

Figura 1. Electroencefalógrafo de 22 canales programables (la información de recogida del registro se refleja en el monitor del aparato). Nótese la disposición de la paciente para la fotoestimulación.

Visión actual de la electroencefalografía y su aplicación en el medio aeronáutico

ANTONIO MARTIN ARAGUZ
*Capitán Médico**

JOSE MANUEL MORENO MARTINEZ
*Teniente Coronel Médico**

MARIA LUISA GARCIA DE LA ROCHA
*Médico especialista en neurología**

INTRODUCCION

GALVANI puso de manifiesto la excitabilidad neuromuscular en 1790. Posteriormente, Caton comprobó en 1875 la existencia de actividad cerebral en animales, la cual fue medida entre 1913 y 1925 en los estudios realizados por Neminski. El día 26 de julio de 1924, Hans Berger obtuvo por primera vez un registro de la actividad bioeléctrica cere-

bral humana en un paciente trepanado. Desde entonces hasta ahora, merced a los avances de la técnica, sus aplicaciones clínicas y las investigaciones de los neurofisiólogos y bioingenieros, el método electroencefalográfico (EEG) ha alcanzado la categoría de una ciencia que consiste en la interpretación de los registros obtenidos a través de la calota, procedentes de la actividad bioeléctrica cerebral inducida por la electrogénesis

debida a la actividad de numerosos grupos neuronales.

La indudable utilidad clínica de la EEG (a menudo hipertrofiada) la ha convertido en una exploración complementaria corriente en el campo de la neurología y en otras especialidades médicas, parcialmente relegada en sus aplicaciones desde la aparición de las nuevas tecnologías de neuroi-

*Servicio de Neurología del Hospital del Aire

magen (tomografía computadorizada: TC y resonancia magnética:RM). Sin embargo, hay que tener en cuenta que, al contrario que estas exploraciones, la EEG aporta una información "funcional" o fisiológica -no anatómica- del funcionamiento cerebral, por lo que los dos tipos de exámenes pueden complementarse.

MATERIAL Y METODOS

Los potenciales de origen cerebral serán recogidos, amplificados y registrados por un aparato denominado electroencefalógrafo. La técnica de registro está metodológica e internacionalmente estandarizada mediante el sistema "10-20", realizándose la captación de los potenciales cerebrales a través del cuero cabelludo por un conjunto de electrodos, montados de forma que permitan detectar la diferencia de potencial entre dos puntos de aplicación (derivación), que se recogerá en uno de los canales del electroencefalógrafo. Por tanto, un "montaje" es la serie de derivaciones utilizadas para obtener el trazado EEG, mediante el cual efectuaremos un estudio comparativo de las diferentes zonas topográficas de los hemisferios cerebrales. En la actualidad, el Servicio de Neurología del Hospital del Aire está dotado con las más avanzadas técnicas de exploración electroencefalográfica, disponiendo de 2 aparatos convencionales, uno de ellos portátil y el otro, recientemente adquirido, de los más sofisticados del mercado (figura 1), así como un sistema computadorizado de mapeo cerebral ("mapping") de última generación, que está siendo utilizado en varios programas de investigación (figura 2).

La obtención de un EEG convencional exige la realización del estudio al paciente en condiciones de reposo psicofísico, calibrando convencionalmente el electroencefalógrafo en deflexiones verticales de 5 mm. (equivalentes a 50mV). Las ondas que obtengamos serán positivas o negativas respecto a la línea isoelectrica. En el eje horizontal del trazado se expresa el tiempo, estandarizándose indistintamente la velocidad de inscripción en 15 ó 30 mm. por segundo. Hay

que tener en cuenta la posible y frecuente aparición de potenciales extracerebrales superpuestos a la propia electrogénesis neuronal y que constituyen los denominados "artefactos" que pueden enmascarar el trazado normal.

Los registros que vamos a obtener mostrarán una serie de ondas (variaciones del voltaje en función del tiempo) denominadas grafoelementos, en las cuáles tendremos que valorar los parámetros reflejados en las tablas I-V.

Aparte del EEG convencional, se pueden utilizar otra serie de técnicas asociadas, como la poligrafía, que trata de coordinar la posible manifestación de una variación de la actividad cerebral unida a otras alteraciones (por ejemplo, del ritmo cardí-

PROCEDIMIENTO DE VALORACION DEL REGISTRO EEG

Trazado básico. En condiciones normales, en los adultos aparecen ondas beta en las regiones anteriores y potenciales alfa en las posteriores que ocasionalmente llegan a alcanzar también las regiones anteriores. Esta distribución (alfa posterior, beta anterior) será lo que constituya el denominado "ritmo de base" normal (figura 3), sobre el cual pueden sobreañadirse trenes de descargas anómalas de carácter paroxístico. El ritmo de base puede tener también una morfología patológica (lentificación global, etc.).

Activaciones. Aparte de las condiciones basales, se obtiene el registro EEG bajo una serie de situaciones de "activación" que pretenden facilitar la

Tabla I

PARAMETROS DE MEDIDA Y RITMOS DEL EEG:

Parámetros de medida:

- 1.- Frecuencia (ciclos completos por segundo), medida en hercios (c/seg).
- 2.- Amplitud (voltaje de las ondas medido de vértice a vértice), expresada en microvolts (mcV).
- 3.- Morfología o estudio de la forma de las ondas o grafoelementos del registro EEG.

Ritmos EEG:

1.- Ritmos rápidos:

- Ondas alfa.- 8 a 13 c/seg.
- Ondas beta.- Más de 13 c/seg.

2.- Ritmos lentos:

- Ondas theta.- 4 a 7 c/seg.
- Ondas delta.- 0.5 a 3 c/seg.

aco, respiratorio, muscular, etc.). También se puede obtener el trazado EEG de forma continuada durante un periodo prolongado de tiempo, mediante técnicas de grabación como la telemetría tipo "Medilog" (Oxford Medical Systems), o bien la combinación con registro videográfico para valorar la aparición de alteraciones del movimiento asociadas a los trastornos electroencefalográficos. Por fin, la moderna aplicación de la informática ha permitido el uso de computadoras que analizan y promedian el registro EEG mediante software estadístico y de proceso de imágenes, que permiten la obtención de "mapas" cerebrales (mapping) con un notable interés práctico, ya que eliminan la habitual subjetividad del especialista que informa visualmente un EEG.

aparición de anomalías que no existen o son dudosas de interpretar en estado de reposo.

Estimulación luminosa intermitente (E.L.I.). Mediante una lámpara de destellos breves e intermitentes a gran intensidad, se inducen descargas en las crisis fotógenas y mioclónicas. Durante la E.L.I., en la mayoría de las personas normales el ritmo alfa se hace más puntiagudo. También se puede complementar la fotostimulación con la activación acústica, lo cual sólo parece ofrecer interés en los raros casos de epilepsia musicógena.

Hiperventilación (HPV). Se suele hacer rutinariamente manteniendo al paciente bajo respiración profunda durante 3 minutos, induciendo un hipocapnia que puede activar focos irritativos, especialmente complejos

DESCRIPCION DEL RITMO ALFA

- Aparece en vigilia sobre las regiones posteriores, con una frecuencia de 8-13 c/seg y amplitud menor a 50 mcV en el adulto, si bien se aceptan como normales las amplitudes de hasta 150-200 mcV.
- Morfología variable, habitualmente de aspecto fusiforme, más manifiesto con ojos cerrados y en estados de relajación física y mental.
- Se bloquea o atenúa por la atención o al abrir los ojos (reacción de inhibición de Berger).
- Puede existir un ritmo de morfología y comportamiento similar al alfa en regiones posteriores, pero de una frecuencia algo más rápida o más lenta, denominándose "alfa variante" (rápida o lenta).
- Un ritmo de actividad alfa de localización anterior (frontoparietal), recibe el nombre de "ritmo Mü" o "en arco", pudiéndose tratar de variantes del ritmo normal.
- Si existe una dispersión de frecuencias excesiva, aunque siempre dentro del límite 8-13 c/seg, se hablará de una "desorganización" del trazado de base.
- Anomalías: la ausencia de ritmo alfa en un hemisferio indica una alteración orgánica, habitualmente de la vía óptica. Se encuentran asimetrías interhemisféricas normales, con diferencias de voltaje de hasta un 50% menor en relación con la dominancia hemisférica; así como disminuciones del trazado alfa en los cuadros de ansiedad. Por el contrario, un ritmo alfa de características puntiagudas recibe el nombre clínico de "irritación cortical difusa".

punta-onda o paroxismos globales. En los niños aparecen ondas lentas sinusoidales de localización anterior, sin significado patológico. En las personas normales ocasiona un incremento del sincronismo y de la amplitud el ritmo alfa, así como un aumento de su frecuencia y de su relación respecto al beta.

Sueño. Puede realizarse un registro durante el sueño fisiológico (una forma excelente de activar focos epileptógenos), o tras la privación del mismo. Los estudios de sueño precisan de una técnica y metodología especial (laboratorios del sueño).

Fármacos. En muy raras ocasiones llega a ser necesario recurrir a la activación EEG con fármacos.

Características de los diferentes grafoelementos del trazado EEG. Aparte de los ritmos ya citados, pueden aparecer descargas paroxísticas (sobreañadidas) con una significación patológica. Es conveniente recalcar que hay muy pocos parámetros EEG que sean específicos o patognomónicos de una determinada enfermedad, por lo que todas las anomalías deben ser siempre interpretadas en relación con la sintomatología clínica acompañante.

Hay que diferenciar entre una "descarga" o actividad paroxística registrada bilateralmente en el trazado y un "foco" eléctrico, ya sea paroxístico o discontinuo (foco irritativo, de ondas agudas) o continuo (foco lesivo, habitualmente de ondas lentas), que se centra en un punto sin propagación contralateral. Se denomina "brote" a la presencia de pequeñas agrupaciones de potenciales diferentes a las ondas del trazado básico de la zona explorada, sin apenas extensión, y que tienen diferente significación electroclínica (hallazgos inespecíficos, focos irritativos o lesivos).

NOCIONES DE ELECTROGENESIS CEREBRAL

Electroencefalografía y desarrollo. El patrón EEG guarda una estrecha relación con la organización evolutiva de la actividad bioeléctrica cerebral, la cual depende a su vez de la evolución citoarquitectónica cortical,

en estrecha relación con la maduración del individuo. Así, con la ontogénesis, el EEG sufre una serie de variaciones, predominando durante la primera infancia los ritmos más lentos (delta), que son sustituidos luego por actividad theta y finalmente por la alfa sobre los 16-18 años, edad en la que se alcanza el equilibrio hasta que se alcanza el ritmo propio del adulto.

Electroencefalografía y sueño. Durante los estadios del sueño fisiológico se instaura progresivamente una lentificación del trazado, que es sustituido por frecuencias theta y delta. El sueño se divide en dos grandes periodos: *Fase NREM* (sin movimientos oculares rápidos) dividida en 4 subestadios (I-IV), definidos por unos patrones EEG característicos y progresivamente más lentificados (en fase IV, las ondas lentas ocupan más de la mitad del trazado). *Fase REM* (con movimientos rápidos de los ojos), caracterizada por un trazado EEG desincronizado, de gran frecuencia y bajo voltaje, que traduce una marcada actividad cortical, en contraste con un tono muscular muy bajo. Durante el sueño fisiológico, las fases NREM y REM se van alternando unas 4 a 6 veces/noche, en forma de "ciclos del sueño", que varían en cuanto a las duraciones relativas de cada fase, con un incremento progresivo de las fases NREM-II y REM.

PATRONES ELECTROENCEFALOGRAFICOS EN LOS DIVERSOS TRASTORNOS CEREBRALES

En Neurología Clínica el EEG tiene notable interés en algunas enfermedades como método auxiliar de diagnóstico, siempre en relación con la historia clínica del paciente:

Epilepsia. Es el grupo de enfermedades donde la electroencefalografía tiene mayor importancia. En ellas, tanto los registros intercríticos como los críticos comportan una serie de características que han sido especificadas en la Clasificación Internacional de las Crisis Epilépticas. Hay que tener en cuenta que en un gran número de casos el EEG obtenido fuera de las crisis (periodo intercrítico) suele ser normal y, por otro lado, la obtención de un trazado crítico es un hecho infrecuente, por lo que prevalece la anamnesis cuidadosa para establecer un diagnóstico, incluso ante la presencia de un trazado normal.

Encefalitis. En algunas ocasiones se encuentran descargas bilaterales, sincrónicas y simétricas de ondas lentas irritativas, con un carácter periódico o constante, como las descargas de Rademecker en la panencefalitis esclerosante subaguda, que aparecen entre 6-16 veces/min. También pueden detectarse descar-



Figura 2. Sistema de electroencefalografía computadorizada y mapeo cerebral (mapping) utilizado actualmente en programas de investigación.

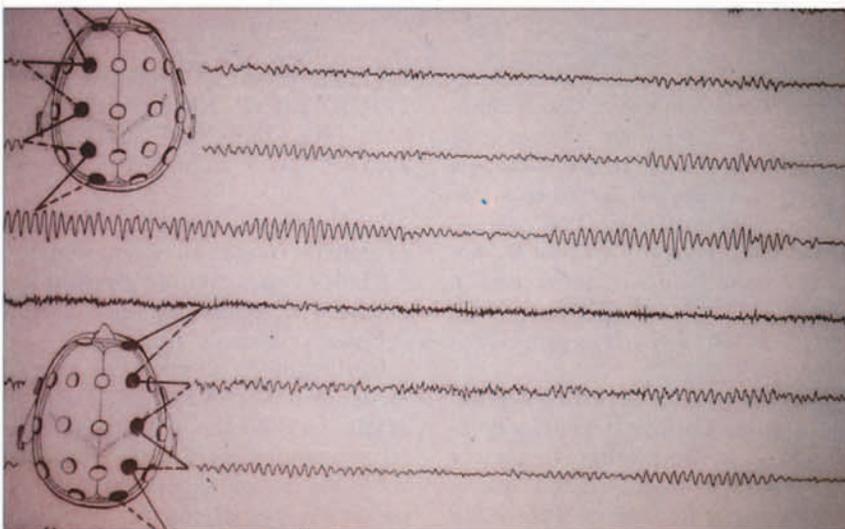


Figura 3. Ritmo de base normal, con predominio de los ritmos más rápidos en las regiones anteriores del cerebro (ritmo beta) y de las ondas alfa en las regiones posteriores.

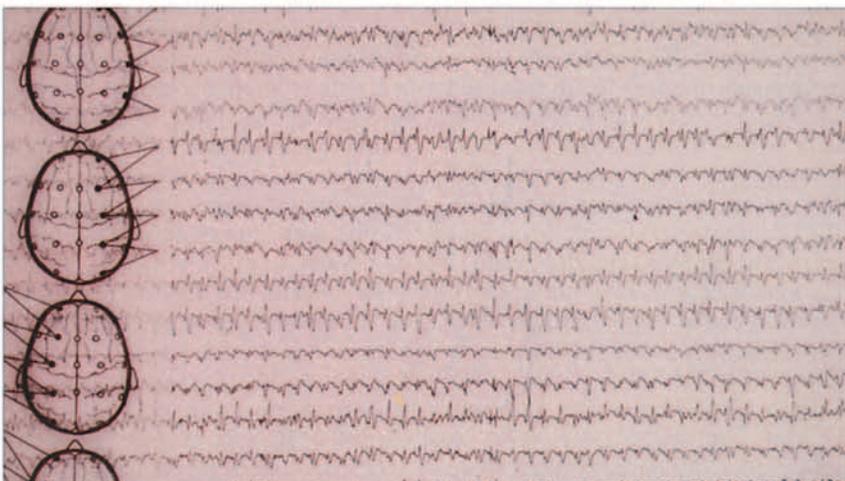


Figura 4. Trazado típico de la enfermedad de Creutzfeldt-Jacob, con ondas repetitivas de carácter fundamentalmente trifásico que aparecen en todo el trazado.

gas, lateralizadas de alto voltaje, con un carácter focal y periódico o pseudoperiódico en encefalitis focales, como la herpética. En la enfermedad de Creutzfeldt-Jacob, el EEG traduce ondas agudas sincrónicas repetitivas, a veces con un carácter bi o trifásico (figura 4).

Encefalopatías. En estos trastornos la EEG tiene una importancia esencial, y en ocasiones los trazados son cuasi patognomónicos:

Síndromes encefalopáticos epilépticos: En el síndrome de West (encefalopatía epiléptica que aparece en los lactantes, con regresión psicomotriz y espasmos clónicos e flexión o extensión) se obtiene un trazado típico de hipsarritmia, con una desorganización profunda del ritmo

Tabla III

DESCRIPCION DEL RITMO BETA

- Todo ritmo con una frecuencia superior a 13 c/seg. Predomina en las regiones anteriores del cerebro.
- Voltaje inferior al 50% del alfa (50-100 mcV).
- Puede aparecer en todas las regiones en personas poco relajadas.
- Se incrementa su frecuencia con los barbitúricos (ritmo beta fusiforme típico de 22 c/seg) y algunos psicofármacos.
- El ritmo alfa se bloquea con la apertura ocular sustituyéndose por un ritmo beta de alta frecuencia y escasa amplitud, que constituye la denominada "desincronización" del trazado.

de base. En el síndrome de Lennox-Gastaut (encefalopatía epiléptica que aparece entre los 2-5 años, con crisis polimorfas y deterioro psicomotriz), se registra un trazado intercrítico con complejos punta-onda lentos y difusos.

Metabólicas: en la encefalopatía hepática el trazado EEG es característico, con presencia de ondas lentas irregulares y polimorfas. Finalmente, en el coma hepático aparecen las típicas "ondas trifásicas" (onda positiva de baja amplitud seguida de otra negativa de alto voltaje continuada por otra positiva más alargada). La uremia induce actividad lenta bilateral o difusa (sin relación con el deterioro o con el nivel plasmático de urea), en ocasiones similar a las ondas del coma hepático.

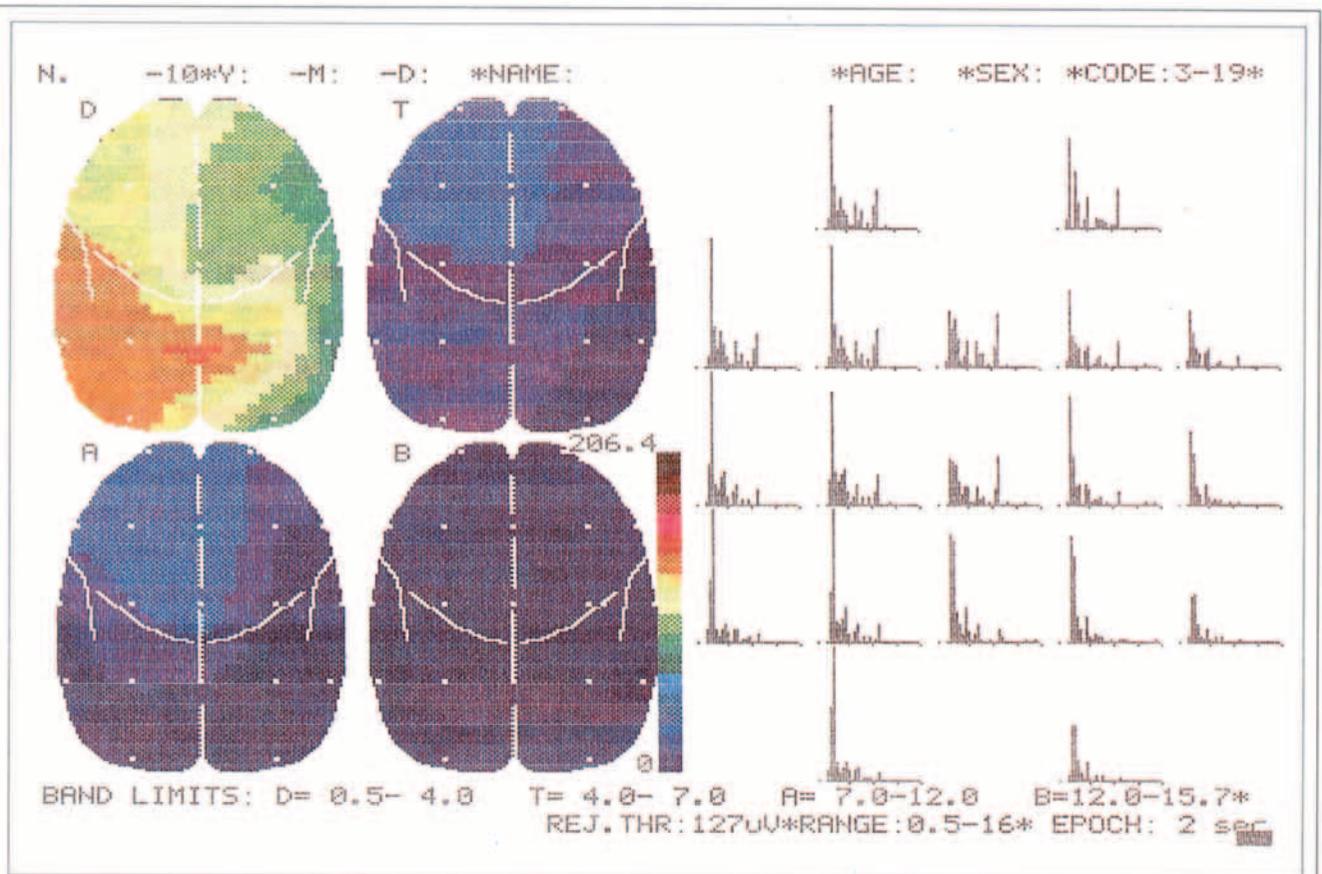


Figura 5. Cartografía cerebral de un paciente con enfermedad de Alzheimer. Predominio de las energías de las bandas delta y theta con una extensión bilateral.

En las encefalopatías metabólicas congénitas el EEG puede aportar información al resto de la metodología diagnóstica que necesariamente hay que aplicar a estos pacientes. Tiene especial valor en los cuadros que se acompañan de crisis o mioclonías (ceroidolipofuscinosis, enfermedad de Lafora, etc.).

Demencias. En los ancianos normales existe una tendencia a la lentificación global del trazado, lo cual suele verse incrementado en la enfermedad de Alzheimer, en la que existe una inespecífica disminución del ritmo alfa normal, con aparición de ondas theta asimétricas de localización frontal y una diferenciación espacial del EEG. Esto podría ser usado como un marcador neurofisiológico no cuento para la valoración pronóstica de este tipo de enfermedades, especialmente mediante el cálculo estadístico y la medición de las diversas bandas de energías de los ritmos mediante la cartografía EEG (mapping), lo cual

constituye un programa de investigación en el que se encuentra trabajando actualmente nuestro Grupo (figura 5).

Procesos focales del cerebro. Tanto los procesos expansivos (tu-

mores, quistes, hematomas) como las áreas de malacia (infartos, desmielinización) tienden a manifestarse por signos EEG focales, con lentificaciones adyacentes a la zona donde se encuentran localizados,

DESCRIPCION DE LOS RITMOS THETA Y DELTA

Tabla IV

- Ritmo de frecuencia superior o igual a 4 c/seg e inferior a 8 c/seg.
 - Puede encontrarse en escasa cantidad en condiciones normales en localización temporal.
 - Parece tener relación con los cambios emocionales y es más frecuente en los sujetos jóvenes, sobre todo en las mujeres.
 - Una actividad theta puntiaguda, asociada al ya citado ritmo alfa puntiagudo, puede tener relación con una irritabilidad cortical, bien focal y patológica (sufrimiento cerebral localizado), o bien de carácter fisiológico en niños y adolescentes, sobre todo en la región temporal izquierda, o durante el sueño en ambas regiones temporales.
 - Su aparición durante la vigilia con unas características fusiformes, puede traducir la presencia de lesiones profundas.
- DELTA:**
- No se encuentra presente en el trazado normal del adulto, por lo que su presencia adquiere un claro carácter patológico.
 - Tiene menos de 4 c/seg (habitualmente entre 0.5-3.5 c/seg) y suele ser de gran amplitud.
 - Su aparición aislada con un carácter generalizado indica un sufrimiento cerebral difuso y grave (encefalopatía), mientras que su aparición focal precisa de la valoración clínica para su interpretación, traduciendo por lo general una lesión focal cerebral.

con mayor o menor actividad irritativa.

Comas y muerte cerebral. En la actualidad, la electroencefalografía constituye un método útil y necesario en la valoración tanto de los comas (lentificación y disminución progresiva del voltaje al aumentar la profundidad del coma), como de la muerte cerebral, donde tiene unas connotaciones de peritación que se complican cuando hay que establecer el momento de muerte neurológica para realizar un trasplante. La exigencia de establecer una muerte cerebral se resume en dos proposiciones fundamentales: certeza absoluta de silencio

quémicos, por ser una excelente técnica de valoración inmediata de la isquemia cerebral (lentificación del trazado uni o bilateral) inducida durante la endarterectomía carotídea, técnica motivo de reciente investigación por nuestro Grupo de Trabajo.

LIMITACIONES DE LA ELECTROENCEFALOGRAFIA

Como ha sido puesto de manifiesto recientemente por nosotros, en los resultados de un estudio multicéntrico comunicado en el Congreso Internacional de Neurología "Epilepsia

ción complementaria que es-remarcando las especiales limitaciones en la mayoría de los pacientes puramente funcionales. Por lo tanto, no creemos que tenga sentido su utilización rutinaria en el "screening" de patología cerebral en sujetos normales, especialmente en lo que a selección o revisión de tripulantes aéreos se refiere. Parece más lógica la realización de una correcta entrevista y, en caso de duda, la valoración clínica por parte de un neurólogo, quien recomendará en su caso la realización de dicha exploración u otras que pudieran ser más apropiadas para el correcto diagnóstico del sujeto. Por otro lado, la habitual impresión subjetiva del informador del trazado EEG (basada habitualmente en la experiencia adquirida), hace interesante la aplicación de nuevos métodos informáticos y estadísticos, para manejar con mayor eficacia la información que se puede extraer de un electroencefalograma ■

GRAFOELEMENTOS PAROXISTICOS DEL EEG

Tabla V

3.5.1. Puntas (spikes).- Son potenciales transitorios claramente diferenciados de la actividad de base, con un pico puntiagudo de 20-70 mseg. de duración (en el registro convencional de 3 cm/seg, ocupan unos 2 mm. de amplitud).

3.5.2. Ondas agudas.- Son diferentes de las anteriores, con una duración entre los 70-200 mseg (ocupan más de 2 mm. de amplitud en los registros convencionales).

3.5.3. Punta-onda.- Constituido por una punta seguida de una onda lenta. Las puntas-ondas, bilaterales y sincronas a 3 ciclos/seg y la punta-onda lenta difusa, son expresiones prácticamente exclusivas de comicialidad (epilepsia generalizada primaria con manifestación clínica de ausencias).

3.5.4. Complejo de polipuntas-onda.- Es una secuencia de dos o más puntas asociadas a una o varias ondas lentas. La polipunta-onda es similar a la punta-onda y aparece en las epilepsias mioclónicas.

3.5.5. Ritmos reclutantes.- Consisten en la aparición de un ritmo, cuyos componentes van adquiriendo progresivamente, en unos pocos segundos, un voltaje creciente.

cerebral (EEG plano durante al menos 8 horas de registro continuado); y necesidad de integrar el trazado EEG plano en el cuadro clínico del paciente (valorando, por ejemplo, la administración de fármacos que pudieran aplanar la electrogénesis, etc.). Tanto en el manejo de los comas como en la valoración de la muerte cerebral, son de elección las técnicas de monitorización electroencefalográfica continuada.

Patología vascular cerebral. Aparte de la posibilidad de aparición de focos de lentificación en las zonas adyacentes a una lesión isquémica o hemorrágica, o de irritación en una zona necrótica residual que han de ser visualizadas necesariamente con la TC o RM, el EEG tiene un particular interés como técnica coadyuvante durante el tratamiento quirúrgico de los ictus is-

Madrid 1987", organizado y celebrado en el Hospital del Aire, es remarkable la poca ESPECIFICIDAD del trazado EEG excepto en concretas situaciones. Como hemos visto, dicha exploración traduce una serie de variables de difícil (e incluso subjetiva) valoración fuera de un riguroso contexto clínico (artefactos, estado emocional, edad), puesto que no recogemos más que unos potenciales cerebrales de localización muy superficial que en ocasiones no representan una clara traducción de los posibles hallazgos de lesiones objetivables por técnicas de neuroimagen. Por tanto, consideramos que en el terreno clínico, dicha técnica debe ser rigurosamente valorada por el especialista (habitualmente el neurólogo) en el contexto global de la anamnesis y exploración física del paciente -como técnica de explora-

BIBLIOGRAFIA

1. Delamónica EA. *Electroencefalografía*. Segunda Edición. El Ateneo Ed. Buenos Aires, 1984.
2. Duffy FH, VG Iyer, Surwillo WW. *Clinical Electroencephalography and Topographic Brain Mapping*. Springer-Verlag, New York, 1989.
3. Homan RW, Herman J, Purdy P. *Cerebral location of International 10-20 System electrode placement*. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 66: 376-382. 1987.
4. Stalberg E, Young RY. *Clinical Neurophysiology*, Butterworths International medical Reviews, Neurology 1, London, 1981.
5. Simon O. *Electroencefalografía. Introducción y Atlas*. Salvat Ed. Barcelona, 1983.
6. García de la Rocha ML, Moreno Martínez JM, Martín Araguz A et al. *Nueva aportación metodológica en el estudio de la enfermedad de Alzheimer*. *Rev. Esp. Neurol.* 6 (7): 383-388. 1991.
7. García de la Rocha ML, Moreno Martínez JM, Martín Araguz A. *Marca-dor diagnóstico bioeléctrico en la enfermedad de Alzheimer*. *Anales del Hospital del Aire*, núm. 1: 65-77. 1991.
8. Martín Araguz A. *Aterosclerosis carotídea: factores de riesgo y resultados de la endarterectomía*. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. 1991