

11281  
Rci  
①

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



## CORRELACION INTERHEMISFERICA DURANTE LA VIGILIA, EL SUEÑO LENTO Y EL SUEÑO PARADOJICO EN EL HOMBRE Y EN LA RATA Y SU MODIFICACION DURANTE LA VIGILIA POSTERIOR AL SUEÑO O A SU PRIVACION TOTAL

**T E S I S**  
QUE PRESENTA PARA OBTENER EL GRADO DE  
Doctora en Ciencias Biomédicas  
Area de Fisiología  
**MARIA CORSI CABRERA**  
Directora de la Tesis: D.R.A. THALIA HARMONY  
1989

**FALLA DE ORIGEN**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## RESUMEN

El sueño paradójico (SP) ha sido relacionado con los procesos plásticos del sistema nervioso, tales como la consolidación de la memoria y el procesamiento de la información. Por otro lado, estudios llevados a cabo en animales con el cerebro escindido antes o después del entrenamiento unilateral mediante la estimulación unilateral de la corteza estriada, han encontrado que en los primeros estadios del aprendizaje la huella mnémica se establece únicamente en el lado entrenado y que la transferencia interhemisférica de la información es necesaria para que la huella se establezca en forma bilateral. De acuerdo con esto, si el SP participa en los procesos de consolidación de la memoria, sería de esperarse que la relación funcional entre los dos hemisferios fuera muy elevada durante esta etapa particular del sueño.

Una forma de aproximarse al estudio de las relaciones funcionales interhemisféricas, es la obtención de la correlación entre las señales electroencefalográficas (EEG) de zonas homólogas de cada hemisferio.

Con el objeto de comprobar si la relación funcional entre los dos hemisferios se encuentra elevada durante el SP en el hombre, se realizó el Experimento I.

Con el fin de investigar si el grado de especialización hemisférica contribuye a los valores de la correlación interhemisférica y a los cambios de una etapa a otra del sueño, se realizó el Experimento II en la rata, especie filogenéticamente inferior y con menor grado de especialización que el hombre.

### Experimento I.

Participaron 6 voluntarios diestros, a los que se registró el EEG de acuerdo con el Sistema 10-20 Internacional, en C3, C4, T3, T4, P3, P4, O1 y O2 referidos a los lóbulos de la oreja ipsilateral, durante el sueño espontáneo y la vigilia después de despertar. Se obtuvo la correlación interhemisférica entre zonas homólogas de muestras de 20.48 seg de EEG tomadas durante la vigilia, la etapa II del sueño lento (EII) y el SP. La correlación interhemisférica fue significativamente mayor durante la EII y el SP que durante la vigilia en todas las derivaciones y bandas indicando una mayor relación funcional entre los dos hemisferios.

### Experimento II.

Se registró el EEG de la corteza parietal izquierda y derecha de 7 ratas adultas Wistar durante el sueño espontáneo. Se obtuvo la correlación entre los dos parietales de muestras de 20.48 seg de EEG tomadas durante la vigilia, el sueño lento (SL) y el SP. La correlación interhemisférica fue significativamente mayor durante el SL y el SP que durante la vigilia en todas las bandas indicando una mayor relación funcional entre los dos hemisferios durante el sueño.

El hecho de que el aumento de correlación durante el sueño se haya observado en todas las derivaciones y bandas y ocurra también en una especie con menor especialización hemisférica que el hombre, sugiere la participación de un mecanismo general capaz de afectar a toda la corteza y a todo el espectro del EEG y no solo a algunas de sus bandas. Aunque no es posible con estos experimentos, determinar la naturaleza neurofisiológica de tal mecanismo, los resultados sugieren que probablemente se trate de un mecanismo subcortical.

### Experimento III.

El aumento observado en la correlación interhemisférica durante el sueño podría interpretarse como un epifenómeno más del sueño, consecuencia pasiva de los fenómenos que están ocurriendo o bien, podría deberse a un mecanismo activo que tuviera consecuencias sobre la organización de las relaciones funcionales interhemisféricas de la vigilia subsecuente. En este último caso sería de

esperarse que la correlación interhemisférica de la vigilia fuera diferente después de haber dormido y después de la privación total de sueño. Con el objeto de explorar esta posibilidad se realizó el experimento III, en el cual se analizó la correlación interhemisférica después de una noche de sueño y después de una de privación total de sueño.

Se registró el EEG de 10 voluntarios, en C3, C4, T3, T4, P3, P4, O1 y O2 con referencia en el lóbulo de la oreja ipsilateral, durante las siguientes condiciones: en la noche antes de dormir (PM), en la noche antes de la privación de sueño (PM), en la mañana después de despertar (S), en la mañana después de la privación (P) y en la mañana de recuperación, 48 horas después de la privación (R). Se analizó la correlación interhemisférica en muestras de 20.48 seg. de EEG y se comparó entre las diversas condiciones.

La correlación interhemisférica fue significativamente mayor después de haber dormido (PM vs S) en todas las bandas en central, temporal y parietal. En la corteza occipital se observó la misma tendencia, pero no fue significativa; fue significativamente menor después de la privación (PM vs P) en la banda beta en central y significativamente mayor en la banda theta en temporal y la banda delta en central, temporal y parietal. La comparación entre S y P mostró que el aumento observado después de haber dormido es mayor al observado después de la privación excepto en las bandas theta y delta en temporal. Los valores en la mañana de recuperación (PM vs R) fueron significativamente mayores a la noche en todas las derivaciones y bandas excepto en beta en central y temporal, donde aunque fueron mayores que en PM, no alcanzaron el nivel de significancia.

De acuerdo con resultados obtenidos en otras investigaciones, el nivel de correlación interhemisférica podría considerarse como un índice de mejor funcionamiento cerebral, y el aumento observado, tanto durante el sueño, como después de él, podría ser relevante para los procesos plásticos del sistema nervioso al proporcionar mejores condiciones para el intercambio de información entre los dos hemisferios cerebrales.

El aumento observado después del sueño, después de una estandarización adecuada, podría ser de utilidad, junto con otros parámetros, como indicador de la eficiencia del sueño.

Corsi-Cabrera, M., Meneses, S., Molina, M. Correlación Interhemisférica y acoplamiento temporal de la actividad eléctrica durante la vigilia, la etapa II y el sueño paradójico en el hombre. *Revista Mexicana de Psicología*, 1987, 4:100-108.

Corsi-Cabrera, M., González, R., Molina, E., Correlación Interhemisférica y acoplamiento temporal de la actividad eléctrica durante la vigilia y el sueño en la rata. *Revista Mexicana de Psicología*, 1988, 5: 15-21.

Corsi-Cabrera, M., Ramos, J., Meneses, S. Effect of normal sleep and sleep deprivation on interhemispheric correlation during subsequent wakefulness in man. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 1989, en prensa.

## ABSTRACT

Paradoxical sleep has been related to plastic processes of the central nervous system, such as consolidation of memory and information processing. It has been shown in split-brain experiments and unilateral training that memory engrams are established in both hemispheres due to the transfer of information from one side to the other; when interhemispheric connections are sectioned before training, engrams are not available to the untrained side, indicating the importance of interhemispheric communication for bilateral engrams. According to this, it could be postulated that interhemispheric functional relationship should be high during paradoxical sleep.

The aim of experiment I was to test the hypothesis of high interhemispheric relationship during paradoxical sleep in man assessed by interhemispheric correlation of EEG activity.

The purpose of experiment II was to investigate if interhemispheric correlation is influenced by hemispheric specialization. To test this hypothesis EEG activity was recorded during sleep and wakefulness in the rat, a specie with lower hemispheric differentiation than man.

### Experiment I.

EEG activity during spontaneous sleep was recorded in right and left central, temporal, parietal and occipital derivations in 6 volunteers. Differences in interhemispheric correlation were analysed from EEG samples of 20.48 sec from wakefulness, stage II and paradoxical sleep. Interhemispheric correlation was significantly higher during stage II and paradoxical sleep than during wakefulness in all derivations and bands indicating higher functional interhemispheric relationship during sleep.

### Experiment II.

EEG activity during spontaneous sleep was recorded in 7 adult Wistar rats in the parietal cortex. Interhemispheric correlation was analysed and compared between wakefulness, slow wave sleep and paradoxical sleep. Interhemispheric correlation was significantly higher during slow wave sleep and paradoxical sleep than during wakefulness.

The fact that the increase in interhemispheric correlation during sleep stages is present also in a specie with lower hemispheric differentiation than man, indicates that the change observed during sleep can not be attributed to the attenuation of functional differences between right and left hemisphere.

### Experiment III.

The increase in the degree of interhemispheric correlation of EEG activity during sleep can be a passive result of the reduction of afferent stimulation, a byproduct of the resting state achieved during sleep with no influence over the electrical activity of following wakefulness, or one of the many active processes that take place during sleep, in this case a recoupling of interhemispheric relationships affecting subsequent wakefulness. In this experiment we tested the hypothesis that sleep influences the interhemispheric correlation of subsequent wakefulness. EEG activity was recorded and interhemispheric correlation was obtained in a group of subjects before and after normal sleep and before and after 24 h of sleep deprivation.

EEG activity was recorded from the right and left central, temporal, parietal and occipital derivations in 10 volunteers under the following conditions: at night before going to sleep, at night before sleep deprivation, in the morning after waking, in the morning after sleep deprivation, and in the morning 48 h after recovery. Interhemispheric correlation was calculated for EEG samples of 20.48 sec.

In the morning after normal sleep interhemispheric correlations were significantly higher in central, temporal and parietal derivations in comparison to presleep values; in the morning after sleep deprivation interhemispheric correlation was significantly lower for beta at the central cortex and higher for theta at temporal and for delta at

central, temporal and parietal derivations. Comparisons between postsleep and postdeprivation values showed that the increase after sleep was significantly higher than after deprivation except for theta and delta at the temporal cortex. Recovery values were higher than presleep values in all derivations and bands.

The increase in interhemispheric correlation during sleep, as well as in the morning after sleep, can be regarded as an increase in interhemispheric functional relationships and it could be relevant for the relationship between paradoxical sleep and plastic processes of the brain providing better conditions for interhemispheric transfer of information.

Corsi-Cabrera, M., Meneses, S., Molina, M. Correlación Interhemisférica y acoplamiento temporal de la actividad eléctrica durante la vigilia, la etapa II y el sueño paradójico en el hombre. *Revista Mexicana de Psicología*, 1987, 4:100-108.

Corsi-Cabrera, M., González, R., Molina, E., Correlación Interhemisférica y acoplamiento temporal de la actividad eléctrica durante la vigilia y el sueño en la rata. *Revista Mexicana de Psicología*, 1988, 5: 15-21.

Corsi-Cabrera, M., Ramos, J., Meneses, S. Effect of normal sleep and sleep deprivation on interhemispheric correlation during subsequent wakefulness in man. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 1989, en prensa.

## INDICE

RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCION	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
EXPERIMENTO I	12
- Hipótesis	12
- Objetivo	12
EXPERIMENTO II	12
- Hipótesis	13
- Objetivo	13
EXPERIMENTO III	13
- Hipótesis	14
- Objetivo	15
III. EXPERIMENTO I. Correlación Interhemisférica Durante la Vigilia, la Etapa II y el Sueño Paradójico en el Hombre.	
METODO	16
RESULTADOS	18
- Diferencias significativas entre V y EII	19
- Diferencias significativas entre V y SP	19
- Diferencias significativas entre EII y SP	20
RESUMEN DE RESULTADOS	20
IV. EXPERIMENTO II. Correlación Interhemisférica durante la Vigilia, el Sueño Lento y el Sueño Paradójico en la Rata.	
METODO	21
RESULTADOS	23

RESUMEN DE RESULTADOS	24
<b>V. EXPERIMENTO III. Efecto del Sueño y de su Privación</b>	
<b>Sobre la Correlación Interhemisférica de la Vigilia Subsecuente.</b>	
METODO	25
RESULTADOS	28
a) Diferencias entre la noche y la mañana después de dormir (PM y S)	30
b) Diferencias entre la noche y la mañana después de la privación (PM y P)	31
c) Diferencias entre la noche y la mañana de recuperación (PM y R)	31
d) Diferencias entre la mañana después del sueño y después de la privación (S y P)	32
e) Diferencias entre la mañana después del sueño y de la privación (S y R)	33
f) Diferencias entre derivaciones	33
g) Resultados de la prueba JI cuadrada	34
RESUMEN DE RESULTADOS	35
<b>VI. DISCUSION</b>	37
<b>VII. BIBLIOGRAFIA</b>	47
<b>VIII. GLOSARIO DE ABREVIATURAS</b>	60
<b>IX. SOBRETUROS</b>	61

## INTRODUCCION

El sueño paradójico (SP) ha sido relacionado con los procesos plásticos del sistema nervioso, tales como la consolidación de la memoria y el procesamiento de la información (Moruzzi, 1966; Fishbein y Gutwein, 1977). Durante el SP el organismo y especialmente el cerebro sufren una activación; la actividad EEG se desincroniza, aparece un ritmo theta en el hipocampo con una distribución topográfica más extensa y una frecuencia más regular que en la vigilia alerta (Jouvet, 1962), la actividad unitaria cortical aumenta (Evarts, 1962), la excitabilidad tanto de la corteza como del sistema talámico específico alcanza niveles similares o incluso superiores a los del estado de alerta (Dagnino y cols., 1965), el riego sanguíneo, el consumo de oxígeno y la temperatura cerebral se elevan (Seylaz y cols., 1971; Townsend y cols., 1973), así como el nivel de proteínas (Drucker-Colín y Spanis, 1975; Drucker-Colín y cols., 1975). Aparecen espigas Ponto-Genfculo-Occipitales (Jouvet y Michel, 1959; Jeannerod y cols., 1965) que se propagan al sistema límbico (Calvo y Fernández-Guardiola, 1984).

Periféricamente, esta activación se manifiesta en la aparición de trenes de movimientos oculares rápidos, contracciones musculares o mioclonías, potenciales periorbitales integrados (Rechtschaffen y cols., 1970), actividad del músculo del oído medio (Pessah y Roffwarg, 1972), y cambios súbitos de activación del sistema simpático, que aparecen físicamente a lo largo del episodio como aceleración y lentificación de las frecuencias cardíaca y respiratoria, midriasis, cambios bruscos en la resistencia de la piel y erecciones (Karakan y cols., 1966; Fisher y cols., 1965; para una revisión ver Corsi-Cabrera, 1983)

Esta activación es primordialmente interna; la entrada aferente se encuentra atenuada: los potenciales provocados por estimulación externa periférica (Huttenlocher, 1960), así como los reflejos espinales disminuyen hasta

casí desaparecer (Baldissera y cols., 1964) y el umbral de despertar se eleva (Benoit y Bloch, 1960). De la misma manera el sistema eferente se encuentra bloqueado: hay atonfa muscular (Jouvet y Michel., 1959) y el umbral de estimulación de la corteza motora y del tracto piramidal aumentan (Marchiafava y Pompeiano, 1964). Es decir que el incremento de la activación cerebral del SP surge endógenamente y no tiene por objetivo la interacción con el medio externo como en el caso de la vigilia. Esta activación que surge como respuesta a la puesta en marcha de procesos neurofisiológicos y neuroquímicos bien organizados.

Finalmente, esta activación parece ser de cierta importancia para el organismo; en primer lugar esta etapa del sueño está muy protegida con la elevación del umbral de despertar y en segundo lugar, cuando se impide su aparición como en los casos de privación selectiva de SP, el organismo lo recupera con un aumento compensatorio tanto de la duración como de la densidad de los fenómenos fásicos (Jouvet y cols., 1964; Dement 1969).

Numerosos estudios han demostrado que para la consolidación del trazo mnémico es necesario un nivel óptimo de excitabilidad del sistema nervioso (McGaugh y Pettrinovich, 1965; Bloch, 1974) y el grado de activación intensa que ocurre durante el SP, ha conducido a varios investigadores a pensar que esta etapa del sueño podría participar de manera activa en los procesos de consolidación (Fishbein, 1971; Leconte y Bloch, 1970). Otros autores proponen funciones más amplias como el mantenimiento de la programación genética del cerebro (Jouvet, 1978) o la integración de la información adquirida durante la vigilia previa (Pearlman, 1971; Corsi y cols., 1986).

Durante los últimos años se ha acumulado cierta evidencia que apoya la participación del SP en los procesos plásticos. Una gran parte de esta evidencia proviene de experimentos de privación selectiva de SP y su efecto sobre el

aprendizaje. La privación de SP previa a la adquisición de una respuesta o inmediatamente posterior a ella parece impedir la formación de huellas permanentes y potenciar los efectos de los choques electroconvulsivos (Fishbein, 1971; Fishbein y cols., 1971). Este paradigma adolece de problemas metodológicos que oscurecen los resultados, como el estrés asociado a los despertares del sueño. Otra estrategia ha sido el registro del sueño inmediatamente después de la adquisición de la respuesta. Con este método se ha encontrado que la cantidad de SP aumenta significativamente inmediatamente después del aprendizaje, tanto de condicionamiento de evitación activa, como operante en ratas (Hennevin y cols., 1974; Leconte y cols., 1973), en ratones (Smith y cols., 1974) y en pollos (Solodkin y cols., 1985; para una revisión ver Corsi-Cabrera, 1984).

Por otro lado, en estudios llevados a cabo en macacos con el cerebro escindido y entrenamiento unilateral mediante la estimulación directa unilateral de la corteza estriada, se ha encontrado que en los primeros estadios del aprendizaje la huella mnémica es unilateral, cuando el entrenamiento unilateral se adquiere sin que se haya seccionado el cuerpo caloso y la comisura anterior, los animales pueden ejecutar la tarea aprendida unilateralmente desde la primera vez que se estimula el lado no entrenado. Cuando se secciona totalmente el cuerpo caloso y la comisura anterior antes de la adquisición del entrenamiento, el animal no muestra ningún signo de aprendizaje ante la estimulación del lado contralateral al entrenado. Sin embargo, si se secciona parcialmente ya sea sólo la comisura anterior o solamente el esplenio antes del entrenamiento, el resultado depende de cual de los dos haya quedado intacto durante el entrenamiento. Si antes del entrenamiento unilateral se seccionó el esplenio y durante el entrenamiento quedó intacta la comisura anterior, aunque ésta sea lesionada después de adquirido el entrenamiento unilateral, el animal es capaz de ejecutar el entrenamiento aprendido, pero si antes del entrenamiento se secciona

la comisura anterior y después del entrenamiento se secciona el esplenio, el animal no es capaz de reconocer el estímulo con el lado contralateral al entrenado. Esto quiere decir que la huella permanece al inicio del aprendizaje en un solo hemisferio y posteriormente se establece en forma bilateral gracias a la transferencia interhemisférica mediante la comisura anterior (Harnad y Doty, 1977; Sperry, 1973).

De acuerdo con estos resultados, parece ser necesaria la transmisión interhemisférica para que se establezcan las huellas de manera bilateral y puesto que el SP participa en los procesos de consolidación de la memoria pensamos que la relación funcional entre los dos hemisferios debería de ser muy elevada durante esta etapa del sueño.

Una forma de aproximarse al estudio de las relaciones funcionales interhemisféricas durante el SP en el hombre es el registro de la actividad eléctrica cortical en zonas homólogas.

Para poder obtener una información exacta sobre la relación funcional entre dos áreas, se necesita un análisis fino que nos de información acerca del grado de semejanza entre las dos señales electroencefalográficas momento a momento. Dos análisis muy similares, el espectro de coherencia y el espectro de correlación entre dos señales nos dan información, tanto sobre el grado de semejanza morfológica, como de polaridad y fase en el tiempo (Harmony y cols., 1973; Shaw, 1984)

En los últimos años se ha despertado el interés por investigar la organización funcional de la corteza y en particular las relaciones funcionales entre diferentes áreas corticales, ya sean intra o interhemisféricas y sus variaciones de un estado a otro, partiendo de la base de que la actividad electroencefalográfica (EEG) refleja los procesos neurofisiológicos subyacentes. Bajo este supuesto, se ha considerado que una actividad neuronal compartida por

dos áreas corticales, ya sea por información aferente similar, procesamiento semejante de la información o un alto grado de conectividad entre ellas se reflejaría en una actividad EEG muy parecida, y viceversa, en la medida en que los procesos neurofisiológicos subyacentes sean diferentes, las dos señales EEG también lo serán. Es decir que mientras mayor sea la relación funcional entre las dos áreas, más semejante será su actividad (Grindel, 1982; Shaw, 1984). Los análisis mencionados de correlación y de coherencia proporcionan esta información, por lo que numerosos autores los consideran idóneos para investigar la organización funcional de la corteza y la relación funcional entre diversas áreas corticales (Shaw y cols., 1977; Beaumont y cols., 1978; Grindel, 1982; Shaw, 1984). Su empleo ha mostrado que el grado de coherencia o de correlación cambia de un estado fisiológico a otro, permitiendo discriminar los cambios en la organización funcional que acompañan a cada estado.

Grindel (1982) estudió el grado de coherencia en pacientes con diversos problemas neurológicos, particularmente en los estados comatosos y encontró que ésta disminuye en forma paralela a la profundidad del coma, que puede llegar a suprimirse casi totalmente inmediatamente antes de morir y que aumenta paulatina y previamente a la mejoría de los síntomas. Encontró también en los sujetos estuporosos y/o somnolientos un nivel de coherencia mucho más alto que en los normales, por lo que él postula que existe un nivel óptimo de coherencia que acompaña al tono cortical adecuado y que la pérdida del tono va acompañada de desviaciones del grado de coherencia hacia cualquiera de los dos extremos.

En otros estudios se ha encontrado que el nivel de coherencia permite discriminar entre poblaciones normales y poblaciones con diversas patologías en las que es de suponerse una organización cortical diferente como en el caso de los disléxicos (Sklar y cols., 1972; Leisman y Ashkenazi, 1980), esquizofrénicos (Shaw y cols., 1979; Giannitrapani, 1980; Weller y Montagu, 1980), pacientes

arterioescleróticos o con demencia senil (O'Connor y cols., 1979) y alcohólicos (Kaplan y cols., 1985), en quienes se observa que la coherencia intrahemisférica se encuentra aumentada, mientras que la interhemisférica es menor que en los grupos normales, con excepción de los estudios de Weller y Montagu (1980) y Giannitrapani (1980) quienes encontraron en esquizofrénicos que también la correlación interhemisférica está aumentada. En pacientes maníacos se ha observado que la coherencia intrahemisférica está disminuida (Flor-Henry y Koles, 1980).

En sujetos normales, también se ha empleado este tipo de análisis para investigar la organización cortical durante el procesamiento de información y se ha encontrado que el grado de coherencia varía durante diversos tipos de procesos cognoscitivos aumentando durante la ejecución de tareas que implican un procesamiento espacial (Shaw y cols., 1977; Beaumont y col., 1978), con el grado de la dificultad de la tarea (Busk y Galbraith, 1975), con el procesamiento equivocado de tareas verbales y mixtas (Corsi-Cabrera y cols., 1988), con el nivel de alertamiento (Berkhout y Walker, 1980), durante tareas de movimiento continuo (Ford y cols., 1986) y durante la comunicación (Grinberg-Zylberbaum y Ramos., 1987).

También se han encontrado diferencias en estado de reposo entre grupos con una organización cortical funcional diferente como por ejemplo entre hombres y mujeres, siendo mayor en las mujeres (Beaumont y cols., 1978; Corsi-Cabrera y cols., 1989), entre estilos cognoscitivos como la dependencia e independencia del campo, siendo menor en los dependientes (O'Connor y Shaw, 1978; 1982) y entre grupos de niños con mayor o menor habilidad para memorizar dígitos, siendo menor en los menos hábiles (Clusin y Giannitrapani, 1970).

Los resultados anteriores muestran que una aproximación válida para estudiar la relación funcional entre los dos hemisferios es el empleo del análisis de correlación interhemisférica, sin embargo, muy pocos estudios lo han aplicado al sueño. Dumermuth y cols. (1972; 1981) registraron el sueño durante una noche y obtuvieron el espectro de coherencia intra e interhemisférica. Los espectros de coherencia fueron analizados cualitativamente y los resultados mostraron que la coherencia interhemisférica en las bandas de 0.1-7 y de 7-12 Hz tiende a aumentar de la vigilia al sueño lento (SL) y a permanecer igual que durante el SL o a aumentar ligeramente más durante el SP, apoyando la idea de una mayor relación funcional entre los dos hemisferios durante el sueño.

Con una idea similar, Banquet (1983) analizó la coherencia durante la vigilia y el sueño y encontró que la coherencia intra e interhemisférica muestra una disminución progresiva de la vigilia a las etapas I, II, III, y IV del SL. El SP mostró una coherencia interhemisférica baja e intrahemisférica alta.

Estos resultados contradictorios podrían deberse a diferencias en la duración de los periodos analizados y a la metodología empleada. Dumermuth analizó el registro de toda la noche y sus resultados están basados en una apreciación cualitativa de los cambios, mientras que Banquet analizó 5 periodos consecutivos de 5.12 seg. y empleó análisis estadísticos para las comparaciones.

Moiseeva (1979) con una técnica diferente encontró resultados compatibles con los de Dumermuth y cols. Registró la actividad unitaria neuronal en diversos puntos corticales y subcorticales en pacientes implantados para cirugía mayor y encontró que la correlación del patrón de disparos entre diferentes áreas, tanto corticales como subcorticales es más alta durante el SL que durante la vigilia y aún mayor durante el SP. A partir de esta evidencia ella postula dos funciones para el sueño, una para el SL que consistiría en el reinicio del ciclo biológico de cada estructura y otra para el SP que consistiría en el

reacoplamiento entre los diferentes ritmos biológicos de las diferentes estructuras, que de acuerdo con ella, se perdería durante la vigilia.

Por otro lado, aunque la actividad onírica está presente a lo largo de todo el sueño y es posible obtener narraciones de sueños al despertar de cualquiera de las etapas, las descripciones que se obtienen al despertar del SP son cualitativamente diferentes de las obtenidas al despertar de las demás etapas del sueño. Las narraciones provenientes del SP son más vívidas y contienen una gran riqueza perceptual y escénica, así como un gran número de elementos ilógicos; las del SL en cambio, son menos perceptuales, más racionales y más parecidas a pensamientos.

El primero en detectar estas diferencias cualitativas entre la actividad onírica del SL y del SP fue Foulkes (1962; 1966), quien además de interrogar a sus sujetos sobre la presencia o no de actividad mental durante las diversas etapas del sueño, les pidió que contestaran un cuestionario formado por una serie de preguntas tendientes a explorar la cualidad del contenido de las ensueñaciones. A través de las respuestas llegó a identificar ciertas diferencias cualitativas entre los relatos provenientes de despertares del SP y del SL.

Los relatos obtenidos después de despertar de alguna etapa del SL, se caracterizaron por una mayor incidencia de pensamientos o contenido conceptual, por una menor cantidad de contenido alucinatorio y emocional y por menor actividad visual o movimiento físico. Los relatos fueron también menos elaborados, con pocos personajes y escenas y menor dramatismo. El contenido estuvo relacionado frecuentemente con eventos recientes de la vida real del sujeto. Por el contrario, los relatos provenientes del SP fueron más ricos perceptualmente, con más imágenes visuales y personajes, mayor claridad escénica y actividad física y emocional y elementos bizarros.

La diferencia entre ambos tipos de relatos ha sido confirmada posteriormente por otros estudios. Monroe y cols. (1965), en un estudio doble ciego obtuvieron un alto grado de confiabilidad entre los jueces. Antrobus y cols. (1973) en un estudio similar encontraron que los relatos de SL y de SP difieren en 12 variables: cualidad onírica, imágenes visuales, emoción, distorsión, movimiento, pensamiento verbal, número de palabras, número de exclamaciones, referencias al laboratorio, referencias a eventos reales, cualidad alucinatoria y claridad del reporte (para una revisión ver Corsi-Cabrera 1984).

Por otro lado, los estudios con pacientes con el cerebro escindido (Gazzaniga y Sperry, 1967; Bogen, 1969) originaron la hipótesis de la especialización hemisférica y desencadenaron el interés por investigar las relaciones interhemisféricas. Esta hipótesis propone que el hemisferio izquierdo de los diestros está preferentemente involucrado en el procesamiento verbal, lógico, analítico, secuencial de la información, y el derecho en el procesamiento de la información simultánea, espacial y gestáltica. En sujetos íntegros se han empleado técnicas diversas para comprobar esta hipótesis, como la presentación dicótica y taquitoscópica lateralizada de estímulos (Kimura, 1961, 1966, 1967), y la asimetría electroencefalográfica (Galin y Ornstein, 1972; Butler y Glass, 1974). A pesar de que la evidencia clínica es muy clara, los resultados obtenidos en sujetos íntegros han sido contradictorios (Gevins y cols., 1979; Donchin y cols., 1977); no obstante, la hipótesis sigue en pie.

La semejanza entre las características ya mencionadas, de la actividad onírica obtenida al despertar del SP, y las funciones atribuidas al hemisferio derecho (Dimond and Beaumont, 1974), condujeron a postular que durante esta etapa del sueño el hemisferio derecho se encuentra más activado que el izquierdo, mientras que durante las etapas I, II, III, y IV del SL el hemisferio

izquierdo está más activado dando como resultado una actividad de tipo conceptual (Galín, 1974; Nebes, 1974; Bakan, 1975).

De acuerdo con esta hipótesis la especialización hemisférica de la vigilia, se mantendría durante el sueño pero con cambios en su organización de una etapa a otra, siendo mayor la activación del hemisferio derecho durante el SP y del izquierdo durante el SL.

Existen algunas evidencias que apoyan la idea de una mayor activación del hemisferio derecho durante el SP; Humphrey y Zangwill (1951) refieren que los pacientes con lesiones en la corteza parieto-occipital derecha sueñan menos frecuentemente que los sujetos normales; en sujetos comisurotomizados se ha observado una disminución de la frecuencia de recuerdos oníricos después de la operación (Coté y cols., 1984); la ejecución de tareas espaciales es mejor al despertar de SP en comparación con la ejecución al despertar de SL y viceversa, la ejecución de tareas verbales es mejor al despertar de SL (Gordon y cols., 1982; Bertini y cols., 1984).

En algunos estudios donde se ha comparado la diferencia entre el espectro de potencia o la amplitud integrada de la actividad electroencefalográfica (EEG) de un hemisferio y otro en zonas homólogas, ya sea de toda la banda o de algunas frecuencias en particular, se ha encontrado mayor activación del hemisferio derecho durante el SP (Goldstein y cols., 1972; Rosekind y cols., 1979; Herman y cols., 1987), sin embargo otros estudios no han podido demostrar esta asimetría invertida entre SP y SL (Antrobus y cols., 1978; Murri y cols., 1982; Gaillard y cols., 1984; Ehrlichman y cols., 1985).

Como alternativa se ha propuesto, que si bien es posible que la activación del hemisferio derecho durante el SP sea la responsable de las características de la actividad onírica de esta etapa del sueño, la capacidad para verbalizar los sueños requiere de la participación del hemisferio izquierdo y por lo tanto

implica una mayor comunicación o relación funcional entre ellos (Dumermuth y cols., 1972; 1981; Antrobus, 1987).

De acuerdo con las dos hipótesis expuestas anteriormente pensamos que aún en el caso de que haya una mayor activación del hemisferio derecho durante el SP, también debería ocurrir un aumento en la comunicación funcional entre ambos hemisferios, que facilitaría la transmisión de un lado a otro beneficiando la consolidación e integración de la información y la verbalización de los sueños.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **EXPERIMENTO I.**

#### **Hipótesis**

De acuerdo con la hipótesis que propone la participación del SP en los procesos plásticos del sistema nervioso central, sería de esperarse que durante esta etapa del sueño la relación funcional entre los hemisferios se encuentre muy elevada y por lo tanto, la correlación interhemisférica sea alta. Con el objeto de comprobar esta hipótesis se realizó el experimento I, para lo cual se registró en el hombre la actividad EEG durante la vigilia (V), el SL y el SP en los dos hemisferios y se obtuvo la correlación interhemisférica entre la actividad EEG de puntos homólogos de la corteza (Corsi-Cabrera y cols., 1987).

#### **Objetivos**

Analizar la correlación interhemisférica de la actividad EEG entre puntos homólogos de la corteza durante la V, el SL y el SP y compararla entre dichas etapas.

### **EXPERIMENTO II.**

Se han propuesto varios factores para explicar los diferentes grados de coherencia o de correlación entre dos señales electroencefalográficas, algunos de ellos pasivos, por ejemplo la distancia entre los electrodos de registro y la abundancia de conexiones anatómicas entre las dos regiones registradas (Beaumont y cols., 1978); sin embargo, si solamente la distancia o las conexiones anatómicas fueran las responsables del grado de semejanza, no se debería de esperar ninguna variación de un estado fisiológico a otro y como se vió en la introducción, se han encontrado cambios con la ejecución de tareas, con estados patológicos y con el paso de una etapa a otra del sueño.

De acuerdo con la hipótesis de la especialización hemisférica, mientras mayor sea la semejanza funcional entre los dos hemisferios mayor debería de ser

la correlación entre su actividad EEG y viceversa, mientras menor sea la semejanza funcional entre ambos menor debería de ser la correlación interhemisférica.

#### **Hipótesis**

Si las diferencias en la correlación interhemisférica que pudieran encontrarse a lo largo del sueño, fueran atribuibles a cambios en la organización de la especialización hemisférica de una etapa a otra, éstos cambios deberían de ser menores o estar ausentes en especies con una especialización hemisférica baja. Si los cambios en la correlación interhemisférica que puedan observarse durante el sueño se deben a otros factores diferentes a la especialización hemisférica, entonces los cambios de una etapa a otra del sueño deberían de ocurrir también en especies con baja especialización hemisférica.

El objeto del experimento II del presente trabajo fue estudiar la correlación interhemisférica de la corteza en una especie con menor diferenciación hemisférica que el hombre como lo es la rata. Con este objeto se registró la actividad EEG de un grupo de ratas durante la V, el SL y el SP y se analizó la correlación interhemisférica con los mismos propósitos que en el experimento I (Corsi-Cabrera y cols., 1988).

#### **Objetivo:**

Analizar la correlación interhemisférica de la actividad EEG durante la V, el SL y el SP y compararla entre dichas etapas en una especie filogenéticamente inferior.

#### **EXPERIMENTO III.**

En los dos experimentos anteriores se analizó el grado de correlación interhemisférica durante la V, el SL y el SP en dos especies con diferente grado de especialización hemisférica. Como se mencionó, los cambios que pudieran

observarse en la correlación interhemisférica de una etapa a otra podrían deberse a los cambios funcionales que acompañan a cada una de estas etapas.

### **Hipótesis**

En el caso de que hubiera cambios en la correlación interhemisférica con el paso de la vigilia al sueño y de una etapa a otra del sueño, éstos cambios podrían interpretarse como un epifenómeno más del sueño que ocurre como una consecuencia pasiva de los procesos que están sucediendo. Pero si los cambios en la correlación interhemisférica que se observaran durante el sueño fueran la consecuencia de un mecanismo activo que tuviera consecuencias sobre la organización de la actividad EEG de la vigilia subsecuente, sería de esperarse que la correlación interhemisférica de la vigilia fuera diferente después de haber dormido y después de la privación total de sueño.

Algunos estudios han investigado los cambios en la actividad EEG del sueño después de la privación de sueño (Ursin, 1971; Nakazawa y cols., 1978; Takahashi y cols., 1978; Borbély y Tobler, 1980; Borbély y cols., 1981; Gillberg y Akerstedt, 1987), y otros han investigado los cambios de la actividad EEG de la vigilia después de la privación (Tyler y cols., 1947; Malmö y Surwillo, 1960; Armington y Mitnick, 1959; Williams y cols., 1962; Johnson y cols., 1965; Wilkinson, 1965; Naitoh y cols., 1969 y 1971), sin embargo no hay estudios que hayan investigado los cambios en la correlación interhemisférica después de la privación de sueño ni estudios que hayan enfocado su atención sobre el efecto del sueño mismo sobre la correlación electroencefalográfica de la vigilia subsecuente.

El propósito del experimento III de este trabajo es investigar si la privación de sueño y el hecho mismo de dormir tienen un efecto sobre la correlación interhemisférica de la vigilia subsecuente en el hombre, para lo cual se registró el EEG y se comparó antes y después de una noche normal de sueño y

antes y después de una noche de privación total de sueño (Corsi-Cabrera y cols., 1989).

**Objetivo:**

Analizar la correlación interhemisférica de la actividad EEG después de un periodo de vigilia normal, o sea en la noche antes de dormir, en la mañana después de haber dormido normalmente durante la noche, en la mañana después de permanecer privado de sueño durante la noche y en la mañana después de 48 horas de recuperación de sueño y compararla entre las diferentes condiciones.

## EXPERIMENTO I

### METODO

En el experimento participaron 6 voluntarios diestros (3 mujeres y 3 hombres) entre 21 y 36 años, sin historia conocida de patología ni uso de drogas que afecten al sistema nervioso.

Se registró monopolarmente el EEG durante el sueño espontáneo de toda la noche en un polígrafo Beckman, modelo R 611, con una velocidad de 10 mm/seg. y un filtraje entre 1.6 y 30 Hz. Los electrodos se colocaron de acuerdo al sistema 10-20 internacional en C3, C4, T3, T4, P3, P4, O1 y O2 y los electrodos de referencia en el lóbulo de la oreja ipsilateral. Con el fin de identificar correctamente las etapas del sueño, se registró además la actividad electromiográfica (EMG) bipolarmente en los músculos del mentón y la actividad electrooculográfica (EOG) monopolarmente, mediante electrodos colocados en los cantos externos superior e inferior de los ojos, referidos al mismo lóbulo de la oreja.

La colocación de los electrodos para el registro del sueño y la clasificación de las etapas del sueño se llevó a cabo siguiendo los criterios estandarizados (Rechtschaffen y Kales, 1968).

Se grabaron al azar muestras del EEG durante la vigilia, la etapa II (EII) del SL y el SP en una grabadora FM para ser analizadas posteriormente. Las muestras de vigilia se tomaron inmediatamente después del despertar espontáneo por la mañana, en la cama y con los ojos abiertos para evitar que el sujeto se volviera a dormir, las de SP se tomaron durante el segundo ciclo de la noche y las de la EII durante el episodio siguiente al segundo de SP. Las muestras que se emplearon para el análisis se seleccionaron evitando artefactos y actividad física como movimientos oculares rápidos en el caso del SP y husos de sueño en el caso de la EII.

Los registros efectuados durante la vigilia se llevaron a cabo con los ojos abiertos para conseguir condiciones similares en los tres experimentos; en el caso del experimento III para evitar que los sujetos se quedaran dormidos y en el caso del II, ya que no es posible conseguir que las ratas cierren los ojos en vigilia.

Se escogió la EII del sueño para compararla con la V y el SP debido a que la actividad EEG durante esta etapa del sueño es menos diferente de la V y del SP que la de las etapas III y IV. En estas últimas predomina el ritmo delta y se ha visto que la correlación entre dos señales EEG aumenta con la lentificación del EEG (Corsi-Cabrera y cols., 1988; Corsi-Cabrera y cols., 1989), de tal forma, que sería difícil saber si los cambios en la correlación interhemisférica que se encontraran entre las etapas se deben a la abundancia de delta.

Se analizaron muestras del EEG de cada etapa y de cada sujeto de 20.48 seg. de duración en una computadora digital PDP11/40, para lo cual se digitalizaron mediante un convertidor analógico-digital de 12 bits, a una frecuencia de muestreo de 100/seg.

Por medio de la Transformada Rápida de Fourier se separó la banda total (1.6-30 Hz) en las siguientes bandas: 1) delta (1.5-3.5); 2) theta (3.5-7.5); 3) alfa (7.5-12); y 4) beta (12-30 Hz) y se obtuvo la correlación interhemisférica (CORINTER) entre derivaciones homólogas para cada una de ellas, mediante el coeficiente de correlación producto momento de Pearson.

Los valores de la correlación se transformaron a puntajes Z de Fisher para asegurar una distribución normal y se compararon mediante un análisis de varianza para medidas repetidas de 3 X 4 (etapas X derivaciones). Las diferencias entre medias se probaron mediante la prueba de Tukey para grupos correlacionados aceptando un nivel de probabilidad  $<$  al 0.05.

## RESULTADOS.

Los valores de correlación obtenidos por cada sujeto en cada condición fueron significativos ( $gl= 2046$ ;  $r > 0.035$ ;  $p < 0.05$ ) salvo algunas excepciones aisladas, particularmente en la banda beta y en temporal, donde en ocasiones se obtuvieron valores  $< 0.035$  pero, nunca más de un sujeto ni el mismo sujeto en diferentes condiciones. Esto mismo ocasionó una gran variabilidad.

La tabla I muestra los valores de la CORINTER transformados a puntajes Z para las 4 derivaciones y las 4 bandas durante la V, la EII y el SP. Los análisis de varianza mostraron diferencias significativas en el caso de las bandas beta, theta, delta y la total en los dos factores, tanto para etapas como para derivaciones, y para la banda alfa solamente entre derivaciones. No hubo interacciones significativas. En la tabla II se muestran los resultados de los análisis de varianza y sus respectivos niveles de significancia.

**TABLA I**  
Media (M) y Desviación Estandard (DE) de los Valores de la Correlación Interhemisférica Transformados a Z para la Vigilia (V), la Etapa II (EII) y el Sueño Paradójico (SP).

Bandas	C3-C4			T3-T4			P3-P4			O1-O2		
	V	EII	SP									
<b>Beta</b>												
M	.10	.33	.23	.07	.19	.15	.19	.46	.30	.21	.47	.37
DE	.09	.22	.15	.05	.11	.09	.12	.30	.23	.17	.24	.23
<b>Alfa</b>												
M	.41	.57	.54	.17	.36	.31	.57	.70	.60	.50	.66	.51
DE	.39	.34	.37	.20	.16	.20	.48	.42	.47	.32	.41	.37
<b>Theta</b>												
M	.53	.76	.66	.31	.52	.47	.44	.80	.64	.44	.76	.67
DE	.32	.41	.50	.21	.34	.30	.31	.41	.36	.32	.38	.37
<b>Delta</b>												
M	.52	.90	.78	.39	.56	.48	.55	.82	.73	.45	.81	.72
DE	.40	.30	.37	.24	.33	.28	.29	.42	.40	.28	.47	.40
<b>Total</b>												
M	.52	.73	.68	.20	.43	.39	.46	.78	.62	.41	.72	.58
DE	.37	.32	.36	.13	.25	.22	.28	.41	.37	.22	.39	.32

TABLA II  
Anova de la Correlación Interhemisférica entre Etapas y Derivaciones

Bandas	Etapas		Derivaciones	
	F(2,5)	p	F(3,5)	p
Beta	11.59	**	11.58	**
Alfa	2.36		9.44	**
Theta	6.38	**	3.51	*
Delta	4.10	*	4.25	**
Total	8.22	**	6.55	**

p < 0.01 \*\*  
p < 0.05 \*

**Diferencias significativas entre las medias de V y EII.**

Como puede verse en la tabla I y en la Fig. 1, la correlación interhemisférica fue menor durante la V que durante la EII en todas las derivaciones y bandas. La diferencia entre las medias de V y EII fue significativa para todas las derivaciones en las bandas beta, theta, delta y la total.

**Diferencias significativas entre las medias de V y SP.**

En la misma figura 1 puede verse que la CORINTER también fue menor durante la V que durante el SP. La comparación entre las medias de V y SP fue significativa para la banda beta en todas las derivaciones, para la banda theta en parietal, occipital y temporal, para la banda delta en central, parietal y occipital y para la actividad total en parietal, occipital y temporal. El incremento fue particularmente notorio para el ritmo beta.

Aunque el ritmo alfa no haya arrojado diferencias significativas, puede observarse la misma tendencia que para las demás bandas, es decir, mayor CORINTER durante la EII que durante la V en todas las derivaciones y mayor CORINTER durante el SP que durante la V en las cortezas central y temporal.

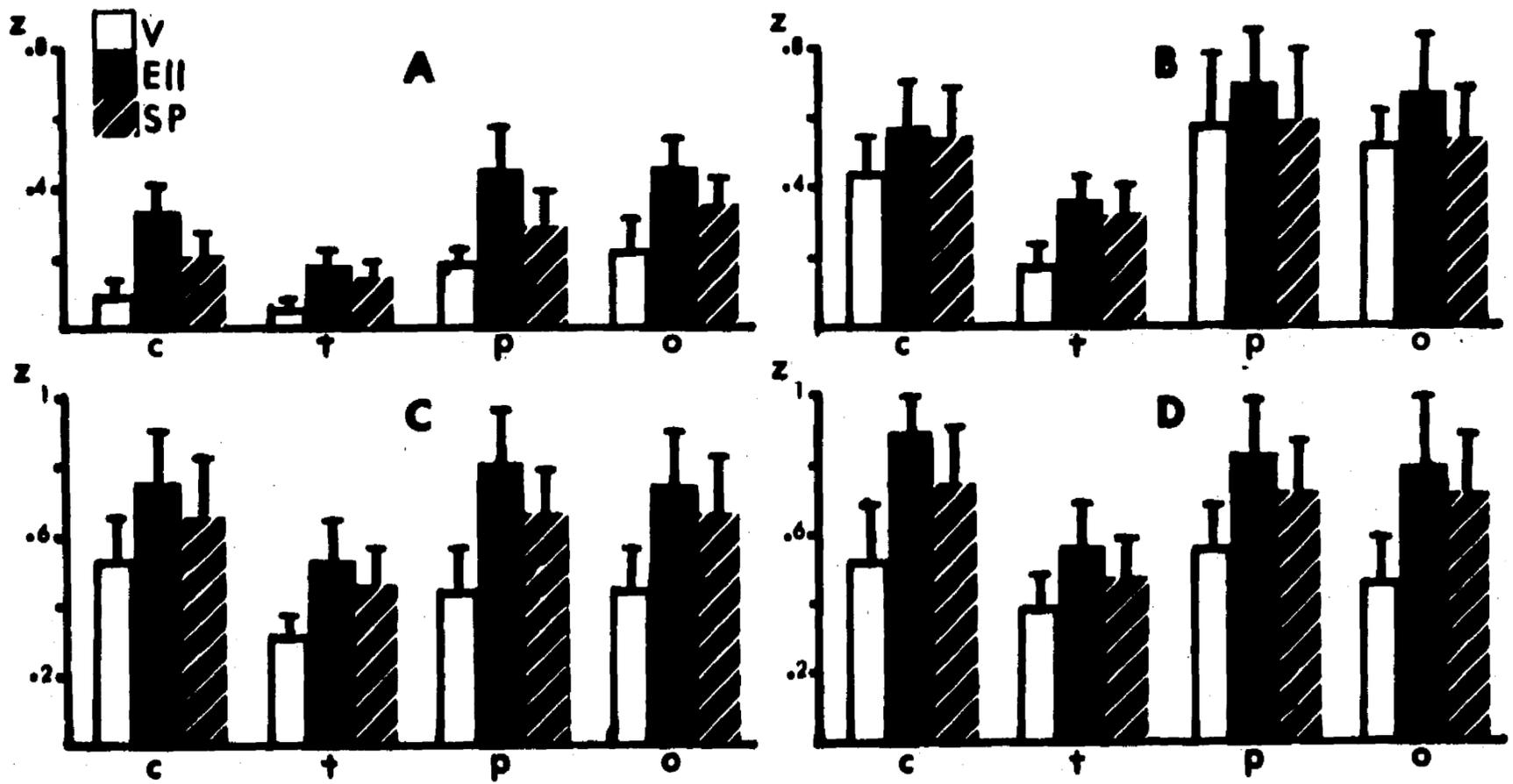


Figura 1. Media y error estandar de los valores de la correlación interhemisférica convertidos a puntajes Z durante la vigilia (V), la etapa II (EII) y el sueño paradójico (SP), en la banda beta (A), alfa (B), theta (C) y delta (D) en las cortezas central (C), temporal (T), parietal (P) y occipital (O).

#### **Diferencias significativas entre las medias de EII y SP.**

La correlación interhemisférica fue mayor en la EII que en el SP en todas las derivaciones, pero las diferencias entre estas dos etapas solamente fueron significativas para las bandas beta, theta y delta en central y parietal y para la total en parietal y occipital.

La comparación entre derivaciones mostró que la CORINTER fue significativamente menor en la corteza temporal en todas las bandas y etapas que en las otras tres derivaciones con excepción de beta en central durante V y SP y de delta en occipital durante V, donde no se alcanzó el nivel de significancia.

#### **RESUMEN DE RESULTADOS**

La correlación interhemisférica fue significativamente mayor en la EII que en la V en todas las derivaciones y bandas excepto en el caso de alfa que aunque mostró la misma tendencia no alcanzó el nivel de significancia.

Fue significativamente mayor en SP que en V en la banda beta en central, temporal, parietal y occipital; en la banda theta en temporal, parietal y occipital; en la banda delta en central, parietal y occipital; y en la banda total en temporal, parietal y occipital.

Fue significativamente mayor en EII que en SP en las bandas beta, theta y delta en central y parietal.

Fue significativamente menor en temporal que en las demás derivaciones en casi todas las etapas y bandas.

## EXPERIMENTO II

### METODO

Se utilizó un total de 7 ratas Wistar, adultas, con pesos entre 250 y 350 g mantenidas bajo un horario de 16 horas de luz por 8 de oscuridad.

Se registró monopolarmente la actividad eléctrica de cada hemisferio, referida a electrodos colocados en el hueso frontal y bipolarmente la actividad (EMG) por medio de electrodos insertados en el músculo de la nuca. La implantación se realizó bajo anestesia con pentobarbital (40mg/Kg) siguiendo las técnicas esterotáxicas convencionales. Los electrodos para el registro del EEG consistieron en pijas de acero inoxidable atornilladas al cráneo y sobre la superficie de la duramadre a 3 mm de la línea media y 3 mm posterior a Bregma. Como electrodos para el registro del EMG se utilizó alambre de acero inoxidable de 300 micras de diámetro aislado excepto en la punta.

Después de por lo menos una semana de recuperación de la cirugía, se realizaron los registros individualmente, para lo cual se trasladó a cada rata dentro de su propia vivienda a una cámara sonoamortiguada. Después de tres horas de adaptación al lugar, se iniciaron las sesiones de registro de sueño espontáneo al mediodía, período durante el cual se ha reportado un pico de sueño (Corsi-Cabrera y cols., 1982).

Una vez adaptada la rata, se registró continuamente la actividad EEG y EMG en un polígrafo Beckman modelo R 611, filtrando la actividad EEG de 1.6 a 30 Hz y se grabaron muestras de SP, SL y V en una grabadora FM para ser analizadas posteriormente.

Las etapas fueron identificadas de manera convencional. El SP se determinó por la presencia de ritmo theta, simultáneo a la desaparición del tono muscular y a la presencia de contracciones mioclónicas. El SL se identificó por la presencia de ondas lentas de alto voltaje acompañadas de un bajo tono

muscular y la vigilia se definió por la desincronización del EEG y alto voltaje en el EMG (Corsi-Cabrera, 1983).

El EEG se analizó en una computadora PDP11/40, para lo cual se seleccionaron muestras de cada etapa de 20.48 seg. de duración libres de artefactos y se digitalizaron por medio de un convertidor análogo-digital de 12 bits con una frecuencia de muestreo de 100/seg.

Se obtuvieron los valores de la CORINTER de la misma manera que en el experimento I.

Aunque los correlatos conductuales y la distribución del espectro de potencia para todas las bandas no es idéntica que en el hombre, tradicionalmente se han dividido las mismas bandas en la rata. Las bandas beta y delta acompañan los mismos estados fisiológicos que en el hombre, es decir mayor potencia de beta en vigilia y de delta en sueño, aunque durante la vigilia la mayor cantidad de la potencia se encuentra entre 0 y 10 Hz. (Rosenberg, 1969; Steinfels y cols., 1980).

Las frecuencias correspondientes al ritmo alfa en cambio, no presentan la misma reactividad que en el hombre y se comportan más bien como un ritmo theta de frecuencia más rápida. Numerosos estudios han encontrado que el ritmo theta hipocámpico de la rata, que se registra nítidamente en la superficie cortical, presenta dos bandas de diferente frecuencia asociada cada una de ellas a estados funcionales diferentes. Durante las conductas clasificadas como tipo I que incluyen conductas motoras como caminar, predominan las frecuencias entre 7 y 12 Hz, mientras que durante las conductas tipo II como estar alerta e inmóvil o asearse predominan las frecuencias entre 5 y 7 Hz. Aunque ambas bandas se originan en el hipocampo, se han postulado diferentes generadores ya que reaccionan de diferente manera a manipulaciones neuroquímicas o a las lesiones (Vanderwolf, 1975; Monmaur y cols., 1979).

En el caso del sueño, el espectro tiene también algunas diferencias con el del hombre, como es la ausencia del pico correspondiente a los husos del sueño (12-14 Hz) y la presencia del ritmo theta en SP, que aparentemente depende de un generador diferente del de la vigilia (Monmaur, 1980). La potencia de delta es mayor durante el SL, mientras que durante el SP la potencia es mayor en la banda de theta con una frecuencia pico en 7 Hz (Young y cols., 1978; Etevenon y Giannella, 1980; Steinfels y cols., 1980).

Se utilizó el análisis de varianza de dos factores para medidas repetidas de 3 X 4 (etapas X bandas) Las diferencias entre medias se probaron mediante la prueba de Tukey aceptando como significativo, un nivel de probabilidad  $< 0.05$ .

### RESULTADOS

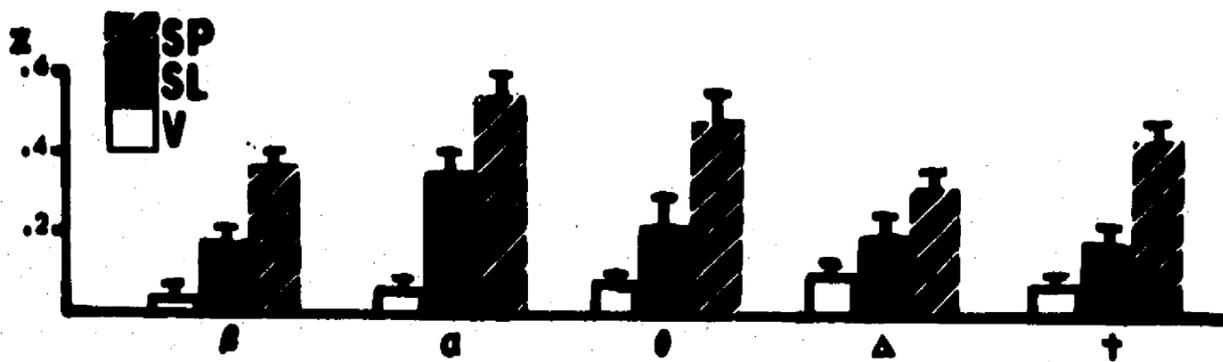
Igual que en el experimento I, los valores de correlación individuales fueron significativos ( $gl=2046$ ;  $r > 0.035$ ;  $p < 0.05$ ) salvo casos aislados.

El análisis de varianza entre etapas y bandas, mostró diferencias significativas en el grado de CORINTER únicamente para la variable etapas ( $F(2,6) = 4.82$ ;  $p < 0.01$ ) y no para la variable bandas ( $F(3,6) = 0.31$ ;  $p > 0.05$ ). La interacción tampoco resultó significativa.

Como puede verse en la tabla III, los valores más altos de la correlación se observaron durante el SP y los más bajos durante la V. Las diferencias entre V y SL y entre V y SP fueron significativas para todas las bandas. Las diferencias entre SL y SP también fueron significativas en todas las bandas. (Fig.2).

**TABLA III**  
**Media (M) y Desviación Estandard (DE) de los Valores de la Correlación Interhemisférica Transformados a Z en la Vigilia (V), el Sueño Lento (SL) y el Sueño Paradójico (SP).**

Bandas	V		SL		SP	
	M	DE	M	DE	M	DE
Beta	.03	.08	.19	.10	.36	.17
Alfa	.05	.06	.36	.18	.54	.22
Theta	.05	.05	.27	.16	.48	.21
Delta	.08	.06	.20	.09	.31	.16
Total	.07	.09	.18	.11	.33	.12



**Figura 2.** Media y error estandar de los valores de la la correlación interhemisférica convertidos a puntajes Z durante la vigilia (V), el sueño lento (SL) y el sueño paradójico (SP) para la banda beta ( $\beta$ ), alfa ( $\alpha$ ), theta ( $\theta$ ), delta ( $\Delta$ ) y la banda total (T) en la corteza parietal.

### RESUMEN DE RESULTADOS

La correlación interhemisférica fue:

Significativamente mayor en SP que en V en todas las bandas.

Significativamente mayor en EII que en V en todas las bandas.

Significativamente mayor en SP que en EII en todas las bandas.

No hubo diferencias significativas entre bandas.

### **EXPERIMENTO III**

#### **METODO**

En el experimento participaron 10 sujetos entre 22 y 32 años, todos ellos profesionistas y familiarizados con las técnicas de registro electroencefalográfico. Antes de iniciar el experimento contestaron un cuestionario sobre sus hábitos de sueño y en particular sobre la hora de acostarse y despertar durante los días experimentales y sobre antecedentes neuropatológicos y uso de drogas. Ninguno de ellos reportó antecedentes neuropatológicos ni ingestión de ninguna droga. Solamente se procedió al experimento después de horarios habituales de sueño.

Se registró la actividad eléctrica cerebral monopolarmente con electrodos colocados de acuerdo con el 10-20 Sistema Internacional en C3, C4, T3, T4, P3, P4, O1 y O2 y con los electrodos de referencia colocados en el lóbulo de la oreja ipsilateral.

Los registros se llevaron a cabo individualmente en una cámara sonoamortiguada y siempre en vigilia con ojos abiertos para evitar el adormecimiento después de la privación de sueño. Se tomaron registros bajo las siguientes condiciones: en la noche antes de dormir (PMS) y en la mañana después de despertar (S); en la noche antes de la privación de sueño total (PMP) y en la mañana después de la privación (P) y 48 horas después de la privación (R) para observar la recuperación de posibles cambios producidos por la privación de sueño.

Los registros nocturnos (PMS y PMP) se tomaron siempre en la noche del viernes y de manera contrabalanceada entre los sujetos, es decir a unos primero la condición de sueño (PMS y S) y a otros primero la condición de privación (PMP y P), por lo tanto el registro de recuperación (R) fue siempre tomado el lunes por la mañana, excepto en un sujeto en que se recorrió un día,

registrándose la condición de privación en sábado y por lo tanto la de recuperación en martes.

Antes de proceder a los registros en las condiciones mencionadas, se tomó un registro de adaptación a la situación, que no se consideró para el análisis.

Los registros tomados en la noche, tanto PMS como PMP, se realizaron entre 9 y 11 p.m. Los registros tomados en la mañana en las condiciones S, P y R se realizaron entre 7 y 9 a.m. ajustándose para cada sujeto para que ocurrieran entre 1 y 2 horas antes de la hora habitual de irse a dormir o después de despertar.

Después de tomarse los registros de EEG en el laboratorio, los sujetos se retiraron a dormir a sus propias casas. Se prefirió esto a que durmieran en el laboratorio para evitar el efecto de la primera noche y conseguir condiciones más parecidas a las normales. Al día siguiente, los sujetos tenían que presentarse en el laboratorio después de despertar.

En la condición de privación, después del registro PMP, los sujetos permanecieron en el laboratorio en grupos de dos o tres durante toda la noche bajo la vigilancia de dos experimentadores. Con excepción de dormir, los sujetos eran libres de realizar cualquier tarea como leer, pasear, platicar, oír música etc. Se prohibieron las bebidas con cafeína o cualquier estimulante.

Después del registro P, los sujetos pasaron el fin de semana en sus casas y se les pidió que no hicieran siestas pero que durmieran todo lo que quisieran durante la noche, anotaran los horarios y se presentaran a las 48 horas para el registro R.

En cada una de las condiciones mencionadas se registraron 3 min contínuos de EEG en un polígrafo Beckman, modelo R611, con los filtros

colcados entre 1.6 y 30 Hz y se grabó en una grabadora de FM para analizarlo posteriormente.

Se inspeccionaron visualmente las grabaciones y se seleccionaron muestras de 20.48 seg. libres de artefactos, de cada una de las condiciones y derivaciones y se digitalizaron por medio de un convertidor análogo-digital de 12 bits con una computadora PDP11/40 con una frecuencia de muestreo de 100/seg.

Se obtuvieron los valores de la CORINTER de la misma manera que en el experimento I.

Para las comparaciones estadísticas se sumaron y promediaron los valores de cada sujeto en las condiciones PMS y PMP (PM). Las diferencias en la correlación interhemisférica se compararon para cada banda mediante un análisis de varianza de dos factores (derivaciones X condiciones: PM, S, P y R).

Además del análisis de varianza, la consistencia de las diferencias obtenidas se confirmó mediante una prueba de chi cuadrada a partir de una tabla de contingencias en la que las entradas fueron el número de sujetos que mostraron cambios en una u otra dirección de la noche a la mañana.

## RESULTADOS

Se descartó un sujeto para el análisis estadístico debido a que algunos de sus registros electroencefalográficos tuvieron artefactos. Igual que en el caso de los experimentos I y II, los valores individuales de  $r$  fueron significativos ( $gl=2046$ ;  $r > 0.035$ ;  $p < 0.05$ ) salvo casos aislados.

En las tablas IV, V, VI y VII se muestran los valores de la CORINTER para cada banda. Los análisis de varianza para cada banda mostraron diferencias significativas para los dos factores, tanto entre derivaciones como entre condiciones en todas las bandas y la interacción entre factores fue significativa solamente para la banda beta. En la tabla VIII se muestran los resultados de los ANOVAS.

En los casos en los que el análisis de varianza mostró diferencias significativas, se procedió a probar la significancia entre pares de medias. Para cada una de las bandas se realizaron las siguientes comparaciones entre condiciones: a) PM y S, b) PM y P, c) PM y R, d) S y P y e) S y R. Para las derivaciones se hicieron comparaciones entre derivaciones en cada una de las condiciones.

**TABLA IV**  
Media (M) y Desviación Estandard (DE) de los Valores de la Correlación Interhemisférica Transformados a Z en las Cuatro Condiciones (PM, S, P y R) y Derivaciones para la Banda Beta.

	Condiciones							
	PM		S		P		R	
	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE
C3-C4	0.16	0.08	0.26	0.13	0.08	0.05	0.19	0.09
T3-T4	0.06	0.01	0.12	0.04	0.07	0.04	0.12	0.05
P3-P4	0.14	0.06	0.22	0.09	0.16	0.07	0.52	0.16
O1-O2	0.12	0.08	0.11	0.07	0.13	0.09	0.49	0.17

**TABLA V**  
**Media (M) y Desviación Estandard (DE) de los Valores de la Correlación**  
**Interhemisférica Transformados a Z en las Cuatro Condiciones (PM, S, P y R) y**  
**Derivaciones para la Banda Alfa.**

	Condiciones							
	PM		S		P		R	
	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE
C3-C4	0.18	0.06	0.47	0.27	0.28	0.12	0.59	0.21
T3-T4	0.09	0.02	0.14	0.11	0.19	0.12	0.23	0.18
P3-P4	0.42	0.22	0.70	0.36	0.49	0.28	0.72	0.45
O1-O2	0.23	0.12	0.18	0.14	0.21	0.11	0.56	0.30

**TABLA VI**  
**Media (M) y Desviación Estandard (DE) de los Valores de la Correlación**  
**Interhemisférica Transformados a Z en las Cuatro Condiciones (PM, S, P y R) y**  
**Derivaciones para la Banda Theta.**

	Condiciones							
	PM		S		P		R	
	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE
C3-C4	0.26	0.07	0.52	0.24	0.36	0.17	0.62	0.31
T3-T4	0.12	0.02	0.20	0.09	0.32	0.12	0.46	0.22
P3-P4	0.36	0.18	0.59	0.22	0.46	0.23	0.62	0.34
O1-O2	0.29	0.10	0.38	0.13	0.34	0.17	0.57	0.30

**TABLA VII**  
**Media (M) y Desviación Estandard (DE) de los Valores de la Correlación**  
**Interhemisférica Transformados a Z en las Cuatro Condiciones (PM, S, P y R) y**  
**Derivaciones para la Banda Delta.**

	Condiciones							
	PM		S		P		R	
	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE
C3-C4	0.26	0.04	0.66	0.31	0.45	0.26	0.64	0.30
T3-T4	0.21	0.11	0.29	0.14	0.38	0.21	0.42	0.22
P3-P4	0.33	0.08	0.57	0.25	0.44	0.19	0.72	0.27
O1-O2	0.29	0.10	0.36	0.12	0.32	0.13	0.58	0.29

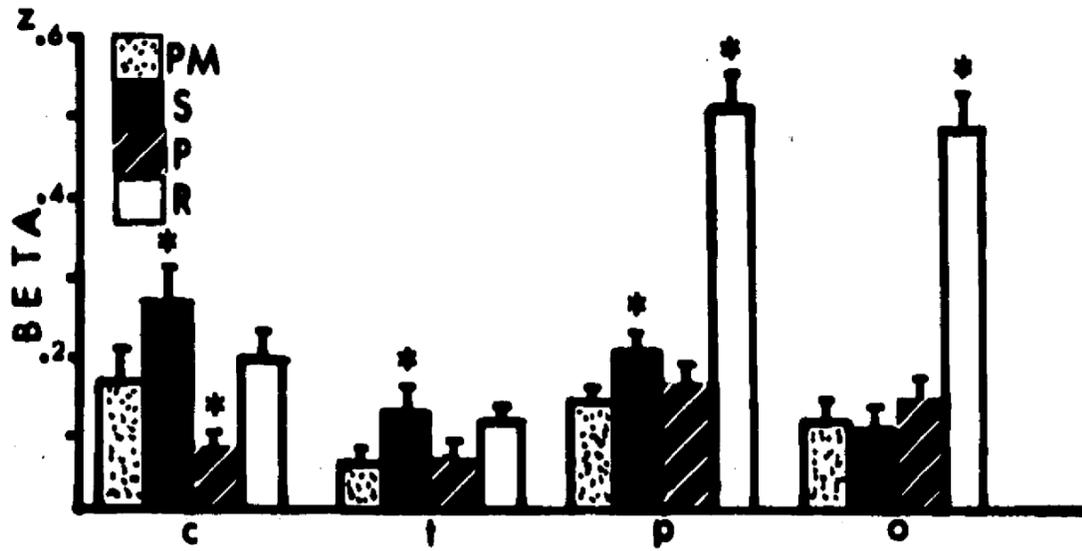


Fig. 3 Media y error estandar de la correlación interhemisférica de la banda beta convertida a puntajes Z en la noche (PM), en la mañana después de dormir (S), de la privación de sueño (P) y de la recuperación (R) para la corteza central (C), temporal (T), parietal (P) y occipital (O).  
\*  $p < 0.05$ ; \*  $p < 0.01$  entre los valores de PM y las demás condiciones.

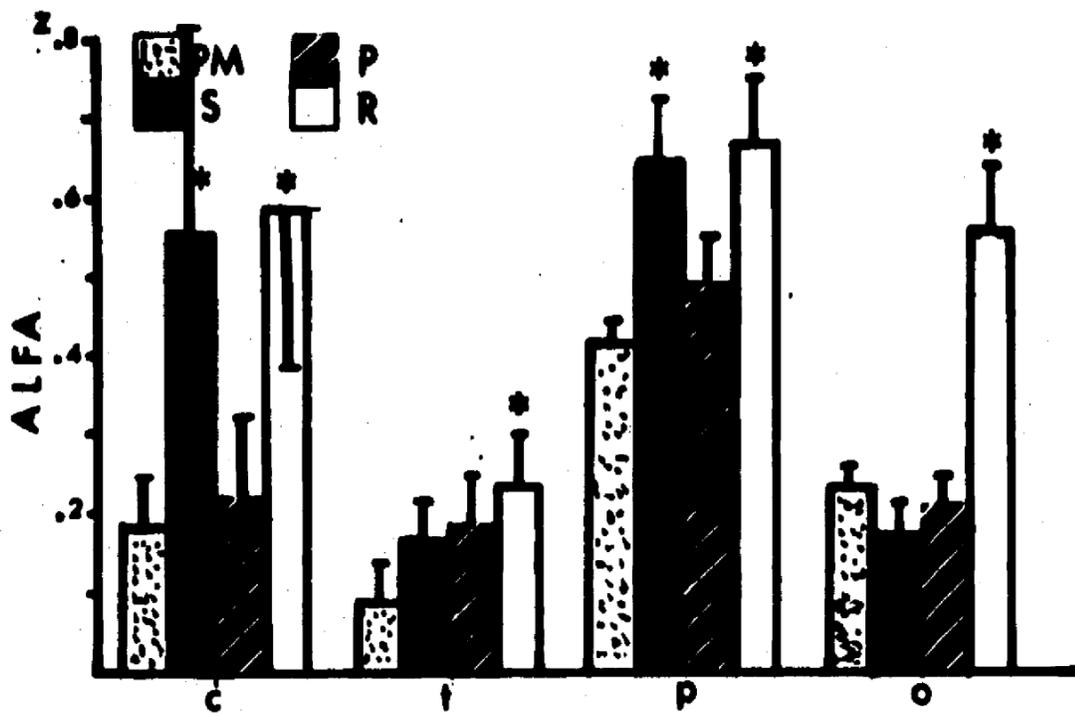


Fig. 4 Media y error estandar de la correlación interhemisférica de la banda alfa convertida a puntajes Z en la noche (PM), en la mañana después de dormir (S), de la privación de sueño (P) y de la recuperación (R) para la corteza central (C), temporal (T), parietal (P) y occipital (O).  
\*  $p < 0.05$ ; \*  $p < 0.01$  entre los valores de PM y las demás condiciones.

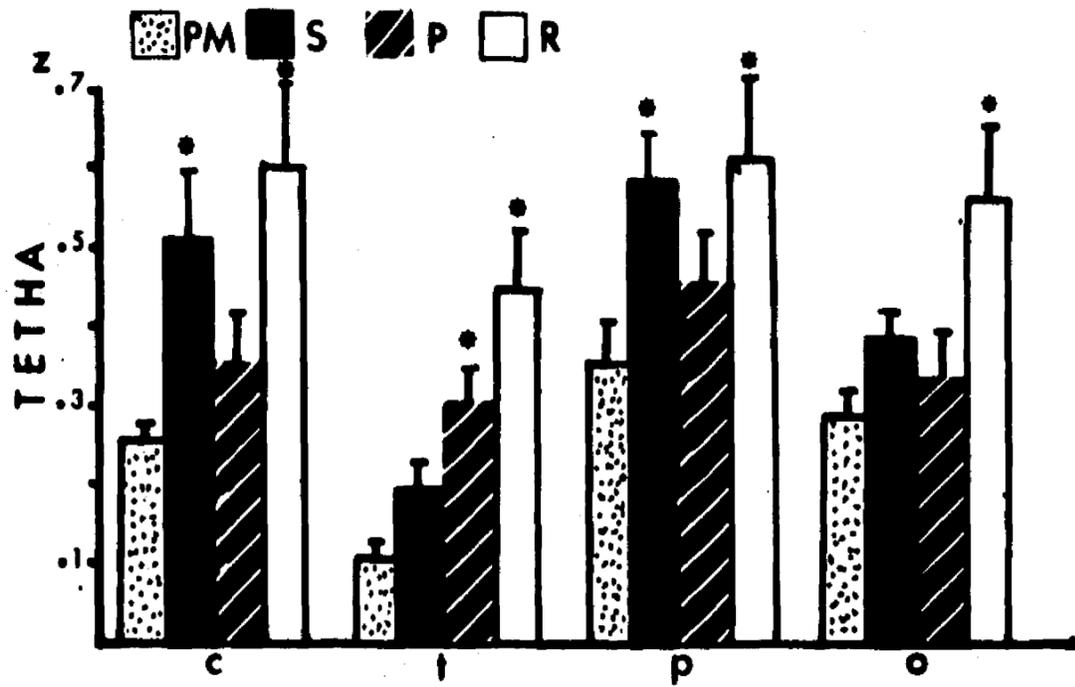


Fig. 5 Media y error estandar de la correlación interhemisférica de la banda theta convertida a puntajes Z en la noche (PM), en la mañana después de dormir (S), de la privación de sueño (P) y de la recuperación (R) para la corteza central (C), temporal (T), parietal (P) y occipital (O). \*  $p < 0.05$ ; \*  $p < 0.01$  entre los valores de PM y las demás condiciones.

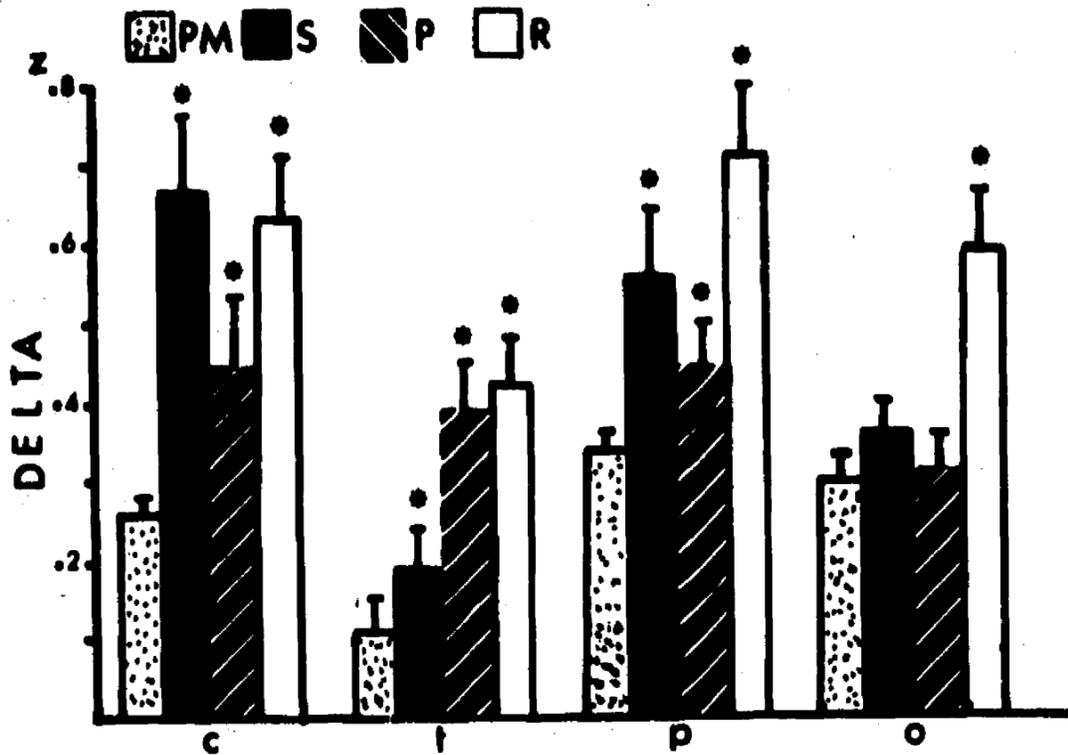


Fig. 6 Media y error estandar de la correlación interhemisférica de la banda delta convertida a puntajes Z en la noche (PM), en la mañana después de dormir (S), de la privación de sueño (P) y de la recuperación (R) para la corteza central (C), temporal (T), parietal (P) y occipital (O). \*  $p < 0.05$ ; \*  $p < 0.01$  entre PM y las demás condiciones.

**Tabla VIII**  
ANOVA de la Correlación Interhemisférica entre  
Etapas y Derivaciones

Bandas	Condiciones		Derivaciones	
	F(3,8)	p	F(3,8)	p
Beta	13.81	.001	9.01	.001
Alfa	3.87	.01	5.90	.001
Theta	4.79	.004	4.71	.004
Delta	9.40	.001	3.78	.01

**a) Diferencias entre la noche y la mañana después de dormir (PM y S).**

La comparación entre medias (Tabla IX) mostró que la correlación interhemisférica fue significativamente mayor después de haber dormido para las siguientes bandas y derivaciones:

- Beta en central, temporal y parietal (Fig. 3).
- Alfa en: central y parietal (Fig. 4).
- Theta en: central y parietal (Fig. 5).
- Delta en: central, temporal y parietal (Fig. 6).

En la corteza occipital no hubo diferencias significativas.

**Tabla IX**  
Resultados de la F de Tukey entre las Medias de la r Interhemisférica  
PM y S.

Derivaciones	Bandas							
	Beta		Alfa		Theta		Delta	
	F	p	F	p	F	p	F	p
C3-C4	3.50	*	9.67	**	7.00	**	11.33	**
T3-T4	4.00	**	1.33		0.33		2.67	*
P3-P4	4.00	**	10.00	**	4.33	**	6.33	**
O1-O2	1.50		0.67		0.00		2.00	

p < 0.01 \*\*  
p < 0.05 \*

b) Diferencias entre la noche y la mañana después de la privación (PM y P).

El efecto de la privación de sueño sobre la correlación interhemisférica de la vigilia subsecuente fue diferente en las derivaciones y bandas y en general hubo pocas diferencias significativas (Tabla X):

- La banda beta mostró una disminución en la corteza central y valores muy similares a los observados en la condición PM en las demás derivaciones (Fig. 3).
- La banda alfa no presentó cambios significativos (fig. 4).
- La banda theta mostró un aumento en la corteza temporal (Fig. 5).
- La banda delta aumentó en central, temporal y parietal (Fig. 6).

Tabla X  
Resultados de la F de Tukey entre las Medias de la r Interhemisférica de PM y P.

Derivaciones	Beta		Alfa		Theta		Delta	
	F	p	F	p	F	p	F	p
C3-C4	3.00	*	2.00		0.33		3.67	*
T3-T4	0.00		2.33		6.00	**	6.67	**
P3-P4	0.00		2.33		0.33		2.67	*
O1-O2	0.00		1.00		1.33		0.33	

p < 0.01 \*\*  
p < 0.05 \*

c) Diferencias entre la noche y la mañana de recuperación (PM y R).

La condición de recuperación mostró en todas las bandas y derivaciones valores superiores al observado en la noche. Las diferencias fueron significativas para (Tabla XI):

- La banda beta en parietal y occipital (Fig. 3).

- Las bandas alfa, theta y delta en todas las derivaciones (Figs. 4, 5 y 6).

Tabla XI  
Resultados de la F de Tukey entre las Medias de la r Interhemisférica de PM y R.

Derivaciones	Bandas							
	Beta		Alfa		Theta		Delta	
	F	p	F	p	F	p	F	p
C3-C4	1.00		5.33	**	7.33	**	11.33	**
T3-T4	1.00		4.33	**	5.67	**	6.33	**
P3-P4	17.00	**	9.67	**	5.33	**	12.00	**
O1-O2	13.50	**	10.00	**	10.33	**	10.67	**

p < 0.01 \*\*  
p < 0.05 \*

d) Diferencias entre la mañana después del sueño y después de la privación (S y P).

Los valores de la CORINTER fueron significativamente mayores (Tabla XII) después de haber dormido que después de la privación en las bandas:

- Beta, alfa y delta en central y parietal (Figs. 3, 4 y 6).
- Theta en central (Fig. 5).

Fue significativamente mayor después de la privación en las bandas:

- Theta y delta en la corteza temporal (Figs. 5 y 6).

Tabla XII  
Resultados de la F de Tukey entre las Medias de la r Interhemisférica de S y P

Derivaciones	Bandas							
	Beta		Alfa		Theta		Delta	
	F	p	F	p	F	p	F	p
C3-C4	4.50	**	7.67	**	3.00	*	6.67	**
T3-T4	1.00		2.00		5.67	**	4.00	**
P3-P4	4.00	**	7.67	**	1.00		3.67	*
O1-O2	1.50		0.33		1.33		1.67	

p < 0.01 \*\*  
p < 0.05 \*

e) Diferencias entre la mañana después del sueño y la recuperación (S y R.).

Esta comparación se llevó a cabo debido a que se observaron valores de correlación muy altos en la condición de recuperación, en algunos casos mayores aún que en S. La CORINTER en R fue significativamente mayor que en S en las siguientes bandas y derivaciones (Tabla XIII):

- Beta en parietal y occipital (Fig. 3).
- Alfa en central, temporal y occipital (Fig. 4).
- Theta en temporal y occipital (Fig. 5).
- Delta en temporal parietal y occipital (Fig. 6).

Tabla XIII  
Resultados de la F de Tukey entre las medias de la r interhemisférica de S y R.

Derivaciones	Bandas							
	Beta		Alfa		Theta		Delta	
	F	p	F	p	F	p	F	p
C3-C4	1.50		4.33	**	0.33		0.00	
T3-T4	1.00		3.00	*	5.33	**	3.67	*
P3-P4	13.00	**	0.67		1.00		5.67	**
O1-O2	16.50	**	10.67	**	10.33	**	8.67	**

p < 0.01 \*\*  
p < 0.05 \*

f) Diferencias entre derivaciones.

Como se mencionó, el efecto principal para las derivaciones fue significativo para todas las bandas (Tabla VIII) y los resultados de las comparaciones entre derivaciones, mostraron resultados significativos en todas las condiciones. En términos generales se puede decir que la correlación interhemisférica fue significativamente mayor en la corteza parietal y menor en la temporal en casi todas las bandas y condiciones; la diferencia entre parietal

y central y entre parietal y occipital no alcanzó la significancia en todas las comparaciones pero muestra la misma tendencia.

**g) Resultados de la prueba Ji cuadrada.**

Esta prueba se llevó a cabo con el objeto de corroborar la consistencia de las diferencias que se observaron en la correlación interhemisférica después del sueño o de la privación. Se comparó el número de sujetos que mostraron aumento y/o disminución de la CORINTER entre PM y S y entre PM y P para cada banda y derivación. Los análisis mostraron que el número de sujetos que presentaron un aumento de la CORINTER después de haber dormido fue significativamente mayor que los que no, para la banda beta en central, temporal y parietal; para la banda alfa en central y parietal; para la banda theta en temporal y para la banda delta en central, parietal y occipital (tabla XIV).

**TABLA XIV**  
Número de Sujetos que Mostraron un Aumento en la Correlación Interhemisférica de PM a S (n=9).

Derivaciones	Bandas			
	Beta	Alfa	Theta	Delta
C3-C4	9*	8*	7	9*
T3-T4	8*	6	8*	7
P3-P4	8*	8*	8*	9*
O1-O2	7	6	6	8*

\*  $p < 0.01$ ;  $X^2 = 5.55$

**Tabla XV**  
Número de Sujetos que Mostraron una Disminución en la Correlación Interhemisférica de PM a P (n=9)

Derivaciones	Bandas			
	Beta	Alfa	Theta	Delta
C3-C4	8*	5	5	5
T3-T4	5	3	7	4
P3-P4	4	6	4	3
O1-O2	5	4	4	5

\*  $p < 0.01$ ;  $X^2 = 5.55$

En cambio, el número de sujetos que mostraron mayor o menor CORINTER después de la privación, no fue significativo para ninguna de las bandas ni derivaciones con excepción de beta en central, donde si fue significativo el número de sujetos que mostraron una disminución (tabla XV).

#### **RESUMEN DE RESULTADOS**

##### **Cambios significativos después de haber dormido (PM-S).**

La CORINTER fue significativamente mayor en central y parietal para todas las bandas y en temporal para beta y delta.

El número de sujetos que mostraron este aumento fue significativo en la corteza central y parietal para las bandas beta, alfa y delta; en la corteza temporal para las bandas beta y theta; y en occipital para la banda delta.

##### **Cambios significativos después de la privación (PM-P).**

La CORINTER fue significativamente menor en central para beta. Fue significativamente mayor en temporal para theta y delta; y en central y parietal para delta.

El número de sujetos que mostraron una disminución fue significativo para beta en central.

Los aumentos observados en delta en central y parietal fueron menores a los observados después de haber dormido.

##### **Cambios significativos entre la mañana después de haber dormido y la mañana después de la privación (S-P).**

La CORINTER fue significativamente mayor después de haber dormido que después de la privación en la corteza central para todas las bandas y en la corteza parietal para beta, alfa y delta.

Fue significativamente mayor después de la privación en la corteza temporal para las bandas theta y delta.

**Cambios significativos entre la mañana después de haber dormido y la recuperación (S y R).**

**La CORINTER fue significativamente mayor en la recuperación central para alfa; en temporal para alfa, theta y delta; en parietal para beta y delta; y en occipital para todas las bandas.**

## DISCUSION

Los resultados observados en los experimentos I y II mostraron que hay mayor correlación interhemisférica durante las etapas del sueño registradas que durante la vigilia, tanto en el hombre como en la rata. Estos resultados apoyan la existencia de una mayor semejanza funcional entre los dos hemisferios durante el sueño en general.

Estos resultados están de acuerdo con los reportados previamente por Dumermuth y cols (1972; 1981) quienes observaron un aumento en la coherencia interhemisférica durante el sueño; con el aumento en la correlación entre disparos unitarios observada por Moiseeva (1979) y con el aumento en la correlación interhemisférica con la somnolencia observado por Grindel (1982).

La correlación interhemisférica fue mayor durante la etapa II que durante el SP en el hombre en algunas de las derivaciones y bandas (beta, theta y delta en central y parietal). La diferencia entre estas dos etapas podría deberse a que el estado general del cerebro durante el SP es más cercano o similar al de la vigilia, como puede deducirse de las frecuencias presentes en el EEG (Goldstein y cols., 1972; Johnson, 1973), de la actividad onírica (Foulkes, 1962) y la reactividad al despertar de una y otra etapa del sueño (Zung y Wilson, 1971; Oswald y cols., 1960). Por lo tanto el SP podría ser considerado en estos términos, como un estado intermedio entre la vigilia y el sueño.

Un problema que se presenta en la interpretación de estos resultados, es que los registros de vigilia, se tomaron con los ojos abiertos con el fin de evitar que el sujeto se volviera a dormir y en algunas investigaciones se ha encontrado que la correlación interhemisférica aumenta al cerrar los ojos (Harmony y cols., 1973; Corsi-Cabrera y cols., 1988). Sin embargo, el incremento que se observa al cerrar los ojos, es significativo sólo en algunas derivaciones y bandas y es más pequeño que el observado durante el sueño; el incremento al

cerrar los ojos fluctúa entre 0 y 30%, en las diferentes bandas y derivaciones (Corsi-Cabrera y cols., 1988), mientras que el observado durante el sueño, fluctúa entre un 32% en el caso de alfa en occipital y un 230% en el caso de beta. Por otro lado, en otras investigaciones no se han encontrado diferencias significativas entre ojos abiertos y cerrados, e incluso se ha observado una disminución, particularmente en las bandas theta y delta (Corsi-Cabrera y cols., 1989).

En la introducción se había propuesto que puesto que el SP parece participar activamente en los procesos plásticos del sistema nervioso central y que estos procesos requieren de la transmisión interhemisférica de la información, la CORINTER durante el SP debería de ser igual o mayor a la observada en la vigilia, lo que indirectamente implica que la CORINTER debería de ser menor durante el SL. Sin embargo, el hecho de que el aumento de la CORINTER no haya sido exclusivo del SP, sino que también fue más alta durante la EII en el hombre y durante el SL en la rata que durante la vigilia, conduce a a buscar otras explicaciones.

Aunque los resultados de estos experimentos no permiten conocer la naturaleza neurofisiológica de los mecanismos responsables del aumento de la CORINTER, que podría ser de naturaleza multifactorial, a continuación se revisarán algunas posibilidades.

Se han propuesto diversas explicaciones para la semejanza entre dos señales EEG, algunas de ellas pasivas, por ejemplo, la distancia entre electrodos y la abundancia de conexiones anatómicas entre las zonas registradas (Beaumont y cols, 1978), sin embargo, si solamente la distancia o las conexiones anatómicas fueran las responsables del grado de semejanza entre dos señales, no debería de esperarse ninguna variación de un estado fisiológico a otro y el aumento

observado durante la EII y el SP indican que otros factores de naturaleza funcional son importantes también.

Un factor que podría influir sobre el grado de correlación interhemisférica es la llegada de la información sensorial. La información que llega a puntos homólogos de la corteza no es idéntica debido a que las proyecciones finales de las vías sensoriales son principalmente contralaterales, de tal forma que cada lado recibe información proveniente principalmente del lado opuesto del cuerpo o campo visual y posteriormente, la información se intercambia por medio del cuerpo calloso; así, la excitabilidad provocada por un estímulo proveniente de un lado del cuerpo o de un campo visual llega primero a la corteza contralateral y es retransmitida al otro lado, pero con un corto retraso debido a la transmisión callosa (Gott y Boyarsky, 1972; Andreassi y cols. (1975).

Esta asimetría temporal en la llegada de la información a cada lado de la corteza podría estar contribuyendo a los bajos niveles de correlación interhemisférica observados durante la vigilia. Como se dijo, se ha observado que la correlación interhemisférica es mayor al reducir la estimulación externa como ocurre al cerrar los ojos (Harmony y cols., 1973; Corsi-Cabrera y Gutiérrez, 1988) o durante los estados de relajación profunda y de meditación (Levine y cols., 1977; Shaw y cols., 1977; Orme-Johnson y Hynes, 1981). Durante el sueño, la información externa está aún más reducida y esto podría contribuir al aumento en la correlación, sin embargo, como ya se mencionó, el aumento observado durante las etapas de sueño registradas, es aún mayor, por lo que ésta no puede ser la única explicación.

Los niveles de correlación entre los dos hemisferios podrían deberse también a las características funcionales inherentes a cada población neuronal. Los estudios realizados en pacientes comisurotomizados parecen indicar que

cada hemisferio procesa la misma información de manera diferente (Gazzaniga y Sperry, 1967; Bogen, 1969) lo que daría como resultado, particularmente durante el procesamiento de la información, una actividad electroencefalográfica diferente, y por lo tanto, un nivel menor de correlación y de acoplamiento temporal. De acuerdo con lo anterior, el aumento observado durante la EII y el SP podría deberse no solo a la reducción de estimulación externa durante el sueño, sino también a la atenuación de las diferencias funcionales entre los dos hemisferios durante el sueño.

La correlación interhemisférica de la rata durante la vigilia fue menor a la observada en el hombre. Aunque la comparación entre especies es siempre difícil y debe ser siempre muy cautelosa, la mayor abundancia de conexiones interhemisféricas en el hombre en comparación a la rata podría estar influyendo en esta diferencia. A pesar de que los valores de correlación durante la vigilia fueron menores en la rata que en el hombre, el cambio relativo de la vigilia al SL y particularmente al SP fue mayor para la rata. El que el aumento de la correlación interhemisférica durante el sueño, sea mayor en una especie con menor diferenciación hemisférica como la rata, conduce a descartar la posibilidad de que la atenuación de las diferencias funcionales entre los hemisferios durante el sueño sea el único factor responsable de este cambio y señala la participación de otros mecanismos como podría ser la influencia de cambios funcionales en la comunicación entre los dos hemisferios y la influencia de mecanismos de origen subcortical.

Un cambio en el nivel de excitabilidad de las vías centrales podría dar origen a un aumento en la comunicación entre hemisferios y por lo tanto podría afectar la semejanza funcional entre su EEG. Favale y cols. (1964) han encontrado cambios en la respuesta callosa cortical relacionados con el estado de vigilancia; la amplitud de la respuesta cortical provocada por la estimulación

de la rodilla del cuerpo calloso del gato es mayor durante el SL y disminuye al despertar, lo que podría estar de acuerdo con el aumento de correlación encontrado durante la etapa II, pero la respuesta cortical disminuye también al entrar a SP, mientras que la correlación aumenta. Por otro lado Berlucchi (1966) refiere resultados contrarios; él observó una disminución de la actividad del cuerpo calloso durante el sueño en general.

Además, el hecho de que el aumento de correlación observado durante el sueño haya ocurrido en prácticamente todas las derivaciones, así como en todas las bandas, conduce a pensar que se trata de la acción de un mecanismo general capaz de afectar la actividad eléctrica como un todo y no sólo la salida de los mecanismos específicos de cada ritmo y sugiere por lo tanto un mecanismo de origen subcortical. Como ya se mencionó el aumento de correlación durante el sueño se observó también en la rata y con una proporción mayor que en el hombre, a pesar de tener menor abundancia de conexiones interhemisféricas; esto conduce también a pensar que la corteza quedara bajo influencias subcorticales durante el sueño.

La existencia de un mecanismo con tal capacidad es necesaria también para explicar el aumento de la correlación entre los disparos unitarios observada por Moiseeva (1979) y que ocurrió no solo entre estructuras corticales sino también subcorticales.

Las estructuras del tallo cerebral que participan en el sueño, influyen de manera importante sobre la sincronización de las frecuencias dominantes en los dos hemisferios. En condiciones normales, la transición de un estado de vigilancia a otro ocurre simultáneamente en ambos hemisferios, sin embargo, después de la hemisección del tallo cerebral junto con una sección en la línea media, se retrasa la aparición de los patrones de EEG de la vigilia o del sueño en un hemisferio respecto del otro, dependiendo del nivel de la hemisección

(Rossi y cols., 1963). Sería posible que este mecanismo u otro similar de origen subcortical, no solo influyera sobre la salida de los generadores sincronizando la frecuencia de la actividad, sino que actuara también sobre el acoplamiento temporal.

La frecuencia del ritmo theta hipocámpico, por ejemplo, se incrementa con los fenómenos motores fásicos del SP, tales como los MOR y las contracciones musculares (sakai y cols., 1973), que a su vez están temporalmente relacionados entre sí (Cespuglio y cols., 1977) y guarda una relación de fase particular con el inicio de los MOR y de la actividad PGO, como si la activación proveniente de los generadores de estos fenómenos sincronizara la actividad de esta estructura y reiniciara su fase (Lerma y García Austt, 1985), de una manera similar a lo que ocurre durante la vigilia; la estimulación de las aferencias al hipocampo como la corteza entorrinal, la formación reticular mesencefálica o el núcleo medial del septum (Buño y cols., 1978), así como el inicio de una conducta motora como presionar una palanca (Buño y VBelutti, 1977) también reinician la fase de una onda theta en el hipocampo. Posiblemente existan mecanismos similares que actúen sobre ambos hemisferios.

Al comparar los niveles de correlación interhemisférica entre las diferentes derivaciones registradas en el hombre, se observó que fue menor en la corteza temporal. Estos resultados están de acuerdo con los reportados por otros autores (Harmony y cols., 1973; Beaumont y cols., 1978; Dumermuth y Lehmann, 1981; Corsi-Cabrera y cols., 1988).

Se han dado dos explicaciones a las diferencias entre derivaciones; una contempla la distancia entre electrodos, sin embargo nosotros encontramos diferente nivel de correlación entre C3-C4 y P3-P4 y en ambos casos los electrodos tienen la misma distancia entre sí. La otra, atribuye el grado de

correlación al grado de conexiones transcallosas y a las características funcionales intrínsecas de cada población neuronal, tales como ser áreas primarias de recepción o secundarias y de asociación. En nuestro caso se encontró mayor correlación en las zonas más cercanas a las áreas secundarias como la corteza parietal y menor en zonas primarias como la corteza temporal, probablemente por estar ésta última más directamente relacionada con la entrada sensorial y el lenguaje.

Como se planteó en la introducción, uno de los objetivos del experimento III fue investigar si el aumento en la CORINTER durante la EII y el SP es un epifenómeno más del sueño sin consecuencias sobre la vigilia posterior o si por el contrario tiene efectos sobre la semejanza funcional interhemisférica de la vigilia subsecuente.

Los resultados obtenidos muestran que el hecho de dormir o no dormir afecta la correlación interhemisférica de la vigilia subsecuente. Después de haber dormido se observó un aumento en la CORINTER que fue significativo en todas las bandas y en todas las derivaciones a excepción de la corteza occipital y de la bandas alfa y theta en temporal.

El efecto del sueño sobre la CORINTER fue mucho más notorio sobre las cortezas central y parietal y más pequeño sobre la corteza temporal. En la corteza occipital no se observó ningún efecto significativo.

La privación total de sueño mostró un efecto menos consistente sobre la CORINTER. En primer lugar, el número de cambios significativos fue bajo y en segundo lugar los cambios fueron opuestos en las derivaciones y bandas. En la banda beta en central, ésta fue significativamente menor que en la noche previa; en la banda alfa no se observó ningún cambio y en las bandas theta y delta la CORINTER fue más elevada que por la noche, en ambas bandas en temporal y en delta en central y parietal.

Sin embargo, la comparación entre las dos condiciones, S y P, mostró que después de dormir la CORINTER es significativamente más elevada que después de la privación en central en todas las bandas y en parietal en beta, alfa y delta. Solamente en temporal fue significativamente mayor después de la privación para las bandas theta y delta. De tal forma que, con excepción de la corteza temporal, pareciera que la privación de sueño hubiera cancelado parcialmente el efecto del dormir.

El efecto más leve de la privación de sueño sobre la CORINTER, en comparación con el efecto del sueño, podría deberse a la duración del periodo de privación que fue solamente de más o menos 38 horas; existe la posibilidad de que con un periodo de privación más prolongado el efecto sea mucho mayor, como ocurre con otros parámetros del EEG (Naitoh y cols., 1969; 1971). También podría influir, el que la CORINTER normalmente es baja, particularmente en la corteza temporal, lo que impone un límite al efecto; finalmente podría también deberse a un efecto circadiano, es decir, es posible que en condiciones normales la CORINTER sea más elevada por la mañana que por la noche y que la privación de sueño solamente logre contrarrestar el efecto circadiano. Sin embargo, ninguna de estas suposiciones puede aclararse con el experimento actual y se requieren investigaciones futuras para poder llegar a alguna conclusión.

El hecho de que los efectos del sueño se hayan observado sobre todas las derivaciones y en todas las bandas, sugiere como en el caso del aumento durante el sueño, la participación de un mecanismo general capaz de afectar a todo el espectro del EEG y no solo a alguna de sus bandas. Lo mismo puede decirse del efecto general sobre la corteza, aunque algunas derivaciones mostraron cambios más aparentes que otras.

De acuerdo con los resultados obtenidos en otras investigaciones, el aumento en la CORINTER podría considerarse como un índice de un mejor funcionamiento cerebral (Grindel, 1982) y el aumento observado, tanto durante el sueño, como después de haber dormido, podría ser relevante para los procesos plásticos del sistema nervioso al proporcionar mejores condiciones para el intercambio de información entre ambos hemisferios.

La condición de recuperación (R) se registró con el objeto de observar si los efectos de la privación de sueño permanecían, si se observaba un rebote o si se regresaba a las condiciones normales. Los valores de la CORINTER en la R fueron similares a los observados después de haber dormido, es decir, mayores que la noche previa; sin embargo, en algunas derivaciones y bandas se observaron valores mayores que en S.

Esta exageración podría interpretarse como un rebote provocado por la privación de sueño, sin embargo esta explicación no parece totalmente satisfactoria ya que el efecto de la privación de sueño fue muy leve como para provocar un rebote tan exagerado, en segundo lugar el periodo de privación fue de una noche, mientras que el periodo de recuperación permitido fue de dos noches y en otras investigaciones se ha observado que la disminución de alfa se recupera después de la primera noche de sueño o de la segunda, cuando la privación ha sido mayor de 48 horas (Naitoh y cols., 1969; 1971).

Otra explicación posible para este efecto, que deberá ser sometida a investigación, es que todos los registros de recuperación, salvo uno, se realizaron el lunes, es decir, después de un fin de semana y probablemente se trate de un efecto provocado por "el fin de semana" ya sea por el descanso, o por el cambio de actividades.

Numerosas investigaciones se han dedicado a encontrar índices de la calidad y eficiencia del sueño y el aumento en la CORINTER después de haber

dormido, podría incluirse junto con otros parámetros como indicadores de la calidad del sueño.

## BIBLIOGRAFIA

- Andreassi, J.L., Okamura, H., y Stern, M. Hemispheric asymmetries in the visual cortical evoked potentials as a function of stimulus location. *Psychophysiol.*, 1975, 12:541-546.
- Antrobus, J. Cortical hemisphere asymmetry and sleep mentation. *Psychol. Rev.*, 1984, 94:359-368.
- Antrobus, J., Ehrlichman, H. y Weiner, M. EEG asymmetry during REM and NREM: failure to replicate. *Sleep Res.*, 1978, 7:24.
- Antrobus, J.S., Rich, K., Pass, R., Nelson, W y Sanders, k. Multiple linear regression on mentation reports of REM/NREM sleep. *Sleep Res.*, 1973, 2:104.
- Armington, J.C. y Mitnick, L.L. Electroencephalogram and sleep deprivation. *J. Appl. Physiol.*, 1959, 14:247-250.
- Bakan, P. Dreaming, REM sleep and the right hemisphere. *Sleep res.*, 1975, 4:23.
- Baldissera, F., Broggi, G. y Mancía, M. Spinal reflexes in normal unrestrained cats during sleep and wakefulness. *Experientia*, 1964, 20:577.
- Banquet, J.P. Inter and intrahemispheric relationships of the EEG activity during sleep in man. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, 1983, 55:51-59.
- Beaumont, J.G., Mayes, A.R. y Rugg, M.D. Asymmetry in EEG alpha coherence and power: effects of task and sex. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, 1978, 45:393-401.
- Beaumont, J.G. y Rugg, M.D. The specificity of intrahemispheric EEG alpha coherence asymmetry related to psychological tasks. *Biol. Psychol.*, 1979, 9: 237-248.
- Benoit, O. y Bloch, V. Seuil d'excitabilité réticulaire et sommeil profond chez le chat. *J. Physiol.*, 1960, 52:17-18.
- Berkhout, J. y Walker, D.O. Dimensions of volitional control over interhemispheric coherence of the EEG. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, 1980, 49:12P.

- Berlucchi, G. Electroencephalographic studies in "split brain" cats. EEG. Clin. Neurophysiol., 1966, 20:348-356.
- Bertini, M., Violani, C., Zoccolotti, P., Antonelli, A. y Di Stefano, L. Right cerebral activation in REM sleep: evidence from a unilateral tactile recognition test. Psychophysiology, 1984, 21:418-423.
- Bloch, V. L'activation cerebral et la fixation mnesique. Arch. Ital. Biol., 1974, 111:577-590.
- Bogen, J.E. The other side of the brain. I. Dysgraphia and dyscopia following cerebral commissurotomy. Bull. Angeles Neurol. Soc., 1969, 34:73-105.
- Borbély, A.A., Bauman, F., Brandeis, D., Strauch, I. y Lehmann, D. Sleep deprivation: effect on sleep stages and EEG power density in man. EEG. Clin. Neurophysiol., 1981, 51:483-493.
- Borbély, A.A. y Tobler, I. The search for an endogenous "sleep substance". Trends Pharmacol. Sci., 1980, 1:356-358.
- Buchsbaum, M.S., Mendelson, W.B., Duncan, W.C., Coppola, Kelsoe, J. y Gillin, J.C. Topographic cortical mapping of EEG sleep stages during day time naps in normal subjects. Sleep, 1982, 5: 248-255.
- Buño, Jr. W. y Velutti, J.C. Relationships of hippocampal theta cycles with bar pressing during self-stimulation. Physiol. Behav., 1977,19:615-621.
- Buño, Jr. W., garcía-Sánchez, J.L. y García-Austt, E. Reset of hippocampal rhythmical activities by afferent stimulation. Brain Res. Bull., 1978,3:21-28.
- Busk, J. y Galbraith, G.C. EEG correlates of visual-motor practice in man. EEG. Clin. Neurophysiol., 1975, 38:415-422.
- Butler, S.R. y Glass, A. Asymmetries in the electroencephalogram associated with cerebral dominance. EEG. Clin. Neurophysiol., 1974,36:481-491.

- Calvo, J.M. y Fernández-Guardiola, A. Phasic activity of the basolateral amygdala, cingulate gyrus and hippocampus during REM sleep in the cat. *Sleep*, 1984, 7:202-210.
- Cespuglio, R., Calvo, J.M., Musolino, R. y Valatx, J.L. L'activité phasique chez le rat. *Physiol. Behav.*, 1977, 19:589-596.
- Clusin, W.T. y Giannitrapani, D. EEG and the short term retention of digits. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, 1970, 28:418.
- Corsi-Cabrera, M. "Psicofisiología del Sueño". Trillas, México, 1983.
- Corsi-Cabrera, M. "Efecto de la entrada visual invertida sobre el contenido onírico del sueño paradójico". Tesis de Maestría en Psicobiología, UNAM, 1984.
- Corsi-Cabrera, M., Becker, J., García, G., Ibarra, R., Morales, M., Souza, M. Dream content after using visual inverting prisms. *Perceptual Motor Skills*, 1986, 63:415-423.
- Corsi-Cabrera, M., Blázquez, N., Galarraga, E., Signoret, L. y Valle, P. Effect of light deprivation on sleep in the rat. *Physiol. Behav.*, 1982, 28:437-440.
- Corsi-Cabrera, M., González, R. y Molina, E. Correlación interhemisférica y acoplamiento temporal de la actividad eléctrica durante la vigilia, el sueño lento y el sueño paradójico en la rata. *Revista Mexicana de Psicología*, 1988, 5:15-21.
- Corsi-Cabrera, M., Gutiérrez, S., Ramos, J. y Arce, C. Interhemispheric correlation of EEG activity during successful and unsuccessful cognitive performance. *Intern. J. Neuroscience*, 1988, 38:253-259.
- Corsi-Cabrera, M., Herrera, M. y Malvido, M. Correlation between EEG and cognitive abilities: sex differences. *Inter. J. Neuroscience*, 1989, en prensa.
- Corsi-Cabrera, M., Meneses, S. y Molina, E. Correlación interhemisférica y acoplamiento temporal de la actividad eléctrica cortical durante la vigilia, la

etapa II y el sueño paradójico en el hombre. *Revista Mexicana de Psicología*, 1987, 4: 100-108.

Corsi-Cabrera, M., Ramos, J. y Meneses, S. Effect of normal sleep and sleep deprivation on interhemispheric correlation during subsequent wakefulness. *Electroenceph. Clin. neurophysiol.*, 1989, en prensa.

Coté, J., Montplaisir, M., Laverdiere, M y Saint-Hilaire, J.M. Dream recall before and after partial commissurotomy. 7Th European Sleep Congress, Munich, 1984, 70.

Dagnino, N., Favale, E., Loeb, C. y Manfredi, N. Sensory transmission in the geniculostriate system of the cat during natural sleep and arousal. *J. Neurophysiol.*, 1965, 28:443-456.

Dement, W.C. The biological rol of REM sleep. En: "Sleep Physiology and Pathology". Kales, A. (Ed), Lippincott, Co., Filadelfia, 1969.

Dimond, S.J. y Beaumont, J.G. (Eds) "Hemisphere function in the human brain". Elek Science, Londres, 1974.

Donchin, E., Kutas, M. y McCarthy, G. Electrocortical indices of hemispheric utilization. En: "Lateralization in the nervous system". Harnad, S.R., Doty, R.W., Etevenon, P. y Gianella, F. Waking and sleeping states in the rat from an EEG data analysis point of view. *Waking and Sleeping*, 1980, 4:33-45.

Goldstein, L., Haynes, J. y Krauthamer, G. (Eds), Academic Press, Nueva York, 1977.

Drucker-Colfn, R. y Spanis, C.W. Neurohormonal correlates of sleep: increase of proteins during rapid eye movement sleep. *Experientia*, 1975, 31:551-552.

Drucker-Colfn, R., Spanis, C.W., Cotman, C.W. y McGaugh, J.L. Changes in protein levels in perfusates of freely moving cats: relation to behavioral state. *Science*, 1975, 187:963-965.

Dumermuth, G., y Lehmann, D. EEG power and coherence during non-REM and REM phases in humans in all-night sleep analyses. *Eur. Neurol.*, 1981, 20:429-434.

Dumermuth, G., Walz, W., Scollo-Lavizzari, G., y Kleiner, B. Spectral analysis of EEG activity in different sleep stages in normal adults. *Eur. Neurol.*, 1972, 7:265-296.

Ehrlichman, H., Antrobus, J.S. y Wiener, M.S. EEG asymmetry and sleep mentation during REM and NREM. *Brain and Cognition*, 1985, 4:477-485.

Evarts, E.V. Activity of neurons in the visual cortex of the cat during sleep with low voltage fast activity. *J. Neurophysiol.*, 1962, 25:812-826.

Favale, E., Loeb, C., Manfredi, M. Modification of calloso-cortical response by sleep. *Arch. Int. Physiol. Bioch.*, 1964, 72:863-870.

Fishbein, W. Disruptive effects of rapid eye movement sleep deprivation on long-term memory. *Physiol. Behav.*, 1971, 6:279-282.

Fishbein, W y Gutwein, B.M. Paradoxical sleep and memory storage processes. *Behav. Biol.*, 1977, 19:425-464.

Fishbein, W., McGaugh, J.L. y Shwarz, J.R. Retrograde amnesia: electroconvulsive shock effects after termination of rapid eye movement sleep deprivation. *Science*, 1971, 172:80-82.

Fisher, C., Gross, J., y Zuch, J. Cycle of penile erections synchronous with dreaming (REM) sleep. *Archs. Gen. Psychiat.*, 1965, 12:29-45.

Flor-Henry, P. y Koles, Z.J. Studies on depression, mania and normals: evidence for partial shifts of laterality in the affective psychoses. *Advanc. Biol. Psychiat.*, 1980, 4:21-43.

Foulkes, W.D. Dream reports from different stages of sleep. *J. Abnorm. Soc. Psychol.*, 1962, 65:14-25.

Foulkes, W.D. "The Psychology of Sleep". Scribner, Nueva York, 1966.

- Ford, M.R., Goethe, J.W. y Dekker, D.K. EEG coherence and power changes during a continuous movement task. *Int. J. Psychophysiol.*, 1986, 4:99-110.
- French, Ch.C. y Beaumont, J.G. A critical review of EEG coherence studies of hemispheric function. *Int. J. Psychophysiol.*, 1984, 1:241-254.
- Galliard, J.M. y Laurian, P.L. EEG asymmetry during sleep. *Neuropsychobiol.*, 1984, 11:224-226.
- Galin, D. Implications for psychiatry of left and right cerebral specialization. *Archs. Gen. Psychiat.*, 1974, 31:572-583.
- Galin, D. y Ornstein, R. Lateral specialization of cognitive mode: an EEG study. *Psychophysiology*, 1972, 9:412-418.
- Gazzaniga, M.S. y Sperry, M.W. Language after section of the cerebral commissures. *Brain*, 1967, 90:131-148.
- Gevins, A.S., Zeitlin, G.M., Yingling, C.D., Doyle, J.C., Dedon, M.F., Schaffer, R.E. y Yeager, C.L. Patterns during "cognitive" tasks. I. Methodology and analysis of complex behaviors. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, 1979, 47:693-703.
- Giannitrapani, D. The coherence of the EEG in normal and schizophrenic subjects. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, 1980, 49:108P.
- Gillberg, M. y Akerstedt, T. Changes in FFT spectral parameters with graded sleep loss. *Sleep Res.*, 1987, 16:523.
- Goldstein, L., Stolfus, N.W. y Gardocki, J.F. Changes in interhemispheric amplitude relationships in the EEG during sleep. *Physiol. Behav.*, 1972, 8:811-815.
- Gordon, H.W., Frooman, B. y Lavie, P. Shift in cognitive asymmetries between wakings from REM and NREM sleep. *Neuropsychologia*, 1982, 20: 99-103.
- Gott, P.S. y Boyarsky, L.L. The relation of cerebral dominance and handedness to visual evoked potentials. *J. Neurobiol.*, 1972, 3:65-77.

Grinberg-Zylberbaum, J. y Ramos, J. Patterns of interhemispheric correlation during human communication. *Int. J. Neurosci.*, 1987, 36:41-54.

Grindel, O.M. Optimal level of EEG coherence and its role in evaluation of the state of human brain functions. *Neuroscience Behav. Physiol.*, 1982, 12:199-205.

Harmony, T., Otero, G., Ricardo, J. y Fernández, G. Polarity coincidence correlation coefficient and signal energy ratio of the ongoing EEG activity. I Normative data. *Brain Res.*, 1973, 61:133-140.

Harnad, S.R. y Doty, R.W. Introductory overview. En "Lateralization in the Nervous System". H. R. Harnad, R.W. Doty, L. Goldstein, J. Jaynes, G. Krauthamer, (Eds) Academic Press, Nueva York, 1977, Pags. 1-47.

Hennevin, E., Leconte, P. y Bloch, V. Augmentation du sommeil paradoxal provoquée par l'acquisition, l'extinction et la réacquisition d'un apprentissage a renforcement positif. *Brain Res.*, 1974, 70:43-54.

Herman, J., Rampy, P., Hirschkowitz, M., Tharpe, G., Bliss, K., y Roffwarg, H. EEG asymmetry during REM sleep, waking imagery and mentation. *Sleep Res.*, 1987, 16:232.

Humphrey, M.E. y Zangwill, O.L. Cessation of dreaming after brain injury. *J. Neurol.*, 1951, 14:322-325.

Huttenlocher, P.R. Effects of state of arousal on click responses in the mesencephalic reticular formation. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, 1960, 12:819-827.

Jeannerod, M., Mouret, J. y Jouvet, M. Etude de la motricité oculaire au cours de la phase paradoxal de sommeil chez le chat. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, 1965, 18:554-566.

Johnson, L.C. Are stages of sleep related to waking behavior? *Amer. Sci.*, 1973, 61:326-338.

Johnson, L.C., Siye, E.S. y Dement, W.C. Electroencephalographic and autonomic activity during and after prolonged sleep deprivation. *Psychosom. Med.*, 1965, 27:415-423.

Jouvet, M. y Michel, F. Corrélations electromyographiques du sommeil chez le chat décortiqué et mésencéphalique chronique. *C. R. Soc. Biol.*, 1959, 153:422-425.

Jouvet, D., Vimont, P., Delorme, F y Jouvet, M. Etude de la privation sélective de la phase paradoxal de sommeil chez le chat. *C. R. Soc. Biol.*, 1964, 158:756-.

Jouvet, M. Recherches sur les structures nerveuses et les mecanismes responsables des differents phases du sommeil physiologique. *Arch. Ital. Biol.*, 1962, 100:125-206.

Jouvet, M. Le sommeil paradoxal est-il responsable d'une programmation genetique du cerveau?. *C.R. Soc. Biol.*, 1978, 172:9-32.

Jouvet, M. y Michel, F. Correlations electromyographiques du sommeil chez le chat decortiqué et mesencephalique chronique. *C. R. Soc. Biol.*, 1959, 153:422-425.

Kaplan, F.F., Glueck, B.C., Hesselbrock, M.N. y Reed, H.B.C.Jr. Power and coherence analysis of the EEG in hospitalized alcoholics and nonalcoholic controls. *J. Stud. Alcohol*, 1985, 46:122-127.

Karakan, I., Goodenough, D. R., Shapiro, A. y Starker, S. Ereccion cycle during sleep in relation to dream anxiety. *Archs. Gen. Psychiat.*, 1966, 15:183-189.

Kimura, D. Cerebral dominance and the perception of verbal stimuli. *Can. J. Psychol.*, 1961, 15:166-171.

Kimura, D. Dual functional asymmetry of the brain in visual perception. *Neuropsychologia*, 1966,4:275-285.

Kimura, D. Functional asymmetry of the brain in dichotic listening. *Cortex*, 1967, 3:168-178.

Leconte, P. y Bloch, V. Deficit de la retention d'un conditionnement apres privation de sommeil paradoxal chez le rat. C.R. Acad. Sci. Paris, 1970, 271:226-229.

Leconte, P., Hennevin, E. y Bloch, V. Analyses des effets d'un apprentissage et de son niveau d'acquisition sur le sommeil paradoxal consecutive. Brain Res., 1973, 49:367-379.

Leisman, G., Ashkenazi, M. Aetiological factors in dyslexia. IV. cerebral hemispheres are functionally equivalent. Neuroscience, 1980, 11:157-184.

Lerma, J. y Garcia-Austt, E. Hippocampal theta rhythm during paradoxical sleep. Effects of afferent stimuli and phase relationships with phasic events. Electroenceph. Clin. neurophysiol., 1985, 60:46-54.

Levine, P.H. Herbert, J.R., Haynes, C.T. y Strobel, U. EEG coherence during the Transcendental Meditation technique. en: "Scientific Research on the Transcendental Meditation Program. Collected papers, Vol, I". Orme-Johnson, D.W. y Farrow, J.T. (Eds) Maharishi European Research University Press, Rheinweile, 1977.

Malmö, R.B. y Surwillo, W.W. Sleep deprivation: change in performance and physiological indicants of activation. Psychol. Monogr., 1960, 74:24P.

Marchiafava, P.L. y Pompelano, O. Pyramidal influences on spinal cord during desynchronized sleep. Arch. Ital. Biol. 1964, 102: 500-529.

McGaugh, J.L. y Pettrinovich, L. Effects of drugs on learning and memory. Int. Rev. Neurobiol., 1965, 8:139-191.

Michel, R., Jeannerod, H., Mouret, J., Rechtschaffen, A. y Jouvet, M. Sur les mecanismes de l'activité de pointes au niveau du system visuel au cours de la phase paradoxal du sommeil. C. R. Soc. Biol., 1964, 158:103-106.

Moiseeva, N.I. The significance of different sleep stages for the regulation of electrical brain activity in man. EEG. Clin. Neurophysiol., 1979, 46:371-381.

Monmaur, P., Houcine, O., y Delacour, J. Experimental dissociation between wakefulness and paradoxical sleep hippocampal theta. *Physiol. Behav.*, 1979, 23:471-479.

Monroe, L.J., Rechtschaffen, A., Foulkes, D. y Jensen, J. Discriminability of REM and NREM reports. *J. Personality Soc. Psychol.*, 1965, 2:456-460.

Moruzzi, G. The functional significance of sleep with particular regard to the brain mechanisms underlying consciousness. En "Brain and Conscious Experience" (Ed) J.C. Eccles, Springer Verlag, Berlín, 1966.

Murri, L., Stefanini, A., Navona, C., Domenici, L., Muratorio, A. y Goldstein, L. Automatic analysis of the hemispheric EEG relationships during wakefulness and sleep. *Res. Commun. Psychol. Psychiat. Behav.*, 1982, 7:109-118.

Naitoh, P., Kales, A., Kollar, E.J., Smith, J.C. y Jacobson, A. Electroencephalographic activity after prolonged sleep loss. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, 1969, 27:2-11.

Naitoh, P., Pasnau, R.O. y Kollar, E.J. Psychophysiological changes after prolonged deprivation of sleep. *Biol. Psychiat.*, 1971, 3:309-320.

Nakazawa, Y., Kotorii, M., Oshima, M., Kotorii, T. y Hazuzawa, H. Changes in sleep patterns after sleep deprivation. *Folia Psychiat. Neurol. Jap.*, 1978, 32: 85-93.

Nebes, R.D. Right hemisphere specialization in commissurotomized man. *Psychol. Bull.*, 1974, 81:1-14.

O'Connor, K.P. y Shaw J.C. Field dependence, laterality and the EEG. *Biol. Psychol.*, 1978, 6:93-109.

O'Connor, K.P. y Shaw, J.C. Comment on Zoccolotti's "Field dependence, laterality and the EEG: a reanalysis of O'Connor and Shaw". *Biol. Psychol.*, 1982, 15:209-213.

- O'Connor, K.P., Shaw, J.C. y Ongley, C.O. The EEG and differential diagnosis in psychogeriatrics. *Brit. J. Psychiat.*, 1979, 135:156-162.
- Orme-Johnson, D.W. y Haynes, C.T. EEG phase coherence, pure consciousness, creativity and TM-Sidhi experiences. *Int. J. Neurosci.*, 1981, 13:211-218.
- Oswald, I., Taylor, A.M. y Treisman, M. Discriminative responses to stimulation during sleep. *Brain*, 1960, 83:440-453.
- Pearlman, Ch. A. Latent learning impaired by REM sleep deprivation. *Psychonom. Sci.*, 1971, 25: 135-136.
- Pessah, M. y Roffwarg, H. Spontaneous middle ear muscle activity in man: a rapid eye movement sleep phenomena. *Science*, 1972, 178:773-775.
- Rechtschaffen, A. y Kales, A. (Eds) "A Manual of Standardized Terminology Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects". Brain Information Service, Brain Research Institute, Los Angeles, 1968.
- Rechtschaffen, A., Molinari, S., Watson, R. y Wincor, M. Extraocular potentials: a possible indicator of PGO activity in the human. *Psychophysiol.*, 1970, 7:336.
- Rosekind, M.R., Coates, T.J. y Zarcone, V.P. Lateral dominance during wakefulness, NREM stage 2 sleep and REM sleep. *Sleep Res.*, 1979, 8:36.
- Rosenberg, R.S., Bergmann, B.M. y Rechtschaffen, A. Variations in slow wave activity during sleep in the rat. *Psychol. Behav.*, 1969, 17:931-938.
- Rossi, G.F., Minobe, K. y Candia, O. An experimental study of the hypnogenic mechanisms of the brain stem. *Arch. Ital. Biol.*, 1963, 101: 470-492.
- Sakai, K., Sano, K. e Iwahara, S. Eye movements and the hippocampal theta activity in cats. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 1973, 34:547-549.
- Seylaz, J., Mamo, H., Goas, J.Y., MacLeod, P., Caron, J.P. y Houdart, R. Local cortical blood flow during paradoxical sleep in man. *Arch. Ital. Biol.*, 1971, 109:1-14.

Shaw, J.C. Correlation and coherence analysis of the EEG: a selective tutorial review. *Int. J. Psychophysiol.*, 1984, 1:255-266.

Shaw, J.C., Brooks, S., Colter, N. y O'Connor, K.P. A comparison of schizophrenic and neurotic patients using EEG power and coherence spectra. En: "Hemispheric asymmetries of function in Psychopathology" (Ed) Gruzeler, J. y Flor-Henry, P. Elsevier, North Holland Biomedical Press, Amsterdam, 1979.

Shaw, J.C., O'Connor, K.P. y Ongley, C. The EEG as a measure of cerebral functional organization. *Brit. J. Psychiat.*, 1977, 130:260-264.

Smith, C., Kitahama, K., Valatx, J.L. y Jouvet, M. Increased paradoxical sleep in mice during acquisition of a shock avoidance task. *Brain Res.*, 1974, 77:221-230.

Sklar, B., Hanley, J. y Simmons, W.W. An EEG experiment aimed toward identifying dyslexic children. *Nature*, 1972, 240:414-416.

Solodkin, M., Cardona, A. y Corsi-Cabrera, M. Paradoxical sleep augmentation after imprinting in the domestic chick. *Physiol. Behav.*, 1985, 35:343-348.

Sperry, R.W., Stamm, J.S. y Miner, N. Relearning tests for interocular transfer following division of optic chiasma and corpus callosum in cats. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 1956, 49:529-533.

Steinfels, G.F., Young, G.A. y Khazan, N. Diurnal variation in REM and NREM sleep EEG power spectra in the rat. *Brain Res.*, 1980, 181:425-432.

Takahashi, Y., Ebihara, S., Nakamura, Y. y Takahashi, K. Temporal distributions of delta wave sleep and REM sleep during recovery sleep after 12-h forced wakefulness in dogs; similarity to human sleep. *Neurosci. Lett.*, 1978, 10:329-334.

Townsend, R.E., Prinz, P.N. y Obrist, W.D. Human cerebral blood flow during sleep and waking. *J. Appl. Physiol.*, 1973, 35:620-625.

ESTA TESIS FUE DEPOSITADA  
EN LA BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD

Tyler, D.B., Goodman, J. y Rothman, T. The effect of experimental insomnia on the rate of potential changes in the brain. *Amer. J. Physiol.*, 1947, 149:185-193.

Ursin, R. Differential effect of sleep deprivation on the two slow wave sleep stages in the cat. *Acta Physiol. Scand.*, 1971, 83:352-361.

Vanderwolf, C.H. Hippocampal activation in relation to behavior: effects of atropine, eserine, phenotiazines, and amphetamine. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 1975, 88:300-323.

Weller, M. y Montagu, J.D. EEG coherence in schizophrenia: a preliminary study. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, 1980, 49:636-645.

Wilkinson, R.T. Sleep deprivation. En: "The Physiology of Human Survival". Edholm, O.G. y Bacharach, A.L. (Eds) Academic Press, Nueva York, 1965, 399-430.

Williams, H.L., Granada, A.M. Jones, R.C., Lubin, A. y Armington, J.C. EEG frequency and finger pulse volume predictors of reaction time during sleep loss. *EEG. Clin. Neurophysiol.*, 1962, 14:64-70.

Young, G.A., Steinfels, G.F. y Khazan, N. Cortical EEG power spectra associated with Sleep-awake behavior in the rat. *Pharmacol. Biochem. Behav.*, 1978, 8:89-91.

Zung, W.H.K. y Wilson, W.P. Response to auditory stimulation during sleep. *Arch. Gen. Psychiat.*, 1961, 4:548-552.

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

<b>C.</b>	Corteza central
<b>CORINTER.</b>	Correlación interhemisférica.
<b>EEG.</b>	Actividad electroencefalográfica.
<b>EII.</b>	Etapas II del sueño lento.
<b>O.</b>	Corteza occipital.
<b>P.</b>	Corteza parietal, en las figuras.
<b>P.</b>	Registro tomado la mañana después de la privación de sueño.
<b>PM.</b>	Promedio de los registros tomados por la noche.
<b>PMP.</b>	Registro tomado la noche antes de la privación de sueño.
<b>PMS.</b>	Registro tomado la noche antes de dormir (PMS+PMP).
<b>R.</b>	Registro tomado la mañana después de la recuperación.
<b>S.</b>	Registro tomado la mañana después de dormir.
<b>SL.</b>	Sueño lento.
<b>SP.</b>	Sueño paradójico.
<b>V.</b>	Vigilia.

## CORRELACION INTERHEMISFERICA Y ACOPLAMIENTO TEMPORAL DE LA ACTIVIDAD ELECTRICA DURANTE LA VIGILIA Y EL SUEÑO EN LA RATA

### RESUMEN

Se registró la actividad electroencefalográfica de la corteza parietal izquierda y derecha de siete ratas adultas Wistar durante el sueño espontáneo. Se analizó la potencia relativa, la correlación interhemisférica y el acoplamiento temporal (número de cambios simultáneos) de muestras de 20.48 seg. de duración tomadas de la vigilia, el sueño lento y el sueño paradójico. No se encontraron diferencias interhemisféricas significativas en la potencia de ninguna de las bandas. La diferencia significativa en la actividad EEG entre etapas fue dada por las bandas theta y delta: theta mostró mayor y delta menor potencia relativa durante el sueño paradójico y delta mostró mayor y theta menor potencia relativa durante el sueño lento. La correlación interhemisférica fue significativamente mayor durante el sueño lento y el sueño paradójico que durante la vigilia, lo mismo que el acoplamiento temporal, aunque éste último no alcanzó el nivel de significancia, indicando una mayor relación funcional entre los hemisferios durante el sueño.

### INTRODUCCION

La coherencia o semejanza entre dos señales electroencefalográficas (EEG), determinada por medio de técnicas como la función de coherencia o la correlación, es un índice frecuentemente empleado para estudiar las relaciones funcionales entre dos regiones cerebrales y puede aplicarse al estudio de la especialización hemisférica (Shaw, O'Connor y Ongley, 1977). Para explicar el mayor o menor grado de coherencia o semejanza entre dos señales se han sugerido varias posibilidades; algunas de ellas pasivas, como la distancia o las conexiones anatómicas entre las dos zonas de registro.

Sin embargo, si sólo la distancia o las conexiones anatómicas fueron las responsables del grado de semejanza entre dos señales, no debería de haber variaciones de un estado a otro, y se han encontrado variaciones importantes en la coherencia interhemisférica en el hombre, tanto durante la solución de tareas cognitivas (Beaumont Mayes y Rugg, 1978) como entre la vigilia y el sueño: Banquet (1963) encontró mayor coherencia interhemisférica en la vigilia, pero otros estudios han encontrado mayor coherencia durante el sueño (Dumermuth, Walz, Scollo-Levizzari y Kleiner, 1972; Dumermuth y Lehmann, 1981), así como también mayor correlación interhemisférica y mayor número de cambios simultáneos de polaridad (Corsi-Cabrera, Meneses y Molina, 1987); la correlación entre la actividad unitaria de varias estructuras corticales y su cortica-

les en el hombre, es también mayor durante el SP, en segundo lugar durante el SOL y menor durante la vigilia (Molassava, 1979).

El hecho de que el grado de acoplamiento o coherencia interhemisférica se modifique de un estado de vigilancia a otro, señala la contribución de factores de naturaleza funcional o activos y, de acuerdo con la hipótesis de la especialización hemisférica, el aumento de correlación y de acoplamiento interhemisférico durante el sueño podría atribuirse a una atenuación de las diferencias funcionales interhemisféricas (Corsi-Cabrera y cols.); si los dos hemisferios están realizando exactamente el mismo trabajo, el grado de semejanza en la actividad EEG debería de ser total y, por lo tanto, la correlación también, mientras que si están trabajando en forma independiente o procesando la información de manera distinta, la semejanza debería disminuir, lo mismo que la correlación. Por lo tanto, al aumentar la correlación en un estado particular podría pensarse que se debe a la desaparición o atenuación de dichas diferencias funcionales.

Si la correlación interhemisférica se ve afectada por el grado de especialización hemisférica, ésta debería ser mayor en especies en las que la diferenciación es más marcada que en el hombre y si el aumento de correlación interhemisférica durante el sueño se debiera a la atenuación de las diferencias funcionales interhemisféricas, el cambio de la vigilia al sueño debería desaparecer o ser menor al observado en el hombre, pudiendo esperarse el mismo grado de correlación

\* Laboratorio de Sueño, Departamento de Psicofisiología y Psicología General-Experimental, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México.

AGRADECIMIENTOS: los autores expresan su agradecimiento a la Unidad de Servicios y Apoyo a la Investigación y la Docencia de la Facultad de Psicología y a Miguel Ángel Guevara y Daniel Zarabozo por su colaboración técnica en el análisis computacional.

durante el sueño o un cambio mucho menor. Para probar esta hipótesis, se registró el EEG durante la vigilia, el sueño de ondas lentas (SOL) y el sueño paradójico (SP) en una especie con menor diferenciación interhemisférica como la rata, y se analizaron las diferencias interhemisféricas, la correlación interhemisférica y el número de cambios simultáneos de polaridad.

#### METODO

Se utilizó un total de siete ratas Wistar, adultas, con pesos entre 250 y 350 g., mantenidas bajo un horario de 16 horas de luz x 8 de oscuridad con el objeto de uniformar sus ciclos circadianos (Takeuchi, 1970).

Se registró monopolarmente la actividad eléctrica de la corteza parietal de cada hemisferio, referida a un electrodo colocado en el hueso frontal y la actividad electromiográfica (EMG) bipolarmente por medio de electrodos insertados en el músculo de la nuca. La implantación se realizó bajo anestesia con pentobarbital (40 mg/kg) siguiendo las técnicas estereotáxicas convencionales (Corsi-Cabrera y cols., 1974).

Los electrodos para el registro del EEG consistieron en placas de acero inoxidable colocados en el cráneo y en la superficie de la duramadre a 3, mm de la línea media y 3 mm posterior a bregma.

Después de por lo menos una semana de recuperación de la cirugía, se realizaron los registros en forma individual, para lo cual se trajo a la rata dentro de su propia vivienda a una cámara conoamortiguada. Las sesiones de registro se iniciaron al mediodía y se permitieron tres horas de adaptación al lugar antes de proceder al registro del sueño espontáneo, tiempo suficiente para que aparezca el sueño espontáneo en forma normal en esta especie.

Una vez adaptado la rata, se registró continuamente la actividad EEG y EMG durante el sueño espontáneo, en un polígrafo Beckman, RG11, filtrando la actividad EEG entre .5 y 30 Hz y se grabaron muestras de SP, SOL y vigilia en una grabadora FM para ser analizadas posteriormente fuera de línea. El SP se determinó por la presencia de ritmo theta, simultáneo a la desaparición del tono muscular y a la presencia de vibrisas. El SOL se identificó por la presencia de ondas lentas de alto voltaje acompañadas de un bajo tono muscular y la vigilia se definió por la desincronización del EEG y alto voltaje en el EMG.

El EEG se analizó en una computadora (PDP11/40, para lo cual se seleccionó una muestra de 20,48 seg. de duración de cada etapa, libre de artefactos y se digitalizó por medio de un convertidor analógico-digital de 12 bits, con una

frecuencia de muestreo de 100 mseg. Se obtuvieron tres parámetros:

1) por medio de la transformada rápida de Fourier se obtuvo la potencia y se calculó la potencia relativa de las bandas delta (1.5-3.5), theta (3.5-7.5), alfa (7.5-12) y beta (12-30 Hz); 2) la correlación interhemisférica para la banda total y para cada una de las bandas mencionadas y 3) el número de cambios simultáneos de polaridad (Corsi-Cabrera y cols. 1987). Por razones estadísticas, el número de cambios de polaridad se convirtieron a proporciones (número de cambios simultáneos de la misma polaridad/total de cambios de polaridad) y los valores de correlación se convirtieron a puntajes Z. Se utilizaron los siguientes análisis de varianza de dos factores para medidas repetidas: para la potencia relativa se tomó como variables las diferencias entre etapas y hemisferios y para la correlación y los cambios simultáneos de polaridad se tomaron, las diferencias entre etapas y bandas. Los efectos simples se probaron mediante la prueba de Tukey, aceptando un nivel de significancia de  $p < 0.005$ .

#### RESULTADOS

##### Correlación interhemisférica.

El análisis de varianza entre etapas y bandas mostró diferencias significativas en el grado de correlación interhemisférica, únicamente para la variable etapas ( $F(2,30) = 4.82$ ;  $p < 0.01$ ) y no para la variable bandas ( $F(3,30) = .31$ ;  $p > 0.05$ ). La interacción tampoco fue significativa. En general los valores de la correlación interhemisférica fueron muy bajos durante la vigilia y mostraron una gran variabilidad individual pero, a pesar de ésta, las diferencias entre etapas fueron significativas. Los valores más altos de correlación se observaron durante el SP y los más bajos durante la vigilia (ver Fig. 1). Las diferencias entre vigilia y el SOL y entre vigilia y SP fueron significativas en todas las bandas.

En el caso de los ritmos theta y beta, la correlación aumentó durante el SP hasta siete veces sobre los valores de la vigilia. Durante el SOL la correlación fue menor que durante el SP, pero varias veces mayor que durante la vigilia y las diferencias entre SOL y SP fueron significativas en todas las bandas. Aunque las diferencias entre bandas no fueron significativas se puede observar que la correlación fue menor para la banda de beta en todas las etapas y mayor para la de delta en SP y de alfa en SOL (ver Table 1).

##### Cambios simultáneos de polaridad.

El análisis de varianza de las diferencias en el número de cambios simultáneos de polaridad no mostró diferencias significativas entre etapas ( $F(2,30) = 2.32$ ;  $p > 0.05$ ) ni en-

**TABLA I**  
**MEDIA (X) Y DESVIACION ESTANDAR (SD) DE LA CORRELACION**  
**INTERHEMISFERICA DURANTE LA VIGILIA (V), EL SUEÑO LENTO (SOL) Y**  
**EL SUEÑO PARADOJICO (SP)**

		V	SOL	SP
BETA	$\bar{X}$	.03	.11	.21
	SD	.28	.38	.21
ALPHA	$\bar{X}$	.05	.21	.32
	SD	.48	.48	.48
THETA	$\bar{X}$	.05	.14	.38
	SD	.55	.50	.59
DELTA	$\bar{X}$	.08	.13	.28
	SD	.43	.57	.28

tre bandas ( $F(3,30) = 1.04; p > 0.05$ ) ni para la interacción. A pesar de la ausencia de diferencias significativas se puede observar que el número de cambios simultáneos fue considerablemente mayor en SP que en vigilia para las bandas beta y theta durante el SOL, para la banda de alfa (ver Fig. 2).

#### Potencia relativa

Los análisis de varianzas entre etapas y hemisferios mostraron diferencias significativas únicamente para la variable etapas en las bandas de theta y delta ( $F(2,30) = 9.91$  y  $14.06$  respectivamente;  $p < 0.01$  en ambos casos). La variable hemisferios no mostró diferencias significativas para ninguna de las bandas. En la Fig. 3 se puede observar cómo la potencia relativa de cada banda fue prácticamente igual en ambos hemisferios. En la misma figura se puede observar cómo los ritmos alfa y beta se mantuvieron prácticamente igual a lo largo de las etapas, mientras que los ritmos theta y delta variaron: durante el SP se puede observar mayor potencia relativa del ritmo theta y menor del delta y viceversa durante el SOL, mayor potencia relativa de delta y menor de theta. Las diferencias presentadas por los ritmos

theta y delta fueron significativas entre la vigilia y el SP y entre el SP y el SOL.

#### DISCUSION

La actividad EEG no mostró ninguna asimetría hemisférica en la corteza parietal de la rata; la comparación interhemisférica de la potencia relativa no sólo no mostró ninguna diferencia significativa, sino que en la gráfica puede observarse que no hubo prácticamente ninguna diferencia apreciable entre los dos hemisferios. Aunque no hay antecedentes de otros trabajos que exploren la asimetría hemisférica del EEG en la rata, los resultados de este experimento indican que por lo menos en condiciones de reposo la asimetría es inexistente y apoyan con datos electroencefalográficos la suposición de menor especialización hemisférica en la rata. Aunque claro está que antes de poder generalizar este resultado hay que considerar que las muestras de vigilia se tomaron en reposo y que sería posible que hubiera diferencias interhemisféricas durante la realización de alguna tarea.

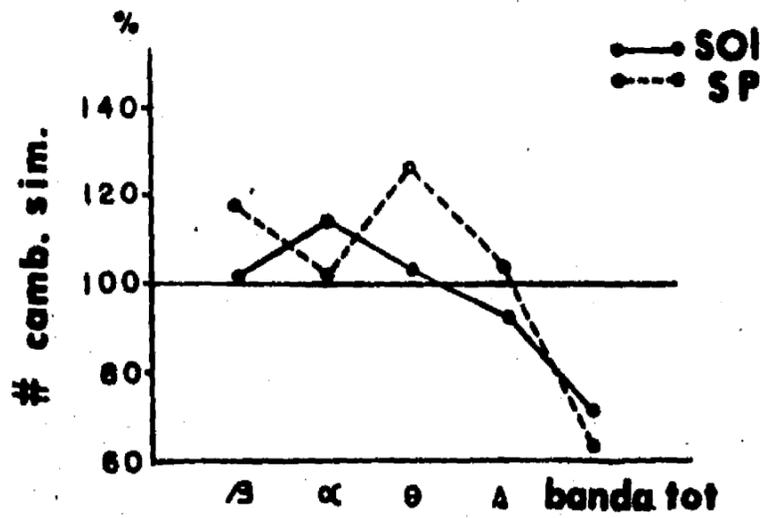


Fig. 1  
Aumento de la correlación interhemisférica relativo a los valores de la vigilia (100%) durante el sueño lento (SWS) y el sueño paradójico (PS) en las bandas de beta, alfa, theta, delta y la banda total.

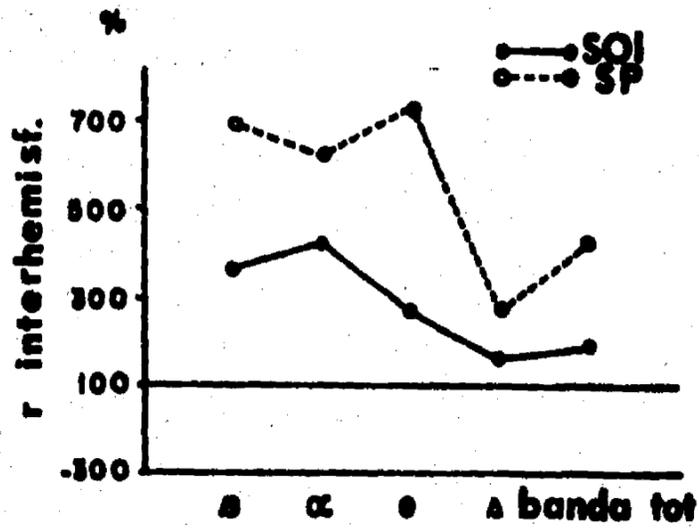


Fig. 2  
Aumento del número de cambios simultáneos de polaridad, relativo a los valores de la vigilia (100%) durante el sueño lento (SWS) y el sueño paradójico (PS) en las bandas beta, alfa, theta y delta y la banda total.

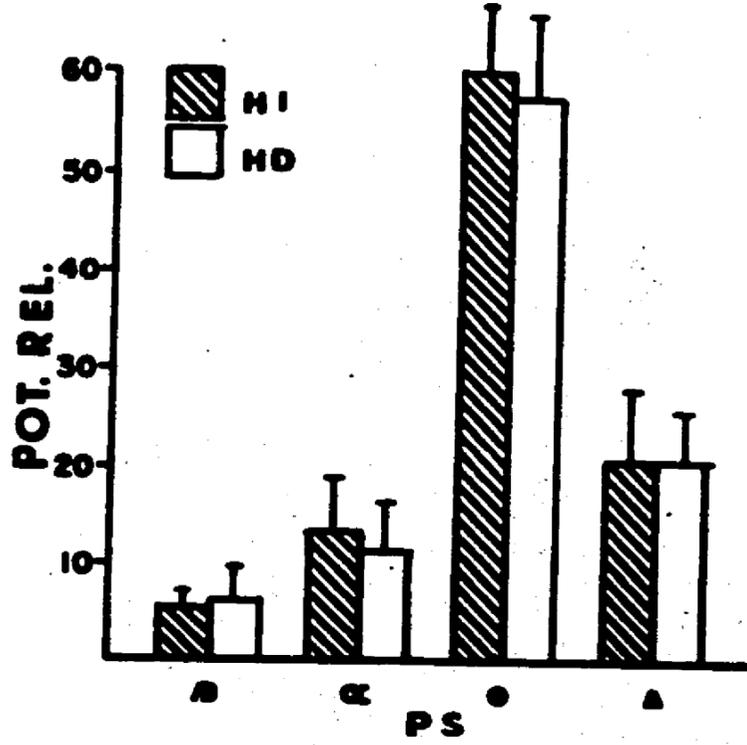
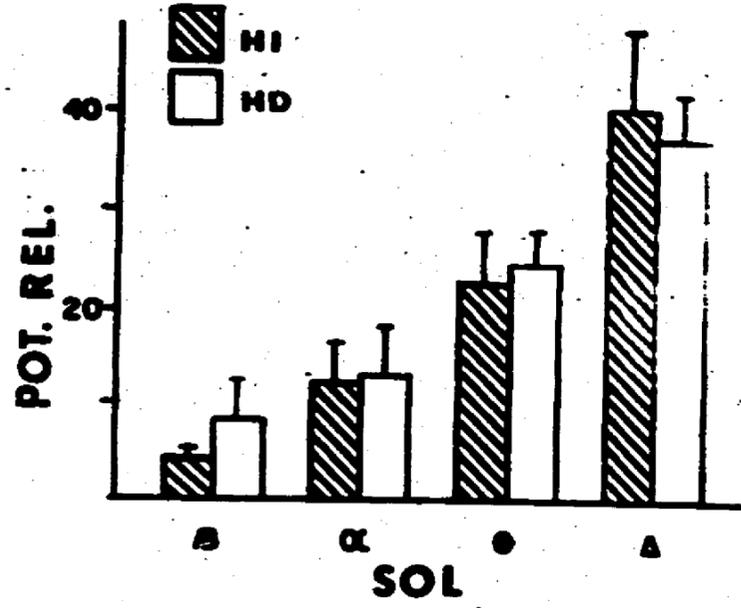
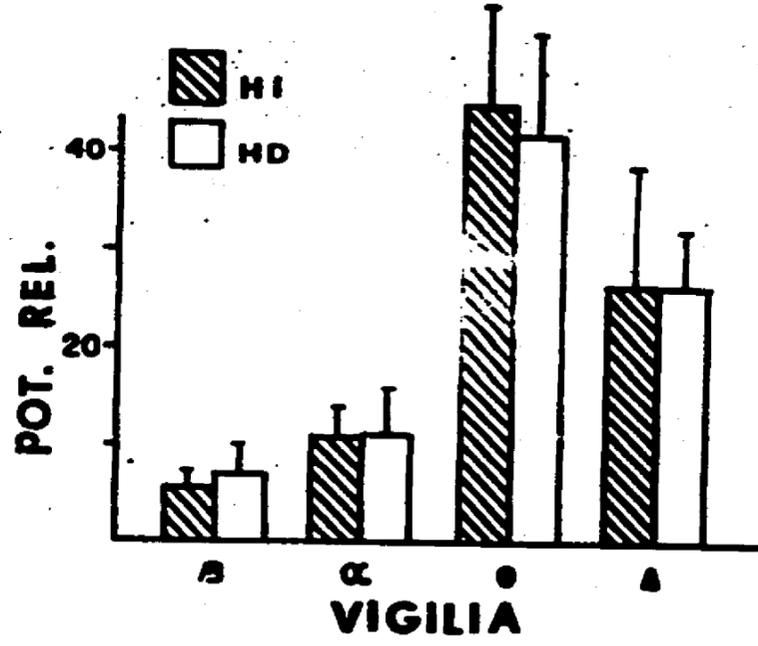


Fig. 3  
Media y desviación estándar de la potencia relativa de beta, alfa, theta y delta en el hemisferio izquierdo (L.H) y derecho (RH) durante la vigilia (W), el sueño lento (SWS) y el sueño paradójico (PS).

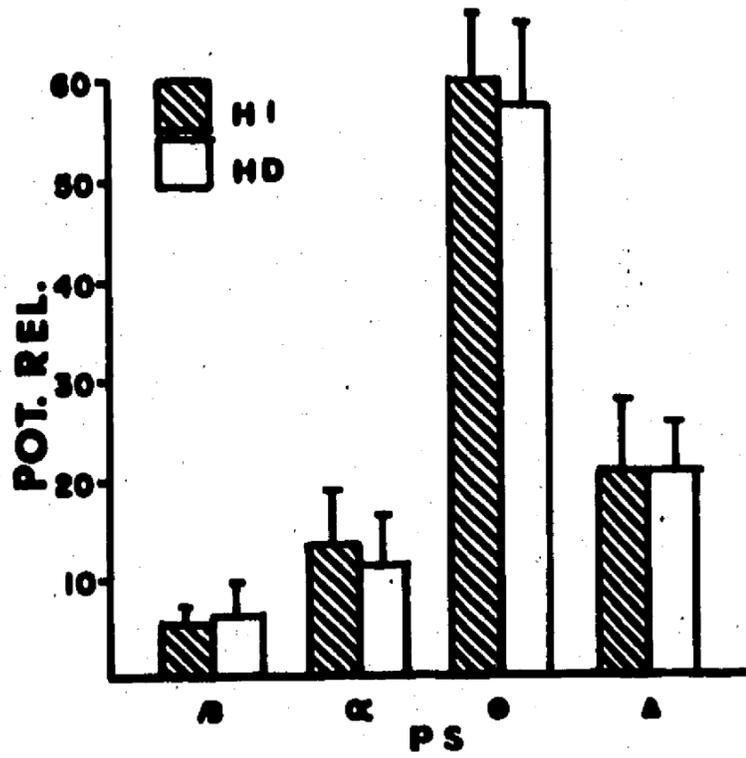
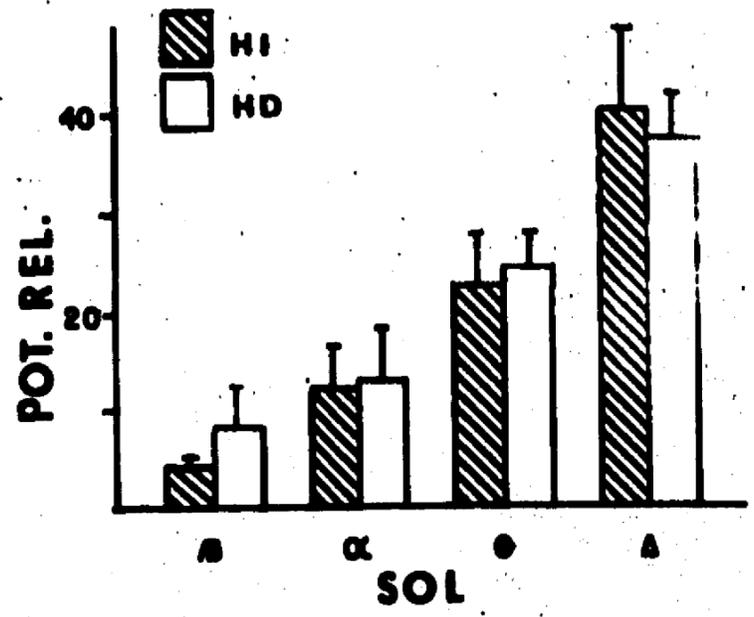
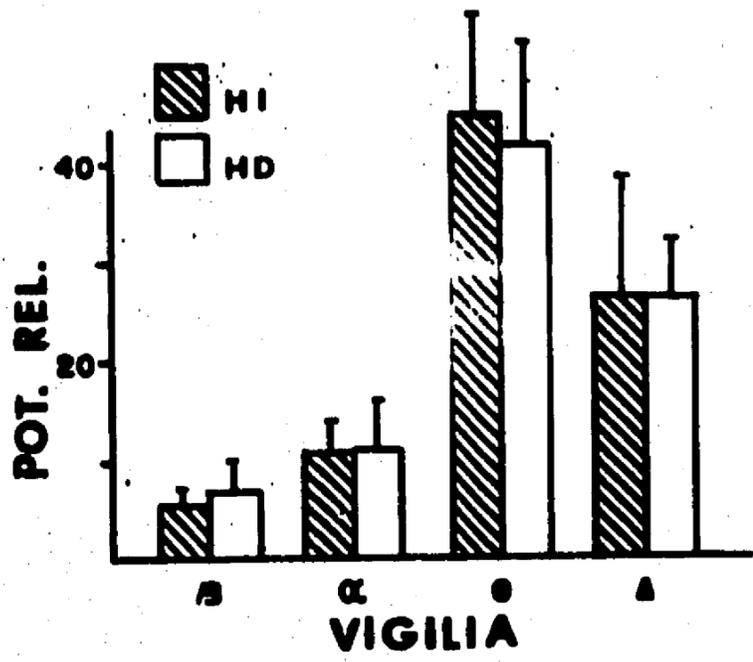


Fig. 3  
Media y desviación estándar de la potencia relativa de beta, alfa, theta y delta en el hemisferio izquierdo (LI) y derecho (RI) durante la vigilia (V), el sueño lento (SWS) y el sueño paradjico (PS).

La relación propuesta entre menor especialización hemisférica y mayor correlación interhemisférica no fue comprobada, ya que la correlación interhemisférica durante la vigilia, en lugar de ser mayor en la rata, fue menor a la reportada en hombre (Corsi-Cabrera y cols., 1987). La correlación interhemisférica fue significativamente mayor durante el SP y menor durante la vigilia en todas las bandas analizadas y los cambios simultáneos de polaridad aunque no alcanzaron el nivel de significancia, también presentaron la misma tendencia: Estos resultados coinciden con el aumento de correlación interhemisférica durante el sueño observado en el hombre y confirman la existencia de una mayor relación funcional entre los hemisferios durante el sueño.

A pesar de que los valores de la correlación durante la vigilia, fueron menores en la rata que en el hombre, el cambio relativo de la vigilia al SOL y particularmente al SP fue mayor para la rata. El que el aumento de la correlación interhemisférica durante el sueño sea menor en el hombre que es una especie con menor diferenciación hemisférica como la rata conduce a descartar la hipótesis propuesta de la atenuación de las diferencias funcionales entre los hemisferios como la responsable del cambio y señala la participación de otros mecanismos. La naturaleza de tal mecanismo no puede conocerse con el presente experimento, pero como el aumento de la correlación interhemisférica se observó en todas las frecuencias del EEG, lo más probable es que se trate de un mecanismo capaz de afectar a la actividad EEG de manera general y no solamente a los generadores específicos de cada banda. La existencia de un mecanismo con tal capacidad, es necesaria también para explicar el aumento de la correlación entre los disparos unitarios observada por Molseva (1979) y que ocurrió no sólo entre estructuras corticales, sino también subcorticales.

Una posibilidad podría ser un aumento de la comunicación entre los hemisferios; sin embargo, si así fuera se esperaría una mayor actividad en el cuerpo calloso y se ha encontrado que la actividad de éste disminuye durante el sueño (Berlucchi, 1966) y que la respuesta calloso-cortical, aunque es mayor durante el SOL que durante la vigilia, es menor durante el SP (Favale, Loeb y Manfredi, 1964).

Las estructuras del tallo cerebral, que participan en el sueño, influyen de manera importante sobre la sincronización de las frecuencias dominantes en los dos hemisferios; en condiciones normales, la transición de un estado de vigilancia a otro ocurre simultáneamente en ambos hemisferios. Sin embargo, después de la hemisección del tallo cerebral junto con una sección en la línea media, se retrasa la aparición de los patrones EEG de vigilia o de sueño en un hemisferio con respecto al otro (Rossi, Minobe y Candler, 1963). Sería posible este mismo mecanismo u otro similar de ori-

en subcortical no sólo influyera sobre la salida de los generadores sincronizando la frecuencia de la actividad, sino que actuara también sobre el acoplamiento temporal.

Finalmente, las diferencias encontradas en la potencia relativa entre la vigilia, el SOL y el SP, coinciden con las reportadas por Young, Stelnfels y Khazan (1978); la diferencia entre la vigilia y el sueño, está dada por los ritmos theta y delta, siendo mayor la potencia de theta y menor la de delta durante el SP y viceversa, mayor la de delta y menor la de theta durante el SOL. La contribución de los ritmos alfa y beta para diferenciar a las etapas mencionadas no es significativa.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Banquet, J. P. (1983). Inter and Intra-hemispheric relationship of the EEG activity during sleep in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55:51-59.
- Baumont, J.G., Meves, A.R., Rugg, M.D. (1978). Asymmetry in EEG alpha coherence and power; effects of task and sex. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45:393-401.
- Berlucchi, G. (1966). Electroencephalographic studies in "split brain" cats. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 20:348-356.
- Corsi-Cabrera, M., Grinberg-Zylberbaum, J., Arditti, L.S. (1974). Caudate nucleus lesion selectively increases paradoxical sleep episodes in the rat. *Physiology and Behavior*, 14:7-11.
- Corsi-Cabrera, M., Meneses, S., Molina, E. (1987). Correlación interhemisférica y acoplamiento temporal de la actividad eléctrica cortical durante la vigilia, la etapa II y el sueño paradójico en el hombre. *Revista Mexicana de Psicología*, 4, 100-108.
- Dumermuth, G., Watz, W., Scollo-Levizzari, G., Kleiner, B. (1972). Spectral analysis of EEG activity in different sleep stages in normal adults. *European Neurology*, 7: 265-296.
- Dumermuth, G., Lehmann, D. (1981). EEG power and coherence during non-REM and REM phases in humans in all-night sleep analysis. *European Neurology*, 20: 429-434.
- Favale, E., Loeb, C., Manfredi, M. (1964). Modifications of calloso-cortical response by sleep. *Archives Internationales de Physiologie et Biochimie*, 72:863-870.

Moisevs, N.I. (1979). The significance of different sleep stages for the regulation of electrical brain activity in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 46:371-381.

Rossi, G.F., Minobe, K., Candia, O. (1963). An experimental study of the hypnogenic mechanisms of the brain stem. *Arch. Ital. Biol.*, 101: 470-492.

Shew, J.C., O'Connor, K.P., Ongley, C. (1977). The EEG as a measure of cerebral functional organization. *British Journal of Psychiatry*, 130:260-264.

Takeuchi, E. (1970). Polygraphical study of the wakefulness-sleep cycle of the rat. *Jap. Journal of Psychology*, 41: 248-252.

Young, G. A., Steinfels, G.F., Khazan, N. (1978). Cortical EEG power spectra associated with sleep-awake behavior in the rat. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 8:89-91.

## CORRELACION INTERHEMISFERICA Y ACOPLAMIENTO TEMPORAL DE LA ACTIVIDAD ELECTRICA CORTICAL DURANTE LA VIGILIA, LA ETAPA II Y EL SUEÑO PARADOJICO EN EL HOMBRE

### RESUMEN

Se registró en seis voluntarios la actividad eléctrica de las cortezas central, temporal, parietal y occipital de los dos hemisferios, durante el sueño espontáneo. Se analizaron la potencia relativa, la correlación interhemisférica y el acoplamiento temporal (número de cambios simultáneos de polaridad) en muestras de 20.48 seg. de EEG tomadas de la vigilia, la etapa II del sueño lento y el sueño paradójico. La correlación interhemisférica y el acoplamiento temporal entre los hemisferios mostraron ser significativamente mayores durante la etapa II y el sueño paradójico que durante la vigilia, indicando un aumento de las relaciones funcionales entre los hemisferios durante el sueño. La potencia del ritmo beta en vigilia mostró ser significativamente mayor en el hemisferio derecho y mantuvo este mismo patrón de asimetría durante la etapa II y el sueño paradójico y la potencia relativa del ritmo theta fue significativamente mayor en la corteza central derecha durante la vigilia y mayor en la izquierda durante la etapa II y el sueño paradójico. La diferencia entre etapas fue dada por la potencia relativa de las bandas alfa y theta.

### INTRODUCCION

Aunque la actividad onírica está presente a lo largo de todo el sueño y es posible obtener narraciones de sueños al despertar de cualquiera de las etapas, las descripciones que se obtienen al despertar del sueño con movimientos oculares rápidos o sueño paradójico (SP), son cualitativamente diferentes de las obtenidas al despertar de las demás etapas del sueño. Las narraciones provenientes del SP son más vívidas y contienen una gran riqueza perceptual y escénica, así como gran número de elementos lógicos; las del sueño con ondas lentas (SOL), en cambio, son más perceptuales, racionales y más parecidas a pensamientos (Foulkes, 1962; Monroe, Rechtschaffen, Foulkes y Jensen, 1966; Antrobus, Rich, Pass, Nelson y Sanders, 1973).

El predominio perceptual, particularmente visoespacial en las narraciones de los sueños ocurridos durante el SP, a diferencia de los del SOL, es consistente con las funciones postuladas para el hemisferio derecho de los diestros (Galin, 1974; Nebes, 1974). Esta semejanza entre las características cualitativas de la actividad onírica y las funciones del hemisferio derecho ha conducido a varios autores a postular que la naturaleza de la actividad onírica del SP, podría ser el resultado de una mayor activación del hemisferio derecho durante esta etapa del sueño (Galin, 1974; Bakan, 1976).

Existen algunas evidencias que señalan una posible asimetría hemisférica durante el sueño: Humphrey y Zangwill (1951) refieren que los pacientes con lesiones en la corteza parieto-occipital derecha sueñan menos frecuentemente que los sujetos normales; la ejecución de tareas espaciales es mejor inmediatamente después de despertar del SP que del SOL y viceversa; las tareas verbales mejoran al despertar del SOL (Gordon, Frooman y Levie, 1962). Una forma frecuentemente utilizada para determinar el grado de activación de los dos hemisferios cerebrales es el índice de asimetría de la actividad electroencefalográfica (EEG), o diferencia relativa entre la potencia de dos zonas homólogas de los hemisferios. Empleando esta técnica, Goldstein, Stoizfus y Gardockl (1972) han encontrado que la amplitud integrada en la corteza parietal izquierda es mayor que en la derecha durante el SP reflejando, por lo tanto, una activación mayor del hemisferio derecho durante el SP; Herman, Hoffwarg y Hirschowitz (1981) han observado los mismos resultados tanto para el ritmo alfa como para la banda total.

Sin embargo, aunque tanto la amplitud integrada como el espectro de potencia proporcionan una valiosa información acerca del nivel general de energía o potencia durante un intervalo definido de tiempo, no dan información acerca de lo que está ocurriendo en cada instante y, por lo tanto, no permiten conocer la ocurrencia de cambios o no, de cada elemento de la actividad EEG, ni tampoco similar en

\* Laboratorio de Sueño, Departamentos de Psicofisiología y Psicología General-Experimental, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México.

AGRADECIMIENTOS: Los autores expresan su agradecimiento a la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación y la Docencia, Facultad de Psicología, y a Miguel Angel Guevara y Daniel Zarabozo por su colaboración técnica en el análisis computacional.

dos derivaciones no quiere decir que está ocurriendo simultáneamente una actividad idéntica en los dos canales y viceversa; una potencia diferente no significa necesariamente que los componentes de frecuencia y la relación de fase entre las dos señales sea distinta.

Un índice, frecuentemente utilizado, del grado de concordancia de fase o similitud entre dos señales es la comparación momento a momento por medio del espectro de coherencia o la correlación cruzada. Habitualmente este tipo de análisis se ha empleado para estudiar las relaciones funcionales entre dos regiones cerebrales. Cuando dos regiones están recibiendo la misma información y la están procesando de la misma manera, la actividad EEG es muy parecida y, por lo tanto, la correlación es muy alta y viceversa; cuando dos zonas están siendo activadas de manera diferente o procesando la información de forma distinta, la actividad EEG es diferente y la correlación entre ellas es baja. Este tipo de análisis ofrece información del grado de diferenciación funcional entre las dos zonas y ha sido empleado para estudiar la especialización hemisférica (Shaw, O'Connor y Ongley, 1977; Beaumont, Mayes y Rugg, 1978).

Existen muy pocos trabajos que hayan empleado este tipo de análisis durante el sueño: Dumermuth, Walz, Scollo-Lavizari y Kleiner (1972) y Dumermuth y Lehmann (1981) observaron que la coherencia interhemisférica para la banda de .1 a 7 y de 7 a 12 Hz tiende a ser mayor durante el SOL que durante la vigilia y que durante el SP se mantiene igual o es aún mayor que durante el SOL. En contraste, Banquet (1983) encontró una disminución progresiva de la coherencia interhemisférica de la vigilia a la etapa IV y al SP. Esta contradicción en los resultados podría deberse a las diferencias metodológicas entre los dos trabajos: Dumermuth y cols. tomaron en cuenta toda la noche y sus observaciones se basan en una apreciación cualitativa, mientras que Banquet empleó análisis estadísticos y seleccionó cinco períodos consecutivos de 12 seg. para las comparaciones.

Las diferencias arriba mencionadas llevaron a la realización de los trabajos: los estudios de potencia y amplitud integrada apoyaban la hipótesis de una activación mayor del hemisferio derecho durante el SP, mientras que los resultados de Dumermuth y cols. apoyaban la disminución de las diferencias interhemisféricas funcionales durante el sueño y, por lo tanto, se podría establecer la hipótesis de la existencia de una mayor relación funcional entre ambos hemisferios durante el sueño. Con este objeto se analizó la actividad EEG durante la vigilia (V), la etapa II (EII) del SOL y el SP empleando los dos tipos de análisis: la comparación interhemisférica de la potencia y la correlación interhemisférica.

## METODO

En el experimento participaron seis voluntarios diestros (tres mujeres y 3 hombres), de 21 a 30 años, sin historia conocida de patología ni uso de drogas que afecten al sistema nervioso.

Se registró monopolarmente el EEG durante el sueño espontáneo de toda la noche en un polígrafo Beckman, modelo R611, con una velocidad de 10 mg/seg. y un filtraje entre .5 y 30 Hz. Los electrodos se colocaron de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 en C3, C4, T3, T4, P3, P4, O1 y O2 referidos al auricular ipsilateral. Con el fin de identificar correctamente las etapas del sueño, se registraron, además, la actividad electromiográfica bipolar de los músculos del mentón y la actividad electrooculográfica monopolar mediante electrodos colocados en los cantos externos superior e inferior de los ojos, referidos al mismo auricular. La clasificación de las etapas del sueño se llevó a cabo siguiendo los criterios estandarizados (Rechtschaffen y Kales, 1968). Se grabaron muestras al azar del EEG de todas las derivaciones en una grabadora de FM para ser analizadas posteriormente fuera de línea.

Las muestras de vigilia se tomaron inmediatamente después del despertar espontáneo por la mañana, con los ojos abiertos y todavía en la cama, las del SP se tomaron durante el segundo ciclo de la noche y las de la etapa II durante el episodio siguiente al segundo SP. Las muestras que se emplearon para el análisis se seleccionaron evitando artefactos y actividad física como oculares rápidos en el caso del SP y husos de sueño en la etapa II.

Se analizó una muestra de EEG de cada etapa y de cada sujeto de 20.48 seg. de duración en una computadora digital PDP11/40, digitalizándola por medio de un convertidor analógico-digital de 12 bits con una frecuencia de muestreo de 100 msec. Se obtuvieron los siguientes parámetros: 1) por medio de la transformada rápida de Fourier se obtuvo la potencia de la banda total (1.5-30 Hz) y se calculó la potencia relativa para la banda de theta (3, 5-7.5 Hz), de alfa (7.5-12 Hz) y de beta (12-30 Hz). 2) la correlación interhemisférica entre derivaciones homólogas para cada banda y la banda total, 3) el número de cambios simultáneos de la misma polaridad en las derivaciones homólogas para cada banda y la banda total: esto se obtuvo calculando la segunda derivada de cada canal y contando el número de veces que ocurría una segunda derivada de la misma polaridad simultáneamente en las derivaciones homólogas. Por razones estadísticas, el número de cambios simultáneos de polaridad se transformó a proporciones (total de cambios simultáneos de polaridad/

total de cambios de polaridad) y los valores de correlación se transformaron a puntajes Z. La potencia relativa de cada banda se comparó mediante un análisis de varianza para medidas repetidas de 2 X 3 (hemisferios X condiciones) y la correlación y los cambios simultáneos con un análisis de 3 X 4 (condiciones X derivaciones). Los efectos simples se probaron mediante la prueba de Tukey aceptando un nivel de probabilidad  $< 0.05$ .

## RESULTADOS

### Correlación interhemisférica.

Los análisis de varianza de dos factores (condiciones X derivaciones) mostraron diferencias significativas en los valores de correlación interhemisférica para la banda de beta en los dos factores, tanto para condiciones ( $F(2,55) = 11.59; p < 0.01$ ), como para derivaciones ( $F(3,55) = 11.58; p < 0.01$ ); para la banda de alfa, solamente entre derivaciones (condiciones:  $F = 2.36; p > 0.05$ ; derivaciones:  $F = 9.44; p < 0.01$ ); para la banda de theta para los dos factores (condiciones:  $F = 6.38; p < 0.01$ ; derivaciones:  $F = 3.51; p < 0.02$ ); para la banda de delta en los dos factores (condiciones:  $F = 4.10; p < 0.02$ ; derivaciones:  $F = 4.25; p < 0.01$ ) y para la banda total, también para los dos factores (condiciones:  $F = 8.22; p < 0.01$ ; derivaciones:  $F = 6.55; p < 0.01$ ). No hubo interacciones significativas.

A excepción de la banda de delta en la corteza temporal, la correlación interhemisférica fue significativamente más baja durante la vigilia que durante la etapa II y a excepción del ritmo theta en la corteza central y el ritmo delta de la corteza central y temporal, también fue más baja durante la vigilia que durante el SP en todas las demás bandas y derivaciones ( $p < 0.05$  en todos los casos). El incremento observado en la correlación interhemisférica sobre los valores de vigilia fue por lo menos de 20% en el caso de EII y del 10% en el caso del SP en casi todas las derivaciones y bandas, alcanzando en algunos casos hasta el 80% de aumento. El incremento fue particularmente notorio para el ritmo beta, que mostró aumentos hasta del triple tanto durante la EII como durante el SP. (ver Tabla I y Fig. 1).

Las comparaciones entre las etapas del sueño mostraron que la correlación interhemisférica fue mayor en EII que en SP en todas las derivaciones excepto en temporal, donde fue mayor durante el SP, pero las diferencias entre estas dos etapas solamente fueron significativas para las bandas beta, theta y delta en central y parietal.

Las comparaciones entre derivaciones mostraron que la correlación interhemisférica fue menor para la corteza temporal en todas las bandas y etapas y mayor en las cor-

tezas parietal y occipital en todas las bandas y etapas, con excepción de theta durante la vigilia y delta durante la EII (ver Tabla I).

### Cambios simultáneos de polaridad.

Los análisis de varianza de los cambios simultáneos de polaridad también mostraron diferencias significativas para los dos factores en todas las bandas, excepto en el caso del ritmo alfa entre condiciones y del ritmo delta entre derivaciones, (beta: condiciones  $F(2,55) = 8.28; p < 0.01$ ; derivaciones  $F(3,55) = 11.52; p < 0.01$ . Alfa: condiciones  $F = 3.34; p > 0.05$ ; derivaciones  $F = 10.68; p < 0.01$ . Theta: condiciones  $F = 3.77; p < 0.05$ ; derivaciones  $F = 3.86; p < 0.05$ . Delta: condiciones  $F = 14.82; p < 0.01$ ; derivaciones  $F = 8.44; p < 0.01$ . Banda total: condiciones  $F = 4.59; p < 0.01$ ; derivaciones  $F = 8.44; p < 0.01$ ).

Igual que en el caso de la correlación interhemisférica, el número total de cambios simultáneos de polaridad fue siempre menor durante la vigilia que durante EII y SP, con excepción de la banda delta en la corteza temporal, donde fue mayor durante la vigilia (Ver. Fig. 2)

Las diferencias entre la vigilia y EII y entre la vigilia y SP fueron significativas en todas las derivaciones, excepto para beta y delta en temporal. Las diferencias entre EII y SP, fueron significativas para beta en central, para theta en occipital y temporal y para delta en central, parietal y occipital. El número de cambios simultáneos de polaridad fue mayor en las derivaciones posteriores, excepto theta y delta durante la vigilia.

### Potencia relativa

Los análisis de varianza de dos factores (hemisferios X condiciones) mostraron diferencias significativas sólo en algunos casos. La variable hemisferios fue significativa solamente para los ritmos beta y theta. En el caso del ritmo beta sólo en las cortezas central ( $F(1,25) = 10.92; p < 0.01$ ) y occipital ( $F = 5.12; p < 0.05$ ), siendo mayor en el hemisferio izquierdo y manteniéndose el mismo patrón de asimetría durante EII y SP. La asimetría fue significativa únicamente durante la vigilia y el SP (Ver Fig. 3).

En el caso del ritmo theta, también sólo en la corteza central ( $F = 18.70; p < 0.01$ ; ver Fig. 4). El ritmo theta invirtió su patrón de asimetría de mayor potencia relativa en el hemisferio derecho durante la vigilia a mayor en el izquierdo durante EII y SP, siendo significativa la diferencia únicamente durante SP. El ritmo alfa no mostró ninguna asimetría significativa (ver Fig. 5). No se observó ninguna diferencia interhemisférica en las cortezas parietal y temporal para ningún ritmo.

**MEDIA (X) Y DESVIACION ESTANDARD (SD) DE LA CORRELACION INTERHEMISFERICA DURANTE LA VIGILIA (V), EL SUEÑO LENTO (SOL) Y EL SUEÑO PARADOJICO (SP)**

		V	SOL	SP
BETA	$\bar{X}$	.03	.11	.21
	SD	.28	.36	.21
ALPHA	$\bar{X}$	.05	.21	.32
	SD	.46	.46	.49
THETA	$\bar{X}$	.05	.14	.36
	SD	.55	.50	.59
DELTA	$\bar{X}$	.08	.13	.28
	SD	.43	.57	.28

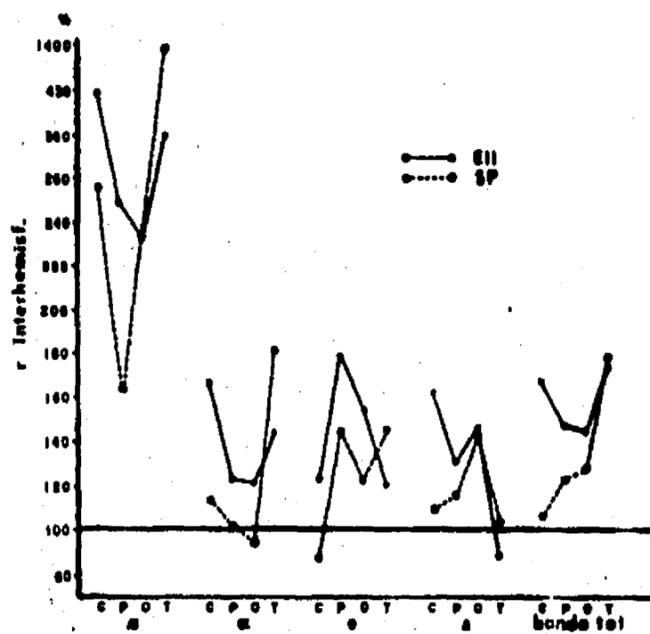


Figura 1

Aumento de la correlación interhemisférica relativo a los valores de vigilia (100%) durante la etapa II del sueño de ondas lentas (EII) y el sueño paradójico (SP), para las bandas de beta, alfa, theta, delta y la banda total, en las cortezas central (C), parietal (P), occipital (O) y temporal (T).

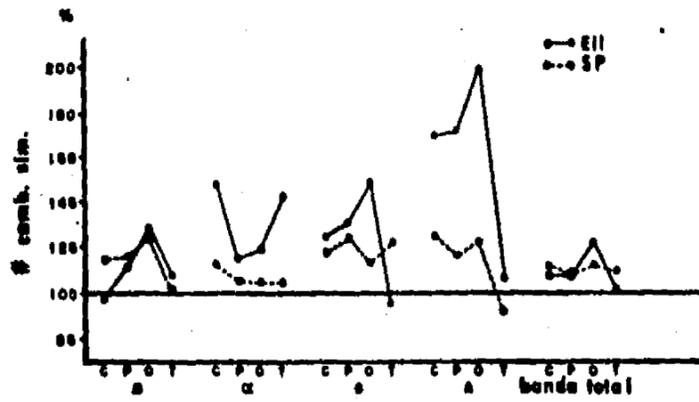


Figura 2

Aumento del número de cambios simultáneos de polaridad, relativo a los valores de vigilia (100%), durante la etapa II del sueño de ondas lentas (EII) y el sueño paradójico (PS), para las bandas beta, alfa, theta, delta y la banda total, en las cortezas central (C), parietal (P), occipital (O) y temporal (T).

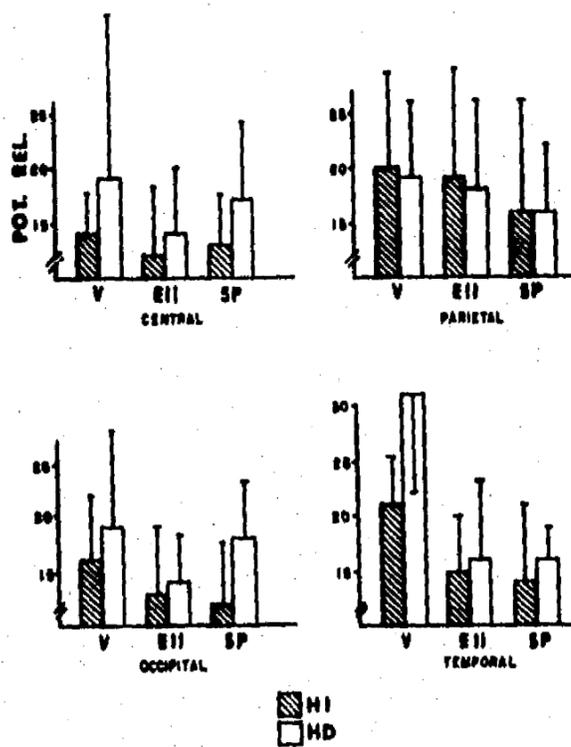


Figura 3

Media y desviación estándar de la potencia relativa de la banda de beta en el hemisferio izquierdo (HI) y derecho (HD) durante la vigilia (V), la etapa II del sueño de ondas lentas (EII) y el sueño paradójico (SP).

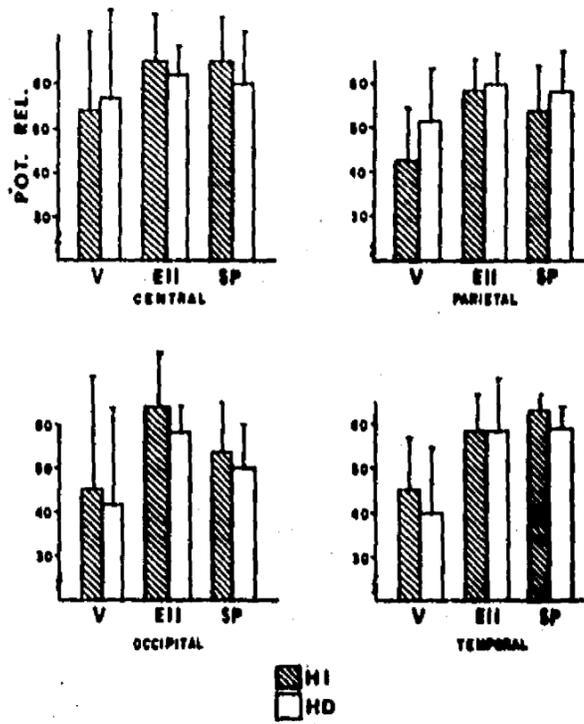


Figura 4

Medía y desviación estándar de la potencia relativa de alfa en el hemisferio izquierdo (LH) y derecho (RH) durante la vigilia (W), la etapa II del sueño de ondas lentas (EII) y el sueño paradójico (PS).

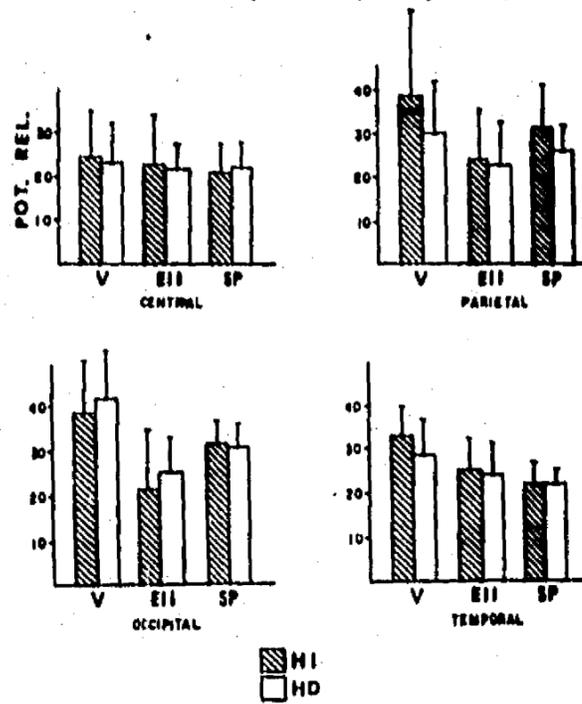


Figura 5.

Medía y desviación estándar de la potencia relativa de theta en el hemisferio izquierdo (LH) y derecho (RH) durante la vigilia (W), la etapa II del sueño de ondas lentas (EII) y el sueño paradójico (PS).

La variable condiciones mostró diferencias significativas: para la banda de beta solamente en la corteza temporal ( $F(2,25) = 4.25; p < 0.05$ ), donde mostró mayor potencia en la vigilia; para la banda de alfa en las cortezas temporal ( $F = 5.02; p < 0.05$ ), parietal ( $F = 5.27; p < 0.05$ ) y occipital ( $F = 5.28; p < 0.05$ ) siendo mayor durante la vigilia y para la banda de theta en las cortezas central ( $F = 6.41; p < 0.05$ ), temporal ( $F = 7.89; p < 0.01$ ) y occipital ( $F = 6.74; p < 0.05$ ) siendo mayor durante EII y SP. La interacción entre condiciones y derivaciones fue significativa en el caso del ritmo theta ( $F = 7.22; p < 0.05$ ).

#### DISCUSION

Las diferencias significativas observadas en la potencia relativa de beta, que fue mayor en el hemisferio derecho de las derivaciones central y parietal, parecería apoyar la hipótesis de una mayor activación del hemisferio derecho durante el SP. De acuerdo con lo anterior se podría postular que la corteza motora y visual derechas están más activadas que las izquierdas durante el SP y, en realidad, estas dos modalidades (visual y propioceptiva) son las sensaciones más frecuentes en los sueños. Sin embargo, la activación derecha no fue exclusiva del SP; la misma asimetría interhemisférica estuvo presente durante la EII y la vigilia, por lo que este patrón podría estar reflejando más bien una característica general del estado de reposo y no una consecuencia específica del SP.

La potencia relativa de theta también mostró diferencias interhemisféricas significativas, pero solamente en la corteza central, donde fue mayor en la derecha durante la vigilia y mayor en la izquierda durante EII y SP, siendo significativa la interacción. Generalmente este ritmo se ha asociado con el sueño, por lo que podría pensarse que el hemisferio izquierdo es más afectado por el sueño que el derecho, aunque este patrón solamente estuvo presente en la corteza central.

Las diferencias significativas encontradas entre condiciones (V, EII y SP) fueron dadas principalmente por los ritmos alfa y theta, ya que beta mostró diferencias sólo en la corteza temporal donde fue mayor en la vigilia; la potencia relativa de la banda de alfa fue mayor durante la vigilia en todas las derivaciones menos en la corteza central, mientras que la potencia relativa de theta, fue mayor durante EII y SP que durante la vigilia en todas las derivaciones, aunque en la corteza parietal la diferencia no alcanzó el nivel de significancia. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Borbely, Baumann, Brandeis, Strauch y Lehmann (1981), quienes observaron diferencias significativas únicamente en las bandas comprendidas entre 0-7 Hz y 10-16 Hz y no en las frecuencias más altas.

El grado de acoplamiento interhemisférico, medido

a través de la correlación y del número de cambios simultáneos de polaridad, mostró ser mayor durante EII y SP que durante la vigilia. Estos resultados se obtuvieron paralelamente a las diferencias interhemisféricas de la potencia relativa ya mencionadas, lo que indica que estos parámetros están midiendo procesos diferentes y aun independientes como han propuesto Shaw y cols. (1977) y Beaumont y cols. (1978). Estos autores proponen que los niveles de potencia dependen de la salida de los generadores, mientras que el nivel de correlación depende del acoplamiento temporal de los generadores. La ocurrencia simultánea de los cambios de polaridad reflejan el acoplamiento temporal entre las dos señales eléctricas y éstos mostraron resultados paralelos a la correlación interhemisférica al aumentar ambos durante EII y SP, indicando que los dos análisis están midiendo el acoplamiento temporal entre las dos zonas.

El aumento de la correlación y del acoplamiento temporal interhemisférico durante EII y SP apoya la hipótesis de una mayor interacción funcional interhemisférica durante el sueño y podría deberse a varios factores:

La información que llega a puntos homólogos de la corteza no es idéntica; las proyecciones finales de las vías sensoriales son principalmente contralaterales, de tal forma, que cada lado recibe información proveniente en especial del lado opuesto del cuerpo o campo visual y, después, dicha información se intercambia por medio del cuerpo calloso; así, la excitabilidad provocada por un estímulo proveniente de un lado del cuerpo o del campo visual llega primero a la corteza contralateral y es retransmitida inmediatamente al otro lado, pero con un corto retraso debido a la transmisión callosa (Catt y Boyarsky, 1972; Andreassi, Okamura y Stern, 1979). Esta asimetría temporal en la llegada de información a cada lado de la corteza podría estar contribuyendo a los bajos niveles de correlación interhemisférica observados durante la vigilia. De hecho, se ha observado que la correlación interhemisférica es mayor al reducir la estimulación externa, como ocurre al cerrar los ojos (Corsi-Cabrera y Gutiérrez, resultados no publicados) o durante los estados de relajación profunda y de meditación (Shaw y cols., 1977). De acuerdo con lo anterior, es lógico esperar un aumento en la correlación interhemisférica durante el sueño.

Un segundo factor capaz de influir sobre las diferencias de correlación interhemisférica entre la vigilia y el sueño lo constituye los cambios en el nivel de conductancia de las vías centrales. Favale, Loeb y Manfredi (1964) han encontrado cambios en la respuesta calloso-cortical relacionados con el estado de vigilancia: la amplitud de la respuesta cortical provocada por estimulación de la rodilla del cuerpo calloso del gato, es mayor durante el SOL y disminuye al despertar; lo que podría estar de acuerdo con el au-

mento de correlación encontrado durante la EII, pero disminuye también al entrar a SP, mientras que la correlación y el número de cambios simultáneos aumenta. Por otro lado, Berlucchi (1966) refiere resultados contrarios: él observó una disminución de la actividad del cuerpo calloso durante el sueño en general.

Otro factor que podría explicar los niveles de correlación y acoplamiento temporal entre los dos hemisferios serían las características inherentes a cada población neuronal. Los estudios realizados en pacientes comiurotomizados parecen indicar que cada hemisferio procesa la misma información de manera diferente (Gazzaniga y Sperry, 1967; Bogen, 1969), lo que daría como resultado, particularmente durante el procesamiento de información, una actividad electroencefalográfica diferente y, por lo tanto, un nivel menor de correlación y de acoplamiento temporal. De acuerdo con lo anterior, el aumento observado durante EII y SP podría deberse no sólo a la reducción de estimulación externa durante el sueño y/o a cambios en la conductancia central, sino también a la atenuación de las diferencias funcionales entre los dos hemisferios durante el sueño.

El hecho de que el aumento de correlación y de cambios simultáneos de polaridad observados durante EII y SP haya ocurrido en prácticamente todas las derivaciones, así como en todas las bandas, conduce a pensar que se trata de la acción de un mecanismo general y, por lo tanto, probablemente subcortical, capaz de afectar la actividad eléctrica cortical como un todo y no sólo la salida de los generadores específicos de cada ritmo.

Tanto la correlación como el acoplamiento temporal interhemisférico fue mayor durante la EII que durante el SP en algunas de las derivaciones y bandas. La diferencia entre estas dos etapas del sueño podría deberse a que el estado general del cerebro durante el SP es más cercano o similar al de la vigilia, como puede deducirse de las frecuencias EEG presentes (Goldstein y cols. 1972; Johnson, 1973), de la actividad onírica (Foulkes, 1972) y la reactividad al despertar de una y otra etapa del sueño (Zung y Wilson, 1961; Oswald, Taylor y Treisman, 1960). Por lo tanto, el SP, podría ser considerado en estos términos como un estado intermedio entre la vigilia y el sueño.

Al comparar los niveles de correlación y de acoplamiento temporal entre las diferentes derivaciones se observó que éstas fueron mayores en las derivaciones parietales y occipitales en comparación con las cortezas central y temporal. Estos resultados están de acuerdo con los reportados por otros autores (Beaumont y cols., 1978; Dumermuth y Lehmann, 1981). Se han dado dos explicaciones a las diferencias entre derivaciones: una, contempla la distancia entre electrodos; sin embargo, nosotros encontramos dife-

rente nivel de correlación entre C3-C4 y entre P3-P4 y, en ambos casos, los electrodos tienen la misma distancia entre sí. La otra, atribuye el grado de correlación al grado de conexión transcallosa y a las características funcionales intrínsecas o a la población neuronal, tales como ser áreas primarias de proyección o secundarias. En nuestro caso, se encontró mayor correlación en áreas más cercanas a las áreas secundarias como la corteza parietal y menor en zonas primarias como las derivaciones central y occipital, probablemente por estar éstas más relacionadas con la entrada sensorial directa.

La correlación y el acoplamiento temporal interhemisférico fue mayor durante EII y SP que durante la vigilia apoyando la existencia de una mayor relación interhemisférica durante el sueño. Aunque los resultados de este experimento no permiten determinar los mecanismos de este cambio, parecen indicar una atenuación de las diferencias funcionales interhemisféricas durante el sueño.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andreassi, J.L., Okamura, H., Stern, M. (1975). Hemispheric asymmetries in the visual cortical evoked potentials as a function of stimulus location. *Psychophysiology*, 12:541-546.
- Antrobus, J.S., Rich, K., Pass, R., Nelson, W., Sanders, K. (1973). Multiple linear regression of mentation reports of REM/NREM sleep. *Sleep Research*, 2:104.
- Bakan, P. (1976). Dreaming, REM sleep and the right hemisphere. *Sleep Research*, 4:23.
- Banquet, J.P. (1983). Inter and Intrahemispheric relationships of the EEG activity during sleep in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55: 51-59.
- Beaumont, J.G., Mayes, A.R., Rugg, M.D., (1978). Asymmetry in EEG alpha coherence and power: Effects of task and sex. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45:393-401.
- Berlucchi, G. (1966). Electroencephalographic studies in "split brain" cats. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 20:348-356.
- Borbely, A.A., Baumann, F., Brandels, D., Strauch, L., Lehmann, D. (1981). Sleep deprivation: Effect on sleep stages and EEG power density in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 51:483-493.

- Bogen, J.B. (1969). The other side of the brain. I. Dysgraphia and dyscalculia following cerebral commissurotomy. *Bulletin of Los Angeles Neurological Society*, 34: 73-105.
- Dumermuth, G., Lehmann, D. (1981). EEG power and coherence during non-REM and REM phases in humans in all-night sleep analysis. *European Neurology*, 20: 429-434.
- Dumermuth, G., Walz, W., Scollo-Lavizzari, G., Kleiner, B. (1972). Spectral analysis of EEG activity in different sleep stages in normal adults. *European Neurology*, 7: 265-296.
- Favale, E., Loeb, C., Manfredi, M. (1964). Modifications of callosal-cortical response by sleep. *Archives Internationales de Physiologie et Biochimie*, 72: 863-870.
- Foulkes, W.D. (1962). Dream reports from different stages of sleep. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 65:14-25.
- Galin, D. (1974). Implications for psychiatry of left and right cerebral specialization. *Archives of General Psychiatry*, 31:572-583.
- Gazzaniga, M.S., Sperry, M.W. (1967) Language after section of the cerebral commissures. *Brain*, 90: 131-148.
- Goldstein, L., Stolzfus, N.W., Gardocki, J.F., (1972). Changes in interhemispheric amplitude relationships in the EEG during sleep. *Physiology and Behavior*, 8:811-815.
- Gordon, H.W., Frooman, B., Levie, P. (1982). Shift in cognitive asymmetries between wakings from REM and NREM sleep. *Neuropsychologia*, 20:99-103.
- Gott, P.S., Boyarsky, L.L. (1972). The relation of cerebral dominance and handedness to visual evoked potentials. *Journal of Neurobiology*, 3:65-77.
- Herman, J.H., Roffwarg, H.P., Hirschkowitz, M. (1981). Electroencephalographic asymmetries and REM sleep dreaming. *Sleep Research*, 10:29.
- Humphrey, M.E., Zangwill, O.L. (1951). Cessation of dreaming after brain injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 14:322-325.
- Johnson, L.C. (1973). Are stages of sleep related to waking behavior?. *American Scientist*, 61:326-338.
- Monroe, L.J., Rechtschaffen, A., Foulkes, D., Jensen, J. (1965) Discriminability of REM and NREM reports. *Journal of Personality and Social Psychology*, 2:456-460.
- Nebes, R.D. (1974). Right hemisphere specialization in commissurotomed patients. *Psychological Bulletin*, 81:1-14.
- Oswald, I., Taylor, A.M., Treisman, M. (1960). Discriminative responses to stimulation during human sleep. *Brain*, 83, 440-453.
- Rechtschaffen, A., Kales, A. (eds.) (1968) A manual of standardized terminology, techniques and scoring systems for sleep stages of human subjects. Los Angeles Brain Information Service, Brain Research Institute, University of California at Los Angeles.
- Shaw, J.C., O'Connor, K.P., Ongley, C. (1977). The EEG as a measure of cerebral functional organization. *British Journal of Psychiatry*, 130:260-264.
- Zung, W.H.K., Wilson, W.P. (1961). Response to auditory stimulation during sleep. *Archives of General Psychiatry*, 4:548-552.

**FE DE ERRATAS**

Por un error durante el proceso de edición del ejemplar de la Revista Vol. 4 No. 2, en el artículo de la Mtra. María Corsi se intercambió la Tabla I por la de otro artículo, debiendo ser la que aquí se reproduce.

**TABLA I**

**MEDIA (X) Y DESVIACION ESTANDAR (SD) DE LA CORRELACION INTERHEMISFERICA DURANTE LA VIGILIA (V), LA ETAPA II (II) Y EL SUEÑO PARADOJICO (SP)**

		CENTRAL			PARIETAL			OCCIPITAL			TEMPORAL		
		V	II	SP	V	II	SP	V	II	SP	V	II	SP
BETA	$\bar{X}$	.007	.3	.18	.16	.40	.284	.15	.41	.32	.07	.18	.10
	SD	.05	.22	.12	.11	.27	.22	.12	.22	.20	.05	.11	.09
ALPHA	$\bar{X}$	.28	.47	.32	.44	.54	.45	.43	.52	.41	.18	.23	.29
	SD	.18	.29	.22	.29	.24	.34	.24	.29	.30	.10	.18	.18
THETA	$\bar{X}$	.44	.54	.37	.34	.61	.49	.37	.57	.45	.28	.34	.40
	SD	.28	.28	.27	.29	.25	.30	.27	.29	.29	.23	.23	.26
DELTA	$\bar{X}$	.41	.57	.45	.48	.63	.55	.39	.57	.55	.35	.31	.36
	SD	.31	.21	.30	.21	.22	.25	.21	.32	.27	.20	.17	.22
BANDA TOTAL	$\bar{X}$	.38	.50	.38	.40	.59	.49	.37	.54	.47	.19	.33	.34
	SD	.25	.20	.24	.24	.22	.27	.19	.29	.27	.13	.18	.24

Sugerimos si desea recortar ésta para suplirla por la de la página 103.

Elsevier Biomedical Division BV P.O. Box 1527 Amsterdam Northprint EEG03472 Page: 7	480 IN ALL CORRESPONDENCE CONCERNING THIS PAPER REFER TO: EEG 03472
---	---

*Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1988, 00: EEG03472  
 Elsevier Scientific Publishers Ireland, Ltd.

EEG 03472

## Effect of normal sleep and sleep deprivation on interhemispheric correlation during subsequent wakefulness in man

M. Corsi-Cabrera, J. Ramos and S. Meneses

*Departamentos de Psicofisiología y de Psicología General-Experimental, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City 01060 (Mexico)*

(Accepted for publication: 18 August 1988)

**Summary** EEG activity was recorded from the right and left central, temporal, parietal and occipital derivations in 10 volunteers under the following conditions: at night before going to sleep, at night before sleep deprivation, in the morning after waking, in the morning after sleep deprivation and in the morning 48 h after recovery. Interhemispheric correlation and relative power were calculated for EEG samples of 20.48 sec. In the morning after normal sleep interhemispheric correlations were higher in all derivations in comparison to presleep values, while in the morning after sleep deprivation, interhemispheric correlations were lower or similar to predeprivation values in all derivations except the temporal cortex. The relative power of beta was significantly lower after normal sleep and higher after sleep loss, while the relative power of low frequencies was higher in the morning after sleep and lower in the morning after deprivation.

**Key words:** EEG; Interhemispheric correlation; Sleep; Sleep deprivation

In previous work it has been shown by means of coherence and correlation analyses that interhemispheric functional relationships change during sleep. Dumermuth et al. (1972) and Dumermuth and Lehmann (1981) reported that coherence in the 0.7-7 and 7-12 Hz bands shows a tendency to increase from wakefulness (W) to slow wave sleep (SWS) and from SWS to paradoxical sleep (PS), or at least to maintain SWS levels. Corsi-Cabrera et al. reported that interhemispheric correlation is higher during stage 2 and PS than during W in man (1987) and in the rat (1988). Banquet (1983), on the contrary, found that interhemispheric and intrahemispheric coherences progressively decrease from presleep waking to stage 4 and that low interhemispheric and high intrahemispheric coherences are characteristic of PS. These contradictory results could be due to dif-

ferences in the duration of the periods of analysis selected and to methodology. Dumermuth et al. carried out their analyses throughout the night and their results are based on qualitative assessment, whereas Banquet employed statistical analysis and selected 5 consecutive 5.12 sec periods for the comparisons. Moiseeva (1979) using a different technique reported similar findings. She recorded the unitary neuronal activity of patients implanted for major surgery at several cortical and subcortical points and found that the correlation between the firing rates was highest during PS, intermediate during SWS and lowest during wakefulness. From this evidence she postulated that during SWS each structure resets its own biorhythm and that during PS synchronization of the biorhythms of the different structures takes place.

The increase in the degree of interhemispheric correlation of EEG activity during sleep can be a passive result of the reduction of afferent stimulation, a byproduct of the resting state achieved during sleep with no influence over the electrical

Correspondence to: María Corsi-Cabrera, Margaritas 64, San Angel Inn, Mexico City 01060, D.F. (Mexico).

0167-4544/88/503-50 © 1988 Elsevier Scientific Publishers Ireland, Ltd.

activity of following wakefulness, or one of the many active processes that take place during sleep, in the case a recoupling of interhemispheric relationships affecting subsequent wakefulness.

In this experiment we tested the hypothesis that sleep influences the interhemispheric correlation in subsequent wakefulness. EEG activity was recorded and interhemispheric correlations were obtained in a group of subjects before and after normal sleep and before and after 24 h of sleep deprivation. EEG relative power was also calculated under the same conditions.

#### Methods and subjects

A group of 10 volunteers, males and females, between 22 and 32 years of age, participated in the experiment. All were professionals and were familiar with EEG recording procedures. They had no history of central nervous system disorders or use of medications known to affect the EEG. One subject was omitted from analysis as his EEG recordings were rejected due to artificial contamination.

Three minutes of EEG activity were recorded during resting wakefulness with eyes open under 3 conditions: control, experimental and recovery. The control sessions were recorded at night before subjects went to sleep (pre-S) and in the morning after awakening (post-S). To avoid the first night effect in the laboratory, the subjects slept at home and reported to the laboratory in the morning. During experimental sessions the EEG was recorded at the night before sleep deprivation (pre-D) and in the morning after deprivation (post-D). The subjects remained at the laboratory in groups of 2 and were not allowed to sleep at any time during the night. Caffeine and other stimulants were prohibited. For convenience, the experimental session always took place on a Friday and the subjects were asked not to take naps during the weekend, but to sleep as much as they wanted during the night. The recovery session was recorded on Monday morning, 48 h after the post-D condition.

The night samples were taken between 9.00 and 11.00 p.m. and the morning samples between 7.00

and 9.00 a.m. The exact time was adjusted for each subject according to his (her) sleep habits and samples were taken 1-2 h before the subject went to sleep and 1-2 h after waking up. All subjects answered a questionnaire on their sleep habits. During the control and recovery sessions, the times of going to sleep and awakening were recorded. The control session was recorded only after normal sleep schedules had been established.

Electrodes were placed according to the 10-20 international system at C3, C4, T3, T4, P3, P4 O1 and O2, referred to ipsilateral earlobes. EEGs were recorded on a Beckman RM polygraph, set to pass frequencies of 1.6-30 Hz, and on an FM tape recorder for off-line analysis.

Artifact-free samples of 20.48 sec, one from each condition and derivation, were fed to an analog-to-digital converter, 12 bits precision, of a PDP-11/40 computer at a sampling rate of 100 Hz with bandpass of 1.5-30 Hz. Power was obtained by means of a Fast Fourier Transform (FFT) and relative power was calculated for the following bands: delta 1.5-3.5, theta 3.5-7.5, alpha 7.5-12 and beta 12-30 Hz, considering as 100% the spectral power between 1.5 and 30 Hz. Interhemispheric correlations between homologous points of the cortex were obtained separately for the above mentioned bands calculating Pearson product-moment correlation coefficients between successive amplitude values. Relative power was preferred to absolute values since it allows a more precise estimate of the relative distribution of the bands and the relationship between them.

Differences in relative power and in interhemispheric correlation across conditions and derivations were tested for each band by 2-way analyses of variance for repeated measurements (factor A: derivations, factor B: conditions). The level of significance was set at  $p < 0.05$ . To test the significance between pairs of means Tukey's Student's  $t$  test was used. For statistical purposes correlation values were transformed to Fisher's  $z$  scores.

#### Results

##### *Interhemispheric correlation*

Analysis of variance for the beta band showed significant main effects for derivations ( $F(3, 160)$

= 7.42;  $P < 0.001$ ), conditions ( $F(4, 160) = 10.45$ ;  $P < 0.001$ ) and a significant interaction ( $F(12, 152) = 2.11$ ;  $P < 0.02$ ). Interhemispheric correlations were higher after sleep and lower after sleep deprivation in all derivations. Pairwise comparisons with Tukey's Student  $t$  test between conditions showed that the increase from the pre-S to the post-S condition was significant in central, temporal and parietal derivations, and the decrease from the pre-D to post-D conditions was significant in the central cortex. In the recovery session, interhemispheric correlations returned to the values found in the morning control (post-S) in the central cortex and reached significantly higher values in parietal and occipital derivations. Pairwise comparisons between derivations showed significantly lower values in temporal than in central and in temporal than in parietal derivations in all conditions.

In the case of the alpha band, there were significant main effects for derivations ( $F(3, 160) = 8.83$ ;  $P < 0.001$ ) and conditions ( $F(4, 160) = 4.45$ ;  $P < 0.002$ ), but not for the interaction. Interhemispheric correlation after sleep was also higher in all derivations, and the difference between pre-S and post-S conditions was significant in central, temporal and parietal derivations. After sleep deprivation interhemispheric correlation showed almost the same values as in pre-D, except in the occipital cortex where it was significantly lower. In the recovery condition interhemispheric correlation was similar to control (post-S) values in central and parietal derivations and reached significantly higher values than post-S in temporal and occipital cortices. As in the case of beta, the highest correlation was observed between parietal and the lowest between temporal derivations, the differences being significant in all conditions.

The theta band showed significant main effects for derivations ( $F(3, 160) = 6.63$ ;  $P < 0.001$ ) and conditions ( $F(4, 160) = 5.56$ ;  $P < 0.001$ ). The interaction was not significant. Interhemispheric correlations increased after sleep for all derivations, and the difference between pre-S and post-S was significant for central, temporal and parietal derivations. After sleep deprivation (post-D), interhemispheric correlation showed no change from pre-D, except in the temporal cortex, where it was

significantly higher. During the recovery morning, correlation returned to values comparable to those of post-S in the central and parietal cortices, but it reached significantly higher values in temporal and occipital derivations. Interderivation differences showed the same pattern as for the beta and alpha bands, that is, they were higher in parietal and lower in temporal derivations and significant in all conditions.

The delta band showed significant main effects for derivations ( $F(3, 160) = 4.47$ ;  $P < 0.005$ ) and conditions ( $F(4, 160) = 7.97$ ;  $P < 0.001$ ), but not for interaction. Here too, interhemispheric correlation was significantly higher in post-S than pre-S condition in all derivations. After sleep deprivation, correlation showed a significant decrease for the parietal cortex and a significant increase for the temporal. During recovery, interhemispheric correlations were significantly higher than post-S values for parietal and occipital derivations, but recovered to the same values for the central and temporal cortices. In the case of the delta band, interhemispheric correlations were also higher for parietal and lower for temporal derivations, and significant for all conditions except post-D.

The  $z$  values of interhemispheric correlation of both nights (pre-S and pre-D) were compared by means of a Student  $t$  test for correlated samples; after checking that there were no significant differences these values were added up and averaged to give one value (p.m.). The differences in interhemispheric correlations for each band were again subjected to a 2-factor analysis of variance (condition  $\times$  derivations) for only 4 conditions: p.m., post-S, post-D and R.

The results of these analyses were very similar to those obtained with the ANOVAs carried out with 5 conditions, the main effects, for both conditions and derivations, were significant for all bands; some different results were only found on pairwise comparisons.

In the case of beta (conditions:  $F(2, 120) = 13.81$ ;  $P < 0.001$ ; derivations:  $F(3, 120) = 9.01$ ;  $P < 0.001$ ), interhemispheric correlations were significantly greater during post-S than p.m. in the central, temporal and parietal derivations and significantly lower in post-D than p.m. in the central cortex. Interhemispheric correlations were signifi-

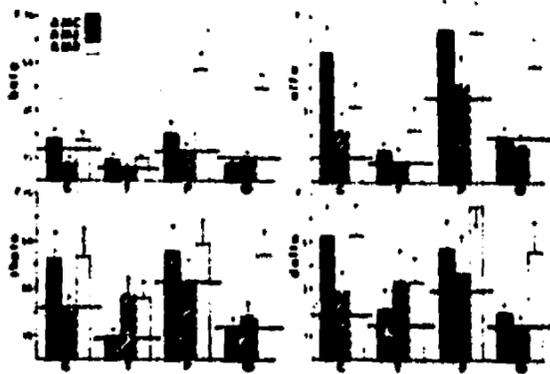


Fig. 1. Mean and standard error of interhemispheric correlations in post-sleep morning (AMC), post-deprivation morning (ANE) and recovery morning (AMR) for beta, alpha, theta and delta in central (C), temporal (T), parietal (P) and occipital (O) derivations. Horizontal lines show evening values (p.m.).

cantly greater in R than in post-S in parietal and occipital derivations (Fig. 1).

In the case of the alpha band (conditions:  $F(3, 120) = 3.87$ ;  $P < 0.01$ ; derivations: ( $F(3, 120) = 5.90$ ;  $P < 0.001$ ), interhemispheric correlations were significantly greater in post-S than in p.m. in central and parietal derivations and there were no significant differences between post-D and p.m. During R, interhemispheric correlations were significantly greater than during post-S in the central temporal and occipital derivations (Fig. 1).

Interhemispheric correlations in the theta band (conditions:  $F(3, 120) = 4.79$ ;  $P < 0.004$ ; derivations:  $F(3, 120) = 4.71$ ;  $P < 0.002$ ) were significantly greater in post-S than in p.m. in central and parietal derivations and in post-D in the temporal cortex. During R, interhemispheric correlations were significantly greater than during post-S in temporal and occipital derivations (Fig. 1).

In the case of the delta band (conditions:  $F(3, 120) = 9.40$ ;  $P < 0.001$ ; derivations: ( $F(3, 120) = 3.78$ ;  $P < 0.01$ ), correlations were significantly greater in post-S than in p.m. in central, parietal and temporal derivations and were also significantly greater in post-D than in p.m. in central, temporal and parietal derivations, but in spite of this, were significantly lower in post-D than in post-S in parietal and occipital derivations. Dur-

ing R, they were significantly greater than in post-S in temporal, parietal and occipital derivations (Fig. 1).

In order to corroborate the increase in interhemispheric correlations after sleep, analyses by subject were carried out and the number of subjects who showed an increase or decrease from p.m. to post-S was compared by means of  $\chi^2$ . The number of subjects showing an increase in interhemispheric correlation from p.m. to post-S were significantly higher than those showing a decrease ( $\chi^2 = 5.55$ ;  $P < 0.01$ ; Yates correction used) in the central and parietal derivations in beta, alpha and delta, in the temporal cortex in theta and in the occipital cortex in beta and delta.

#### Relative power

Before analysis of variance, interhemispheric differences in relative power were tested by means of Student's  $t$  test for correlated samples. There were no significant differences between right and left relative power in any of the conditions, derivations or bands. Left and right derivations were therefore considered together as the same factor.

Beta relative power was significantly different for derivations ( $F(7, 320) = 2.78$ ;  $P < 0.008$ ) and conditions ( $F(4, 320) = 24.40$ ,  $P < 0.001$ ). The interaction was not significant. Beta relative power decreased significantly in the morning after sleep (post-S) in comparison to pre-S values in all derivations except O2, where it increased but not significantly. After sleep deprivation (post-D), beta relative power increased significantly at P4, O1 and O2. On the recovery morning, beta relative power was found to be lower than during pre-S and the decrease was significantly larger than that observed in the post-S condition in all derivations (Fig 2).

Alpha relative power showed significant main effects for derivations ( $F(7, 320) = 3.32$ ;  $P < 0.002$ ) and conditions ( $F(4, 320) = 9.37$ ;  $P < 0.001$ ), but the interaction was not significant. After sleep, alpha relative power was higher in all derivations, with significant differences for C3, C4, P3 and F4. After deprivation power decreased significantly at O2, but remained significantly higher at C3 and O1. In the recovery conditions, power returned to control (post-S) values at all

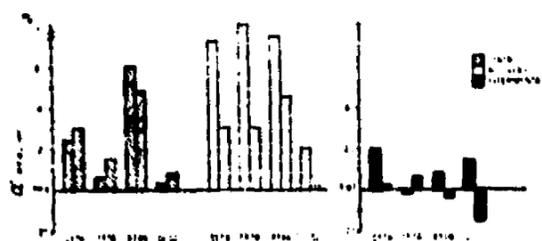


Fig. 2. Changes in beta relative power in post-sleep morning (control), recovery and post-deprivation morning (experimental) relative to pre-sleep (pre-S) and pre-deprivation (pre-D) values (horizontal line).

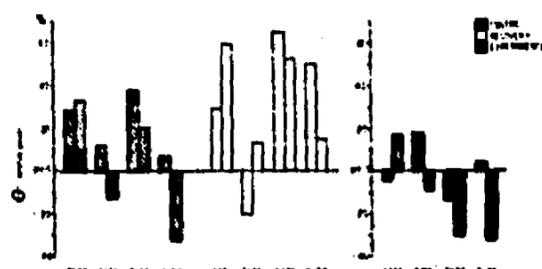


Fig. 4. Changes in theta relative power in post-sleep morning (control), recovery and post-deprivation morning (experimental) relative to pre-sleep (pre-S) and pre-deprivation (pre-D) values (horizontal line).

derivations except C3 and P3 where it reached significantly higher values (Fig. 5).

Theta relative power was significantly different only for conditions ( $F(4, 320) = 5.86; P < 0.001$ ). There were no significant effects for derivations or for the interaction. Theta relative power was significantly higher in the post-S than in the pre-S condition at C3, C4, P3 and P4, and significantly lower at O2. After sleep deprivation it was found to be lower than during pre-D except C4 and O1; the differences were significant at C4, T3, P4 and O2. Relative power in the recovery session reached the same value as in post-S condition at C3 and was significantly higher in all other derivations, except T3 where it decreased (Fig. 4).

The analysis of variance for the delta band showed significant main effects for derivations ( $F(7, 320) = 5.05; P < 0.001$ ), conditions ( $F(4, 320) = 17.54; P < 0.001$ ) and for the interaction ( $F(28, 312) = 3.41; P < 0.001$ ). After sleep, delta relative power was found to be significantly higher than in pre-S condition in all derivations, except

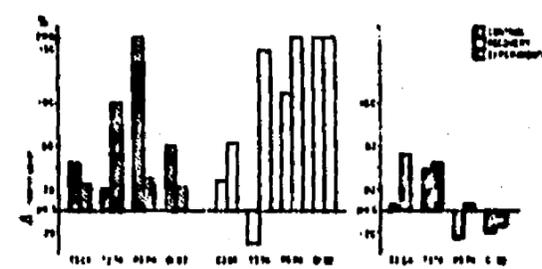


Fig. 5. Changes in delta relative power in post-sleep morning (control), recovery and post-deprivation morning (experimental) relative to pre-sleep (pre-S) and pre-deprivation (pre-D) values (horizontal line).

T3 and O2, while after deprivation (post-D) it showed the same pattern as after sleep (post-S) at C3, C4, T3, T4, P4, but it decreased significantly in P3, O1 and O2. During recovery, delta relative power was shown to be higher than during pre-S and significantly higher than during the post-S condition in all derivations except C3, T3 and P3 where it showed similar values (Fig. 5).

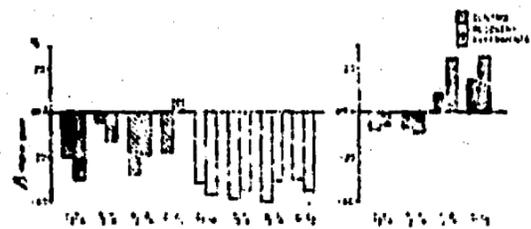


Fig. 3. Changes in alpha power in post-sleep morning (control), recovery and post-deprivation morning (experimental) relative to pre-sleep (pre-S) and pre-deprivation (pre-D) values (horizontal line).

Discussion

The present results show that sleep has a dramatic effect on the degree of interhemispheric coupling of EEG activity. After a subject sleeps normally, interhemispheric correlations significantly increase, becoming significantly greater than pre-sleep values for central, temporal and parietal derivations, and showing a moderate increase in the occipital cortex. In contrast, after 24 h of sleep

deprivation interhemispheric correlations either remain at pre-deprivation values or decrease slightly in all derivations except the temporal cortex where they remain high, but not as high as after sleep. However, the present experiment can neither determine the neurophysiological mechanisms responsible for this effect nor the selective participation of SWS and PS.

The increase in interhemispheric correlation after sleep was observed in all EEG derivations and bands, suggesting a general mechanism affecting all frequencies of the EEG in a non-specific manner. The effect, however, was pronounced in central, temporal and parietal derivations and slight in the occipital cortex where a non-significant increase was observed.

The temporal cortex was the least affected by sleep deprivation. Interhemispheric correlations in the alpha, theta and delta bands were higher than pre-D values, but not as high as after sleep.

The slight effect of sleep deprivation on interhemispheric correlation, in comparison to the effect of sleep, could be attributed to the short period of sleep deprivation, 24 h only. With longer periods of sleep deprivation, the effect on interhemispheric correlation could be greater, similar to the progressive deterioration in other EEG parameters observed after prolonged sleep deprivation (Naitoh et al. 1969, 1971). However, the lack of a larger effect could be due to the low pre-sleep correlation values which make it impossible for them to decrease further.

The increase in interhemispheric correlation during sleep, as well as in the morning following sleep, can be regarded as an increase in interhemispheric functional relationship (Shaw et al. 1977). This could have relevance for the relationship between paradoxical sleep and plastic processes of the brain, such as consolidation of memory or information processing (Moruzzi 1966; Fishbein and Gutwein 1977), thus providing better conditions for interhemispheric transfer of information. It has been shown in split-brain experiments and unilateral training that memory engrams are established in both hemispheres due to the transfer of information from one side to the other. When interhemispheric connections are sectioned before training, engrams are not available to the

untrained side, indicating the importance of interhemispheric communication (Sperry 1973).

The present results show that lack of sleep has an effect on EEG power. In general, sleep has an organizing effect, increasing the relative power of low frequencies (alpha, theta and delta) and decreasing high frequencies (beta), particularly in central and parietal derivations.

Lack of sleep produced the opposite pattern: an increase in the relative power of high frequencies and a decrease in that of low frequencies. However, in some cases the post-S pattern was not completely reversed by sleep deprivation and the effect of sleep was simply weakened. Beta relative power, for example, was lower in post-D than pre-D in central and temporal derivations. This decrease, however, was not as large as after sleep.

Central and parietal cortices showed greater changes from pre-S to post-S values than temporal and occipital derivations. This result could be due to recording conditions in which EEGs were recorded with eyes open to avoid subjects going to sleep. Temporal and occipital cortices are directly involved with afferent input, whereas central and parietal derivations are relatively more independent.

Previous findings of a reduction in alpha and an increase in theta and delta with sleep deprivation were confirmed for alpha at O2, and for delta only at C4 and T3. This lack of agreement could be due to the short duration of deprivation or to methodological differences. The present results were derived from relative power and monopolar recordings with eyes open, while Naitoh et al. (1969, 1971) used bipolar recordings with eyes closed.

The reduction in alpha after sleep deprivation can be explained either as an increased activation of the central nervous system in response to the effort to remain awake (Malmo and Survillo 1960), or as a consequence of drowsiness (Johansson et al. 1965). The present results of a reduction in alpha and theta together with beta enhancement would be better explained by an increased activation of the nervous system. In fact, the increase in high frequencies, the decrease in low frequencies and the decrease in correlation after sleep deprivation and reverse findings after normal sleep suggest a

disorganizing effect of sleep deprivation and a restorative effect of sleep on the EEG.

During the recovery condition, we observed that in almost all derivations and bands the effect of sleep was reversed: instead of returning to the control values of the post-S condition, the effect was accentuated and in many cases the differences between recovery and post-S were significant. However, the period of deprivation was short and the period allowed for recovery too long to consider a rebound effect. Other experiments in fact have found that the EEG returns to normal values shortly after sleep recovery. Another possible explanation for this effect is that the changes produced by normal sleep were accentuated by a restful weekend and were reflected in the EEGs recorded on Monday morning.

**References**

Banquet, J.P. Inter- and intrahemispheric relationships of the EEG activity during sleep in man. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 1983, 55: 51-59.

Corsí-Cabrera, M., Meneses, S. and Molina, E. Interhemispheric coupling of the EEG activity during stage II, paradoxical sleep and wakefulness in man. *Rev. Mex. Psicol.*, 1987, 4: 000-000.

Corsí-Cabrera, M., González-Rudo, E. and Molina, E. Interhemispheric coupling of the EEG activity during sleep and wakefulness in the rat. *Rev. Mex. Psicol.*, 1988, 5: 000-000.

Page 1  
100-108  
Page 2  
15-21

Dumermuth, G. and Lehmann, D. EEG power and coherence during non-REM and REM phases in humans in all-night sleep analyses. *Eur. Neurol.*, 1981, 20: 429-434.

Dumermuth, G., Walz, W., Scollo-Lavizzari, G. and Kleiner, B. Spectral analysis of EEG activity in different sleep stages in normal adults. *Eur. Neurol.*, 1972, 7: 265-296.

Fitchheim, W. and Gutwein, B.M. Paradoxical sleep and memory storage processes. *Behav. Biol.*, 1977, 19: 425-465.

Johnsson, L.C., Sjö, E.S. and Dement, W.C. Electroencephalographic and autonomic activity during and after prolonged sleep deprivation. *Psychosom. Med.*, 1965, 27: 415-423.

Malmo, R.B. and Surwillo, W.W. Sleep deprivation: change in performances and physiological indicators of activation. *Psychol. Monogr.*, 1960, 74 (whole No. 502): 24 pp.

Moiseeva, N.I. The significance of different sleep stages for the regulation of electrical brain activity in man. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 1979, 46: 371-381.

Moruzzi, G. The functional significance of sleep with particular regard to brain mechanisms underlying consciousness. In: J.C. Eccles (Ed.), *Brain and Conscious Experience*. Springer, Berlin, 1966: 345-388.

Neitoh, P., Kales, E., Kollar, J., Smith, C. and Jacobson, A. Electroencephalographic activity after prolonged sleep loss. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 1969, 27: 2-11.

Neitoh, P., Pasmann, R.O. and Kollar, E.J. Psychophysiological changes after prolonged deprivation of sleep. *Biol. Psychiat.*, 1971, 3: 309-320.

Shaw, J.C., O'Connor, K.P. and Ongley, C. The EEG as a measure of cerebral functional organization. *Br. J. Psychiat.*, 1977, 130: 260-264.

Sperry, R.W. Lateral specialization of cerebral function in surgically separated hemispheres. In: F.J. McGuigan and R.A. Schoonover (Eds.), *Psychophysiology of Thinking*. Academic Press, New York, 1973: 511.