgicas mínimamente invasivas, pruebas diagnósticas o terapéuticas de aplicación molesta o dolorosa para el paciente.

Esta técnica puede aplicarse a todo tipo de pacientes, pero su utilización es mucho más frecuente en pacientes ambulatorios no hospitalizados, tal como demuestran los resultados del estudio epidemiológico ANESCAT 2003 realizado en Cataluña.