

# VARIABILIDAD CARDÍACA EN TAREAS DE BUSQUEDA DE MEMORIA

Fernando DEL VALLE-INCLAN, Juan LAMAS, Eduardo PASARO,  
Jaime REDONDO, José ALCALDE, Elisardo RODRIGUEZ

Departamento de Psicología. Facultad de Humanidades. Universidad de La Coruña

Se comparan estimaciones de variabilidad cardíaca en los dominios del tiempo y frecuencia durante períodos de descanso y en una tarea de búsqueda de memoria con dos niveles de dificultad. Los resultados indican que todas las medidas de variabilidad cardíaca (IBI, coeficiente de variación y estimaciones espectrales) disminuyen durante la tarea, pero no hay diferencias entre los dos niveles de dificultad de la tarea.

**Palabras clave:** Variabilidad cardíaca; Análisis espectral; Búsqueda de memoria.

*Heart-rate variability during memory-search tasks.* Heart-rate variability estimates in time and frequency domains were collected during rest periods and while performing a memory-search task with two difficulty levels. Heart-rate variability measures (IBI, variation coefficient, and spectral estimates) decreased during task, but no differences were found between the two difficulty levels.

**Key words:** Heart rate variability; Spectral analysis; Memory search.

El objetivo del trabajo fue medir los cambios en variabilidad cardíaca durante el descanso y mientras se realiza una tarea de búsqueda de memoria (Sternberg, 1966) con dos niveles de dificultad. Se entiende por "variabilidad cardíaca" la variación en el tiempo entre dos contracciones ventriculares. Esta medida se ha utilizado en el laboratorio y en situaciones de campo y su empleo se remonta a los trabajos de Kalsbeek y Etema (1963). Estos autores presentaban dos estímulos, cada uno asociado a una respuesta, y variaban la frecuencia de presentación. Sus resultados mostraron cómo a medida que aumentaba la carga perceptiva (es decir, la frecuencia de presentación), disminuía la variabilidad cardíaca.

Desde entonces, son numerosas las demostraciones que ligan incrementos en demandas atencionales con disminución de la variabilidad cardíaca. Entre otros trabajos, Mulder y Mulder (1981) y Aasman, Mulder y Mulder (1987), con una tarea QRST, encontraron decrementos en variabilidad cardíaca en función de la dificultad de la tarea. Gaillard, Varey y Verduin (1985) encontraron diferencias entre descansos y tareas de búsqueda de memoria. Richards y Casey (1991), trabajando con una muestra de niños, encontraron decrementos en variabilidad durante una tarea visual. Resumiendo, los trabajos realizados con humanos muestran que la variabilidad cardíaca guarda una relación inversa con la dificultad de la tarea, o, si se quiere, con la demanda aten-

cional de la tarea. Este resultado es especialmente consistente cuando se comparan períodos de descanso y de tarea, aunque algunos trabajos han encontrado también diferencias entre tareas.

Los trabajos realizados con animales, muestran que la variabilidad cardíaca se debe, fundamentalmente, a la actividad del sistema vagal (Katona y Jih, 1975; Yongue et al., 1982; McCabe et al., 1984, 1985; Ak-selrod et al., 1981, 1985), y los trabajos realizados bloqueando el sistema parasimpático en humanos muestran el mismo resultado (Eckberg, 1983; Pomeranz et al., 1985; Porges, 1986). Se puede concluir que la variabilidad cardíaca está mediada por el sistema vagal, y también que las medidas de variabilidad cardíaca son un índice de la influencia del sistema parasimpático sobre el corazón (Porges, 1985).

Existen multitud de índices posibles para estimar la variabilidad cardíaca (ver el número monográfico de *Ergonomics*, 1973), pero a lo largo de los años se han ido decantando algunos como más útiles. En el dominio del tiempo, el índice con más aceptación es el coeficiente de variación, mientras que en el dominio de la frecuencia se emplean los valores del espectro total (0.01-0.50 Hz), así como la amplitud espectral en tres bandas de frecuencias:

1) Bajas frecuencias (0.01-0.06 Hz) relacionadas con mecanismos de vasodilatación periférica, y por tanto con la regulación de la temperatura corporal (Sayers, 1980).

2) Frecuencias medias (0.07-0.14 Hz), o banda de presión arterial, refleja la actividad de los mecanismos barorreceptores y su influencia sobre el corazón a través del sistema nervioso parasimpático. Mulder y Mulder (1981) defienden que la amplitud de esta banda es un índice más preciso del esfuerzo, o de la dificultad, que el resto del espectro.

3) Por último, la banda de frecuencias respiratorias con una frecuencia, general-

mente, y en condiciones de laboratorio psicológico, superior a 0.20 Hz.

## METODO

### *Sujetos*

Catorce mujeres, estudiantes de psicología participaron voluntariamente en el experimento (edad media 19 años).

### *Estímulos y aparatos*

Los estímulos eran dos letras de color blanco colocadas a ambos lados de un punto de fijación en el centro de la pantalla. El tiempo de presentación era de 800 ms. La presentación de estímulos y la recogida de respuestas se hacía con un PC compatible, programado en Turbo Pascal con la biblioteca de subrutinas Taskit.

### *Procedimiento*

El experimento se realizó individualmente en una sala insonorizada. La sesión experimental comenzaba con dos bloques de práctica (40 estímulos por bloque) con sets de memoria de 2 y cuatro elementos (el orden de presentación se contrabalanceó). Tras el período de práctica, los sujetos descansaban durante dos minutos sin moverse ni hablar y a continuación se les presentaba un set de memoria (con dos o cuatro elementos) durante 8 segundos seguido de un bloque de 80 estímulos. Cada estímulo iba precedido de un punto de fijación (+) que duraba 500 ms. Al terminar cada ensayo se informaba a los sujetos del resultado ("correcto", "incorrecto" o "muy lento", en el caso de que tardaran más de 800 ms en responder).

Al término de cada tarea había un período de descanso (dos minutos), de forma que la secuencia experimental era la siguiente: descanso -> tarea -> descanso -> tarea -> descanso.

### *Registro de ECG*

El ECG se registró con una derivación precordial. La señal amplificada pasaba por un detector de ondas R que generaba un pulso. La ocurrencia de cada pulso se registraba con precisión de 1 ms en un sistema diseñado por el Institute for Experimental Psychology, Universidad de Groningen, Holanda. Los datos se transmitían después a un PC para su almacenamiento y análisis.

### *Análisis de datos*

Se calculó el TR medio para las respuestas correctas (comprendidas entre 200 y 800 ms) y el porcentaje de aciertos para cada sujeto, condición (sets de memoria de dos o cuatro elementos) y respuesta (si, no). Estos datos se sometieron a ANOVAs con factores principales: orden de presentación (2), carga de memoria (2) y tipo de respuesta (2).

Las series de IBIs se analizaron con CARSPAN (Meulen y Mulder, 1988) y se calculó el IBI medio, el coeficiente de variación, la energía espectral total y la energía en la banda de frecuencias medias (el componente de 0.1 Hz). Para comprobar las diferencias en variabilidad cardíaca entre los períodos de descanso y los de tarea, se promediaron las estimaciones de los tres descansos y las dos tareas, y los resultados se analizaron con ANOVAs con un único factor: condición experimental (descanso, tarea). La evaluación de las diferencias entre las condiciones con dos y cuatro elementos en el set de memoria se realizó con ANOVAs con factores principales: orden de presentación (2) y carga de memoria (2). Todos los análisis estadísticos se realizaron con SPSS-PC.

## RESULTADOS

### *Resultados conductuales*

Como era de esperar, las respuestas negativas fueron más lentas que las afirma-

tivas, en cualquiera de las dos condiciones ( $F(1,15)=67.55$ ,  $p<.0001$ ), y, como también era de esperar, al aumentar la carga (número de ítems a recordar) se incrementó el TR medio ( $F(1,15)=25.60$ ,  $p<.0001$ ). Este aumento fue más notable para las respuestas negativas, lo que se tradujo en una interacción entre tipo de respuesta y tamaño del set de memoria ( $F(1,15)=13.86$ ,  $p<.002$ ).

El porcentaje de respuestas correctas fue menor con cuatro que con dos elementos en el set de memoria ( $F(1,15)=90.21$ ,  $p<.0001$ ), pero ningún otro efecto alcanzó significación.

### *Resultados de variabilidad cardíaca*

La figura 1 ilustra los cambios en los dominios del tiempo y frecuencia. Se observa un claro decremento del IBI medio ( $F(1,13)=77.12$ ,  $p<.0001$ ) y del coeficiente de variación ( $F(1,13)=28.37$ ,  $p<.0001$ ), durante los períodos de tarea.

La figura 2 muestra los cambios en el dominio de la frecuencia durante el descanso y durante la tarea. Los análisis estadísticos mostraron que estos cambios eran significativos para la energía espectral total ( $F(1,13)=35.11$ ,  $p<.0001$ ), para las frecuencias bajas ( $F(1,13)=28.18$ ,  $p<.0001$ ) y para la banda de frecuencias medias ( $F(1,13)=28.96$ ,  $p<.0001$ ).

Los análisis comparando los resultados de las dos tareas solamente mostraron un efecto significativo para el IBI que mostró una interrelación entre el orden de presentación y la dificultad de la tarea ( $F(1,12)=15.07$ ,  $p<.002$ ).

## DISCUSION

El objetivo central del trabajo eran las medidas de variabilidad cardíaca, y los resultados demostraron que se produce un fuerte decremento en todas ellas durante los períodos de tarea. La figura 1 ilustra las va-

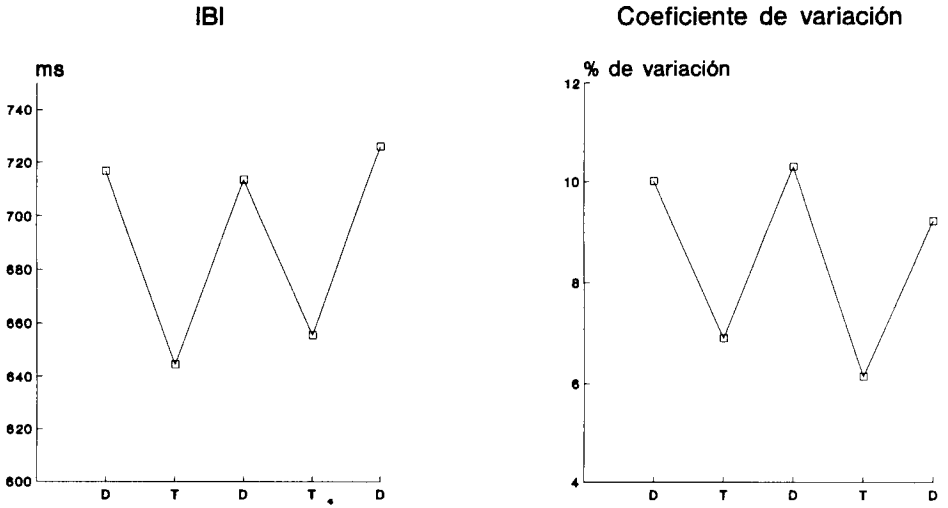


Figura 1. Variaciones en IBI (panel superior izquierdo), coeficiente de variación (panel superior derecho) y energía espectral total (panel inferior) a lo largo del experimento. Los periodos de tarea son el promedio de los dos tamaños de set de memoria. (T = tarea; D = descanso).

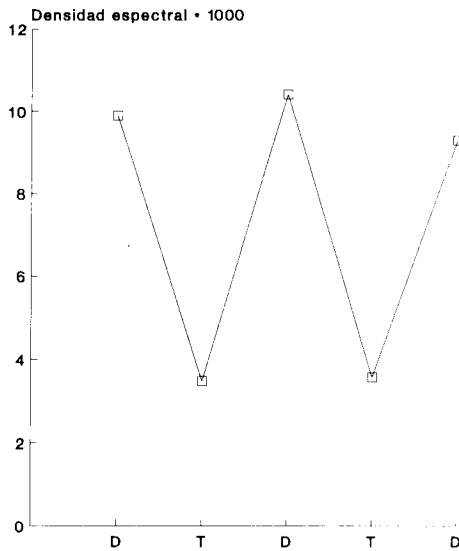


Figura 2. Energía espectral global

riaciones entre tareas y descansos a lo largo de la prueba. El IBI medio disminuyó unos 60 ms durante las tareas, y también decrecieron las estimaciones espectrales (energía total y banda de frecuencias medias) y el coeficiente de variación. Sin embargo, no encontramos diferencias en variabilidad cardíaca en función del tamaño del set de memoria.

Los resultados concuerdan, en líneas generales, con los previamente publicados (p.e. Gaillard, Varey y Verduin, 1985) e indican que el decremento en variabilidad es un índice del gasto de recursos atencionales. La ausencia de diferencias entre las condiciones con dos y cuatro elementos en el set de memoria, puede atribuirse bien a que el índice elegido (variabilidad) no es lo suficientemente sensible, bien a que la demanda atencional fue similar en los dos casos, puesto que los sujetos disminuyeron su precisión. Trabajos como los de Mulder y Mulder (1981) muestran que la variabilidad cardíaca (especialmente la amplitud de la banda de frecuencias medias) puede distinguir entre dos condiciones con cargas

atencionales similares a las utilizadas en este trabajo, y por ello nos inclinamos a pensar que la ausencia de diferencias se debe a que los sujetos decidieron disminuir su precisión, rebajando así las demandas de la tarea en la condición más difícil.

En este experimento, el IBI fue más corto durante las tareas que durante los descansos, y este resultado merece algún comentario, pues trabajos anteriores en nuestro laboratorio (Redondo y Valle-Inclán, 1992) mostraron que el IBI aumentaba a lo largo del experimento, independientemente de la tarea. La diferencia de resultados puede explicarse por la menor duración de los períodos de tarea y descanso en este experimento. Cuando se pasa de un descanso a una tarea, el patrón de respuesta típico es una aceleración del ritmo cardíaco que al cabo de un corto tiempo vuelve a su ritmo anterior. Si el tiempo de estudio es lo suficientemente breve, esta aceleración inicial determinará que el IBI medio durante la tarea disminuya. Por el contrario, si el tiempo de la tarea es más largo, el IBI medio se verá menos afectado por la aceleración inicial.

## REFERENCIAS

- Aasman, J., Mulder, G. y Mulder, L.J.M. (1987). Operator effort and the measurement of heart-rate variability. *Human Factors*, 29, 161-170.
- Akselrod, S., Gordon, D., Madwed, J.B., Snidman, N.C., Shannon, D.C. y Cohen, R.J. (1985). Hemodynamic regulation: Investigation by spectral analysis. *American Journal of Physiology*, 249, H867-H875.
- Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F.D. Shannon, D.C. y Cohen, R.J. (1981). Power spectral analysis of heart rate fluctuations: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science*, 213, 220-222.
- Eckberg, D.L. (1983). Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow. *Journal of Applied Physiology*, 54, 961-966.
- Gaillard, A.W.K., Varey, C.A. y Verduin, C.J. (1985). Heart rate during a reaction time and a reference task. En J.F. Orlebeke, G. Mulder y V.L. Doornen (Eds.). *The psychophysiology of cardiovascular control*. N.Y: Plenum Press, pp. 465-477.
- Kalsbeek, J.W.H. y Etema, J.H. (1963). Continuous recording of heart rate and the measurement of perceptual load. *Ergonomics*, 6, 306-307.
- Katona, P.G. y Jih, F. (1975). Respiratory sinus arrhythmia: Non-invasive measure of parasympathetic cardiac control. *Journal of Applied Physiology*, 39, 801-805.

- McCabe, P.M., Yongue, B.G., Ackles, P.K. y Porges, S.W. (1985). Changes in heart period, heart period variability, and a spectral analysis estimate of respiratory sinus arrhythmia in response to pharmacological manipulations of baroreceptor reflex in cats. *Psychophysiology*, 22, 195-203.
- McCabe, P.M., Yongue, B.G., Porges, S.W. y Ackles, P.K. (1984). Changes in heart period, heart period variability, and a spectral analysis estimate of respiratory sinus arrhythmia during aortic nerve stimulation in rabbits. *Psychophysiology*, 18, 42-48.
- Meulen, P. and Mulder, L.J.M. (1987). *CARS-PAN: Cardiovascular Spectral Analysis*. Institute for Experimental Psychology, University of Groningen. Groningen, The Netherlands.
- Mulder, G. y Mulder, L.J.M. (1981). Information processing and cardiovascular control. *Psychophysiology*, 18, 392-405.
- Pomeranz, B., Maccaulay, R.J., Caudill, M.A., Kutz, I., Adam, D., Gordon, D., Kilborn, K.M., Barger, A.C., Shannon, D.C., Cohen, R.J. y Benson, H. (1985). Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *American Journal of Physiology*, 17, H151-H153.
- Porges, S.W. (1985). Respiratory sinus-arrhythmia: an index of vagal tone. En Orlebeke, J.F., G. Mulder y L.J.P. van Doornen (Eds.). *Psychophysiology of cardiovascular control*. N.Y.: Plenum Press, pp. 437-450.
- Porges, S.W. (1986). Respiratory sinus-arrhythmia: Physiological basis, quantitative methods, and clinical implications. In P. Grossman, K.H. Janssen y D. Vaitl (Eds.), *Cardiorespiratory and cardiovascular psychophysiology*. N.Y.: Plenum Press, pp. 101-106.
- Redondo, M. y Valle-Inclán, F. (1992). Decrements in heart rate variability during memory search. *International Journal of Psychophysiology* (en prensa).
- Richards, J.E. y Casey, B.J. (1991). Heart rate variability during attention. *Psychophysiology*, 28, 43-52.
- Sayers, B.McA. (1980). Pattern analysis of the heart rate signal. En I. Martin y P.H. Venables (Eds.). *Techniques in psychophysiology*. Chichester: John Willey & Sons, pp. 197-210.
- Sternberg, S. (1966). High-speed scanning in human memory. *Science*, 153, 652-654.
- Yongue, B.G., McCabe, P.M., Porges, S.W., Rivera, M., Kelley, S.L. y Ackles, P.K. (1982). The effects of pharmacological manipulations that influence vagal control of the heart on heart period, heart-period variability and respiration un rats. *Psychophysiology*, 19, 426-432.