



Sesión No. 6a

ELECTROENCEFALOGRAMA

Propósito General

El alumno comprenderá los fundamentos fisiológicos básicos de la electroencefalografía, mediante la realización de un registro electroencefalográfico con maniobras de estimulación y la posterior discusión de cómo interpretar estos resultados en base a procesos fisiológicos normales y algunos ejemplos en que pueden alterarse.

Aprendizajes esperados

Que el alumno realice un electroencefalograma de acuerdo a la técnica 10-20 de colocación de electrodos

Que el alumno reconozca los patrones oscilatorios del electroencefalograma más comunes registrados durante diferentes estados mentales y en diferentes regiones y los distinga de artefactos de origen muscular.

Diagnóstico previo

1. ¿Qué es un dipolo eléctrico?
2. ¿Qué es un amplificador?
3. ¿Qué son los ritmos / oscilaciones del cerebro?
4. ¿Qué es frecuencia y qué es amplitud?
5. ¿cuál es la diferencia entre un registro monopolar y un registro bipolar?
6. ¿Quién produce la actividad eléctrica que se registra en el EEG?
7. ¿Qué factores pueden afectar la resistencia de un electrodo de registro?
8. ¿Por qué es importante colocar los electrodos de registro de forma estandarizada?
9. ¿En qué casos está indicado hacer un EEG?
10. ¿Cuáles son las ventajas de un electroencefalograma o un magnetoencefalograma?



Introducción

En 1875, Richard Caton, publicó la primera evidencia conocida sobre las oscilaciones eléctricas en el cerebro. En su descripción de los registros que realizó en varios animales reportó: "corrientes débiles de direcciones variables pasan a través del multiplicador cuando los electrodos se colocan en dos puntos de la superficie externa, o un electrodo en la materia gris y otro en la superficie del cráneo". Posteriormente reportó: "la corriente por lo general está en constante fluctuación; el índice de oscilación es generalmente pequeño ... En otras ocasiones, se observan grandes fluctuaciones, que en algunos casos coinciden con algunos movimientos musculares o cambios en el estado mental del animal". Los primeros registros en humanos fueron reportados por Hans Berger en 1929 y es por esto que se le conoce como el padre de la electroencefalografía (Ahmed and Cash 2013).

¿Dónde se generan estas oscilaciones en el potencial eléctrico?. Cualquier corriente transmembranal genera una contribución al potencial eléctrico local extracelular; sin embargo, el peso de la contribución depende de la intensidad y duración de la corriente. Así, el potencial local de campo medido en un punto va a estar determinado principalmente por los flujos de corriente a través de las membranas de las células más cercanas. Existen múltiples contribuciones a la corriente extracelular provenientes de: 1) el intercambio de información axón-dendritas "actividad sináptica" (*en general se acepta que este es el principal contribuyente a las oscilaciones observadas en un registro de EEG*(Schomer and da Silva 2018)); 2) corrientes generadas por potenciales de acción; 3) corrientes intrínsecas u oscilaciones espontaneas en el potencial de membrana de las células; 4) sinapsis eléctricas; 5) fluctuaciones lentas en el potencial eléctrico de células gliales.

En resumen, el electroencefalograma es el resultado de la suma de los potenciales eléctricos locales, que son básicamente despolarizaciones e hiperpolarizaciones a través de las membranas neuronales. Los factores que determinan que un potencial sea registrado en la superficie dependerá de su voltaje, grado de sincronía en las descargas, organización anatómica de las células involucradas, área cortical involucrada, sitio de participación cortical respecto a las circunvoluciones, distancia hacia los electrodos, la elección de los montajes de los electrodos, y la resistencia de los electrodos.

El intercambio de información entre las células del sistema nervioso se da por medio de corrientes eléctricas. En conjunto, esta actividad neuronal da origen a variaciones del potencial eléctrico en el espacio extracelular, variaciones en espacio y tiempo que pueden ser registradas y estudiadas para caracterizar sistemas neuronales. Estas oscilaciones en el potencial eléctrico local, se han categorizado en diferentes bandas de frecuencia bien definidas (ritmos) que van aproximadamente desde 0.05 Hz hasta 500 Hz. (Fig. 1).

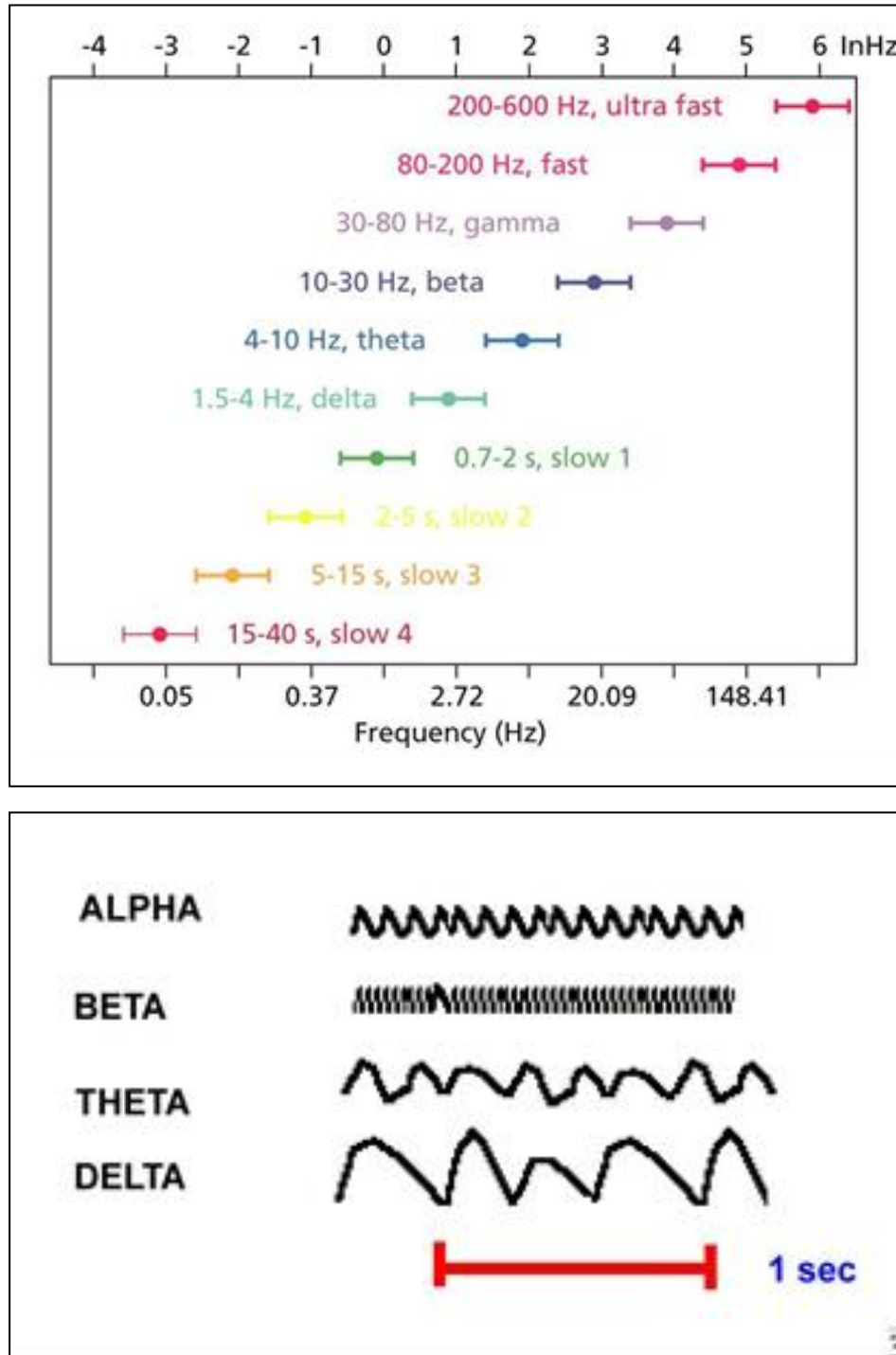


Fig. 1: Se han caracterizado diferentes bandas de frecuencia en las oscilaciones del potencial eléctrico registrado en el electroencefalograma. Dichas bandas (ritmos), se han asociado a diferentes estados mentales o procesos, y son prominentes en diferentes regiones. El panel superior, tomado de (Buzsaki and Draguhn 2004), muestra una representación con diferentes colores de los ritmos y frecuencias correspondientes que se han observado en distintos mamíferos. El panel de abajo muestra los ritmos clásicos que se evalúan en un EEG en la clínica, figura tomada de Medscape: Normal EEG Waveforms (<https://emedicine.medscape.com/article/1139332>)



Diferentes ritmos se han sido asociado a la activación de diferentes redes locales de neuronas ligadas transitoriamente por conexiones dinámicas recíprocas. A estas redes se les denomina ensambles neuronales y dentro del cerebro, se piensa que la computación de todo acto cognitivo reside en el surgimiento de un ensamble neuronal específico (Varela, Lachaux et al. 2001, Barrett 2013).

Al efectuar un electroencefalograma (EEG), los electrodos se colocan en lugares estándares y se organizan en diferentes montajes que permiten enfatizar diferentes características de las oscilaciones normales o patológicas. En el registro se obtienen una variedad de ondas diferentes para cada derivación (Roy 2017). Cada derivación del EEG representa la diferencia de potencial a lo largo del tiempo, registrada entre dos electrodos. Para fines de aplicación clínica, se consideran básicamente cinco ritmos: alfa, beta, theta, delta y gamma, a continuación, describiremos brevemente las características de uno de ellos (Barrett 2013, Koeppen and Stanton 2017, Rhoades and Bell 2018).

1. Alfa (8 a 13 Hz; y bajo voltaje con amplitudes medias entre 30 y 50 μV)

El ritmo Alfa aparece cuando el sujeto está relajado en estado de vigilia y con los ojos cerrados. Es bloqueado o atenuado por la apertura de ojos y el esfuerzo mental, tal como hacer cálculos o concentrarse en una idea. Es por ello que parece indicar el grado de activación cortical; mientras mayor sea la activación menor la actividad alfa. Las ondas alfa tienen mayor expresión en ambas regiones occipitales y frontales, con un campo de distribución que alcanza también zonas parietales y temporales posteriores. La mayoría de los sujetos normales presentan una asimetría del ritmo alfa, a menudo, la amplitud es mayor en el hemisferio derecho. En niños se puede registrar desde los 6 años, pero a los diez ya está perfectamente establecido

2. Beta (13 a 30 Hz y voltaje $<20 \mu\text{V}$)

Se observa en individuos despiertos, alertas y con los ojos abiertos, este ritmo es dominante si se encuentra en actividad mental y preferentemente se observa en regiones anteriores (frontales). Su distribución es fronto-central y puede haber reactividad ante estímulos táctiles y actividad motora de las extremidades contralaterales. Puede estar ausente o reducido en áreas con daño cortical y ser acentuado por drogas hipnóticas o sedantes.

3. Theta (4 a 8 Hz; con mayor amplitud $>30 \mu\text{V}$)

Se registra en sujetos durante el sueño, principalmente el sueño MOR (Movimientos Oculares Rápidos). El ritmo theta no se ve en un adulto despierto, pero es normal en niños despiertos hasta la adolescencia. Su distribución preferentemente está en las regiones de los lóbulos temporales. Algunos investigadores separan esa banda de frecuencias en dos componentes, la actividad Theta baja (4 - 6 Hz) correlacionada con un estado de vigilia disminuida y somnolencia aumentada, y la actividad Theta alta (6 - 8 Hz) la cual se ve aumentada durante tareas que involucran a la memoria de trabajo.

4. Delta (entre 0,5 y 4 Hz; y un voltaje muy alto hasta 100 - 200 μV).

El ritmo Delta es el ritmo dominante en las etapas 3 y 4 del sueño, pero no se ve en el adulto consciente. Tiende a tener la mayor amplitud de todas las ondas componentes del EEG. Su aparición en estado de vigilia representa una patología. En etapas pediátricas puede presentarse y se considera un signo del grado de madurez de la corteza cerebral. En algunas ocasiones los artefactos causados por los movimientos musculares pueden producir ondas en la misma banda de frecuencia.



5. Gamma (entre 30 y 50 Hz)

Puede ser asociado con la actividad mental superior, incluyendo percepción y conciencia y desaparece bajo anestesia general. Una sugerencia es que el ritmo Gamma refleja la actividad mental envuelta en la integración de varios aspectos de un objeto (color, forma, movimiento, etc) para formar una imagen coherente.

Análisis del EEG

Al hacer un análisis básico del electroencefalograma se busca identificar visualmente los cambios a lo largo del tiempo de la frecuencia, amplitud, fase, y morfología de las ondas registradas. En particular se pone atención a:

- Patrones (amplitud, frecuencia, morfología, duración, sincronía) de acuerdo a la edad
- Patrones de acuerdo al estado de conciencia, vigilia, sueño, coma, etc.
- Distribución topográfica
- Reactividad ante diferentes manobras de activación
- Organización de otros grafoelementos normales (Ondas V, ondas lambda, complejos K, husos de sueño)
- Grafoelementos anormales y condiciones desencadenantes
- Artefactos (potenciales miogénicos, movimientos de la lengua, movimientos de los ojos, electrodos, ruido eléctrico de 60Hz, etc)

El uso cada vez más extendido de computadoras permite el análisis cualitativo de actividad electroencefalográfica, así como la representación compactada por bandas de frecuencia o su presentación topográfica a colores en un esquema de la superficie de la cabeza. En forma simplificada el principio se basa en considerar a la actividad eléctrica cortical como una mezcla de fluctuaciones de voltaje sinusoidales y rítmicas que cubren un amplio rango de frecuencias. Esto se denomina banda de frecuencia o espectro de frecuencia. El espectro de frecuencia se puede descomponer en un número de ondas sinusoidales separándolas por sus diferentes frecuencias, amplitudes y valores de fase. Para hacer el análisis espectral se emplea clásicamente un método conocido como análisis de series de Fourier.

Material y Métodos

Material
Electrodos de copa de oro
Pasta conductora Ten 20
Algodón y alcohol
Isopos
Silla
Tela quirúrgica o sanitas
Tijeras
Sistema de registro Cadwell

Método

a) Colocación de los electrodos y preparación del programa de registro.

Se realiza la distribución acorde al sistema internacional 10/20 en el cuero cabelludo. Como se muestra en la figura 2

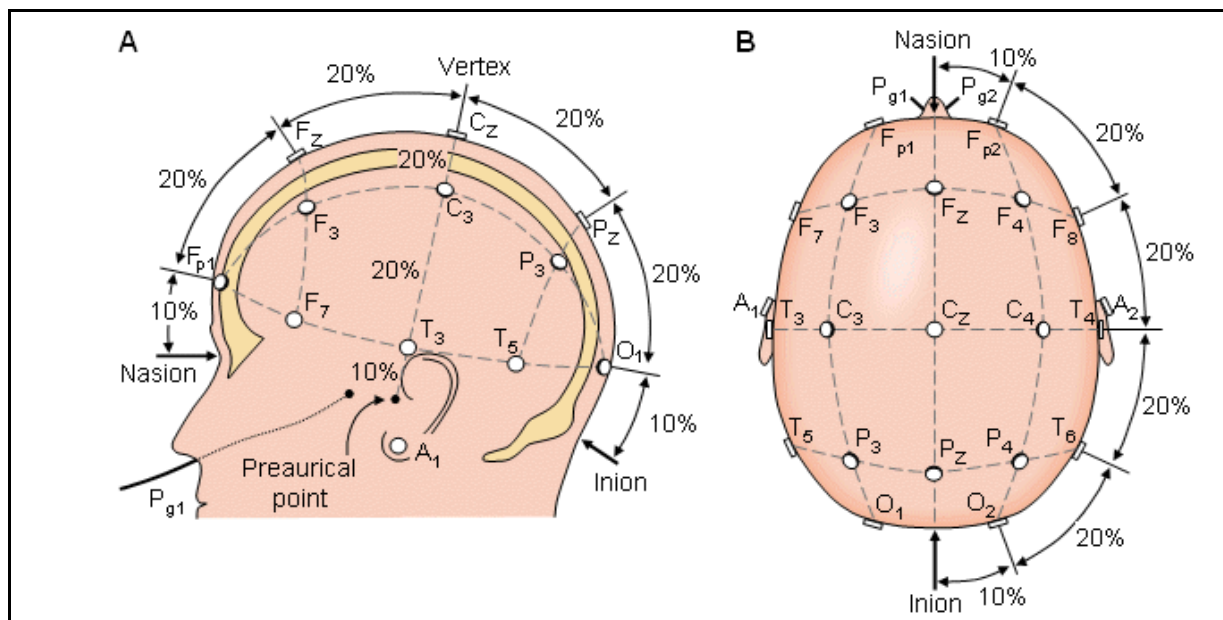


Figura. 2. Colocación de los electrodos según el sistema 10-20. A) vista lateral y B) vista superior. F = Frontal, C = central, P = Parietal, O = Occipital, A = Auricular.



Instrucciones para colocar los electrodos¹:

1.- Obtenga las siguientes medidas:

Inión – nasión _____ cm (pasando por el vértex.)

Perímetro cefálico: _____ cm

Trago-trago: _____ cm (depresión inmediata por delante del pabellón auricular)

2.- Coloque el electrodo central Cz a la mitad de la distancia entre inión y nasión (50%) y a la mitad de la distancia trago a trago.

3.- Medir el 20% de distancia inión-nasión hacia delante de Cz en la línea media colocar Fz y en lado posterior Cz, así completara línea media

4.- Seguir con el eje coronal de trago a trago

5.- Completar con electrodos frontales F3, F4 y P3, P4

6.- Ahora se mide la circunferencia de la cabeza, pasando la cinta métrica por T4 y T3. En este plano y al 20 y 40% de la medida de la circunferencia y por delante de T4 se localiza F8 y FP2, de igual forma en lado izquierdo se localizarán F7 y FP1. Pasar por atrás de T4 también al 20% y 40% de la medida de la circunferencia colocar T6 y O2 y del lado izquierdo T5 Y O1, hasta completar el montaje completo

7.- Coloque referencias en mastoides o pabellón auricular A1 y A2

Amplificador Cadwell
Easv III

8) Conecte los electrodos al equipo de registro (Amplificador Easy III, Cadwell) en las entradas correspondientes para cada electrodo. Tener cuidado de no doblar los electrodos, dado que son cables muy finos y se pueden romper fácilmente.

9) En el escritorio elija el programa Cadwell, e ingrese los datos del participante, al finalizar elija *Start Recording* con opción de EEG.

10) Verifique que su impedancia sea menor a 5 K. (Figura 3)



11) Se recomienda utilizar una sensibilidad de 7.1 μ V/mm y una velocidad de 1 segundo / división.

¹ **Nota:** Una vez ubicada la región, tome un hisopo y divida a la mitad el cabello, limpie el área con alcohol y luego con pasta Nuprep. Tome la base del electrodo de copa con el índice y cuidadosamente tome una porción de pasta Ten 20. Para fijar el electrodo se recomienda colocar un círculo de tela quirúrgica o sanita, así se fijará mejor el electrodo al cuero cabelludo. Se recomienda que los cables ordenadamente vayan en dirección paralela de lóbulo frontal a parietal (lineal hacia atrás como se muestra en la siguiente imagen.

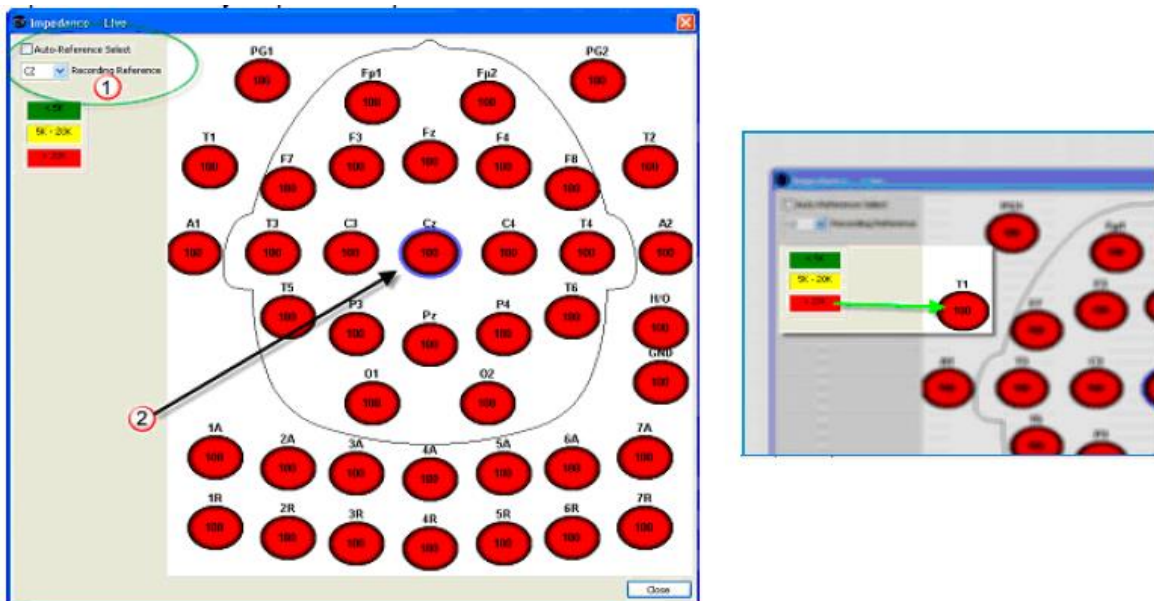


Figura 3. Comprobación de impedancia desde software Easy III: Haga clic en el botón Impedancia de la barra de herramientas Easy III EEG/LTM. Niveles de impedancia que son buenos se mostrarán con fondo de color verde en la entrada. En el ejemplo siguiente, la impedancia es mayor que 20 K, por lo tanto, el color de fondo es de color rojo.

B) registro de electroencefalograma (desarrollo de la práctica)

1.- Identificación de artefactos que se presentan en el EEG

- *Artefacto de origen muscular:* el sujeto presiona con cuidado la mandíbula, aprieta ojos y frunce el ceño durante 10 segundo.
- *Artefacto por movimiento de ojos:* Se solicita al sujeto que abra y cierre los ojos o que los mueva de manera horizontal.
- *Artefacto de mover la lengua:* Se solicita al sujeto que mueva la lengua dentro de su cavidad bucal
- *Artefacto de movimiento:* Mover con cuidado la cabeza de lado izquierdo a derecho.
- *Artefacto de electrodo con alta resistencia:* Con cuidado se quita un electrodo del cuero cabelludo para lograr que un canal no registre.
- *Artefacto de ruido de 60 Hz.* Se coloca algún aparato eléctrico cerca del amplificador



2. Identificación de ritmos alfa y beta

El sujeto de estudio permanecerá en posición sentada, en reposo, relajado, con los ojos cerrados y sin moverlos durante los 15 segundos que dura el registro.

El sujeto de estudio permanecerá en posición sentada, en reposo, relajado, con los ojos abiertos sin moverlos y sin parpadear durante los 15 segundos que dura el registro.

El sujeto de estudio nuevamente permanecerá en posición sentada, en reposo, relajado, con los ojos cerrados y sin moverlos durante los 15 segundos que dura el registro.

3. Identificación de estímulos que pueden modificar los ritmos presentes (maniobras de activación).

Pensamiento abstracto

El sujeto de estudio permanecerá en posición sentada, en reposo, relajado, con los ojos cerrados y sin moverlos durante 20 segundos.

El sujeto de estudio permanecerá en posición sentada, en reposo, relajado, con los ojos cerrados y sin moverlos durante 20 segundos mientras que realiza cálculos mentales.

Efecto de la música:

El sujeto en posición sentado con los ojos cerrados y con cuidado se le presenta Música Clásica o Música de Rock durante 20 segundos

Efecto de la hiperventilación

Sujeto con ojos cerrados sin moverlos, se registran 20 segundos en condiciones basales y después se le pide que hiperventile por 2 minutos, se comparan ambos registros.

Efecto de la fotoestimulación:

Colocar la lámpara estroboscópica frente al sujeto y estimular a diferentes Hz durante 10 segundos.

4.- Cambios en la actividad oscilatoria durante el sueño

Si se solicitó al participante desvelarse se pueden registrar algunas fases de sueño, sin embargo usualmente se requiere que el trazado contenga por lo menos 20 minutos de registro técnicamente satisfactorio.

Resultados de la práctica

Los registros obtenidos se analizarán y se discutirán con el profesor del laboratorio.





Resultados de aprendizaje:

- El estudiante será capaz de realizar un electroencefalograma con la técnica 10-20, identificará las principales oscilaciones presentes en condiciones normales, podrá realizar diferentes maniobras de activación, identificará artefactos.
- El estudiante comprenderá las bases teóricas de un registro electroencefalográfico.

Evaluación

Al terminar la práctica el profesor de laboratorio deberá evaluar a cada estudiante de acuerdo con su trabajo individual y por equipo tomando en cuenta entre otros factores que a juicio del profesor sean relevantes:

- Adquisición y uso de la información
- Formulación de problemas e hipótesis fundamentadas
- Diseño experimental
- Discusión clara
- Organización de bitácora
- Aplicación del conocimiento
- Integración del conocimiento
- Trabajo en equipo

Referencias bibliográficas

Referencias Básicas

- Barrett, K. E. (2013). *Ganong fisiología médica* (24a. ed.), McGraw Hill Mexico.
- Koeppen, B. M. and B. A. Stanton (2017). *Berne and Levy Physiology E-Book*, Elsevier Health Sciences.
- Rhoades, R. A. and D. R. Bell (2018). *Fisiología Médica: Fundamentos de Medicina Clínica*, Lippincott Williams & Wilkins.

Referencias Complementarias

- Ahmed, O. J. and S. S. Cash (2013). "Finding synchrony in the desynchronized EEG: the history and interpretation of gamma rhythms." *Front Integr Neurosci* **7**: 58.
- Buzsaki, G. and A. Draguhn (2004). "Neuronal oscillations in cortical networks." *Science* **304**(5679): 1926-1929.
- Roy, S. (2017). "Normal EEG Waveforms." Retrieved Septiembre 28, 2018, 2018, from <https://emedicine.medscape.com/article/1139332-overview#showall>.
- Schomer, D. L. and F. H. L. da Silva (2018). *Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, Oxford University Press.
- Varela, F., J. P. Lachaux, E. Rodriguez and J. Martinerie (2001). "The brainweb: phase synchronization and large-scale integration." *Nat Rev Neurosci* **2**(4): 229-239.

Se sugiere también el siguiente sitio de la Universidad de Yale donde se ofrecen videos introductorios a la técnica de EEG:

- <https://yale.hosted.panopto.com/Panopto/Pages/Sessions/List.aspx#folderID=%22fe5d8371-c5ee-4b39-83af-0e935f9b6f60%22>



ANEXO

MANUAL

SISTEMA 10/20

INTERNACIONAL

INTRODUCCION

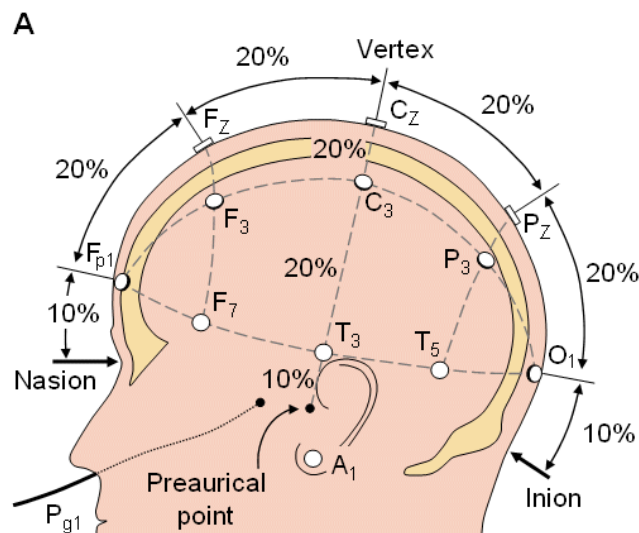
El sistema de 10/20 internacional es un método reconocido internacionalmente al describir la localización de cada uno de los electrodos.

Los números 10/20 hacen referencia al porcentaje (10 y 20) de distancia en la que deben estar colocados los electrodos en la parte frontal, occipital, de lado derecho e izquierda del cráneo.

Cada sitio tiene una letra para identificar el lóbulo y un número para identificar la ubicación del hemisferio.

ELECTRODE	Lóbulo
F	Frontal
T	Temporal
C	Central
P	Parietal
O	Occipital

Como sabemos no existe un lóbulo central únicamente se utiliza para ubicar la parte central del cráneo, la Z (zero) hace referencia a la mitad de la cabeza, los números 2,4,6,8 son los electrodos colocados en el hemisferio derecho y 1,3,5,7,9 los electrodos del hemisferio izquierdo.



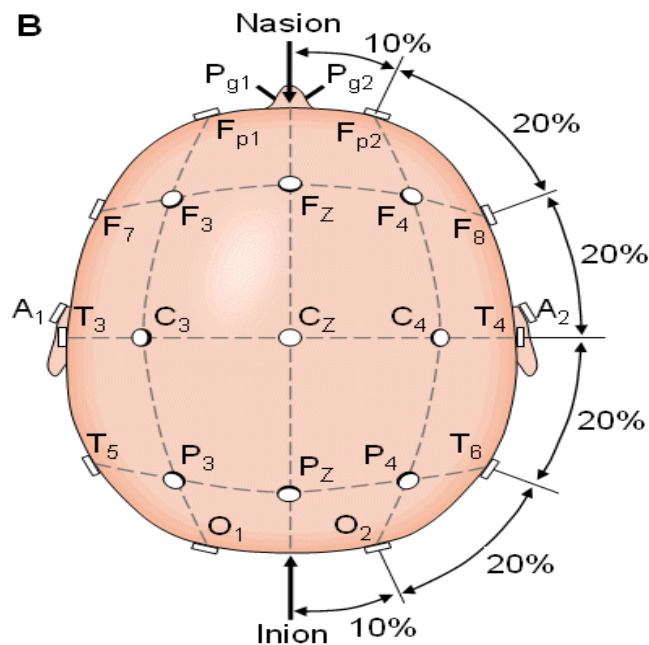
Cuatro puntos esenciales para la colocación de electrodos:

EL PRIMERO: A nivel del nasión que es el punto entre la frente y la nariz

EL SEGUNDO: A nivel de inion que es el punto más bajo del cráneo. es la parte posterior de la cabeza y normalmente es identificado por un tope prominente

Y LOS DOS ULTIMOS: Los puntos preauriculares que se colocan anterior al oído.

DISTANCIA ENTRE LOS ELECTRODOS



PASOS PARA COLOCACION DE ELECTRODOS

- 1) Tomar una cinta de medición.
Medir a lo largo de la cabeza desde el nasion al inion y ubicar la mitad .
- 2) Si mide 36cm la mitad sería 18cm y colocar el electrodo correspondiente (**Cz**).
- 3) Medir y marcar el 10% arriba del nasion y 10% arriba del inion, esta es tu marca preeliminar para **Fpz y Oz**. Si fuera 36cm el 10% sería 3.6
- 4) Marca el 20% en cualquiera de los dos de las primeras marcas, esas serán sus marcas preelminares para **Fz y Pz**. Si midiera 36cm el 20% sería 7.2cm

- 5) Mida un punto preauricular al otro, deslice despacio su dedo hacia arriba y después hacia debajo hasta ubicar la muesca del zigomático, la cual es fácil de identificar, indicándole al paciente que abra despacio la boca. pensemos que mida 38cm.
- 6) Mida y marque el 50% del total de los puntos preauriculares y debe de interceptar con el punto **Cz**.
- 7) Mida y marque el 10% de los puntos preauriculares, ese será el punto **T3 y T4**. Si media 38cm de total el 10% será 3.8cm.
- 8) Mida de **T3 a Cz**. Supongamos mida 15cm.
- 9) Tomar el 50% de dicha medida y ese sera el punto **C3 Y C4**. Si midio 15cm el 50% sera 7.5cm.
- 10) Localice su punto **Fpz**.
- 11) Mida de **Fpz a Oz** formando una circunferencia. Pensemos que mida 56cm.
- 12) Mida el 5% de lado derecho e izquierda del punto **Oz**. Esas serán tus marcas de **O1 Y O2**. Si mide 56cm el 5% será 2.8cm.
- 13) Mida y marca el 5% de lado derecho e izquierda del punto **Fpz** y esos serán sus puntos **Fp1 y Fp2**. Si midió 56cm el 5% será 2.8cm.
- 14) Mida y marque el 10% hacia abajo del punto **Fp1 y Fp2** y esos serán sus puntos **F7 Y F8**. Si el total de la circunferencia midió 56cm el 10% será 5.6cm.
- 15) Mida de F7 a F8 y anote la distancia. Pensemos que mida 32cm.
- 16) Mida y marque la mitad de la distancia entre **F7 Y F8** y se interceptara **Fz**.
- 17) La medida que debe de haber entre **F7 y Fz** debe ser la mitad del total de **F7 y F8**. Si midió 32cm la mitad seria 16cm.
- 18) Mida la distancia entre **F7 y Fz** así como **Fz y F8** y la mitad de cada una será el punto **F3 Y F4**. Si mide 16cm la mitad será 8cm.
- 19) La medida que hay entre **Fp1 a F3 y Fp2 a F4** debe de ser de 7cm.
- 20) Mida de **Fp1 a O1 Y Fp2 A O2** y se debe de interceptar con el punto **C3 y C4** y medir 28cm.
- 21) Medir de **Fp1 A C3 Y Fp2 a C4** y se debe de interceptar con el punto **F3 y F4**.