

*Invest Medicoquir. 2015 (julio-diciembre);7(2):292-312.*

ISSN: 1995-9427, RNPS: 2162

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

***La variabilidad de la frecuencia cardíaca, un incuestionable indicador de la unidad biopsicosocial***

***The variability of the heart frequency, an unquestionable indicator of the unit bio psychosocial***

Marilín Pérez Lazo de la Vega<sup>I</sup>, Pedro J. Almirall Hernández<sup>II</sup>, Aylén Pérez Barreda<sup>III</sup>.

I Doctora en Ciencias Psicológicas. Máster en Psicología Clínica. Investigador Agregado. Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas. La Habana, Cuba.

II Doctor en Ciencias Médicas. Investigador Titular. Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores. La Habana, Cuba.

III Especialista de I Grado en Cardiología. Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas. La Habana, Cuba.

### RESUMEN

Es una verdad irrefutable que la unidad de los elementos biológicos, psicológicos y sociales, constituyen la base de la conducta humana y esta a su vez influye en los estados de salud, aspecto este pocas veces explicado. El esfuerzo mental se ha asociado directamente al desarrollo de la enfermedad cardiovascular. La variabilidad de la frecuencia cardíaca constituye un indicador de alta sensibilidad y especificidad de su presencia. Nos proponemos profundizar en las particularidades de la variabilidad de la frecuencia cardíaca como indicador psicofisiológico ante el esfuerzo mental. Concediendo especial atención a los siguientes aspectos: utilidad, importancia clínica, relación con las características de la personalidad y los estados emocionales, mecanismos biológicos y químicos; relación con el sistema nervioso autónomo, otras condiciones que pueden influir en su comportamiento y por último los métodos utilizados en su evaluación y procesamiento. La variabilidad de la

frecuencia cardíaca permite evaluar objetivamente resultados de salud dados por la integración de los elementos biológicos, psicológicos y sociales. Método fácil y no invasivo que permite predecir el riesgo de desarrollo de eventos cardiovasculares y el estado de salud, de manera general, del individuo. La disminución de los valores de variabilidad de la frecuencia cardíaca se ha asociado a emociones negativas y peor salud física y psicológica.

**Palabras clave:** variabilidad de la frecuencia cardíaca, esfuerzo mental, sistema nervioso autónomo.

## **ABSTRACT**

The unit of the biological, psychological and social components is the basis of human behavior, and this in turn influences certain health states. This has rarely been explained although it is an undeniable truth. The mental effort, one of the stressors of the labor life, has been directly associated to the development of cardiovascular disease. The variability of the heart rate (HRV) constitutes an indicator of high sensitivity and specificity of its presence. It is the purpose of this paper to deepen into the particulars of the VHR as a psycho-physiological indicator when there is a mental effort. Special attention is granted to the following aspects: usefulness, clinical relevance, relation to personality characteristics and emotional states, biological and chemical mechanisms, relationship with the autonomous nervous system (ANS), other conditions that can influence in its behavior, and the methods used in its evaluation and processing. The evaluation of the HRV allows to evaluate objectively health results provided by the integration of biological, psychological and social aspects. It is an easy noninvasive method that permits to predict the risk of developing cardiovascular events and the general health status of the individual. The decrease of the HRV has been associated to negative emotions and worse physical and psychological health.

**Key words:** variability of the heart rate, mental effort, autonomous nervous system

## **INTRODUCCIÓN**

La unidad de los elementos biológicos, psicológicos y sociales como constituyente de la conducta humana o de estados de salud determinados se ha convertido en una verdad irrefutable, pero pocas veces profundamente explicada. Tratar de entender cómo se imbrican estos aspectos en un único resultado ha sido tema

recurrente entre investigadores de diversas especialidades como la Medicina, la Psicología y la Sociología.

En el caso de las enfermedades crónicas no transmisibles, el factor humano, la individualidad, las emociones y la sociedad, juegan un papel esencial. Es conocido que estas enfermedades ocupan los primeros lugares de los cuadros de morbi mortalidad a nivel mundial, destacándose entre ellas las enfermedades cardiovasculares, un problema socio-sanitario de primer orden responsable de una de las principales causas de muerte y discapacidad en los países industrializados y en Cuba.

El estrés crónico se ha relacionado con el desarrollo de la enfermedad cardiovascular. La actividad laboral catalogada como una de las mayores fuentes de estrés crónico<sup>(1)</sup>, ha condicionado el crecimiento de las exigencias cognitivas debido al desarrollo científico técnico. El esfuerzo mental, condición resultante tiene gran repercusión para la salud en general y para el enfermo cardiovascular en particular<sup>(2,3)</sup>. Por esos motivos el presente artículo se dedica a profundizar en el conocimiento de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) como indicador psicofisiológico del esfuerzo mental.

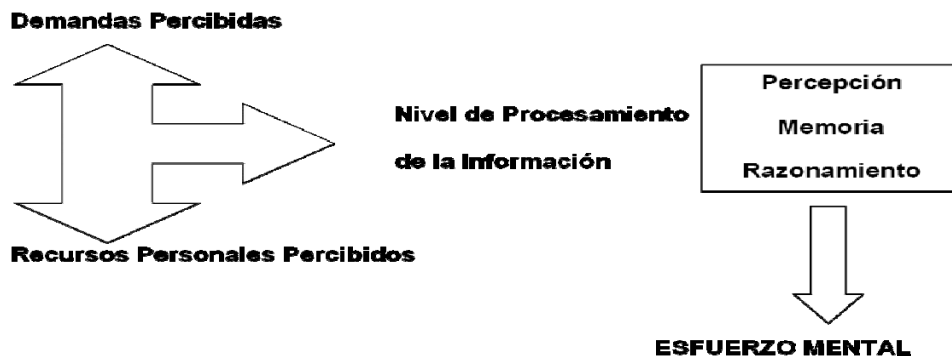
## **DESARROLLO**

La variabilidad de la frecuencia cardíaca como indicador de esfuerzo mental

El esfuerzo mental categoría de marcada connotación psicológica, inicialmente fue un concepto utilizado para ayudar a determinar cuan trabajoso resultaba para una persona procesar activamente una información presentada<sup>(4)</sup>. Incluía una combinación de características de la demanda y autoeficacia percibidas y el nivel de procesamiento de información, donde las dos primeras condiciones ejercen una influencia sobre la última, que determina la cantidad de esfuerzo mental invertido. Esta información tiene que ser extraída, discriminada, recordada y elaborada<sup>(4)</sup>.

Según Arquero y Nogareda, el esfuerzo mental se define como la cantidad de esfuerzo intelectual que se debe realizar para conseguir un resultado concreto<sup>(5)</sup>. Por su parte Asepoyo lo considera como el procesamiento que se le da a la información por el sistema nervioso central (SNC), donde hay tres procesos mentales implicados, percepción, memoria y razonamiento<sup>(6)</sup>.

Un análisis de las diferentes conceptualizaciones y de los propios resultados de este trabajo permiten esquematizar, mostrada en la Figura 1 los componentes fundamentales de esta categoría, que en su esencia reflejan cómo se realiza el procesamiento cognitivo del individuo ante las demandas laborales.



**Figura 1.** Componentes fundamentales del esfuerzo mental.

El esfuerzo mental está regulado por la norma ISO10075 y dentro de la medicina del trabajo sus efectos en conjunción con otros aspectos psíquicos son observables a través de la evaluación de la carga de trabajo mental<sup>(7)</sup>. Ha sido evaluado desde diferentes niveles; psicológico, fisiológico y psicofisiológico. Dentro de esta última aproximación se ha considerado que la VFC es un indicador de alta sensibilidad y especificidad de su presencia<sup>(8)</sup>.

El interés en la profundización del estudio de la VFC se debe a las siguientes razones:

- Constituye un indicador psicofisiológico.
- Es sensible al esfuerzo mental<sup>(9-12)</sup>. Se ha sugerido que puede reflejar antes que cualquier otro indicador la intensidad del esfuerzo mental, incluso momentáneamente<sup>(13)</sup> y mucho antes que cualquier deterioro en la ejecución de la tarea, por lo que constituye un indicador de capacidad funcional<sup>(14)</sup>.
- Es el resultado de las interacciones entre el sistema nervioso autónomo (SNA) y el aparato cardiovascular. El análisis de la VFC permite un estudio no invasivo de la actividad del SNA. Mide la influencia del SNA en el nodo sinusal.
- Constituye un potente indicador de riesgo para la salud relacionado con enfermedades crónicas, tasas de morbilidad, mortalidad y envejecimiento.

- Es utilizado como indicador de salud fisiológica y psicológica. Se ha establecido asociación entre personas sanas con mejor calidad de vida en relación a la salud con mayor VFC<sup>(15,16)</sup>.
- En el caso específico de los cardiópatas la importancia clínica radica en que la pérdida de complejidad de la señal cardíaca está asociada a un incremento del riesgo de muerte súbita. Una VFC anormal es un marcador de riesgo general de todos los modelos de muerte cardíaca: arritmias, vascular y hemodinámica.

El estudio de la VFC como indicador psicofisiológico de esfuerzo mental data de principios del siglo XX<sup>(17)</sup>. Este parámetro retomó gran auge a partir de la década del treinta<sup>(18-20)</sup> y este interés se mantuvo posteriormente<sup>(21- 26)</sup>. La década de los 90 y la actualidad, muestra la continuidad de su estudio<sup>(27-33)</sup>.

Los trabajos de Kalsbeek en la década de los setenta del siglo pasado<sup>(21)</sup> resultaron estimulantes para la investigación empírica. Se emplearon en condiciones de laboratorio, los paradigmas “*dual task*” y con ello se demostró una asociación entre exigencias mentales y “regularidad” en el ritmo del corazón. En otras palabras, ante altas exigencias neuropsíquicas el corazón parece perder su capacidad de adaptación y regulación. Esto permitió el planteamiento de una hipótesis sobre la génesis de numerosos trastornos cardiovasculares de frecuente referencias en determinadas profesiones<sup>(22)</sup>.

Kalsbeek propuso que en el hombre sano una respuesta típica las magnitudes de la VFC decrecían en un 10% según su esfuerzo mental <sup>(22)</sup>. Se ha demostrado que en sujetos psicóticos la arritmia sinusal es menor, lo que refuerza la hipótesis de que en las psicosis los pacientes se encuentran permanentemente sometidos a exigencias mentales. Los pacientes psiquiátricos muestran un 40% menor de la VFC, en comparación con sujetos normales pareados por edad y sexo<sup>(34)</sup>.

En Cuba, su estudio como indicador de efecto de las exigencias mentales comienza en la década del ochenta del pasado siglo. Se destacan los trabajos de Almirall y colaboradores<sup>(35)</sup> en el Instituto nacional de salud del trabajo y los de Guma en el Hospital psiquiátrico de La Habana<sup>(36)</sup>.

Aunque su uso fuera del laboratorio ha tropezado con dificultades entre las que se destacan las diferencias individuales y la variabilidad del análisis estadístico de los resultados; estudios más recientes que comparan la VFC de sujetos expuestos a

estrés en el laboratorio y en la vida real, mostraron fuertes correlaciones en ambas respuestas, lo cual permitió afirmar la eficacia de las medidas en el laboratorio para predecir la respuesta autonómica en el mundo real<sup>(37)</sup>.

Estos resultados continúan motivando el estudio de la relación entre esfuerzo mental y trastornos de la salud, donde se destacan los cardiovasculares, tanto por la magnitud del problema epidemiológico, como por su capacidad de menoscabar la calidad de vida y el impacto sobre los servicios<sup>(38)</sup>.

Variabilidad de la frecuencia cardíaca. Su importancia clínica.

La frecuencia cardíaca es el número de latidos cardiacos por unidad de tiempo y se expresa como latidos por minuto. En el corazón normal el impulso nervioso para cada latido se origina en el nodo sinusal (ritmo sinusal) y se modula en el nódulo aurículo ventricular para mantener en promedio una frecuencia cardíaca alrededor de setenta veces por minuto, en reposo. Su funcionalidad depende entre otras, de la integridad del nodo sinusal y de las influencias neurohumorales<sup>(39)</sup>.

La VFC se ha definido como la fluctuación de la frecuencia cardíaca o variación de la distancia entre los intervalos RR en el electrocardiograma que se encuentra en el ritmo cardíaco normal, siendo característico del estado de reposo y tendiendo a desaparecer con el aumento de la frecuencia cardíaca o en presencia de carga física y mental. Dicha frecuencia no es uniforme, sino que el período varía continuamente por milisegundos. Los componentes periódicos de dichas variaciones están determinados por las dos ramas del SNA, la simpática que acelera las diversas funciones del organismo y por la parasimpática que las atenúa.

El corazón al igual que la mayoría de los sistemas fisiológicos, se comporta de modo errático cuando el individuo es joven y sano y contrario a lo que podría sugerir la intuición, el envejecimiento y la enfermedad se acompañan de regularidad creciente. Consecuentemente la irregularidad y la no predictibilidad (dentro de límites fisiológicos normales) son característicos de la salud mientras que la disminución de la variabilidad y la acentuación de periodicidades se asocian a la enfermedad.

La VFC ha recibido una creciente atención por las ciencias médicas en los últimos treinta años. Su uso se ha intensificado como instrumento diagnóstico que contribuye a determinar la evolución de muchas afecciones.

Su importancia clínica fue reconocida en 1965 al notar que el sufrimiento fetal era precedido por alteraciones en los intervalos entre latidos, antes que apareciera algún cambio apreciable en la frecuencia cardíaca. Se ha utilizado también para detectar la neuropatía autonómica en pacientes diabéticos<sup>(40)</sup>. Otros mostraron su valor pronóstico en el infarto agudo de miocardio, la insuficiencia cardíaca, los eventos isquémicos y la angina inestable<sup>(41-46)</sup>. Su disminución posterior al infarto agudo de miocardio con disminución del segmento ST en el electrocardiograma se ha asociado al aumento de muerte cardiovascular y arritmias ventriculares<sup>(45)</sup>.

En líneas generales es conocido que un fallo cardíaco está asociado a un incremento del tono simpático de reposo y un descenso del parasimpático, factores que simultáneamente reducen la VFC y disminuyen el umbral de fibrilación ventricular, arritmia que comúnmente se asocia a la muerte súbita. En las primeras ocho a treinta y dos horas tras un infarto, los enfermos experimentan una reducción progresiva de la VFC que se recupera en un plazo de seis a doce meses, aunque siempre permanecerá más baja que en sanos. Su comportamiento es diferente según la localización del infarto.

El análisis espectral indica que en los infartos miocárdicos anteriores se produce en progresiva activación del componente de baja frecuencia (BF) y una disminución del contenido de alta frecuencia (HF) durante ocho a treinta y dos horas tras el infarto, posiblemente por un predominio progresivo del tono simpático. Por el contrario en los infartos inferiores ambos componentes disminuyen de forma paralela y se mantiene estable el índice BF/AF. De esta manera se concluye que la VFC es mayor en los infartos inferiores.

Actualmente la comunidad médica la considera uno de los indicadores más fiables del déficit de adaptación inespecífico (NAD). De acuerdo con este concepto, desarrollado por el profesor Svetoslav Danev<sup>(47)</sup>, las enfermedades mortales son precedidas por cambios inespecíficos que reflejan el agotamiento de la capacidad de adaptación del organismo a los cambios desfavorables del entorno externo o interno. El aumento de las necesidades y la disminución de la capacidad de adaptación crean un círculo donde la única salida es la enfermedad y la muerte. En términos fisiológicos el NAD se basa en la eficiencia de los procesos fisiológicos que

juegan un papel importante en la regulación de los centros de coordinación de los procesos básicos de la vida.

Capdevila y colaboradores<sup>(14)</sup> destacan su uso como sistema de control y seguimiento de los deportistas. Los estados de salud y/o de bienestar y las situaciones óptimas de adaptación al entrenamiento deportivo se relacionan con la presencia de variabilidad en el intervalo RR. Por el contrario, la inadaptación al entrenamiento, las cargas excesivas, el *burnout*, la fatiga, el sobre entrenamiento o una condición física pobre se relacionan con una reducción de variabilidad. Por todo esto proponen que un sistema de análisis basado en el registro de la VFC pudiera ser útil para el control de la salud en la población general.

En Cuba en el área clínica, este indicador ha sido menos estudiado. Fisiólogos la han aplicado en el estudio de enfermos con desequilibrio del SNA<sup>(9)</sup>. En cardiología se ha utilizado para el diagnóstico y pronóstico de las arritmias, considerado como un método para establecer indirectamente el estado funcional del organismo<sup>(9)</sup>.

Uno de los estudios más ilustrativos fue el realizado en el cardiocentro del Hospital Hermanos Ameijeiras, donde se concluye que la VFC tiene valor predictivo de mortalidad en pacientes que han sufrido infarto del miocardio<sup>(45)</sup>. Los pacientes con síndrome coronario agudo y mayor daño coronario, presentan menor VFC al igual que los que presentaron una peor evolución durante el seguimiento. Estos resultados apoyan que la VFC es un método sencillo, barato, de fácil realización y no invasivo, puede aportar información útil para predecir el riesgo de muerte súbita después de un proceso coronario agudo, sobre todo, el infarto de miocardio.

En otro sentido también ha sido utilizado para evaluar la influencia negativa de la contaminación ambiental, los problemas de alimentación, el malestar psicosocial y los trastornos de la conducta<sup>(48)</sup>. La personalidad y los pensamientos influyen en los procesos fisiológicos. Estados emocionales positivos mantenidos en el tiempo, conducen a funciones fisiológicas que facilitan los procesos regenerativos naturales. Coherencia fisiológica, un patrón de onda sinusoidal que aumenta la sincronización del cerebro y los sistemas fisiológicos se prolonga después de estados de pensamiento positivo<sup>(49)</sup>. Algunos investigadores sostienen que la variabilidad fisiológica atenuada se asocia con la falta de flexibilidad psicológica y del comportamiento ante las demandas del medio ambiente. Una reducción de la VFC



no es sólo un índice de poca variabilidad fisiológica, sino de menor flexibilidad psicológica<sup>(50)</sup>. En consonancia con estos resultados, la resiliencia, característica de la personalidad, ha sido asociada a mayor VFC<sup>(15)</sup>.

La relación de la personalidad y los estados emocionales con la VFC constituye un tema motivador. Hay evidencias de que ciertos estados de ánimos y determinadas características de la personalidad como el patrón tipo A producen estados denominados de “baja funcionalidad”.

Se demostró que sujetos con personalidad tipo A muestran mayor reactividad cardiovascular que los tipo B durante el reposo fisiológico y ante situaciones de estrés inducido por estímulos visuales<sup>(51)</sup>. Los sujetos tipo A mostraron un período preeyección sistólica más corto y una reactividad simpática mayor.

La personalidad tipo B se caracteriza por una expresión general de relajación, calma y quietud. Otras investigaciones relacionan el aislamiento, la inhibición social y el patrón de conducta tipo D con la disminución de la VFC<sup>(52-54)</sup>.

La depresión, un problema de salud en muchos países se ha relacionado con una marcada disminución de este parámetro<sup>(55-57)</sup>. Shinba y cols<sup>(58)</sup> evaluaron este indicador en sujetos normales con ansiedad y depresión ante la resolución de tareas. Concluyeron que una disminución de la respuesta del SNA puede servir como un signo de disfunción psicológica.

Se sabe que los desórdenes cardiológicos y depresivos presentan gran comorbilidad y sus interrelaciones deberían ser analizadas dentro de un modelo biopsicosocial de la enfermedad<sup>(59)</sup>.

Otros estudios indican que la ansiedad y la sensibilidad emocional como rasgos personológicos, son predictores de mortalidad por causa cardíaca en pacientes que han sufrido un infarto de miocardio<sup>(60-62)</sup>. La baja sensibilidad emocional es una incapacidad para expresar emociones y dificulta la adaptación a la sociedad y a la interacción; lo cual mantenido en el tiempo puede facilitar un desbalance autonómico.

Se destaca también la fuerte asociación entre la VFC reducida con los trastornos de pánico<sup>(59)</sup>, la desesperanza<sup>(60)</sup>, el estrés psicosocial<sup>(62)</sup>, la ira<sup>(63)</sup>, el neuroticismo<sup>(2)</sup> y con las emociones negativas<sup>(63)</sup>.

Todo lo anterior evidencia que la VFC constituye un indicador de salud y que es sensible tanto a trastornos fisiológicos como psicológicos<sup>(12,14,15)</sup>.

VFC y mecanismos biológicos. Nódulo sinusal.

De manera resumida se mostrarán los mecanismos fisiológicos que deciden el ritmo cardiaco. La VFC está determinada por la influencia de la despolarización de las células del nodo sinusal cuyas fibras son las que muestran un mayor grado de autoexcitación y que las llevan a comportarse en condiciones normales como el marcapaso del ritmo cardiaco.

Estas células poseen los más bajos potenciales de membrana en reposo y exhiben una velocidad de despolarización más rápida. La adaptación de la frecuencia cardíaca y de su variabilidad a las necesidades biológicas se realiza a través del SNA. Los efectos del SNA sobre el marcapaso sinusal se producen a través de diferentes mediadores: la acetilcolina (en el caso del parasimpático) provoca hiperpolarización de la membrana e incremento de la permeabilidad al potasio, y las catecolaminas (en el caso del simpático) aceleran el ritmo cardiaco debido a un incremento de la velocidad de despolarización de las membranas de las células del nodo sinoauricular. Se debe tener en cuenta que normalmente el SNA mantiene activos simultáneamente sus componentes vagal y simpático, coexistiendo en un estado que se ha calificado como “sumatorio no lineal”<sup>(64)</sup>.

Teniendo en cuenta este mecanismo se explica cómo un aumento en la actividad neuronal, por mayores exigencias cognitivas o motivaciones, afecta el curso de los mecanismos de homeostasis del SNC en una forma no lineal. Ello repercute en los factores que regulan este control fisiológico dependiente del tono vegetativo, el cual está directamente relacionado con el nivel de activación y la magnitud del esfuerzo.

Aunque no existe una teoría capaz de explicar satisfactoriamente todos los resultados experimentales, se sabe que cuando hay altas exigencias neuropsíquicas disminuye la VFC, volviendo a la normalidad cuando se descansa de estas altas exigencias. La explicación estriba en que cuando hay gran activación de la corteza cerebral debido al incremento de los estímulos aferentes por mayor información a procesar, se provoca cierto grado de bloqueo en el resto de las funciones del sistema límbico. Esto repercute en el decrecimiento de la actividad parasimpática y

en la disminución de la capacidad reguladora del corazón ante exigencias extremas, traduciéndose en una disminución de la VFC.

Por su parte el hipotálamo (principal vía motora eferente del sistema límbico) envía señales aferentes a la corteza cerebral, a través del sistema reticular activador del tallo encefálico, al mismo tiempo que controla la mayor parte de las funciones vegetativas del organismo y muchos aspectos de la conducta emocional. Las estructuras de esta formación son activadas por estímulos nerviosos aferentes que provienen principalmente de dos fuentes: la esfera consciente de la corteza cerebral y los órganos sensoriales<sup>(64)</sup>.

Partiendo de lo anterior podemos resumir que las estructuras nerviosas en el cerebro medio y médula, juegan un papel importante en la regulación y coordinación de los estados funcionales del cuerpo. La corteza cerebral y los órganos internos son dirigidos de manera lógica por estos centros nerviosos, regulando el nivel de disposición y el ajuste a las demandas del momento. De esta forma a pesar de que la corteza cerebral ocupa la cúspide en la organización jerárquica vertical del sistema nervioso, interactúa formando un sistema complejo de regulación mutua con las estructuras subcorticales como el hipotálamo, el sistema límbico y la formación reticular del tallo cerebral.

VFC y mecanismos bioquímicos. Equilibrio autonómico.

La regulación a corto plazo de la VFC ocurre principalmente por el control neuronal y se realiza a través del arco baroreflejo; la disminución de la VFC es explicada a partir de la interacción de tres factores: a) disminución en la sensibilidad de los baroreceptores, b) cambios en el patrón de respiración [con cada inspiración el ritmo cardíaco aumenta revelando el predominio simpático para disminuir durante la siguiente expiración (predominio vagal)] y c) cambios en la frecuencia espontánea de oscilaciones vasomotoras (por un retardo en el sistema de control de la presión sanguínea).

En 1978 Luzack elaboró un modelo explicativo que plantea que los efectos de las altas cargas neuropsíquicas se reflejan principalmente en las funciones referentes al tono simpático, cambios que según él son posibles por el flujo normal de los impulsos nerviosos, los que afectan al nodo sinusal y el centro respiratorio, influenciados a su vez en su amplitud y frecuencia por el SNA (actividades de las vías del vago y simpático).

El sustrato neurofisiológico se supone que sea el área conocida como formación reticular ascendente y su relación con el sistema límbico, que sirven de zona de convergencia para las señales de los medios internos y externos. En este sentido debemos destacar que el sistema reticular activador controla el grado de alerta y la preparación para la acción, siendo su activación prácticamente nula durante el sueño y aumentando en la vigilia, pudiendo llegar a un estado de alarma.

El sustrato electrofisiológico del automatismo sinusal queda constituido por la despolarización espontánea durante la diástole, mientras que el sustrato iónico del automatismo de la actividad de las células marcapaso, se explica a través del cambio en las propiedades eléctricas de las células por movimiento o corrientes iónicas a través de la membrana. Fundamentalmente son cuatro los iones involucrados: Sodio ( $\text{Na}^+$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Cloro ( $\text{Cl}^-$ ) y Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ). El potasio es el principal responsable del mantenimiento del potencial de reposo y el sodio es el causante de la despolarización o pérdida de este reposo.

Se puede concretar que el marcapaso sinusal está constituido por numerosas células con capacidad de autoexcitación que poseen grados variables de automatismo y que responden diferente ante los estímulos. Los cambios en la frecuencia a nivel orgánico se producen a través de modificaciones iónicas celulares. La selección de la frecuencia de descarga idónea en cada situación se produce primordialmente a través del SNA.

Influencia de factores individuales y ambientales.

La evaluación de la VFC puede encontrarse afectada por características individuales y ambientales<sup>(65,66)</sup>. A continuación se mostrará un grupo de factores que inciden sobre este parámetro.

Edad: el envejecimiento implica una pérdida progresiva de la complejidad de los sistemas fisiológicos, numerosos estudios indican que la dinámica del intervalo RR varía con la edad en personas sanas. Se ha comprobado que el aumento de la edad pone de manifiesto una tendencia a la disminución de la VFC<sup>(65)</sup>. Este comportamiento está mediado principalmente por una disminución en el tono cardíaco vagal eferente y de la capacidad de respuesta  $\beta$ -adrenérgica<sup>(65)</sup>.

Sexo: entre los hombres y las mujeres existen diferencias en los índices de actividad autónoma simpática y parasimpática. En líneas generales los hombres manifiestan

un predominio de la actividad simpática sobre la frecuencia cardíaca y con ello altos niveles del componente de baja frecuencia. Las mujeres por su parte presentan mayor actividad vagal sobre la frecuencia cardíaca<sup>(66)</sup>. Estas diferencias disminuyen después de los cincuenta años, cuando empieza a mostrarse retraso en la desaparición del dominio simpático en los hombres y finalmente desaparece a partir de los sesenta años. También existen estudios contradictorios donde se concluye que los valores de la VFC no muestran diferencias según el sexo<sup>(12)</sup>.

Posición del cuerpo: puede alterar el control autónomo del corazón y como consecuencia modificar la VFC. En posición de pie hay un descenso de la VFC por acción simpática, mientras que en decúbito predomina la actividad parasimpática<sup>(67)</sup>.

Ejercicio físico y sobre entrenamiento: se ha encontrado una disminución en la actividad del sistema parasimpático en la transición del reposo al ejercicio. En la medida que aumenta la intensidad del ejercicio la VFC tiende a disminuir progresivamente<sup>(68)</sup>. Por el contrario, la actividad física regular (que ralentiza el proceso de envejecimiento) aumenta la VFC, presumiblemente por aumento del tono vagal.

Otros factores son el ritmo circadiano, la medicación, la digestión, la frecuencia respiratoria, los factores genéticos, el ciclo menstrual, el medio ambiente y factores geográficos, fundamentalmente la altura sobre el nivel del mar.

Todo lo expuesto anteriormente determina que la evaluación de la VFC exige de una atención cuidadosa de todos aquellos factores que puedan ser contemplados con el objetivo de obtener datos confiables.

Métodos para la evaluación y el procesamiento de la VFC.

Existe gran pluralidad de métodos para el registro y procesamiento de este parámetro. Esto ha sido motivo de análisis en importantes simposios como el celebrado por la Ergonomics Research Society de Londres dedicado exclusivamente a la VFC como indicador de esfuerzo mental<sup>(68)</sup>.

Existen tres formas de registrarla acorde a las posibilidades técnicas:

-Antes y después: es la más antigua y probablemente la más utilizada. Puede realizarse a partir de un electrocardiógrafo, modificando los electrodos para el registro. Se usa en períodos de tiempos muy cortos y relacionados con una actividad concreta, frecuentemente de orden laboral.

- Evaluación casi-continua: requiere de un sistema capaz de regular el registro de la señal eléctrica en que se traduce el latido cardiaco, permitiendo la expresión del registro en un medio mecánico o electrónico.

- Registro continuo: permite un registro constante de la VFC. Presenta un sistema para almacenar los resultados de la evaluación y procesarlo de forma automatizada. En la clínica se utiliza el monitoreo electrocardiográfico -conocido comúnmente como "*Holter*"- durante 24 horas. Los fisiólogos por su parte lo hacen en períodos cortos de hasta cinco minutos.

El procesamiento va desde el análisis con medidas de tiempo, que se refiere a cálculos de índices basados en operaciones estadísticas con los intervalos RR, entre los que se encuentran las medidas de dispersión y el cálculo del coeficiente de variabilidad, hasta el análisis espectral en el dominio de la frecuencia, que requiere de un programa específico y procesamiento automatizado. Se distinguen en este último, componentes de baja frecuencia que están situados por debajo de 0.15 Hz y otros, entre 0.15 Hz y 0.5 Hz, llamados componentes de la banda de alta frecuencia. El componente de alta frecuencia centrado en la frecuencia respiratoria, refleja en la VFC las fluctuaciones asociadas a la respiración (arritmia respiratoria) dependiente del control parasimpático, mediado centralmente. El componente de baja frecuencia es mixto y su amplitud aumenta al incrementarse el tono vagal o al aumentar la actividad simpática. Se plantea además la existencia de un posible control humoral renina-angiotensina. Este componente se ha relacionado con la regulación de la temperatura corporal y el control de la presión arterial, desapareciendo mediante el bloqueo farmacológico de ambas divisiones del SNA. Es el más sensible al incremento del esfuerzo mental, correlacionado tanto por estímulos subjetivos de la carga laboral, como por definiciones operativas formales de exigencias de esfuerzo. Estudios que han comparado la sensibilidad, la especificidad y el valor predictivo positivo y negativo de ambos métodos (tiempo y frecuencia), no han encontrado diferencias significativas entre ellos concluyendo que a pesar de la sencillez del análisis con medidas de tiempo, este es confiable para la evaluación de la VFC<sup>(68)</sup>. En su análisis se aplican técnicas lineales de dos tipos: paramétricas (escuela italiana) donde utilizan métodos autorregresivos para el análisis espectral de las

series de tiempo y no paramétricas (escuela americana) que hace uso de técnicas como la transformada discreta de Fourier o el periograma promediado.

## **CONCLUSIONES**

La VFC indicador psicofisiológico por excelencia del esfuerzo mental, permite evaluar objetivamente resultados de salud, dados por la integración de los elementos biológicos, psicológicos y sociales. La sensibilidad en el comportamiento de este parámetro ante las exigencias psíquicas y sociales abre puertas hacia caminos más integrales de investigación en cuanto a salud humana se refiere.

Desde el punto de vista clínico podemos corroborar que la evaluación a través de este método fácil y no invasivo, permite predecir el riesgo de desarrollo de eventos cardiovasculares y el estado de salud, de manera general del individuo por lo que sería útil extender su aplicabilidad en el diagnóstico y tratamiento de diferentes enfermedades.

La disminución de los valores de VFC se ha asociado a emociones negativas y peor salud física y psicológica. Mayor variabilidad (dentro de los parámetros psicofisiológicos establecidos) se traducen en mayor salud y bienestar.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Smith PJ, Blumenthal JA. Aspectos psiquiátricos y conductuales de la enfermedad cardiovascular: epidemiología, mecanismos y tratamiento. *Rev Esp Cardiol*. 2011;64(10):924-33.
2. Ode S, Hilmert CJ, Zielke DJ, Robinson MD. Neuroticism's importance in understanding the daily life correlates of HRV. *Emotion*. 2010;10(4):536-43.
3. Worhunsky LP, Pilver CE, Brewer JA. Meditation-induced changes in high-frequency HRV predict smoking outcomes. *Front Hum Neuroscien*. 2012;6(2):54.
4. Kirschner PA, Kirschner F. Mental effort. En: *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Springer US; 2012. p. 2182-4.
5. Arquer I, Nogareda C. NTP 544: Estimación de la carga mental de trabajo: el método NASA TLX Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. INSHT, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España; 2008. p. 4-12.

6. Asepeyo P. Carga mental. Prevención Presentaciones. Área de Psicología de la Prevención. Dirección de Seguridad e Higiene; 2005. p. 3-7.
7. O'Donnell R, Eggemeier FT. Work load assessment methodology. En: Boff KR, Kaufman L, Thomas JP, editors. Handbook of perception and human performance. Nueva York: Wiley; 1986. p. 1-49.
8. Del Prado J. Principios ergonómicos relativos a la carga del trabajo mental. Parte 2: Principios de diseño. Términos y definiciones generales; 2015. Disponible en: UR: <http://www.imf-formacion.com/blog/prevencion-riesgos-laborales/actualidad-laboral/principios-ergonomicos-concernientes-la-carga-mental-de-trabajo/>
9. Almirall P. Efectos negativos del esfuerzo mental. Aspectos teóricos y metodológicos. Un método para su evaluación. La Habana: ISPJAE; 1986.
10. Sakuragi S, Sugiyama Y. Interactive effects of task difficulty and personality on mood and heart rate variability. *J Physiol Appl Human Sci.* 2004;23(3):81-91.
11. Cowley B, Ravaja N, Heikura T. Cardiovascular physiology predicts learning effects in a serious game activity. *Comput & Educat.* 2013;60(1):299-309.
12. Pérez M. Procedimiento para evaluar el efecto del esfuerzo mental. Una contribución psicológica a la atención cardiovascular. Tesis para optar por el grado de doctor en ciencias psicológicas. Biblioteca de la Facultad de Psicología. Universidad de la Habana. Cuba; 2013.
13. Hercegi K. Improved temporal resolution HRV monitoring. Pilot results of non-laboratory experiments targeting future assessment of human computer interaction. *Internat J of Occupat Saf and Ergonom.* 2013;17(2):105-17.
14. Capdevila L, Rodas G, Ocaña M, Parrado E, Pintanel M, Valero M. Heart rate variability as a health indicator in sports: validation with a health-related quality of life questionnaire (Short Form-12). *Apunt Medic l'Esport.* 2008;43:62-9.
15. Melillo P, Bracale M, Pecchia L. Nonlinear Heart Rate Variability features for real-life stress detection. Case study: students under stress due to university examination. *Biomedical Engineering Online*; 2011. Disponible en: URL: <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/10/1/96>



16. Saus E, Johnsen B, Eid J, Thayer J. Who benefits from simulator training: Personality and HRV in relation to situation awareness during navigation training. *Comput in Hum Behav.* 2012;(28)4:1262-8.
17. Kalsbeek JW. Messure objective de la surcharge mentales mauvelles applicacions de la methode des doubles taches. *Le travail human.* 1965;28:121.
18. Lang E, Caminal P, Horvath G, Jane R, Vallverdu M, Slezsak I, et al. Spectral analysis of heart period variance (HPV) a tool to stratify risk following myocardial infarction. *J Med Eng Technol.* 1998;22(6):248-56.
19. Kautzner J, Camm AJ. Clinical relevance of heart rate variability. *Clin Cardiol.* 1997;20(2):162-8.
20. Kalsbeek JW. On measurement of deterioration in performances caused by distraction. *Stress Ergonomics.* 1964;7:187.
21. Kalsbeek JW. Objective measurement of mental load. *Acta Physiologic Ergonomics.* 1965;27:253.
22. Kalsbeek JW. Do you believe in sinus arrhythmia? *Ergonomics.* 1973;16:99.
23. Luczak H. Fractioned heart rate variability. Part I. Analysis in a model of the cardiovascular and cardiorespiratory system. *Ergonomics.* 1978;21(11):895.
24. González JP. Una metodología para medir el esfuerzo mental. Tesis para optar por el Título de Especialista de I Grado en Medicina del Trabajo. Biblioteca del Instituto Nacional de Salud del Trabajador. La Habana. Cuba; 1979.
25. Mulder G, Mulder-Hajonides M. Mental load and the measurement of heart rate variability. *Ergonomics.* 1973;16:69-83.
26. De Boer RW, Karemaker JM, Strackee J. Comparing spectral of point event. Particulary for HRV data. *IEEE Trans Biom.* 1984;31(4):4-9.
27. Omar GA. Dimensiones de la personalidad y comportamiento psicomotor. *Rev Latinoameric Psicolog.* 1991;23(1):35-52.
28. Arribas A, Martín C, Sáez A, Nieto F, Domínguez MD, Moríñigo JL, et al. Aproximación al conocimiento del estado del sistema nervioso autónomo en la miocardiopatía hipertrófica mediante el análisis de la VFC. *Rev Esp Card.* 1998;51(4):286-91.

29. Wood R, Maraj B, Lee CM, Reyes R. Short term heart rate variability during a cognitive challenge. In: Young and older adults. Age and Ageing. 2002;31:131-5.
30. Mukherjee S, Yadav R, Yung I, Zajdel DP, Oken BS. Sensitivity to mental effort and test-retest reliability of Heart rate variability measures in healthy seniors. Clin Neurophysiol. 2011;122(10):2059-66.
31. Pérez CE. Activación del sistema nervioso autónomo en estudiantes de físico matemáticas, al resolver problemas en el área preferente y no preferente. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Ciencias Físico Matemáticas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México; 2011.
32. Pérez M, Almirall PJ, Amador FJ. Un programa para evaluar las exigencias mentales. Rev Cub Salud Trabaja. 2012;13(3):4.
33. Hernández-Gaytan SI, Rothenberg SJ, Landsbergis P, Cedillo L, De León G, Collins SM, et al. Job strain and HRV in resident physicians within a general hospital. Am J Ind Med. 2013;56:38-48.
34. Hyndman B, Gregory JR. Spectral analysis of sinus arrhythmia during mental loading. Ergonomics. 1975;18(3):255.
35. Almirall HP, Hernández P, González JP, Pommerenck CW, Sánchez ME. Determinación del efecto de la carga mental por variables psicofisiológicas. Rev Cub Invest Biomed. 1982;7:3-8.
36. Guma E. La exploración neuropsicológica de los enfermos mentales. Rev Hosp Psiquiat Hab. 1985;26:251-61.
37. Dikeçligil GN, Mujica-Parodi LR. Ambulatory and challenge-associated heart rate variability measures predict cardiac responses to "Real-World". Acute emotional stress. Biol Psychiatry. 2010;67(12):1185-90.
38. Almirall P, Pérez M, Alonso R, Castro J. Personalidad y evaluación del estado funcional en cardiopatas y sujetos sanos. Un estudio experimental. Invest Medicoquir. 2010;2(1):5-10.
39. Jeria C, Hernández R, Benn C. Alteración de la variabilidad del ritmo cardíaco en pacientes con síndrome coronario agudo sin supra des nivel del segmento ST. Experiencia preliminar. Rev Chil Cardiol. 2011;31:104-12.
40. Malliani A, Pagani M, Lombarda F, Ceruti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. Circulation. 1991;84(2):482-92.

41. Almirall P, Santander J, Vergara A. La variabilidad de la frecuencia cardíaca como indicador del nivel de activación ante el esfuerzo mental. *Rev Cub Higien Epidemiolog.* 1995;33(1):3-4.
42. Gutiérrez O, Poutvinsky V, Romero L, Esquivel L. Variabilidad de la frecuencia cardíaca en pacientes con angina inestable: correlación con otros marcadores pronósticos. *Rev Cardiol.* 2004;6(1):9-17.
43. Rosas M, Sandoval J, Attie F, Pulido T, Santos E, Granados N, et al. Implicaciones clínicas y pronósticas del estudio circadiano de la modulación simpático-vagal de la VFC en pacientes con hipertensión arterial pulmonar grave. *Gac Méd Méx.* 2006;142(1):4-6.
44. Almeida J, Rivero MM, Méndez T, Sterling J, Valdés M. Valor pronóstico de factores obtenidos por métodos no invasivos en el infarto agudo de miocardio. *Rev Cub Med.* 2007;46(1):37-9.
45. León CA. Predicción de la muerte súbita cardíaca post infarto: ¿Tenemos otros métodos para predecir la muerte súbita cardíaca post infarto agudo de miocardio, además de la fracción de eyección? *Insufic Card.* 2011;6(3):144-50.
46. Lehrer PM, Gevirtz R. Heart rate variability biofeedback: how and why does it work? *Psychol.* 2014;5:756. Disponible en: URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4104929/>
47. Vigo D, Castro M, Dörpinghaus A, WeidemaH, Rovira B, Fahrer R, et al. Actividad autonómica cardíaca en pacientes con trastornos de la conducta alimentaria: aspectos lineales y no lineales. *Archiv Neurolog, Neurocirug y Neuropsiquiatr.* 2006;12(2):13.
48. Rodas G, Pedret C, Ramos J, Capdevila L. Variabilidad de la frecuencia cardíaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos. *Arch Med Deport.* 2008;123:41-8.
49. Dishman RK, Nakamura Y, Garcia M, Thompson R, Dunn A, Blair S. HRV, trait anxiety, and perceived stress among physically fit men and women. *Int J Psych.* 2000;37:121-33.
50. Lee JM, Watanuky Sh. Cardiovascular responses of type A and type B behavior patterns to visual stimulation during rest, stress and recovery. *J of Physiolog Anthropolog.* 2007;26(1):1-8.

51. Denollet J, Pedersen SS, Ong AT, Erdman RA, Serruys PW, Van Domburg RT. Social inhibition modulates the effect of negative emotions on cardiac prognosis following percutaneous coronary intervention in the drug-eluting stent era. *Eur Heart J.* 2006;27:171-7.
52. Frasure-Smith N, Lespérance F. Depression and anxiety as predictors of 2 year cardiac events in patients with stable coronary artery disease. *Arch Gen Psychiatr.* 2008;65:62-71.
53. Martin L. Type D personality and coping style as predictors of cardiovascular risk. University of North Texas Psychobiology. Public health; personality psychology. Dissertations & Theses; 2012. p. 73-108.
54. Carney RM, Freedland KE. Treatment-resistant depression and mortality after acute coronary syndrome. *Am J Psychiatry.* 2009;166:410-7.
55. Lange H, Herrmann-Lingen C. Depressive symptoms predict recurrence of atrial fibrillation after cardioversión. *J of Psychosomat Resear.* 2007;63(5):509-13.
56. Pozuelo L, Tesar G, Zhang J, Penn M, Franco K, Jiang W. Depression and heart disease: What do we know, and where are we headed? *Clevel Clinic J of Medic.* 2009;76(1):59-70.
57. Shinba T, Kariya N, Matsui Y, Ozawa N, Matsuda Y, Yamamoto K. Decrease in heart rate variability response to task is related to anxiety and depressiveness in normal subjects. *Psychiat Clin Neurosci.* 2008;62(5):603-9.
58. Kapfhammer HP. The relationship between depression, anxiety and heart disease a psychosomatic challenge. *Psychiatr Danub.* 2011;23(4):412-24.
59. Januzzi JL, Stern T, Pasternack RC, De Sanctis RW. The influence of anxiety and depression on outcomes of patients with coronary artery disease FREE. *Arch Intern Med.* 2000;160(13):1913-21.
60. Carpeggiani C, Emdin M, Bonaguidi F, Landi P, Michelassi C, Trivella MG, et al. Personality traits and HRV predict long-term cardiac mortality after myocardial infarction. *EHJAA originally. Europ Heart J.* 2005;26(16):1612-7.
61. Denollet J, Maas K, Knottnerus A, Keyzer JJ, Pop VJ. Anxiety predicted premature all cause and cardiovascular death in a 10 year follow up of middle aged women. *J Clin Epidemiol.* 2009;62:452-6.

62. Narita K, Murata T, Takahashi T, Hamada T, Kosaka H, Yoshida H, et al. The association between anger related personality trait and cardiac autonomic response abnormalities in elderly subjects. *Eur Arch Psychiat Clin Neurosci.* 2007;257(6):325-9.
63. Guyton AC, John EH. El sistema nervioso autónomo-médula suprarrenal. En: Guyton AC. *Tratado de Fisiología Médica.* 11<sup>na</sup> Ed. España: Elsevier; 2006. p. 748-59.
64. Ortiz JE, Mendoza D. Variabilidad de la frecuencia cardíaca comparada en mujeres de 21 y 76 años con vida sedentaria. *Lúdica Pedagógica. Invest Científ Des.* 2009;1(14):14-23. Disponible en:URL:<http://revistas.pedagogicas.edu.co/index.php/LP/article/view/546>
65. Sato N, Miyake S. Cardiovascular reactivity to mental stress: relationship with menstrual cycle and gender. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2004;23:215-23.
66. Vuksanovic V, Gal V, Kalanj J, Simeunovic S. Effect of posture on heart rate variability spectral measures in children and young adults with heart disease. *Int J Cardiol.* 2005;101:273-8.
67. Aoyagi N, Ohashi K, Tomono S, Yamamoto Y. Temporal contribution of body movement to very long-term rate variability in humans. *J Physiol Heart Circ Physiol.* 2000;278:1035-41.
68. Escalona Y. La variabilidad de la frecuencia cardíaca como indicador de efecto de las exigencias psíquicas. Estudio de simulación. Trabajo para optar por el título de master en salud de los trabajadores. Biblioteca del Instituto Nacional de Salud del Trabajador. La Habana. Cuba; 2000.

Recibido: 13 de noviembre de 2014

Aceptado: 8 de febrero de 2015

Dra.C. Marilín Pérez Lazo de la Vega. Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas, 216 y 11 B, Siboney, La Habana, Cuba.

Correo electrónico: [mplvega@infomed.sld.cu](mailto:mplvega@infomed.sld.cu)