

Análisis en tiempo y frecuencia de la variabilidad R-R en deportistas y sedentarios

Jaime Alberto Gallo, Diego Luis Alvarez, Jorge Farbiarz · Medellín

Objetivo. Comparar el comportamiento de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) en registros de corta duración en reposo entre pesistas, atletas de resistencia aeróbica y personas sedentarias, utilizando métodos del dominio de la frecuencia y el tiempo.

Métodos. Después de un período de reposo de 15 minutos en decúbito supino, se realizaron registros de la frecuencia cardíaca a un grupo de 17 atletas de resistencia aeróbica, 15 pesistas y 19 personas sedentarias, utilizando un monitor telemétrico de latidos cardíacos, durante ocho minutos y bajo respiración controlada. Con un software en plataforma Matlab®, se acondicionó la señal y se tomaron 235 datos para la construcción de los tacogramas y su posterior análisis en el dominio de la frecuencia y el tiempo.

Resultados. Se encontró una frecuencia cardíaca promedio menor en los atletas de resistencia aeróbica. Todas las mediciones en el dominio del tiempo fueron mayores en los atletas de resistencia aeróbica. No hubo diferencias entre los grupos en los componentes espectrales de alta frecuencia (HF) y baja frecuencia (LF) en unidades normalizadas y en la relación LF/HF.

Conclusiones. En los atletas de resistencia aeróbica se encuentra una marcada bradicardia. Las diferencias encontradas en el dominio del tiempo no se evidenciaron en el dominio de la frecuencia. Las adaptaciones producidas por el entrenamiento de larga duración, en los mecanismos centrales que modulan la frecuencia respiratoria o en las células del nodo sinusal, pueden ser las responsables de las diferencias encontradas en la modulación de la frecuencia cardíaca en los deportistas. (*Acta Med Colomb* 2001 ; 26: 65-72).

Palabras clave. Variabilidad de la frecuencia cardíaca, análisis espectral, sistema nervioso autónomo, atletas de resistencia aeróbica, pesistas, sedentarios, tacograma.

Introducción

El estudio del funcionamiento del sistema nervioso autónomo (SNA) ha ganado un gran interés en los últimos 20 años, donde se ha reconocido la relación existente entre las alteraciones autonómicas que se producen en diferentes enfermedades y la morbimortalidad cardiovascular (1-5).

Diversas técnicas de adquisición y procesamiento de señales, invasivas y no invasivas, permiten obtener información cuantitativa del funcionamiento del SNA (6); sin embargo, el acceso a dichas metodologías es difícil en nuestro medio por su alto costo. La regulación de funciones viscerales por parte del SNA es de trascendental importancia durante la realización de la actividad física (7). Este sistema presenta diferentes adaptaciones en respuesta al entrenamiento físico y sufre alteraciones ante diversas enfermedades. La regulación cardiovascular de los deportis-

tas es diferente en relación con las personas sedentarias. El entrenamiento físico causa una respuesta adaptativa bien conocida denominada bradicardia sinusal (7). Este fenómeno es observado principalmente en los deportistas que realizan un entrenamiento físico de resistencia y los mecanismos involucrados en esta respuesta son: una disminución de la actividad simpática (8), un aumento de la actividad

Dr. Jaime Alberto Gallo Villegas,; Especialista en Medicina Deportiva, Departamento de Cardiología Preventiva, Unidad Cardiovascular Clínica Medellín, Profesor de Fisiología y Rehabilitación Cardiopulmonar, Postgrado de Medicina Deportiva, Universidad de Antioquia y Fundación Universitaria San Martín; Dres. Diego Luis Álvarez Montoya y Jorge Farbiarz Farbiarz: Magisteres en Ingeniería Biomédica, Profesores de Fisiología, Universidad de Antioquia y Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín.

La presente investigación fue realizada con el auspicio del Comité para el Desarrollo de la Investigación de la Universidad de Antioquia (CODI) y del Postgrado de Medicina Deportiva de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia.

parasimpática (9, 10) y una disminución de la frecuencia cardíaca intrínseca (frecuencia de descarga del nodo sinusal) (11). Debido a que el SNA realiza un papel importante en la regulación de la frecuencia cardíaca, las alteraciones inducidas por el entrenamiento en la función autonómica pueden contribuir en parte a la bradicardia de reposo observada en los deportistas.

Los bloqueos farmacológicos duales usando atropina y bloqueadores, han sido usados para evaluar el balance simpaticovagal en una forma invasiva (12). Sin embargo, el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) ha demostrado ser una técnica no invasiva útil para evaluar el balance simpaticovagal en diversas condiciones de salud y enfermedad (13-16). La VFC o la variabilidad R-R se define como la variación que ocurre en el período, entre latidos cardíacos consecutivos. El estudio de la VFC permite obtener información cuantitativa del funcionamiento del SNA (6). Una mayor activación simpática produce una disminución de la VFC; por el contrario, un aumento en el tono parasimpático aumenta la VFC. Una técnica de análisis cuantitativo de la VFC es el análisis espectral que estudia las variables en función de su frecuencia de oscilación (17-19). Cuando se le aplica esta técnica a las variaciones de la frecuencia cardíaca en registros de corta duración, se detectan dos componentes espectrales principales. Uno se localiza entre los 0.04 y 0.15 Hz y es llamado el componente LF y el otro se localiza entre los 0.15 y 0.4 Hz y es denominado el componente HF (20). La cuantificación de estos componentes espectrales da información del control neural de la frecuencia cardíaca. Los datos experimentales muestran que el componente espectral HF de la VFC es determinado por el tono vagal mientras que la actividad simpática contribuye al componente LF (6). Al componente espectral de muy baja frecuencia (VLF), aún no se le encuentra una explicación fisiológica (6). Algunos estudios sugieren que las interpretaciones fisiológicas de los componentes LF y HF se deben realizar siempre de las unidades normalizadas debido a la dependencia de los diferentes componentes espectrales, en unidades absolutas, de la frecuencia cardíaca de base (21). La relación LF/HF también plantea ser de gran utilidad (6).

Hasta este momento la utilización de estas técnicas de análisis de la VFC es escasa en nuestro medio y hay un gran desconocimiento acerca de la utilidad de las diferentes metodologías que permiten evaluar el SNA. Los resultados obtenidos en algunos estudios del balance simpaticovagal en diferentes tipos de deportes, producto del entrenamiento y utilizando la VFC, en ocasiones son contradictorios debido a la falta de estandarización en la adquisición, procesamiento e interpretación de las señales (9, 22-25). En este estudio se propone evaluar los efectos del entrenamiento de resistencia aeróbica y de potencia de largo tiempo en la función autonómica, utilizando métodos estadísticos y el análisis espectral de la VFC de registros de corta duración en condiciones de reposo.

Se compararon mediciones en el dominio del tiempo como: la frecuencia cardíaca promedio, la desviación estándar de los intervalos R-R normales (SDNN), la raíz cuadrada del promedio de las diferencias al cuadrado entre intervalos R-R normales adyacentes (RMSSD), el número de diferencias mayores de 50 ms entre intervalos R-R normales adyacentes (NN50), el porcentaje de diferencias mayores de 50 ms entre intervalos R-R normales adyacentes (pNN50) y las mediciones en el dominio de la frecuencia como: la potencia total, los componentes VLF, LF y HF en unidades absolutas y normalizadas y la relación LF/HF entre atletas de resistencia aeróbica, pesistas y un grupo control de personas sedentarias. Se implementó una técnica confiable, económica y sencilla, que permite adquirir y procesar las señales originadas a partir del comportamiento de la frecuencia cardíaca.

Material y método

Población

Se estudiaron 15 pesistas pertenecientes a la Liga Antioqueña de Pesas y al Club de Pesas de la Universidad de Antioquia, 17 atletas de resistencia aeróbica pertenecientes a la Liga Antioqueña de Atletismo y 19 estudiantes sedentarios de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia.

En el momento de la evaluación, los deportistas tenían un buen rendimiento, una figuración en competencias departamentales y nacionales, una vida deportiva en la modalidad correspondiente mayor de dos años, y se encontraban en forma deportiva y en el período competitivo de la planificación del entrenamiento.

Las personas sedentarias no realizaban actividad física en forma regular (menos de dos horas por semana y no participaban en deporte competitivo).

Todos los participantes eran de sexo masculino y con una edad comprendida entre los 16 y 31 años. Los tres grupos tenían un examen físico normal, no fumaban, no tenían antecedentes de enfermedad cardiovascular incluyendo cirugía de cabeza, cuello, tórax, además mínimo 24 horas antes, no consumieron drogas que modificaran el sistema nervioso autónomo (, adrenérgicos o bloqueadores y) o parámetros hemodinámicos como presión arterial, frecuencia cardíaca, inotropismo o volemia.

Protocolo experimental

Luego de dar el consentimiento informado, los sujetos que participaron en esta investigación, fueron familiarizados con el procedimiento experimental y la propuesta de este estudio en una fase preliminar. Los sujetos no realizaron actividad física intensa 24 horas antes de los registros, no fumaron, no consumieron licor ni bebidas con cafeína 12 horas antes del estudio y durmieron un mínimo de ocho horas la noche anterior. El estudio se realizó en una habitación tranquila, bajo condiciones medioambientales constantes (altura sobre el nivel del mar de 1.560 metros, tem-

peratura ambiental entre 22-28°C y presión atmosférica de 640 mmHg.), entre las 7 y 10 a.m.

A cada sujeto, luego de un período de reposo de 15 minutos en posición supina, se le hizo una toma de presión arterial con un esfigmomanómetro manual Tycos® y respirando a una frecuencia de 15 ciclos / minuto controlada por medio de una señal sonora, que le indicaba a la persona el momento en el cual debía realizar la inspiración y la espiración; se realizó un registro de la frecuencia cardíaca a través de un monitor telemétrico de latidos cardíacos Polar® Beat.

El monitor telemétrico de latidos cardíacos Polar® Beat registra la onda R del complejo QRS de despolarización ventricular (26), por medio de un electrodo localizado en la parte anterior del tórax el cual se fija con una banda elástica y emite un sonido agudo cada vez que detecta la onda R, cuando la frecuencia cardíaca está por arriba o por abajo del límite de la programación de la alarma. Los límites de la alarma fueron programados para que continuamente el monitor emitiera los sonidos y así poder detectar todos los latidos cardíacos.

El sonido emitido por el monitor cada vez que se producía un latido cardíaco, fue grabado en una cinta magnética por medio de una grabadora Panasonic® RX-FT510 durante un período de ocho minutos.

Posteriormente la señal fue llevada a un computador IBM® Pentium II de 233 Hz utilizando una tarjeta de adquisición de 16 bits y los archivos se almacenaron en un disco compacto para su análisis.

Medición de las variables

Con un software en plataforma Matlab®, elaborado por los autores, se acondicionó la señal sonora emitida por el monitor telemétrico de latidos cardíacos Polar® Beat y con la medición del tiempo entre un latido y otro, se obtuvo la frecuencia cardíaca latido a latido y se tomaron 235 datos para la construcción de los gráficos que muestran el comportamiento de la frecuencia cardíaca en el tiempo (tacogramas) y su posterior análisis.

El tacograma fue sujeto a un análisis espectral y para los cálculos de la densidad espectral de potencia se utilizó un modelo autorregresivo tipo Yule Walker de orden 12 (27).

La densidad espectral de potencia, de la potencia total, fue calculada en el ancho de banda de 0 a 0.4 Hz, del componente VLF de 0 a 0.04 Hz, del componente LF de 0.04 a 0.15 Hz y del componente HF de 0.15 a 0.4 Hz (17).

Se calcularon los componentes LF y HF en unidades normalizadas y se obtuvo la relación LF/HF.

Con los datos de los intervalos entre un latido y otro (períodos), se calcularon las mediciones en el dominio del tiempo, las cuales incluyeron: frecuencia cardíaca promedio, SDNN, RMSSD, NN50 y la pNN50.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para todas las variables en el dominio del tiempo y la frecuencia.

Se utilizó un análisis "post Hoc" para hacer la comparación entre los grupos (atletas, pesistas y sedentarios), (deportistas vs sedentarios) y entre los deportistas, según los años de vida deportiva. Se empleó el método de las mínimas diferencias significativas (LSD).

Los resultados fueron expresados como promedios \pm la desviación estándar (SD). Un valor de p de 0.05, fue utilizado como un nivel crítico de significancia. Para hacer el análisis estadístico se utilizó el programa STATISTICA®.

Resultados

Se evaluaron un total de 51 sujetos, 32 deportistas de sexo masculino con una edad promedio de 20 ± 4.6 SD años, con una vida deportiva de 3.7 ± 3.6 SD años y con un entrenamiento de 12.9 ± 2.6 SD horas por semana, y 19 sujetos sedentarios con características similares al grupo de deportistas (Tabla 1).

En el momento de la valoración el volumen de entrenamiento de los atletas de resistencia aeróbica fue en promedio de 93.5 ± 34.6 SD kilómetros recorridos por semana y los pesistas recibían cargas de trabajo en promedio de 71.65 ± 2.4 SD % de intensidad media relativa total (%IMR total).

En los atletas de resistencia aeróbica se encontró una marcada disminución de la frecuencia cardíaca en reposo, la cual fue significativa cuando se analizó globalmente ($p < 0.01$) y cuando se comparó con el grupo de pesistas ($p < 0.05$) y sedentarios ($p < 0.01$) (Figura 1).

Globalmente se encontraron valores significativamente mayores, en el peso ($p < 0.05$) y el índice de masa corporal (BMI) ($p < 0.01$), los cuales fueron más altos en los sedentarios que en los otros dos grupos. En las otras variables descriptivas no hubo diferencias significativas.

En todas las variables en el dominio del tiempo (SDNN, RMSSD, NN50 y la pNN50), se encontraron diferencias significativas, globalmente, entre los tres grupos, ($p < 0.05$) (Tabla 2 y Figura 2).

En los atletas se encontró un SDNN, RMSSD, NN50 y pNN50 mayor que los sedentarios, ($p < 0.01$). Al comparar-

Tabla 1. Características generales de la población de estudio (n = 51) Medellín, 2000.

| Variables | Atletas | Pesistas | Sedentarios |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| n | 17 | 15 | 19 |
| Edad (años) | 19.7 \pm 3.7 | 20.4 \pm 5.6 | 22.7 \pm 3.4 |
| Peso (kg) | 58 \pm 3.6 | 64.4 \pm 10.2 | 66.6 \pm 10.7 * |
| Talla (m) | 1.7 \pm 0.06 | 1.69 \pm 0.05 | 1.7 \pm 0.05 |
| BMI (kg/m ²) | 19.6 \pm 1.2 | 22.4 \pm 2.9 | 22.9 \pm -3.3** |
| Frecuencia cardíaca promedio | 56.5 \pm 7.2 | 65.4 \pm 11.9 | 75.3 \pm 12.8** |
| Presión arterial sistólica (mmHg) | 105.4 \pm 10.5 | 113.7 \pm 12.5 | 107.8 \pm 11.3 |
| Presión arterial diastólica (mmHg) | 66.6 \pm 8.3 | 71 \pm 10 | 67.8 \pm 7.8 |
| BMI: Índice de masa corporal Valores expresados en medias \pm desviación estándar Resultados del ANOVA: *p < 0.05 **p < 0.01 | | | |

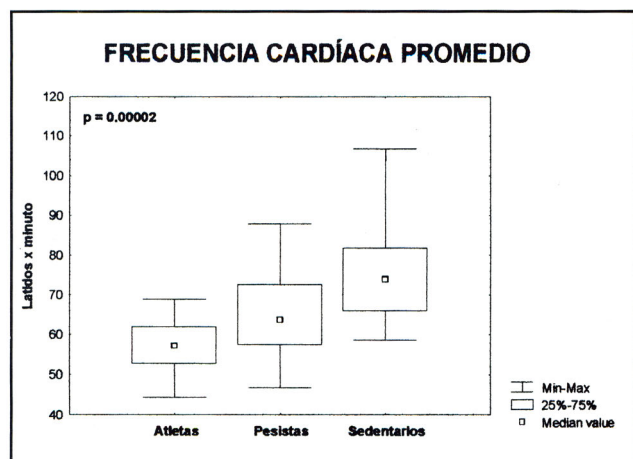


Figura 1. Frecuencia cardíaca promedio de los registros de corta duración en reposo de los atletas, pesistas y sedentarios (n = 51) Medellín, 2000.

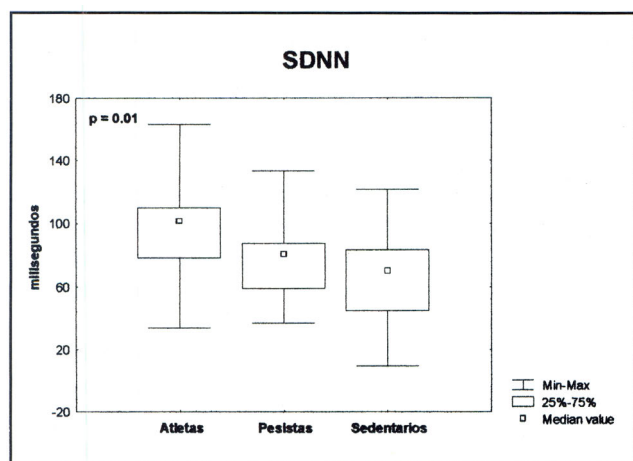


Figura 2. SDNN de los registros de corta duración de la frecuencia cardíaca en reposo de los atletas, pesistas y sedentarios (n = 51) Medellín, 2000.

los con los pesistas, presentaron un RMSSD mayor, ($p < 0.05$).

En los pesistas se encontró un NN50 y pNN50 mayor que los sedentarios, ($p < 0.05$).

En las variables en el dominio de la frecuencia, hay diferencias significativas globalmente entre los tres grupos, en la potencia total, el componente VLF y el componente LF en unidades absolutas, siendo éstos mayores en el grupo de sedentarios ($p < 0.01$) (Tabla 3).

Cuando se comparan los sedentarios con los atletas y los sedentarios con los pesistas, las diferencias en la potencia total y en los componentes VLF y LF en unidades absolutas se mantienen ($p < 0.05$).

Los pesistas tienen una potencia total y un componente VLF en unidades absolutas mayor que los atletas ($p < 0.05$).

No hubo diferencias significativas entre los grupos, en el componente HF en unidades absolutas y normalizadas, en el componente LF en unidades normalizadas ni en la relación LF/HF (Figura 3). La potencia calculada de este

Tabla 2. Comparación de los parámetros en el dominio del tiempo entre atletas, pesistas y sedentarios (n = 51) Medellín, 2000.

| | Atletas | Pesistas | Sedentarios | Valor de p del ANOVA |
|-------|------------|------------|-------------|----------------------|
| SDNN | 96.9±30.6 | 77.8±26 | 66.2±30.1 | 0.01 |
| RMSSD | 105.9±41.3 | 80±33.8 | 59.9±32.8 | 0.001 |
| NN50 | 127.1±47.9 | 107.1±50.6 | 69.7±48.9 | 0.003 |
| pNN50 | 54±20.3 | 45.5±21.5 | 29±20.8 | 0.003 |

Valores expresados en medias ± desviación estándar
Resultados del ANOVA. Valor de p significativa < 0.05

Tabla 3. Comparación de los parámetros en el dominio de la frecuencia entre atletas, pesistas y sedentarios (n = 51) Medellín, 2000.

| | Atletas | Pesistas | Sedentarios | Valor de p del ANOVA |
|---------------------------------------------|-----------|-----------|-------------|----------------------|
| Potencia total (L x min ² /Hz) * | 3226±810 | 4384±1636 | 5798±2091 | 0.00009 |
| VLF (L x min ² /Hz) | 3174±790 | 4312±1598 | 5700±2053 | 0.00009 |
| LF (L x min ² /Hz) | 29±12 | 43±26 | 64±34 | 0.001 |
| HF (L x min ² /Hz) | 22±18 | 28±19 | 33±19 | 0.2 |
| Relación LF/HF | 1.88±1.04 | 1.78±0.86 | 2.26±1.07 | 0.33 |
| LF un ** (%) | 60±14 | 60±11 | 65±12 | 0.43 |
| HF un (%) | 39±14 | 39±11 | 34±12 | 0.43 |

L x min²/Hz *: Latidos por minuto al cuadrado sobre Hertz.
un **: Unidades normalizadas. (LF) o (HF) / Potencia total - VLF . 100
Valores expresados en medias ± desviación estándar
Resultados del ANOVA. Valor de p significativa < 0.05

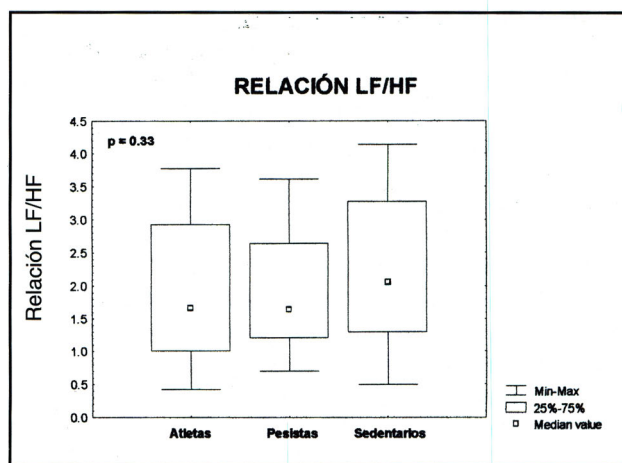


Figura 3. Relación LF/HF de los registros de corta duración de la frecuencia cardíaca en reposo de los atletas, pesistas y sedentarios (n = 51) Medellín, 2000.

estudio, para las diferencias encontradas, en el dominio de la frecuencia, fue 76%, 75%, 68% y 50%, para las variables relación LF/HF, LF en unidades normalizadas, HF en unidades normalizadas y HF en unidades absolutas respectivamente.

Además no se encontraron diferencias significativas al comparar los componentes espectrales de la VFC con el tiempo de vida deportiva.

Discusión

El entrenamiento, en general, es asociado con cambios en el balance simpaticovagal (7). El análisis espectral de la VFC como un indicador del balance autonómico, podría proveer nuevos acercamientos en la comprensión de las bases neurofisiológicas del proceso de entrenamiento.

Los atletas de resistencia aeróbica presentaron una frecuencia cardíaca de reposo que es significativamente más baja que la encontrada en los pesistas y en las personas sedentarias. Estos resultados son consistentes con previos estudios, en los cuales se reporta que los atletas de resistencia aeróbica, con un alto consumo de oxígeno máximo (VO_2 máximo), tienen una bradicardia (28).

En los pesistas se encontró una frecuencia cardíaca de reposo menor que los sedentarios, lo cual está de acuerdo con lo señalado en la literatura (7). Sin embargo, otros estudios no evidencian cambios en la frecuencia cardíaca de reposo en estos deportistas, comparados con personas que no realizan actividad física (28).

Además, los pesistas no presentaron una bradicardia tan marcada como la encontrada en los atletas de resistencia aeróbica, lo cual está en concordancia con anteriores trabajos donde además se evidencia un bajo VO_2 máximo en relación con las pobres adaptaciones hemodinámicas que en ellos se presentan (28).

Aunque la disminución de la frecuencia cardíaca de reposo en los deportistas ha sido atribuida a la disminución de la frecuencia cardíaca intrínseca (11), han sido citadas las adaptaciones en el SNA, como otros posibles factores en los deportistas entrenados físicamente, a causa del papel fundamental que cumple el SNA en la regulación de la frecuencia cardíaca bajo diferentes condiciones fisiológicas (29-31).

Aparentemente ni los diferentes programas de entrenamiento, ni los diferentes tipos de hipertrofia cardíaca tienen influencias decisivas sobre la magnitud de la bradicardia.

Hasta este momento no se conocen estudios en la literatura que comparen las adaptaciones que se presentan en la VFC entre los atletas de resistencia aeróbica, pesistas y personas sedentarias. Por lo tanto se utilizó el análisis espectral de la VFC para evaluar el efecto del entrenamiento físico de potencia y de resistencia aeróbica de largo tiempo en los cambios adaptativos del SNA, el cual contribuye en parte a la bradicardia de reposo encontrada en los deportistas.

Todas las mediciones en el dominio del tiempo fueron mayores en los atletas de resistencia aeróbica que en los sedentarios, reflejando una mayor VFC y un aumento del tono parasimpático, lo cual está de acuerdo con lo referenciado en la literatura (15, 32, 33).

Se encontraron diferencias significativas entre los pesistas y los sedentarios en la frecuencia cardíaca promedio, la NN50 y la pNN50, y entre los atletas y los pesistas sólo en la frecuencia cardíaca promedio y en la RMSDD.

Estos resultados en las mediciones en el dominio del tiempo demuestran mayores adaptaciones de la VFC en los

atletas de resistencia aeróbica con una mayor actividad del tono parasimpático y están en estrecha relación con la bradicardia de reposo que en ellos se presenta.

Cuando se hacen los análisis en el dominio de la frecuencia, los hallazgos en los diferentes componentes espectrales no corroboran lo encontrado en el dominio del tiempo.

El componente HF del análisis espectral de la VFC, originado por la actividad respiratoria, es mediado por la actividad vagal eferente como lo indica una reducción drástica luego de una vagotomía o bloqueo muscarínico (20, 34). En contraste, la interpretación del componente LF es controversial, donde algunos aceptan una contribución principal del tono simpático (20, 34), mientras que otros sugieren influencias tanto del simpático como del parasimpático (19, 35).

Se encontraron diferencias significativas en la potencia total, el componente VLF y el componente LF en unidades absolutas, siendo éstos mayores en los sedentarios. Para hacer el análisis espectral, utilizamos el tacograma y no las variaciones en el intervalo R-R como lo hacen en algunos estudios.

Las diferencias que se hallaron en estas variables, entre los tres grupos, pueden corresponder a una mayor frecuencia cardíaca de base encontrada en las personas sedentarias que conlleva a que tengan una mayor potencia total y una mayor densidad espectral de potencia, en unidades absolutas, en los diferentes componentes del espectro. Como sugieren algunos autores, las mediciones de los componentes espectrales en unidades absolutas de la VFC tienen una gran dependencia de la frecuencia cardíaca de base (21). Por tal razón hay que tener precauciones al hacer interpretaciones derivadas de mediciones absolutas y las mediciones en unidades normalizadas al igual que la relación LF/HF probablemente reflejan mejor el balance autonómico (6).

No se encontraron diferencias significativas entre los tres grupos en el componente HF en unidades absolutas, los componentes LF y HF en unidades normalizadas y en la relación LF/HF. Sin embargo, esta falta de significancia en las diferencias encontradas en el dominio de la frecuencia puede deberse a un error de tipo II, ya que las potencias para dichas diferencias están por debajo del 80%.

Igualmente, a pesar de las diferencias en las adaptaciones metabólicas y cardiovasculares que se presentan en los pesistas comparados con los atletas, con esta técnica no se evidencian diferencias en la VFC cuando se analizan los componentes LF, HF y la relación LF/HF.

Algunos trabajos reportados en la literatura que no hacen control de la frecuencia respiratoria, plantean diferencias entre los deportistas y las personas sedentarias en los componentes espectrales de la VFC (9, 22, 33). Así mismo, estos autores muestran un aumento en el componente HF (9, 22, 33, 36) y una disminución del componente LF (32, 36) y de la relación LF/HF (36), en los deportistas compa-

rados con los sedentarios. Otros autores no muestran diferencias entre estos dos grupos en el componente LF (9, 22, 36), ni en la relación LF/HF (9).

En dos trabajos (37, 38) en los cuales hicieron control de la respiración, y donde compararon un grupo de deportistas con un grupo control, no encontraron diferencias significativas en los componentes LF y HF en unidades normalizadas ni en la relación LF/HF entre los dos grupos de sujetos. Sin embargo, hicieron interpretaciones fisiológicas teniendo en cuenta sólo los resultados en unidades absolutas de los componentes HF y LF, los cuales fueron mayores en los deportistas y a partir de estos resultados plantean un aumento del tono parasimpático en los deportistas.

Los hallazgos encontrados en esta investigación plantean que las diferencias en el análisis espectral de la VFC entre los deportistas y los no deportistas sean debidas básicamente a adaptaciones producidas por el entrenamiento, de centros cerebrales superiores que modulan tanto la frecuencia respiratoria como la frecuencia cardíaca y que al hacer un control estricto de la respiración dichas diferencias desaparecen.

Recientes investigaciones han identificado otro grupo de neuronas respiratorias localizadas en la región ventrolateral rostral del bulbo raquídeo que se ha denominado el complejo de pre Böttinger. Se ha propuesto que en esta zona se localiza el generador central del patrón respiratorio, el cual cumple un papel esencial en la génesis del ritmo respiratorio y que debido a sus propiedades intrínsecas y a las interacciones sinápticas que establece, permite generar y mantener una actividad cíclica espontánea en forma de disparos de potenciales de acción que indirectamente afecta la modulación de la frecuencia cardíaca (39). Probablemente las adaptaciones que se generan en esta zona en respuesta al proceso de entrenamiento sea la responsable de marcar las diferencias entre los deportistas y las personas sedentarias en la VFC, las cuales desaparecen al controlar la frecuencia respiratoria.

Es posible que también existan diferencias en la modulación de estos parámetros fisiológicos por parte de los mecanismos centrales, entre los pesistas y los atletas de resistencia aeróbica.

Otra posible explicación a los hallazgos encontrados en los componentes espectrales de la VFC, entre los tres grupos de sujetos analizados, es que la disminución de la frecuencia cardíaca de reposo encontrada en los deportistas que llevan entrenando largos períodos de tiempo sea debida fundamentalmente a adaptaciones en el nodo sinusal, que hace que disminuya la frecuencia cardíaca intrínseca, lo cual se relaciona con lo encontrado por Katona y colaboradores en 1982 (11). Este autor a partir de un modelo matemático, y utilizando un bloqueo dual con atropina y propranolol en un grupo de deportistas de remo y en controles, observa que la reducción de la frecuencia cardíaca en reposo es debida a una disminución en la frecuencia cardíaca intrínseca y no a un aumento del tono

parasimpático. Este autor plantea algunos mecanismos metabólicos y mecánicos para explicar esta situación.

A pesar de los planteamientos tradicionales, este es un fenómeno aún en discusión. Diversos trabajos que estudian el comportamiento de la frecuencia cardíaca en reposo en diferentes fases del acondicionamiento cardiorrespiratorio, demuestran diferentes razones para encontrarla disminuida, dependiendo de la duración del programa de acondicionamiento físico. Así a corto plazo (20 semanas) la disminución de la frecuencia cardíaca de reposo puede ser debida a cambios en el volumen plasmático (40), a mediano plazo (meses) adaptaciones en el balance simpaticovagal (41) y a largo plazo (años) adaptaciones metabólicas y mecánicas en el nodo sinusal que llevan a una disminución de la frecuencia cardíaca intrínseca (11).

Las diferencias observadas entre los tres grupos de sujetos en las mediciones en el dominio del tiempo y que no se evidenciaron en los análisis en el dominio de la frecuencia pueden ser explicadas por el control que se hizo de la respiración, donde no es posible observar la expresión de las adaptaciones de los mecanismos centrales que modulan la frecuencia respiratoria e indirectamente la frecuencia cardíaca, o debido a las adaptaciones de las células del nodo sinusal, que producen una disminución de la frecuencia cardíaca intrínseca en respuesta a largos períodos de entrenamiento.

En los estudios de la VFC para valorar adaptaciones fisiológicas, es muy importante hacer un control de la respiración cuando sea necesario. Sin embargo, debido a la estrecha relación existente entre los sistemas cardiovascular y respiratorio, cuando se utiliza la VFC como un predictor de morbimortalidad en diferentes enfermedades cardiopulmonares, no hay ninguna justificación para hacer el control de la respiración.

Además de los otros beneficios conocidos del ejercicio, de estos hallazgos también se desprende la importancia del acondicionamiento físico aeróbico en los pacientes con enfermedades cardiopulmonares.

Así la VFC tiene un potencial considerable para valorar el papel de las fluctuaciones del SNA en personas sanas y en pacientes con enfermedades cardiovasculares y no cardiovasculares permitiendo aumentar nuestro entendimiento de los fenómenos fisiológicos, de las acciones de los medicamentos y de los mecanismos fisiopatológicos de diversas enfermedades.

Se plantea la necesidad de realizar grandes estudios longitudinales con y sin control de la respiración para determinar la utilidad de la VFC en el control biomédico del entrenamiento y la sensibilidad, especificidad y el valor predictivo en la identificación del riesgo individual para valorar la subsiguiente morbimortalidad en diferentes enfermedades cardiovasculares y no cardiovasculares.

En conclusión, las adaptaciones producidas por el entrenamiento de larga duración, en los mecanismos centrales que modulan la frecuencia respiratoria o en las células del

nodo sinusal, pueden ser las responsables de las diferencias encontradas en la modulación de la frecuencia cardíaca en los deportistas.

Summary

Objective: To compare the behavior of the heart rate variability (HRV) in short duration records at rest among aerobic resistance athletes, weight lifters and sedentary people, using methods of frequency and time domain.

Methods: After a 15-minute rest period in supine position, heart rate records were performed to a group of 17 aerobic resistance athletes, 15 weight lifters, and 19 sedentary people using a heartbeat telemetric monitor during 8 minute and under controlled respiration. With a software in Matlab® platform, the signal was arranged and 235 data were registered for the construction of the tachograms and their subsequent analyses in the frequency and time domain.

Results: It was found a less average heart rate in the aerobic resistance athletes. All the measures in the time domain were greater in the aerobic resistance athletes.

There were no differences between the groups in the high frequency (HF) and low frequency (LF) spectral components in normalized units and in the LF/HF ratio.

Conclusions: In the aerobic resistance athletes, a marked bradycardia was found. The difference found in the time domain were not evidence in the frequency domain. Adaptations produced by the long duration training in the central mechanisms, which modulate the respiration frequency or in the cells of the sinoatrial node, may be responsible for the differences found in the sportspeople's heart rate modulation.

Key words: Heart rate variability, spectral analysis, autonomic nervous system, aerobic resistance athletes, weight lifters, sedentary people, tachograms.

Agradecimientos

A los doctores Juan Alberto Ríos Arenas y Jaime Pérez Giraldo por su valiosa colaboración. A los entrenadores, deportistas y estudiantes de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia, por su motivación para el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- Kleiger RE, Miller JP, Bigger JT, Moss AJ, and the Multicenter Post-infarction Research Group. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1987;59:256-262.
- Malik M, Farrell T, Cripps T, Camm AJ. Heart rate variability in relation to prognosis after myocardial infarction: selection of optimal processing techniques. *Eur Heart J* 1989;10:1060-1074.
- Yoshio H, Shimizu M, Sugihara N, Kita Y, Shimizu K, Minagawa F, et al. Assessment of autonomic nervous activity by heart rate spectral analysis in patients with variant angina. *Am Heart J* 1993;125:324-329.
- Valkama J, Huikuri HV, Koistinen MJ, Yli-Mayry S, Airaksinen KEJ, Myerburg RJ. Relation between heart rate variability and spontaneous and induced ventricular arrhythmias in patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1995;25:437-443.
- Tsuji H, Venditti FJ, Manders ES, Evans JC, Larson MG, Feldman, et al. Reduced heart rate variability and mortality risk in an elderly cohort. The Framingham heart study. *Circulation* 1994;90:878-883.
- Task Force of European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. "Heart Rate Variability - Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use", Special Report. *Circulation* 1996;93:1043-1065.
- Mc Ardle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise Physiology. 4^a. ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1996: 393-415.
- Lin YC, Horvath SM. Autonomic nervous control of cardiac frequency in the exercise-trained rat. *J Appl Physiol* 1972;33:796-799.
- Macor F, Fagard R, Amery A. Power spectral analysis of RR interval and blood pressure short-term variability at rest and during dynamic exercise: Comparison between cyclists and controls. *Int J Sports Med* 1996;17:175-181.
- Seals DR, Chase PB. Influence of physical training on heart rate variability and baroreflex circulatory control. *J Appl Physiol* 1989;66:1886-1895.
- Katona PG, McLean M, Dighton DH, Guz A. Sympathetic and parasympathetic cardiac control in athletes and nonathletes at rest. *J Appl Physiol* 1982;52:1652-1657.
- Berntson GG, Cacioppo JT, Quigley KS. Autonomic cardiac control. I. Estimation and validation from pharmacological blockades. *Psychophysiology* 1994;31:572-585.
- Hon EH, Lee ST. Electronic evaluations of the fetal heart rate patterns preceding fetal death: further observations. *Am J Obstet Gynecol* 1965; 87: 874-826.
- Ewing DJ, Martin CN, Young RJ, Clarke BF. The value of cardiovascular autonomic function test: 10 years experience in diabetes. *Diabetes Care* 1985;8:491-498.
- Uusitalo AL, Tahvanainen KUO, Uusitalo AJ, Rusko HK. Non-invasive evaluation of sympathovagal balance in athletes by time and frequency domain analyses of heart rate and blood pressure variability. *Clin Physiol* 1996;16:575-588.
- Furlan R, Piazza S, Dell'Orto S, Basbic F, Bianchi A, Mainosdi L, et al. Cardiac autonomic patterns preceding occasional vasovagal reactions in healthy humans. *Circulation* 1998;98:1756-1761.
- Gallo JA, Farbiarz J, Álvarez DL. Análisis espectral de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. *Iatreia* 1999;12:94-104.
- Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Barger AC, Cohen RJ. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat to beat cardiovascular control. *Science* 1981;213:220-222.
- Akselrod S, Gordon D, Madwed JB, Snidman NC, Shannon DC, Cohen RJ. Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis. *Am J Physiol* 1985;249:H867-H875.
- Malliani A, Pagani M, Lombardi F, Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation* 1991;84:1482-1492.
- Tsuji H, Venditti FJ Jr, Manders ES, Evans JC, Larson MG, Feldman CI, et al. Determinants of heart rate variability. *J Am Coll Cardiol* 1996;28:1539-1546.
- Shin K, Minamitani H, Onishi S, Yamazaki H, Lee M. Autonomic differences between athletes and nonathletes: spectral analysis approach. *Med sci Sports Exerc* 1997;29:1482-1491.
- Jensen-Urstad K, Saltin B, Ericson M, Storck N, Jensen-Urstad M. Pronounced resting bradycardia in male elite runners is associated with high heart rate variability. *Scand J Med sci Sports* 1997;7:274-278.
- Wilkinson WJ, Thompson RW, Seppanen T, Laukkanen RMT. Heart rate variability and cardiorespiratory fitness. *Med sci Sports Exerc* 1997;29:850.
- Brenner I, Thomas S, Shephard R. Autonomic regulation of the circulation during exercise and heat exposure. *Sports Med* 1998;26:85-99.
- Seaward B, Sleamaker R, McAuliffe T, Clapp J. The precision and accuracy of a portable heart rate monitor. *Biomed Instrum Technol* 1990;24:37-41.
- Proakis JG, Manolakis DG. Digital signal processing: Principles, algorithms and applications. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall; 1996.
- Maron B. The athlete's heart and cardiovascular disease. *Cardiology Clinics* 1997;15:345-354.
- Blomqvist CG, Saltin B. Cardiovascular adaptations to physical training. *Ann Rev Physiol* 1983;45:169-189.
- Eklblom B, Kilbom A, Soltysiak J. Physical training, bradycardia, and autonomic nervous system. *Scand J Clin Lab Invest* 1973;32:251-256.
- Scheuer J, Tipton CM. Cardiovascular adaptations to physical training. *Ann Rev Physiol* 1977;39:221-251.
- Jaassen MJ, de Bie J, Swenne CA, Oudhof J. Supine and standing sympathovagal balance in athletes and controls. *Eur J Appl Physiol* 1993;67:164-167.
- Bonaduce D, Petretta M, Cavallaro V, Apicella C, Ianniciello A, Romano M, et al. Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes. *Med sci Sports Exerc* 1998;30:691-696.

34. **Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, Rinaldi O, Furas R, Pizzinelli P, et al.** Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympathovagal interaction in man and conscious dog. *Circ Res* 1986;**59**:178-193.
35. **De Boer RW, Karemaker JM, Strackee J.** Hemodynamic fluctuations and baroreflex sensitivity in humans: a beat-to-beat model. *Am J Physiol* 1987;**253**:H680-H689.
36. **Dixon EM, Kamath MV, McCartney N, Fallen EL.** Neural regulation of heart rate variability in endurance athletes and sedentary controls. *Med sci Sports Exerc* 1992;**26**:709-713.
37. **Puig J, Freitas J, Carvalho MJ, Puga N, Ramos J, Fernandez P, et al.** Spectral analysis of heart rate variability in athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 1993;**33**:44-48.
38. **Costa O, Freitas J, Puig J, Casvalho MJ, Freitas A, Ramos J, et al.** Spectrum analysis of the variability of heart rate in athletes. *Rev Port Cardiol* 1991;**10**:23-28.
39. **Pérez MT, López JR, Gonzales C.** Control de la ventilación pulmonar. En: Tresguerras JAF, Agular E, Cachofeiro MV, et al, eds. *Fisiología Humana*. 2a. ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 1999: 663-678.
40. **Wilmore J, Stanforth P, Gagnon J, Leon AS, Rao DC, Skinner JS, et al.** Endurance exercise training has a minimal effect on resting heart rate: the HERITAGE study. *Med sci Sports Exerc* 1996;**28**:829-835.
41. **Shi X, Stevens G, Foresman B, Stern S, Raven P.** Autonomic nervous system control of the heart: endurance exercise training. *Med sci Sports Exerc* 1995;**27**:1406-1413.