



Variabilidad de la tasa cardíaca (*HRV*) y regulación emocional

Alicia Fonfría
afonfria@psb.uji.es
Rosario Poy
poy@psb.uji.es
Pilar Segarra
segarra@psb.uji.es
Raúl López
penades@psb.uji.es
Àngels Esteller
aestelle@psb.uji.es
Carlos Ventura
al107049@alumail.uji.es
Pablo Ribes
pribes@psb.uji.es
Javier Moltó
molto@psb.uji.es

I. Resumen

904



El modelo de integración neurovisceral atribuye a estructuras corticales prefrontales una función reguladora sobre la actividad de los circuitos subcorticales relacionados con la respuesta motivada (Thayer y Lane, 2000). Este estudio pretendía investigar dicha función examinando la influencia de un índice de la regulación emocional a nivel cortical —el componente parasimpático de la Variabilidad de la Tasa Cardíaca (*HRV*; *Heart Rate Variability*)— sobre el proceso de modulación afectiva del reflejo de sobresalto (RS) que se da a nivel subcortical. Dado que una mayor magnitud del componente parasimpático de la *HRV* se asocia con un mayor grado de regulación afectiva, en este estudio utilizamos una medida específica de actividad parasimpática (*HF*: *High Frequency Power*) para clasificar a los participantes en dos grupos extremos correspondientes a los cuartiles superior ($n = 16$) e inferior ($n = 16$) en *HF* obtenido durante un periodo de descanso de 8 minutos. Asimismo, se registraron las respuestas de parpadeo del RS ante ruidos blancos (50 ms; 110 dB) presentados durante la visión de imágenes afectivas (8 eróticas, 8 neutras y 8 mutilaciones) seleccionadas del *International Affective Picture System (IAPS)*. Los participantes con valores elevados de *HF* mostraron el patrón esperado de modulación afectiva del RS —inhibición durante la visión de imágenes agradables y potenciación ante imágenes desagradables, respecto a las neutras. En cambio, los participantes con valores bajos en *HF* mostraron un patrón anómalo de modulación del RS ausencia de potenciación ante las imágenes desagradables, respecto a las neutras. Estos resultados ofrecen respaldo empírico al modelo de integración neurovisceral confirmando que la *HRV* mediada parasimpáticamente puede considerarse un buen indicador de regulación emocional y que posibilita una mayor capacidad para la adaptación a las demandas ambientales cambiantes.

II. Introducción

El modelo de integración neurovisceral de Thayer y Lane (2000) propone la existencia de una red de estructuras neurales relacionadas con la regulación fisiológica, cognitiva y emocional denominada Red Autónoma Central (*Central Autonomic Network*; *CAN*). Desde un punto de vista funcional, esta red forma parte de un sistema de regulación interna a través del cual el cerebro controla las respuestas visceromotoras, neuroendocrinas y conductuales, críticas para lograr un comportamiento adaptativo. El *CAN* inerva el corazón a través de las vías simpática y parasimpática del sistema nervioso, cuya interacción se considera la fuente de la variabilidad del ritmo cardíaco (Saul, 1990). De esta forma, se propone que la actividad reguladora del *CAN* está directamente relacionada con la variabilidad de la tasa cardíaca (*Heart Rate Variability*; *HRV*). Más recientemente, estudios de neuroimagen y de bloqueo farmacológico apuntan a la asociación entre la actividad en

estructuras prefrontales y el componente parasimpático de la HRV (Ahren y cols., 2001; Lane, Reiman, Ahren y Thayer, 2001), lo que ha dado lugar al uso de este componente como un indicador válido de los procesos de regulación emocional a nivel cortical (Ruiz-Padial, Sollers, Vila y Thayer, 2003).

La HRV es el resultado, por tanto, de las interacciones entre el sistema nervioso autónomo (SNA) y el mecanismo intrínseco del funcionamiento del corazón. La actividad del SNA se basa en el equilibrio entre el sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP). La activación del SNS produce un aumento de la frecuencia cardíaca mediante impulsos lentos de baja frecuencia y es el responsable de los cambios en la tasa cardíaca debidos a estrés físico y mental. En cambio, el SNP disminuye la frecuencia cardíaca por impulsos eléctricos vagales de alta frecuencia y gestiona los cambios en la tasa cardíaca debidos a las señales procedentes de los barorreceptores arteriales y del sistema respiratorio.

A efectos prácticos, la HRV se define como la variación de la frecuencia del latido cardíaco durante un intervalo de tiempo definido previamente y la forma más habitual de medirla es a partir del electrocardiograma (ECG) desde el cual pueden obtenerse índices de dominio temporal e índices a nivel frecuencial. La obtención de índices frecuenciales requiere la aplicación de metodologías especiales como el análisis espectral (Task Force, 1996). Este método nos permite descomponer la onda ECG en diferentes componentes frecuenciales que se correlacionan con la actuación de diferentes componentes del SNA. Por tanto, es posible identificar distintos índices de HRV en función del espectro de frecuencia atendido y de las influencias —simpáticas o parasimpáticas— que reciben. De esta forma, por ejemplo el índice de baja frecuencia (*Low Frequency*; LF) se encuentra entre 0,04 y 0,15 Hz y recibe influencias tanto simpáticas como parasimpáticas, por lo que su interpretación resulta confusa. En cambio, el índice de alta frecuencia (*High Frequency*; HF) que se encuentra entre 0,15 y 0,4 Hz parece asociado exclusivamente con la actividad parasimpática (Task Force, 1996).

Estudios recientes han mostrado que la HRV mediada parasimpáticamente se asocia con índices cardíacos de atención y emoción (Thayer, Friedman, Borkovec, Johnsen y Molina, 2000). Asimismo, diversas investigaciones han mostrado una reducida HRV en diversas psicopatologías caracterizadas por una inadecuada regulación emocional como son la depresión (Light, Kothandapani y Allen, 1998; Thayer y cols., 1998), el trastorno de ansiedad generalizada (Thayer, Friedman y Borkovec, 1996), el trastorno por estrés posttraumático (Cohen, Matar, Kaplan y Kotler, 1999) y también en la falta de control de impulsos observada en trastornos como la adicción y el trastorno obsesivo-compulsivo (Allen, Matthews y Kenyon, 2000). Así pues, una elevada HRV mediada parasimpáticamente —como es el caso del



componente HF— se asocia con un mejor ajuste adaptativo y con una ausencia de problemas de conducta y trastornos emocionales.

Por otra parte, la modulación afectiva del reflejo de sobresalto (RS) es un fenómeno robusto empíricamente demostrado en un amplio abanico de situaciones experimentales. El RS es un patrón de activación motora involuntaria provocada por la presentación de un estímulo intenso de inicio repentino, como por ejemplo, un ruido y suele medirse en humanos mediante el registro psicofisiológico de la respuesta de parpadeo (Lang, Bradley y Cuthbert, 1990).

De acuerdo con la hipótesis del *priming* motivacional (Bradley, Cuthbert y Lang, 1999) el RS puede estar modulado —inhibido o potenciado— en función del estado emocional —apetitivo o aversivo— suscitado por el estímulo. De esta forma, estudios que han utilizado el paradigma de visión de imágenes afectivas han mostrado que, respecto a las imágenes neutras, las imágenes agradables producen la activación del sistema motivacional apetitivo, lo que provoca que el RS se inhiba. En cambio, la visión de imágenes desagradables produce la activación del sistema motivacional aversivo, dando lugar a una potenciación del RS. Esta modulación afectiva del RS parece estar mediada por estructuras subcorticales como el núcleo central de la amígdala tanto en animales (Davis, Walker y Lee, 1997) como en humanos (Angrilli y cols., 1996), lo que ha impulsado el desarrollo de investigaciones que utilizan la modulación afectiva del RS como un indicador de la regulación emocional a nivel subcortical (Ruiz-Padial y cols., 2003).

Finalmente, diversos estudios han mostrado que la actividad cortical ejerce una acción moduladora sobre la actividad de estructuras subcorticales. Así, se ha propuesto que la actividad de la corteza prefrontal está inversamente relacionada con la actividad de la amígdala (Davidson, 2002; Drevets, 1999). Como hemos visto anteriormente, cabe la posibilidad de utilizar medidas fisiológicas como la HRV y la modulación afectiva del RS como indicadores de procesos de regulación afectiva a diferentes niveles cerebrales. En este sentido, Ruiz-Padial y cols. (2003) fueron los primeros en examinar la posible existencia de diferencias en la modulación del RS en función de la HRV de los participantes. A pesar de que sus resultados mostraron que sólo los participantes con alta HRV presentan el patrón típico de modulación afectiva del reflejo de sobresalto, el estudio presenta ciertas peculiaridades metodológicas —como el uso de presentaciones muy rápidas de las imágenes afectivas o el uso de estímulos de enmascaramiento— que lo alejan del paradigma de visión pasiva de imágenes afectivas en el que repetidamente se ha encontrado la modulación afectiva del reflejo de sobresalto. Es por esto que es necesario realizar nuevos estudios que repliquen estos resultados en un paradigma clásico de visión de imágenes afectivas. De esta forma, este estudio pretendía investigar el proceso de regulación emocional examinando la influencia de las diferencias individuales en el componente parasimpático de la variabilidad cardíaca —asociado a la actividad de estructuras prefrontales— sobre el proceso de modulación afectiva del

reflejo de sobresalto, que se asocia a la actividad de estructuras subcorticales, en una tarea típica de visión pasiva de imágenes afectivas. Basándonos en la evidencia previa, se espera que los participantes con baja HRV (componente HF) muestren indicios de una peor modulación afectiva del RS que los participantes con alta HRV.

Además, con el fin de controlar posibles influencias producidas por la activación del SNS durante la tarea, se registró también la actividad electrodérmica ya que se considera una medida válida de la activación de este sistema, y constituye un indicador fiable de *arousal* inespecífico (cf. Bradley, 2000).

III. Metodología

a) Participantes

Partiendo de una muestra inicial de 65 estudiantes (12 varones) de la Universitat Jaume I, se utilizó el componente parasimpático de alta frecuencia (HF: *High Frequency*) para clasificar a los participantes en dos grupos extremos. De esta forma, se conformó un grupo con elevada HRV, correspondiente al cuartil superior en el componente HF (n=16); y, por otro lado, un grupo con baja HRV, correspondiente al cuartil inferior (n=16) en el componente HF. El componente HF se obtuvo a partir de un registro de la actividad cardíaca durante un período de descanso de ocho minutos, previo a la tarea experimental.

b) Tarea y estímulos

En la tarea experimental de visión pasiva de imágenes afectivas se emplearon 24 imágenes (8 imágenes eróticas, 8 neutras y 8 de mutilación), seleccionadas del *International Affective Picture System* (Lang, Bradley y Cuthbert, 2008) teniendo en cuenta su contenido específico y los valores normativos en la población española (Moltó y cols., 1999; Vila y cols., 2001).

Cada ensayo consistía en la presentación de una imagen durante 6 s. El intervalo entre ensayos (ITI) varió entre 10 y 14s. El sonido aversivo (ruido blanco de 105 dB, 50 ms de duración, y *risetime* instantáneo) que provocaba la respuesta de sobresalto se presentó a través de unos auriculares en el 75 % de los ensayos (4,5 ó 5,5 s después del inicio de la imagen), y en 5 ocasiones durante los intervalos entre ensayos. El orden de presentación de las imágenes fue contrabalanceado entre los sujetos, con el fin de que los estímulos —en el conjunto de la muestra— aparecieran con igual probabilidad en los distintos momentos de la secuencia experimental. Una vez administrada la tarea experimental, el sujeto experimental permanecía durante otro período de 3 minutos en condiciones de relajación, mientras se seguían registrando todas las señales.



c) Aparatos y registro

El registro de las señales psicofisiológicas y el control de la presentación de los estímulos (sonidos e imágenes) se llevó a cabo mediante el *software* VPM 11.8 (Cook, 2002).

La adquisición de la respuesta de conductancia de la piel se realizó mediante el módulo Coulbourn V71-23, utilizando electrodos de 8 mm de diámetro y gel isotónico K-Y Jelly. Los sensores fueron colocados en la protuberancia hipotenar de la palma de la mano izquierda (Fowles y cols., 1981). Para el registro de la señal electrodérmica se utilizó una tasa de muestreo de 20 Hz, una sensibilidad de 100 mV/ μ S, y una corriente continua de 0,5 V. El registro de la conductancia comenzó 3 s antes del inicio de la imagen, continuó durante los 6 s de la imagen y se prolongó hasta 2 s después de su desaparición. Se obtuvieron valores de conductancia cada 0,5 s. Los valores de cambio de la conductancia de la piel ($\Delta\mu$ S) ante la imagen se definieron como el máximo cambio de conductancia, respecto a un segundo previo a la aparición de la imagen (línea base), acontecido entre 1 y 4 s tras el inicio de la imagen. La distribución de los valores de cambio fue normalizada mediante una transformación logarítmica.

La actividad electromiográfica del músculo *orbicularis oculi*, responsable del parpadeo, se registró mediante electrodos de miniatura colocados debajo del ojo izquierdo. La tasa de muestreo empleada fue de 20 Hz durante los 3 s previos a la aparición del ruido, incrementándose a 1000 Hz 50 ms antes de su aparición. La señal fue registrada con una sensibilidad de 5K mediante el módulo Coulbourn V75-04, y filtrada (28 Hz y 500 Hz) mediante el Coulbourn V75-48. Finalmente la señal fue rectificadas e integrada mediante el módulo Coulbourn V76-23A. La magnitud de la respuesta de parpadeo (μ V) se obtuvo calculando el valor máximo de la actividad electromiográfica, entre 20 y 120 s tras la aparición del sonido, que fue generado mediante un módulo Coulbourn S81-02.

d) Procedimiento

Durante el pase experimental, el sujeto permaneció sentado aproximadamente a 2 metros de la pantalla en la que se proyectan las imágenes (120 cm x 85 cm), en una habitación insonorizada y con baja iluminación. Una vez colocados los sensores, se pidió al sujeto que contemplara cada imagen durante todo el tiempo que permanecía proyectada y que no prestara atención a los sonidos que ocasionalmente escucharía a través de los auriculares.

Antes de iniciar la tarea experimental se registró la actividad cardíaca durante un período de descanso de 8 minutos. Seguidamente se realizó una breve fase de práctica consistente en la presentación de 3 imágenes, durante la cual aparecían 3 sonidos aversivos, con el fin de familiarizar a los sujetos con el procedimiento y habitar las reacciones de sobresalto

iniciales. A continuació se procedí a la realització de la tarea psicofisiològica de visió pasiva de imàgenes afectives.

e) Anàlisis estadístics

Con el fin de examinar el efecto de las diferencias individuales en HRV sobre el patrón de reactividad emocional, los datos de la amplitud (μV) del parpadeo del reflejo de sobresalto y de los cambios en la conductancia de la piel (μS) fueron analizados por separado para cada grupo experimental (alta HRV vs. baja HRV) mediante dos ANOVAs univariados con *Tipo de imagen* (agradable, neutra, desagradable) como variable intrasujeto.

IV. Resultados

a) Amplitud del reflejo de sobresalto

En la Figura 1 aparece representado, para cada grupo, el promedio de la amplitud del RS en función del tipo de imagen. Los participantes con elevada HRV mostraron el patrón esperado de modulación afectiva del RS (cf. Bradley, 2000): inhibición durante la visión de imágenes agradables ($t[15] = 2,58, p < 0,01$) y potenciación durante las desagradables ($t[15] = 1,81, p < 0,05$), con respecto a las neutras.

En cambio, los participantes con reducida HRV, a pesar de que sí mostraron inhibición durante las imágenes agradables ($t[15] = 3,03, p < 0,01$), no mostraron la esperada potenciación del RS durante las imágenes desagradables ($p = 0,45$) en comparación con las neutras.

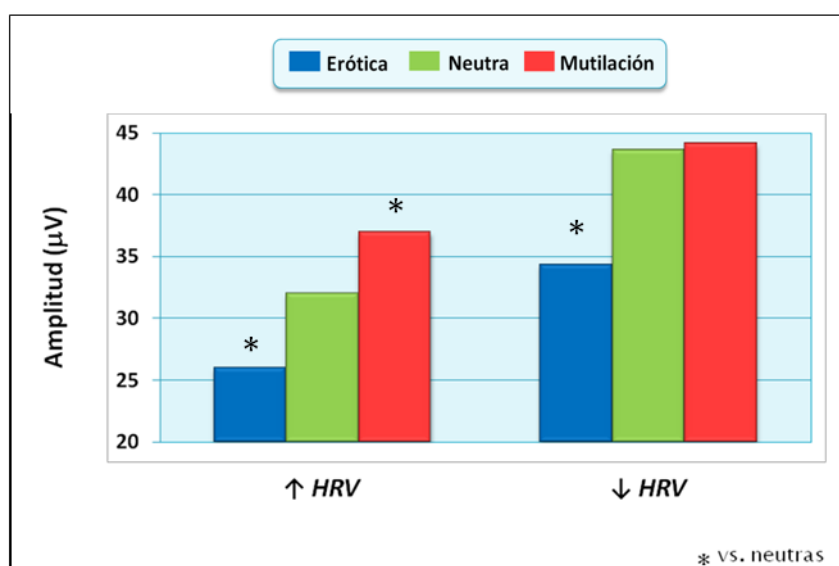


Figura 1. Promedio de la amplitud del RS en función del Tipo de imagen en los grupos de Alta y Baja HRV

b) Actividad electrodérmica

Como se observa en la Figura 2, ambos grupos mostraron el esperado patrón cuadrático de reactividad electrodérmica en función del tipo de imagen (cf. Bradley, 2000): mayores cambios de conductancia de la piel durante las imágenes activadoras, tanto agradables como desagradables, con respecto a las neutras ($F[1,15] = 5,12, p < 0,05$ y $F[1,15] = 14,27, p < 0,01$ para los grupos de alta y baja HRV, respectivamente).

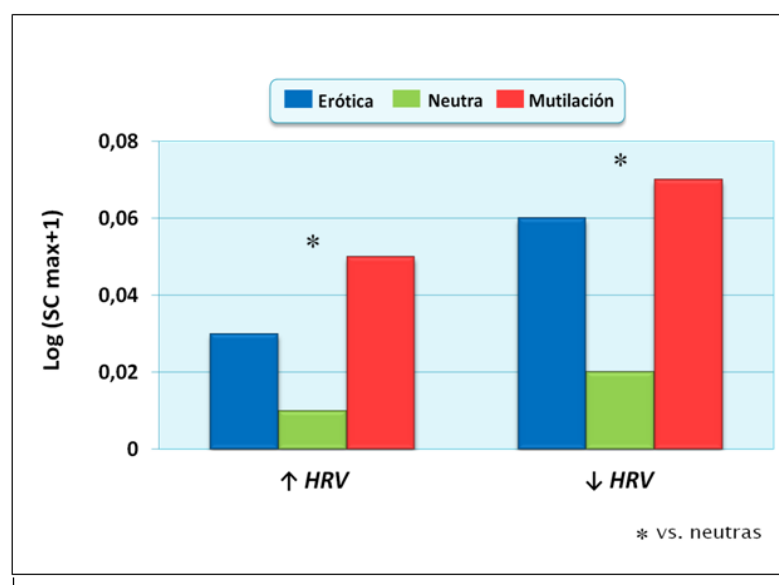


Figura 2. Promedio de los cambios en la conductancia de la piel en función del Tipo de imagen en los grupos de Alta y Baja HRV

V. Discusión

El objetivo de este estudio era investigar la influencia de las diferencias individuales en el componente parasimpático de la variabilidad cardíaca sobre el proceso de modulación afectiva del reflejo de sobresalto. De acuerdo con la hipótesis planteada, los resultados mostraron un patrón anómalo de modulación afectiva del RS sólo en los participantes con baja HRV.

Estos resultados son consistentes con el trabajo de Ruiz-Padial y cols. (2003) en el que se incluía una condición de presentación subliminal y enmascarada de las imágenes afectivas. Además, nuestros hallazgos son coherentes con otros trabajos en los que se observó una reducida HRV en trastornos psicopatológicos caracterizados por una inadecuada regulación emocional. Esto sugiere que una reducida HRV en población no clínica, como es el caso del presente estudio, podría tenerse en cuenta como una medida de utilidad para detectar a personas con una predisposición a desarrollar una psicopatología.

Por último, este trabajo ofrece respaldo empírico al modelo de integración neurovisceral que propone que la actividad de la corteza prefrontal ejerce una función reguladora sobre la actividad de estructuras

subcorticales asociadas con respuestas defensivas, posibilitando la modulación de las interacciones con el medio ambiente (Thayer y Lane, 2000). Dado que diversos estudios han mostrado que la actividad prefrontal correlaciona positivamente con la HRV (Lane y cols., 2001) y tiene una acción inhibitoria sobre estructuras subcorticales, como la amígdala, que está implicada en la modulación del RS, estos resultados sugieren que la HRV podría considerarse como un índice de la actividad de estructuras neurales asociadas con la regulación emocional.

En suma, este trabajo aporta evidencia sobre la posible inclusión de la HRV como una medida útil en el estudio de la emoción y la regulación emocional.

VI. Bibliografía

Ahern, G. L., Sollers, J. J., Lane, R. D., Labiner, D. M., Herring, A. M., Weinand, M. E., Hutzler, R. y Thayer, J. F. (2001). Heart rate and heart rate variability changes in the intracarotid sodium amobarbital (ISA) test. *Epilepsia*, 42, 912-921.

Allen, M. T., Matthews, K. A. y Kenyon, K. L. (2000). The relationships of resting baroreflex sensitivity, heart rate variability and measures of impulse control in children and adolescents. *International Journal of Psychophysiology*, 37, 185-194.

Angrilli, A., Mauri, A., Palomba, D., Flor, H., Birbaumer, N., Sartori, G. y Di Paola, F. (1996). Startle reflex and emotion modulation impairment after a right amígdala lesión. *Brain*, 119, 1991-2000.

Bradley, M. M. (2000). Emotion and motivation. En J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary y G. G. Bernston (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (págs. 602-642). United State of America: Cambridge University Press.

Bradley, M. M., Cuthbert, B. N. y Lang, P. J. (1999). Affect and the startle reflex. En I. M. Dawson, A. Schell y A. Boehmelt (Eds.), *Startle modification: Implications for neuroscience, cognitive science and clinical science* (págs. 242-276). Standford, CA: Standford University Press.

Cohen H., Matar, M. M., Kaplan, Z. y Kotler, M. (1999). Power spectral analysis of heart rate variability in psychiatry. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 68, 59-66.

Cook, E. W., III. (2002). *VPM Reference Manual*. Birmingham: Alabama.

Davidson, R. J. (2002). Anxiety and affective style: Role of prefrontal cortex and amygdala. *Biological Psychiatry*, 51, 68-80.

Drevets, W. C. (1999). Prefrontal cortical-amygdalar metabolism in major depression. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 877, 614-637.3



Fowles, D. C., Christie, M. J., Edelberg, R., Grings, W. W., Lykken, D. T. y Venables P. H. (1981). Publication recommendations for electrodermal measurements. *Psychophysiology*, 18, 232-239.

Lane, R. D., Reiman, E. M., Ahren, G. L. y Thayer, J. F. (2001). Activity in medial prefrontal cortex correlates with vagal component of heart rate variability during emotion. *Brain and Cognition*, 47, 97-100.

Lang, P. J., Bradley M. M. y Cuthbert, B. N. (1990). Emotion, attention, and the startle reflex. *Psychological Review*, 97, 377-398.

Lang, P. J., Bradley M. M. y Cuthbert, B. N. (1997). Motivated attention: affect, activation and action. En P. J. Lang, R. F. Simons y M. T. Balaban (Eds), *Attention and orienting: Sensory and motivational processes* (págs. 97-135). Mahwa, NJ: Erlbaum.

Lang, P. J., Bradley, M. M. y Cuthbert, B. N. (2008). *International Affective Picture System (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual*. Technical Report A-7. Gainesville, FL: The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida.

Light, K. C., Kothandapani, R. V. y Allen, M. T. (1998). Enhanced cardiovascular catecholamine responses in women with depressive symptoms. *International Journal of Psychophysiology*, 28, 157-166.

Moltó, J., Montañés, S., Poy, R., Segarra, P., Pastor, M. C., Tormo, M. P., Ramírez, I., Hernández, M. A., Sánchez, M., Fernández, M. C. y Vila, J. (1999). Un nuevo método para el estudio experimental de las emociones: El International Affective Pictures System (IAPS). Adaptación española. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 52, 55-87.

Rodas, G., Pedret, C., Ramos, J. y Capdevila, L. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardíaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (I). *Archivos de medicina del deporte*, XXV, 41-47.

Ruiz-Padial, E., Sollers, J. J., Vila, J. y Thayer, J. F. (2003). The rhythm of the heart in the blink of an eye: Emotion-modulated startle magnitude covaries with heart rate variability. *Psychophysiology*, 40, 306-313.

Saul, J. P. (1990). Beat-to-beat variations of heart rate reflect modulation of cardiac autonomic outflow. *News in physiological sciences*, 5, 32-37.

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: Standard of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93, 1043-1065.

Thayer, J. F., Friedman, B. H y Borkovec, T. D. (1996). Autonomic characteristics of generalized anxiety disorder and worry. *Biological Psychiatry*, 39, 255-266.



Thayer, J. F., Friedman, B. H., Borkovec, T. D., Johnsen, B. H. y Molina, S. (2000). Phasic heart period reactions to cued threat and non-threat stimuli in generalized anxiety disorder. *Psychophysiology*, *37*, 361-368.

Thayer, J. F. y Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, *61*, 201-216.

Thayer, J. F., Smith, M., Rossy, L. A., Sollers, J. J. I. y Friedman, B. H. (1998). Heart period variability and depressive symptoms: Gender differences. *Biological Psychiatry*, *44*, 304-306.

Vila, J., Sánchez, M., Ramírez, I., Fernández, M. C., Cobos, P., Rodríguez, S., Muñoz, M. A., Tormo, M. P., Herrero, M., Segarra, P., Pastor, M. C., Montañés, S., Poy, R. y Moltó, J. (1999). El Sistema Internacional de Imágenes Afectivas (IAPS): adaptación española. Segunda parte. *Revista de Psicología General y Aplicada*, *54*, 635-657.

