

APLICACION DEL ALGORITMO DE KALMAN AL ESTUDIO DE LA RITMICIDAD ULTRADIANA EN EL COMPORTAMIENTO ESPONTANEO DE SUJETOS HUMANOS AISLADOS.

Grau, C. , Segarra, M.D. , Martí, A. , Carol, A. , Gasull, A. y Lagunas, M.A.

Dep. Fisiología (Neurofisiología). Fac. Medicina. Universidad Autònoma de Barcelona.

Dep. Teoria del Senyal. E.T.S.Telecomunicacions. Universidad Politecnica de Barcelona.

Resumen. Este trabajo explora la posible existencia de ritmos ultradianos (período comprendido entre 30 minutos y 20 horas) en el comportamiento espontáneo vigil del hombre, analizando espectralmente las señales con el filtrado adaptativo de Kalman. En cuatro sujetos, cada uno de los cuales permaneció aislado en una habitación, se registraron los siguientes comportamientos: deambulación, exploración, autocontacto y alimentación. De forma simultánea se contabilizó la motilidad empleando un procedimiento telemétrico. La información se totalizó de manera acumulativa a intervalos de 5 minutos y se analizó utilizando el algoritmo de Kalman. El método de estimación espectral empleado obedece a un sistema adaptativo basado en predicción lineal, dando lugar a un cálculo recursivo de los parámetros del filtro predictor. La optimización de este procedimiento se pone en evidencia al compararlo con el de Widrow, en el que la ganancia permanece en un valor previamente fijado (μ constante). Todos los tipos de comportamiento (excepto la alimentación) muestran picos destacados en la banda de frecuencia de 10-20 ciclos por día (período medio 96 minutos) habitual en muchos otros parámetros biológicos del hombre, así como ritmicidades de períodos más cortos.

INTRODUCCION

La existencia de oscilaciones ultradianas (período comprendido entre 30 minutos y 20 horas) en el comportamiento de numerosas especies animales está ampliamente documentada. Podemos citar, a título de ejemplo, los estudios realizados por Richter hace más de cincuenta años sobre la actividad de la rata, así como trabajos recientes que demuestran la presencia de oscilaciones, con un período algo superior a una hora, en diversos aspectos del comportamiento espontáneo del *Macacus Rhesus* (Grau y col., 1975; Delgado-García y col., 1976; Maxim y col., 1976; Bowden y col., 1978).

En el hombre, después del descubrimiento de que los estados del sueño tienden a repetirse cíclicamente cada 90-100 minutos (Dement y col., 1957), se ha demostrado la existencia de ritmicidad ultradiana en numerosos parámetros fisiológicos y de rendimiento psicológico (Kripke, 1974; Lovett, 1978a, 1978b, 1979). En cambio, la posible presencia de ritmos ultradianos en el comportamiento espontáneo del ser humano en estado de vigilia no había sido aún explorada.

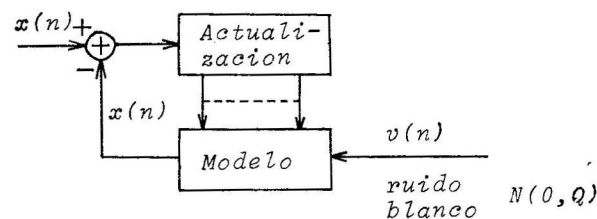
DISEÑO EXPERIMENTAL

Formando parte de un amplio proyecto de investigación de los ritmos ultradianos en el hombre, hemos llevado a cabo un estudio piloto con 4 voluntarios de edades comprendidas entre 20 y 25 años. Cada uno de ellos permaneció aislado en una habitación cuyas condiciones ambientales fueron controladas (ruido blanco, intensidad de la luz, temperatura y humedad constantes). Las sesiones experimentales se iniciaron entre las 15 h. 45 min. y las 16 h. 15 min., y cada sujeto permaneció en la habitación un mínimo de cuatro horas y un máximo de cinco.

A través de un cristal de visión unidireccional se registró cada 5 segundos la presencia o ausencia de los siguientes tipos de comportamiento espontáneo: deambulación, exploración del ambiente con las manos, contacto o rascado del propio cuerpo y alimentación (comer y beber). De manera simultánea se registró la actividad corporal global por medio de un detector de motilidad equipado con un sistema telemétrico (Galván y col., 1980).

ANÁLISIS DE LOS DATOS

La presentación de cada uno de los tipos de comportamiento se registró de forma acumulativa a intervalos de 5 minutos. Las distintas señales así obtenidas se analizaron espectralmente por medio del filtro de Kalman (1961). Posteriormente se promediaron los espectros de frecuencia de cada comportamiento específico. El método de estimación espectral empleado obedece al sistema adaptativo:



El modelo que se propone está basado en predicción lineal, dando lugar a un sistema autoregresivo:

$$H(z) = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^L a_i(n) z^{-i}}$$

La adaptación de los coeficientes viene descrita por:

$$a_{i,(n+1)} = a_{i,(n)} + K_n \cdot e(n)$$

donde K_n (ganancia) se puede calcular aplicando el principio de ortogonalidad:

$$E\{\bar{a}_{n+1} \cdot e(n)\} = 0$$

siendo:

$$\bar{a}_{n+1} = [a_{1,(n+1)}, a_{2,(n+1)}, \dots, a_{L,(n+1)}] - [\bar{a}_{1,(n+1)}, \dots, \bar{a}_{L,(n+1)}]$$

dando lugar a un cálculo recursivo de la ganancia (Isacksson, 1975; Gasull, 1977; Lagunas y col., 1979; Anderson y col., 1979). El modelo se ha implementado con ocho coeficientes (L=8).

Se hace notar la optimización del método de Kalman comparado con otro adaptativo como es el de Widrow (Widrow y col., 1966; Carol, 1978), en el que la ganancia permanece en un valor previamente fijado (μ constante). Como contrapartida este último es más sencillo de implementar y por tanto más rápido (Childers, 1978; Lagunas y col., 1980).

CONCLUSIONES

Todos los tipos de comportamiento (a excepción de la ingesta y la bebida) muestran picos destacados en la banda de frecuencia de 10-20 ciclos por día (período medio 96 minutos). Dos de ellos, exploración y contacto corporal, manifiestan además un pico relevante sobre la periodicidad de 45 minutos. Otros tres, que incluyen el comportamiento alimentario, deambulación y motilidad, tienen una importante representación de la periodicidad de 28 minutos.

Algunos tipos de comportamiento espontáneo presentan pues la ritmicidad de período situado entre 90-100 minutos habitual en muchos otros parámetros biológicos del hombre, así como ritmicidades de períodos más cortos. Estos resultados justifican la realización de una nueva serie experimental, con un mayor número de individuos, que permita confirmar y en su caso profundizar en el conocimiento de los fenómenos descritos.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a Francisca Canyelles y Catalina Abraham su colaboración en la realización de las experiencias y el análisis de los datos. El estudio matemático de los ritmos ha sido realizado con el ordenador PDP-8 del Servicio de Neurofisiología Clínica del Instituto Neurológico Municipal de Barcelona, gracias a las facilidades ofrecidas por el Dr. Lluís Oller Ferrer-Vidal y todos los miembros de su equipo.

REFERENCIAS

Anderson, B.D.O., Moore, J.B. (1979) *Optimal Filtering*, Prentice-Hall, New Jersey.
 Bowden, D.M., Kripke, D.F., Grant, V. (1978) Ultradian rhythms in waking behavior of rhesus monkeys, *Physiol. Behav.*, 21: 929-933.
 Carol, A. (1978) Estudio y simulación de sistemas digitales variantes: predictor adaptativo para la estimación de frecuencia instantánea. Proyecto fin de carrera. E.T.S.E.T.B. (Universidad Politécnica de Barcelona).
 Childers, D.G. (1978) *Modern Spectrum Analysis*, I.E.E.E. Press, New York.
 Delgado-García, J.M., Grau, C., De Feudis, P., Del Pozo, F., Jimenez, J.M., Delgado, J.M.R. (1976) Ultradian rhythms in the mobility and behavior of rhesus monkeys, *Expl. Brain Res.*, 25: 79-91.
 Dement, W., Kleitman, N. (1957) Cyclic variations in E.E.G. during sleep and dreaming, *E.E.G. Clin. Neurol.*, 9: 673-690

Galvan, J., Castellsaguer, J., Garcia, M.J., Montserrat, G., Tomas, J.R. (1980) Realización de medidas en Cronobiología, *Mundo Electrónico*, 96: 91-97.
 Gasull, A. (1977) Filtre digital variant controlat per filtre de Kalman. Aplicació a E.E.G. Proyecto fin de carrera. E.T.S.E.T.B. (Universidad Politécnica de Barcelona).
 Grau, C., Delgado-García, J.M., Garcia-Austt, E., Delgado, J.M.R. (1975) Short rhythms in monkeys behavior, *I.R.C.S. J. Med. Sci.*, 3: 139.
 Isacksson, A. (1975) Examples of E.E.G. signal with time varying spectra analyzed by means of a Kalman filter method, Technical Report, Royal Institute of Technology, Stockholm.
 Kalman, R., Bucy, R. (1961) New results in linear filtering and prediction theory, *Trans. ASME, Ser. D. S. Basic Eng.*, 83: 95-107.
 Kripke, D.F. (1974) Ultradian rhythms in sleep and wakefulness. En *Advances in Sleep Research*, Spectrum Publications, New York.
 Lagunas, M.A., Gasull, A., Carol, A. (1979) Predicción invariante y adaptativa. Comunicación interna. E.T.S.E.T.B. (Universidad Politécnica de Barcelona).
 Lagunas, M.A., Figueiras, A., Gasull, A., Garcia, R. (1980) An adaptive spectral estimator based on the predictive innovation process and Kalman filtering, Lausanne, EUSIPCO.
 Lovett, J.W., Payne, W.D., Podnieckis, I. (1978a) An ultradian rhythms of reaction time measurements in man, *Neuropsychobiology*, 4: 93-98.
 Lovett, J.W. (1978b) A free-running endogenous rhythm of the resting heart rate in man, *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 56: 83-86.
 Lovett, J.W. (1979) An ultradian periodic servo-system of thermoregulation in man, *J. Interdisciplinary Cycle Res.*, vol. 10, n22.
 Maxim, P.E., Bowden, D.M., Sackett, G.P. (1976) Ultradian rhythms of solitary and social behavior in rhesus monkeys, *Physiol. Behav.*, 17: 337-344.
 Richter, C.P. (1927) Animal behavior and internal drives, *Quart. Rev. Biol.*, 2: 307-343.
 Widrow, B., Hoff, M.E. (1966) Adaptive switching circuits, *IRE Wescon. Conv. Rec.*, 4: 96-104.

SUMMARY

The occurrence of ultradian rhythms (duration of intervals between 30 minutes and 20 hours) during spontaneous activities in the alert individual was investigated. The spectrum of signals were analyzed using Kalman's algorithm (an adaptive system based upon linear prediction). Optimal performance of this procedure was evidenced when compared to Widrow's method in which

the resolving capacity remain under a prefixed value (μ is constant). Main peaks with frequency values of 10-20 cycles for day were observed; other rhythms at shorter intervals were also detected.