



Correlación entre los interhusos del ritmo alfa, el EMG de los gemelos y la oscilación de vaivén del individuo de pie

- José H. Peñaloza Rojas. Profesor Asociado. Departamento de Ciencias Fisiológicas. Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia.

En sujetos adultos normales se registraron simultáneamente: el electroencefalograma (EEG) occipital, el electromiograma (EMG) de los músculos gemelos y el movimiento oscilatorio de vaivén del individuo (EOsG) en bipedestación, con ojos cerrados y abiertos. Mientras permanecen los sujetos experimentales con los ojos cerrados, el EEG muestra los husos de ritmo alfa bien integrados, unidos o separados por los interhusos los cuales son de duración y frecuencia variables. El EMG es intermitente y las descargas de los potenciales musculares son de duración breve. El EOsG está formado por ondas de amplitud y duración variables. De la observación cuidadosa de estos registros simultáneos se puede inferir la existencia de una correlación temporal entre los tres eventos: primero los interhusos se registran previamente a la aparición del EMG, segundo el EMG precede al EOsG y tercero el EOsG aparece finalmente, como manifestación del vaivén del sujeto experimental. Es decir, la activación cerebral (interhusos) influye sobre los músculos gastrocnemios (EMG) para que éstos se contraigan, enderezcan el cuerpo y corrijan la posición corporal. Como consecuencia de esto, se obtiene el EOsG. Por lo tanto, estos resultados sugieren que los interhusos son un fenómeno electrofisiológico normal resultante de la activación momentánea cerebral y que se registran después de que el individuo ha aprendido a mantenerse en bipedestación.

INTRODUCCION

El ritmo alfa que se registra en las regiones posteriores de la cabeza del sujeto normal mayor de ocho años de edad, con los ojos cerrados y en reposo psicomotor, se caracteriza por presentar una frecuencia de ocho a 13 Hz, amplitud de 20 a 100 μ V e interhusos que separan o unen los husos de ritmo alfa. Los interhusos tienen forma, duración y amplitud variables, que guardan relación íntima con las características del ritmo alfa registrado (1-10).

El ritmo alfa se atenúa o bloquea con la apertura ocular, con la percepción de cualquier estímulo sensorial y algógeno, así como durante los estados de atención o alerta (11-13).

Concomitantemente con estos cambios fisiológicos y electroencefalográficos, los interhusos cambian: disminuyen

o desaparecen. Varios autores (14-17) han demostrado experimentalmente la capacidad de la corteza cerebral aislada así como de pequeñas islas de corteza cerebral y del tálamo aislado quirúrgicamente pero conservando su irrigación sanguínea, para generar potenciales eléctricos. El tálamo da origen a actividad monorrítmica de seis a nueve Hz, con muy escasos interhusos y con frecuencia un poco mayor que la registrada en el tálamo íntegro.

Kellaway y cols. (17) afirman además que las neuronas del tálamo aislado quirúrgicamente, dejan de descargar al mismo tiempo que el electrocorticograma se hace isoelectrónico, hecho que no ocurre en condiciones de normalidad talámica. De esto se infiere que tanto la corteza cerebral como el tálamo tienen capacidad de generar su propia actividad eléctrica pero que su ritmicidad depende de influencias subcorticales y probablemente éstas, a su vez, de estructuras periféricas que retroalimentan al sistema nervioso central.

Moruzzi y Magoun (18), a su vez, han demostrado que la estimulación eléctrica de la formación reticular mesencefálica (FRM), en animales despiertos, a los cuales se les implantan electrodos a permanencia mediante la técnica estereotáxica, produce bloqueo o atenuación acentuada del ritmo alfa talámico y del electroencefalograma. Sin embargo, la estimulación eléctrica de la FRM no modifica la actividad eléctrica del tálamo aislado *in situ*.

De acuerdo con Katada y col (19) y Barnet (20), la frecuencia del EEG es menor y la amplitud mayor en el sujeto con retardo psicomotor. Así mismo, la morfología del registro electroencefalográfico no presenta las mismas características observadas en el sujeto normal. En el individuo con retardo psicomotor, es común registrar un ritmo alfa lento, monorrítmico, además del ritmo theta abundante y, dependiendo de la severidad del retardo, puede registrarse ritmo delta aún en personas mayores de diez años de edad. En condiciones de normalidad, el ritmo dominante en personas mayores de diez años de edad, es el alfa, con interhusos bien definidos.

Concomitantemente con el EEG lento del sujeto con retardo psicomotor, se observa ausencia o disminución acentuada de los interhusos y desde el punto de vista somático, lentitud y cierto grado de torpeza de sus movimientos. Los sujetos con retardo psicomotor también presentan ausencia de la cadencia rítmica de los movimientos de la marcha y de la elegancia de la bipedestación, propios del sujeto normal.

Los interhusos son segmentos del registro electroencefalográfico que suelen observarse más aparentemente con el ritmo alfa: su amplitud, duración y frecuencia son variables. Mientras que en algunas ocasiones no son evidentes, en otras pueden tener duración mayor de 500 mseg. Poco o ningún interés se ha mostrado aún por los interhusos y sus características: forma, amplitud, duración, frecuencia, presencia o ausencia, probable significación y correlación con otros eventos electroencefalográficos.

Normalmente todas las personas, cuando permanecen de pie, con los pies juntos, o de rodillas, presentan oscilaciones de vaivén, como una manifestación del efecto de la fuerza de la gravedad, por un lado y por el otro, la respuesta del sistema nervioso central y sus efectores para conservar la bipedestación y el equilibrio, actuando sobre los músculos de la cara posterior de las piernas, los gemelos, así como también sobre los músculos de la cara anterior de las extremidades inferiores.

De la interacción de estas dos fuerzas resulta el vaivén del individuo en condiciones de normalidad psicomotriz. Las oscilaciones corporales exageradas, acompañadas, además, de trastornos del equilibrio, suelen atribuirse a compromiso laberíntico y/o cerebeloso, principalmente del arquicerebelo, área de proyección e integración de las aferencias vestibulares. En estas condiciones patológicas es fundamental la atención permanente del individuo, especialmente por medio del sistema visual, para lograr mantenerse de pie o de rodillas aunque, de todas maneras, las oscilaciones corporales de vaivén se hallan incrementadas y se exageran aún más con el cierre de los ojos.

Los interhusos son un tipo de actividad electroencefalográfica de bajo voltaje y de mayor frecuencia que el ritmo alfa de fondo; se registra normalmente en el individuo en reposo y con los ojos cerrados, une o separa los husos del ritmo alfa y del ritmo theta y aumentan en número y duración durante los estados de atención.

En los niños menores de cuatro años, los interhusos así como el ritmo alfa son de muy escasa aparición. En la medida en que el niño avanza en edad y aprende a mantenerse de pie y a caminar, se registran interhusos y con éstos el ritmo alfa.

En consecuencia, si se aceptan los interhusos electroencefalográficos como una manifestación de activación

cerebral que, en este caso, participa en la regulación de la bipedestación, cabría esperar que existiera cierta correlación temporal entre éstos, el EMG y las oscilaciones de vaivén del individuo en bipedestación.

MATERIALES Y METODOS

En seis universitarios voluntarios, adultos, normales, con edades entre 18 y 25 años, se realizaron 24 registros simultáneos: electroencefalogramas (EEG) monopolares occipitales: O1-A1 y O2-A2; electromiogramas (EMG) de los músculos gastrocnemios (gemelos), registro de las oscilaciones de vaivén del individuo (EOsG) en posición de pie. Mediante un polígrafo de seis canales se obtuvieron, en forma simultánea: los dos registros electroencefalográficos, de O1-A1 y O2-A2, el EMG de los músculos gemelos y el EOsG de los sujetos experimentales.

El EOsG se logró mediante el uso de un sistema compuesto por: una banda colocada alrededor del tórax, un resorte unido a esta, una cuerda y una polea conectada a los anteriores y un transductor de fuerza conectado al polígrafo. Los registros se hicieron con el sujeto en posición de pie, con los pies juntos, con los ojos abiertos y con los ojos cerrados, durante varios minutos, procurando que el sujeto experimental se mantuviera tranquilo.

RESULTADOS

El EEG registrado de las regiones occipitales presenta ritmo alfa bien integrado, con frecuencia dominante de nueve a 12 Hz y 30 a 70 mV durante los momentos en los cuales el sujeto experimental permanece con los ojos cerrados.

La apertura ocular, como se observa en A, trae como consecuencia la desaparición del ritmo alfa y aparición de otra actividad de mayor frecuencia y de menor voltaje, debido a la activación cerebral resultante de la estimulación lumínica (Figura 1).

Toda activación cerebral, ya sea producida por estimulación sensorial lumínica o auditiva, como se aprecia en A y en C de la figura 1, o bien, como consecuencia del procesamiento intelectual de una tarea, B de la misma figura, produce sustitución del ritmo alfa por otro ritmo de menor amplitud pero de mayor frecuencia. Así mismo, los interhusos, pierden su identidad y parecen quedar enmascarados con la actividad rápida de fondo que predomina en estas situaciones.

En todas estas condiciones de estimulación sensorial, en las cuales se presenta la reacción de bloqueo o atenuación del ritmo alfa, con sustitución del ritmo alfa por actividad de mayor frecuencia y de menor voltaje (actividad tipo beta), los

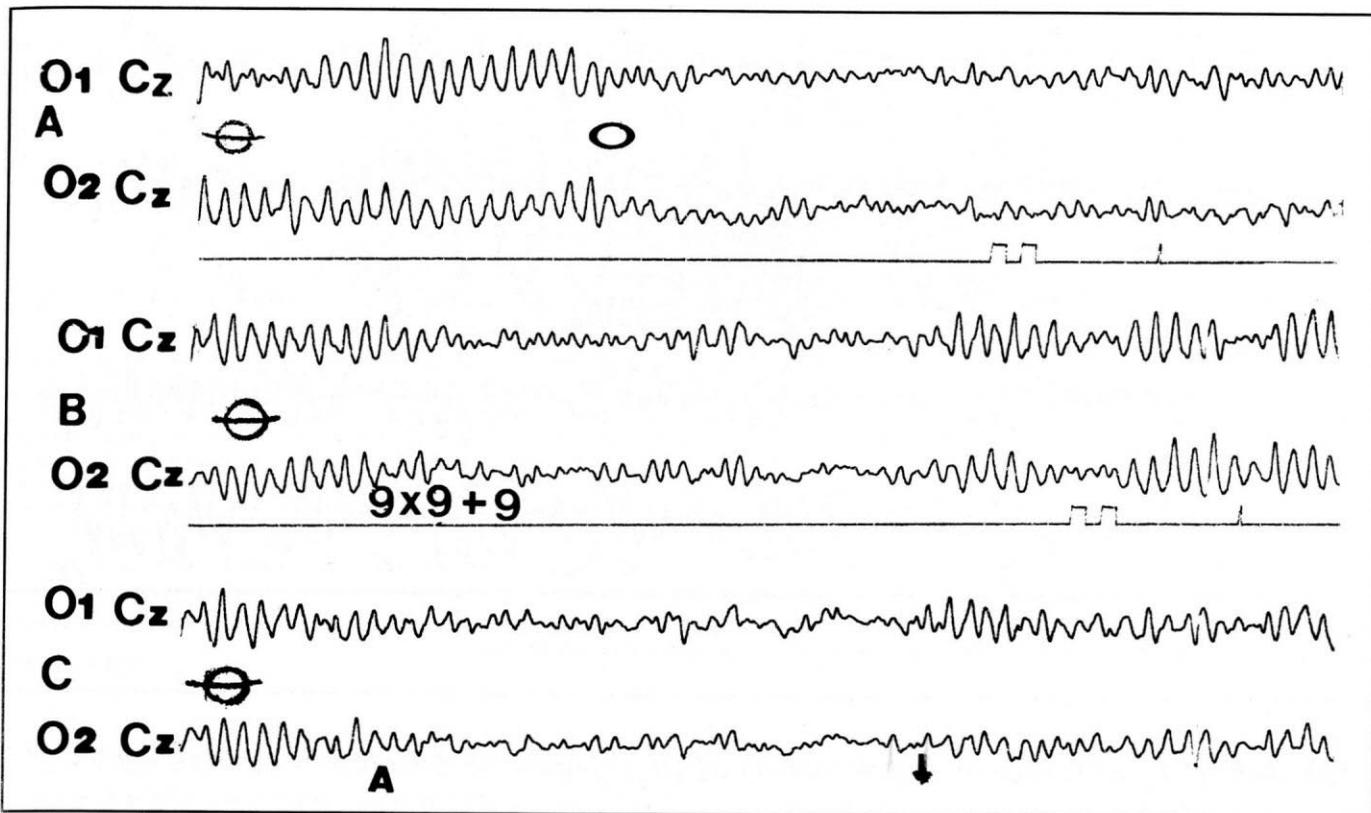


Figura 1. EEG O1-Cz y O2-Cz izquierdo (trazos superiores de A, B y C) y occipito-central derecho (trazos inferiores). El cierre de los ojos está representado por un círculo cortado por el ecuador. Los dos círculos concéntricos señalan el momento de la apertura ocular. En A se observa como la apertura ocular produce la reacción de bloqueo o atenuación del ritmo alfa. En estas condiciones los interhusos se confunden con la actividad de fondo. En B, activación cerebral (solución de un problema aritmético). En C, la aplicación de un estímulo sensorial, audioestimulación (A), también produce desincronización del EEG o atenuación del ritmo alfa. Al suspender el estímulo (flecha) reaparece la actividad de fondo con los husos de ritmo alfa y los interhusos característicos.

interhusos se confunden con el resto del registro y muy difícilmente se reconoce: su comienzo, duración y momento en que terminan. El registro electroencefalográfico de la figura 2, permite observar los interhusos que parecen unir los husos de ritmo alfa. Aunque los registros son simultáneos, del mismo sujeto experimental, los EEGs no son idénticos: la forma, la duración y la amplitud de los husos y de los interhusos, presentan morfología diferente.

Ninguno de los interhusos del EEG de la figura 2 tiene una duración superior a 2000 mseg, mientras que en la Figura 3, se observan interhusos con duración variable, algunos de los cuales superan los 4.000 mseg parecería cual si los interhusos unieran los husos de ritmo alfa dispersos en el tiempo. En el trazo superior de la figura 4 se observa el EEG occipito-auricular izquierdo, con sus interhusos, de duración variable. El segundo trazo, corresponde al registro electromiográfico de los músculos gastrocnemios.

El EMG muestra descargas eléctricas breves, repetidas y arrítmicas, que parecen tener cierta correspondencia temporal con los interhusos del ritmo alfa. A excepción de estos pequeños brotes electromiográficos registrados periódica o

aperiódicamente, el resto del registro electromiográfico es isoelectrónico.

Al mismo tiempo que se registran el EEG y el EMG, se obtiene el EOsG, en el trazo inferior de la Figura 4, correspondiente al vaivén del individuo en bipedestación. El EOsG presenta ondas amplias con aspecto general de eventos que se repiten de manera irregular.

La observación cuidadosa de los tres registros simultáneos de la figura 4; El EEG, el EMG y el EOsG permite reconocer que: los interhusos del EEG aparecen antes de las descargas electromiográficas, que la respuesta electromiográfica se observa en forma de pequeños brotes, la cual se registra, en general, hacia el final y durante los interhusos; y que la descarga electromiográfica siempre precede la cima de las ondas lentas del EOsG y perdura durante dicha respuesta. Es norma que las descargas electromiográficas guarden relación temporal estrecha con el EOsG: a mayor amplitud y duración de la onda del EOsG, mayor es la duración de las descargas electromiográficas. Además, se observa que la amplitud de los potenciales electromiográficos es igual en todas las descargas sin importar cuán grande sean las ondas del EOsG, mientras

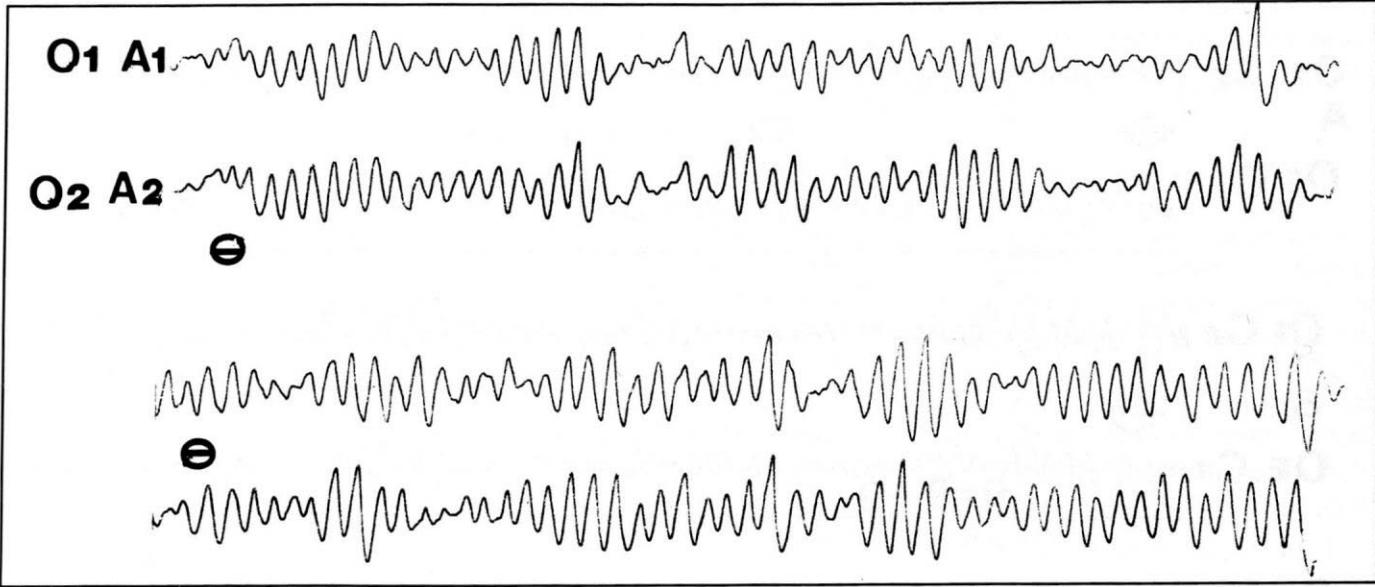


Figura 2. EEG tomado de las regiones occipitales de sujeto en reposo psicomotor, sentado, con los ojos cerrados: O1 - A1 (trazos superiores) y derecho (O2 - A2) (trazos inferiores). Los husos de ritmo alfa así como los interhusos se hallan bien definidos.

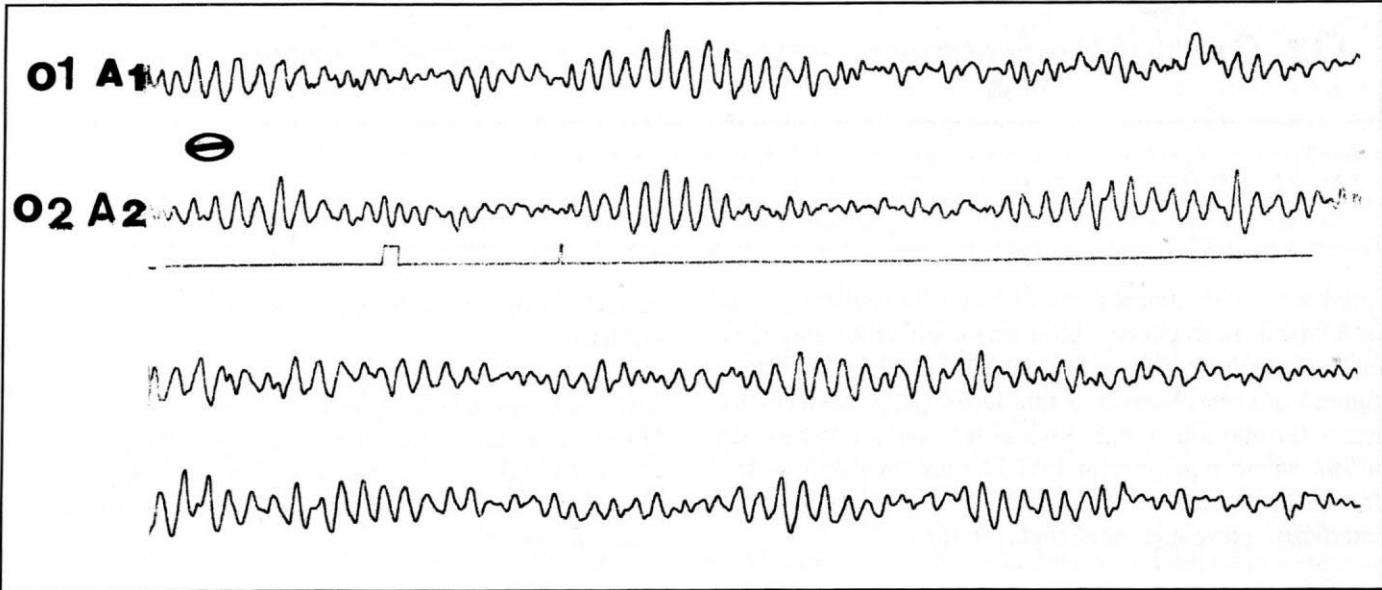


Figura 3. EEG obtenido de la región occipital de sujeto sentado, en reposo psicomotor, con los ojos cerrados: O1 - A1 y O2- A2. Al contrario de lo que se observa en la Figura 2, los interhusos, aunque se presentan a intervalos variables, son de gran duración, llegando a superar los 1.000 mseg.

que la duración de las descargas electromiográficas presenta variaciones, aparentemente en relación directa con la amplitud de la onda del EOG.

Estos hallazgos sugieren que las oscilaciones de vaivén del individuo, en bipedestación, pueden ser el resultado de dos acciones: una física, generada por efecto de la gravedad, que atrae al individuo hacia adelante. Otra, de tipo biológico, en la cual el sistema nervioso central, con sus vías neurales (motoneurona superior) y sus efectores (motoneurona inferior y músculos esqueléticos), evita la caída del sujeto hacia

adelante mediante la activación de músculos que se oponen a la caída, como los músculos de la cara posterior de las piernas.

Los interhusos pueden considerarse, por lo tanto, como una expresión de activación cortical (cerebral) que influye sobre los músculos de la cara posterior de las piernas generando el EMG responsable de la contracción muscular correspondiente.

Como consecuencia de esto, el cuerpo deja de inclinarse hacia adelante y se desplaza hacia atrás restableciendo de esta manera la posición vertical corporal y su relación con el eje de

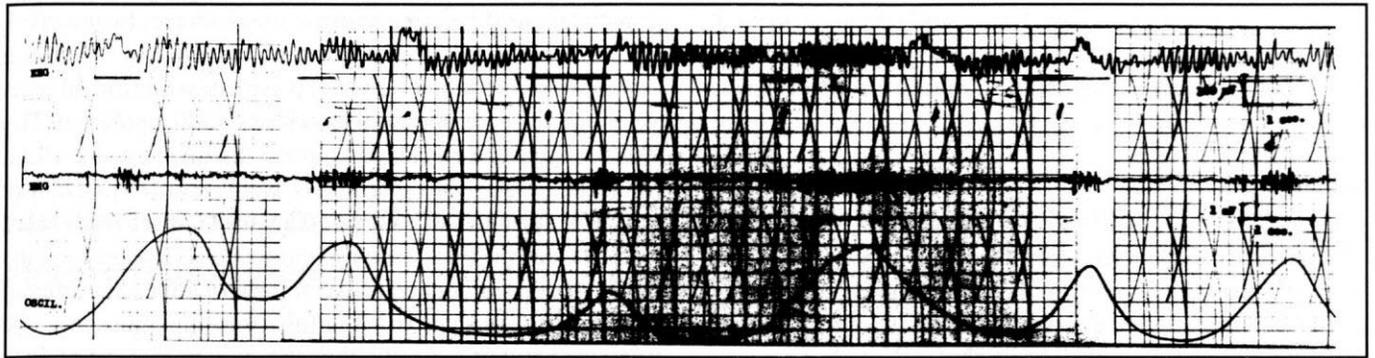


Figura 4. EEG, EMG y EOsG tomados simultáneamente de sujeto en bipedestación, con los ojos cerrados. Se observa la relación temporal que existe entre los tres eventos: Activación cortical (cerebral) manifiesta por los interhusos (trazo superior), que preceden al EMG de los músculos gemelos (segundo trazo). La contracción de estos músculos produce un movimiento corporal hacia atrás, que se opone a la fuerza ejercida por la gravedad que hala el cuerpo hacia adelante. Estos dos eventos generan un vaivén, que se registra como un EOsG (parte inferior de la gráfica). La cima del EOsG se halla precedida por el EMG, aunque en muchas ocasiones también se registra durante la cresta de la onda. Los tres eventos ocurren, cronológicamente, así: primero, la activación cerebral (interhusos); luego, por acción de ésta, la muscular (EMG) y al contraerse éstos, halan el cuerpo hacia atrás EOsG.

la gravedad. Este ciclo se repite una y otra vez mientras el sujeto permanece de pie.

DISCUSION

El EEG y con él, el ritmo alfa, se pueden registrar en el individuo, no sólo en decúbito y sentado, sino también en posición de pie. Las dos primeras posiciones ofrecen comodidad y en consecuencia son las preferidas para la toma del EEG. La última, es de uso experimental y excepcional.

El niño recién nacido no tiene la habilidad de la bipedestación ni sabe caminar, tampoco tiene ritmo alfa ni interhusos en el EEG. Muchos meses habrá de vivir antes de que pueda lograrlo. Cuando por fin logra mantenerse de pie con seguridad, el ritmo theta y/o el ritmo alfa, así como los interhusos, se registran en el EEG. En ese lapso de cuatro años ese cerebro debe aprender a mantener ese cuerpo en bipedestación de pie, a desplazarse en las dos extremidades inferiores y a generar ritmo alfa e interhusos. En adelante, el cerebro garantiza la bipedestación y con ella, los interhusos, intercalados en los ritmos electro-encefalográficos dominantes, principalmente el alfa, después de los ocho años de edad. Los momentos de activación cerebral, expresados en el EEG mediante los interhusos, ocurren con la aparición de patrones de respuestas automáticas y/o voluntarias que corrigen la postura y el equilibrio del individuo.

Los interhusos se observan desde los primeros años de vida theta y alfa y paulatinamente van disminuyendo, con el curso del tiempo, hasta cierta edad, cuando la inestabilidad bipedestacional y el equilibrio se van deteriorando: las descargas corticales que, normalmente parecen activar el resto del sistema motor que garantiza la bipedestación y el equilibrio, parecen perder algunas de sus características aprendidas con el curso de los años, de muchos años de vida

bipedestacional, consecuencia de una retroalimentación aferente que ha marcado huella con el tiempo en el sistema motor.

La apertura ocular permite el ingreso de luz al sistema visual; en consecuencia es equivalente a la estimulación sensorial. En estas condiciones desaparece el ritmo alfa y los interhusos dejan de observarse debido a que son enmascarados por la actividad electroencefalográfica rápida, tipo beta, predominante. La amplitud y la duración del EOsG es proporcional a la duración del EMG. Esto significa que cuanto mayor es la duración del EMG, mayor es la contracción de los músculos correspondientes y por lo tanto, mayor también el movimiento de vaivén que presenta el individuo en bipedestación.

En el cerebro aislado quirúrgicamente, no se observan interhusos y además, la actividad electroencefalográfica es irregular (17) debido a la falta de las influencias aferentes procedentes de estructuras del tallo cerebral y de la médula espinal.

El cerebro aprende a responder a señales internas procedentes del mismo cerebro, del sistema responsable del equilibrio: del cerebelo (arquicerebelo) y de los núcleos vestibulares (incluyendo el aparato vestibular) así como periféricas: táctiles y propioceptivas, principalmente plantares y de los miembros inferiores. El cerebro reconoce las señales que lo relacionan con el eje de la atracción gravitacional terrestre y en consecuencia genera respuestas adecuadas (interhusos-EMG-EOsG) para garantizar la bipedestación.

El EEG del sujeto con retardo mental y físico, prácticamente carece de interhusos, presenta ritmo theta abundante y/o ritmo alfa lento y monorrítmico. Su bipedestación es inelegante, con ligera flexión cefálica y de las piernas, las que al mismo tiempo

se hallan un poco separadas. Todo esto le da un aspecto de inmovilidad permanente y en consecuencia, los interhusos son muy escasos o no se registran; tampoco se observan las oscilaciones del vaivén corporal.

SUMMARY

EEG, EMG and the normal permanent involuntary swinging movement of the subject were simultaneously recorded in a group of normal adult men on standing position, with the eyes open and closed. Bursts of alpha rhythm and interbursts of low voltage and faster activity than the alpha rhythm were recorded in the EEG. The interbursts occurred before and after the bursts of alpha activity. Intermittent EMG of low voltage same

amplitude from the gastrocnemius muscles were also recorded. At the same time, the permanent involuntary swinging movement of the subject (EOsG) was made while the subjects were with the eyes open and closed in standing position. The results suggest a correlation among the three events: EEG, EMG and EOsG. The interbursts were recorded just before and also during EMG bursts. The EMG discharges were recorded before the swinging wave (EOsG). These events follow a temporal sequence: the brain activation (Interbursts) influence the muscles (EMG), this causes the muscles to be contracted and as a result of this, the swinging of the body is produced (EOsG). These results might suggest that the "Interbursts" are normal events which can be recorded after the body has learned to be in a standing position.

REFERENCIAS

1. Adrian ED, Matthews BHC. The interpretation of potential waves in the cortex. *J Physiol* 1934; 81: 440-471.
2. Adrian ED, Matthews BHC. The Berger Rhythm potential changes from occipital lobe in man. *Brain* 1934; 57: 355-385.
3. Adrian ED, Yamagiwa K. The origin of the Berger Rhythm. *Brain*. 1935; 58: 323-351.
4. Brazier MAB, Finesinger JE. Characteristics of the normal Electroencephalogram, I. A study of the occipital cortical potentials in 500 normal adults. *J. Clin. Invest.* 1944; 23: 303-311.
5. Creutzfeld B, Houchin J. Neuronal bases of EEG waves. In Remond, A. ed. *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. Amsterdam: Elsevier 1974; 2: 5-55.
6. Elul R. The genesis of the EEG. *Rev Neurobiol* 1972; 15: 228-272.
7. Hogan K, Fitzpatrick J. The cerebral origin of the alpha rhythm. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1987; 69: 79-81.
8. Lippold DCJ. The origin of the alpha rhythm. *Nature* 1970; 226: 616-618.
9. Lopes da Silva FH, Storm van Leeuwen W. The cortical source of the alpha rhythm. *Neurosci* 1977; 35: 627-640.
10. Serkov FN, Konik E. On genesis of cerebral cortex alpha activity. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1977; 41: 482.
11. Peñaloza-Rojas JH. Reacción electroencefalográfica del despertar. *Acta Physiol Latinoamer* 1973; 23: 403-410.
12. Peñaloza-Rojas JH. Bloqueo del ritmo alfa inducido por la autoadministración de un estímulo sensorial. *Acta Physiol Pharmacol Latinoamer* 1990; 40: 319-337.
13. Pérez-Borja C, Chatrian GE, Tyce FA, Rivers MH. Electrographic patterns of the occipital lobe in man: a topographic study based on use of implanted electrodes. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1962; 14: 171-182.
14. Frost Jr., JD Kellaway P, Gol A. Single unit discharges in isolated cerebral cortex. *Exptl Neurol* 1966; 14: 305-316.
15. Frost Jr., JD Gol A. Computer determination of relationships between EEG activity and single unit discharges in isolated cortex. *Exptl Neurol* 1966; 14: 506-519.
16. Frost Jr, JD. EEG intracellular potential relationships in isolated cerebral cortex. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1968; 24: 434-443.
17. Kellaway P, Gol A, Proler M. Electrical activity of the isolated cerebral hemisphere and isolated thalamus. *Exptl Neurol* 1966; 14: 281-304.
18. Moruzzi G, Magoun HW. Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1949; 1: 455-479.
19. Katada A, Oski H, Susuki H, Suhara K. Developmental characteristics of normal and mental retarded. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1981; 52: 192-201.
20. Barnett AB. EEG and evoked responses correlates of mental retardation. *Clin Proc Children's Hospital* 1971; 27: 250-260.