

Monograph

Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca Antes y Después del Ejercicio de Ciclismo en Relación con Diferentes Posiciones Corporales

Otto F Barak¹, Djordje G Jakovljevic², Jelena Z Popadic Gacesa¹, Zoran B Ovcin³, David A Brodie⁴ y Nikola G Grujic¹

¹Medical School, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia.

²Newcastle Magnetic Resonance Centre, Muscle Performance and Exercise Training Laboratory, Institute for Ageing and Health, Newcastle University, UK.

³Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad.

⁴Research Centre for Society and Health, Buckinghamshire New University, UK.

RESUMEN

El propósito de este estudio fue evaluar el efecto de tres posiciones corporales diferentes sobre las mediciones de HRV después de la realización de ejercicio submáximo de corta duración. Treinta participantes jóvenes masculinos realizaron ejercicio submáximo de ciclismo durante cinco minutos en tres ocasiones diferentes. Las mediciones de HRV se obtuvieron a partir de intervalos de ondas R a R, 5 min antes del ejercicio (valores pre ejercicio) y durante los últimos cinco minutos de un período de recuperación de 15 min (post ejercicio) en tres posiciones corporales diferentes (sentado, en posición supina y en posición supina con las piernas elevadas). Se analizaron las mediciones de los intervalos promedio RR normal-normal (RRNN), la desviación estándar de los intervalos normal-normal (SDNN), la raíz cuadrada media de las diferencias sucesivas (RMSSD) y la potencia espectral de baja frecuencia (LF) y de alta frecuencia (HF). Los RRNN y las RMSSD posteriores al ejercicio fueron significativamente más elevados en las dos posiciones supinas ($p < 0.01$) en comparación con la posición de sentado. Los valores del ln LF post-ejercicio fueron significativamente más bajos en la posición supina con piernas elevadas que en la posición de sentado ($p < 0.05$). No se hallaron diferencias significativas entre las tres posiciones corporales diferentes respecto del ln HF post-ejercicio ($p > 0.05$). Las mediciones de la HRV post-ejercicio en el dominio del tiempo (RRNN, SDNN, RMSSD) fueron significativamente más bajas en comparación con los valores pre ejercicio ($p < 0.01$), sin tener en cuenta la posición corporal. Los valores de ln LF y ln HF post-ejercicio en las tres posiciones de medición permanecieron reducidos de manera significativa durante la recuperación en comparación con los valores pre ejercicio ($p < 0.01$). El presente estudio sugiere que 15 minutos después de la realización de ejercicio submáximo de corta duración la mayoría de las mediciones de la HRV en el dominio de tiempo y frecuencia no han regresado a los valores pre-ejercicio. Las modificaciones en la regulación cardíaca autónoma inducida por la postura corporal presentes en el descanso se mantuvieron después del ejercicio, pero las diferencias post-ejercicio entre las tres posiciones no se parecieron a las establecidas durante el descanso.

Palabras Clave: variabilidad de la frecuencia cardíaca, recuperación, ejercicio

INTRODUCCION

El sistema nervioso autónomo (ANS) ejerce un leve grado de control sobre el sistema cardiovascular (Tulppo y Huikuri, 2004). La evaluación de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV) en el descanso, durante y después del ejercicio es un método innovador para estudiar los diferentes mecanismos de control fisiológico del cuerpo que reacciona a la actividad física (Sandercock y Brodie, 2006; Nunan et al., 2009; Torres et al., 2008).

Los marcados efectos de una única serie de ejercicios sobre la HRV revelaron una disminución inicial en la HRV y los índices vagales asociados (e.g., la desviación estándar de los intervalos normal-normal, la raíz cuadrada media de las diferencias sucesivas, la potencia espectral de la HVR de alta frecuencia) después del ejercicio (James et al., 2002; Javorka et al., 2002). Los intentos por evaluar la cinética de la restauración vagal se han llevado a cabo concentrándose en la intensidad del ejercicio (Gladwell et al., 2010; Neiwidomski et al., 2007; Parekh y Lee, 2005; Terziotti et al., 2001), el tipo de ejercicio (Heffernan et al., 2006; Mourot et al., 2004; Yamamoto et al., 2001), la duración del ejercicio (Seiler et al., 2007), la duración de la recuperación (Poher et al., 2004), y la aptitud cardiorrespiratoria (Buchheit y Gindre, 2006). Aunque existe mucha información sobre la recuperación de la HRV después del ejercicio es difícil prever con certeza el marco de tiempo exacto para una recuperación autónoma completa. Las mediciones de la HRV pueden alcanzar los valores pre-ejercicio dentro de un período de 5 minutos en el que la intensidad del ejercicio es baja y la duración es corta (Seiler et al., 2007; Terziotti et al., 2001). Por otro lado, el ejercicio de alta intensidad induce una reactivación vagal prolongada y un retardo de la recuperación de la HRV con el progresivo incremento de los índices de potencia de la HRV de alta y baja frecuencia que pueden no alcanzar los valores de reposo luego de 10 minutos (Arai et al., 1989; Poher et al., 2004; Takahashi et al., 2000), 15 minutos (Gladwell et al., 2010; Mourot et al., 2004; Poher et al., 2004; Terziotti et al., 2001), 30 minutos (Javorka et al., 2002) o incluso una hora (Furlan et al., 1993; James et al., 2002; Mourot et al., 2004; Terziotti et al., 2001). El curso de tiempo de la recuperación de la HRV es definitivamente una función de la intensidad y la modalidad del ejercicio (Gladwell et al., 2010; Kaikkonen et al., 2008), aunque también otras condiciones fisiológicas (e.g., la posición corporal) podrían tener una influencia modificadora sobre la actividad post-ejercicio del ANS.

Se han hecho pocos intentos para determinar la manera en que los cambios de la postura influyen la dinámica de las respuestas cardiovasculares durante la recuperación. Takahashi et al (2000) utilizaron mediciones continuas no invasivas de la HRV en la posición erguida y supina, y sus resultados indicaron que la restauración de la actividad vagal post-ejercicio se retrasó, sin tener en cuenta la posición corporal (Takahashi et al., 2000). Buchheit et al. (2009) investigaron cuatro posiciones de recuperación con énfasis en la reactivación parasimpática temprana (durante los primeros 5 minutos del ejercicio) y hallaron que la recuperación de los indicadores convencionales de la HRV se vio moderadamente afectada por la posición corporal.

Hasta el momento no se han publicado estudios que investiguen la actividad autónoma post-ejercicio de participantes que estén recostados en posición supina con las piernas elevadas durante un período de recuperación de 15 minutos. En esta posición el volumen sanguíneo central incrementado por medio de barorreceptores arteriales impone una mayor activación del vago que en la posición supina y reduce la frecuencia cardiaca y el rendimiento cardiaco (Rowell, 1993). Una mayor modificación vagal podría conducir a una recuperación más rápida del control cardiaco autónomo. Se ha planteado la hipótesis de que los mecanismos que ejercen los efectos posturales sobre la HRV en las diferentes posiciones corporales tienen un ritmo alternado de recuperación, llevando a diferencias en la recuperación de los indicadores de la HRV. El propósito del presente estudio es determinar si existen diferencias en la recuperación de las mediciones de la HRV dependiendo de la posición corporal. La recuperación autónoma como función de la postura corporal puede tener un valor significativo en la prescripción de la recuperación efectiva después del ejercicio submáximo. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres posiciones corporales diferentes sobre las mediciones de la HRV después del ejercicio submáximo a corto plazo e investigar las diferencias en las mediciones de la HRV antes y después del ejercicio submáximo.

METODOS

Participantes

Treinta jóvenes estudiantes masculinos (media \pm DE, edad 20.5 ± 0.6 años, talla 181.1 ± 6.1 cm, masa corporal 81.4 ± 9.2 kg) dieron su consentimiento por escrito para participar del estudio. Los participantes no practicaron ninguna actividad física organizada durante los últimos seis meses previos al comienzo de la investigación. Todos los sujetos informaron que se encontraban en buen estado de salud, que no tomaban ninguna medicación y no tenían ningún antecedente de

enfermedades cardiovasculares. Asimismo, se sometieron a un examen físico general para descartar cualquier enfermedad aguda o condición de los sistemas cardiorrespiratorio y locomotor. A fin de evaluar las diferencias en la frecuencia cardiaca pico (HR pico) se utilizó un test de Wingate completo de 30 segundos y se midió la frecuencia cardiaca pico como 183.1 ± 3.1 latidos por minuto a una potencia pico de 768.6 ± 84.5 W. En los participantes altamente cooperativos la HR pico durante el test de Wingate podría alcanzar hasta el 94% de la HR máxima obtenida en pruebas de ciclismo aeróbico (Hebestreit et al., 1993). Todos los procedimientos se realizaron conformes con la Declaración de Helsinki y fueron aprobados por los comités de ética locales.

Instrumentación y Obtención de los Datos

Las mediciones se tomaron en un cuarto tranquilo, con una temperatura del aire que osciló entre los 22 y 24 °C, entre las 9 y 12 hs. A los sujetos se les ordenó que el día anterior a la prueba no realizaran ejercicios agotadores y que tuvieran un buen descanso nocturno. Después de 10 minutos de acomodación, se procedió al registro del ECG digital (VNS-Spektr, Neurosoft, Ivanovo, Federación Rusa) en reposo, durante la realización de ejercicio y durante la recuperación. Se escogió una frecuencia de muestreo de 1000 Hz y los registros se transfirieron a una computadora por medio de una interfaz USB. Los datos obtenidos con la derivación V5 se guardaron en una computadora para otros análisis. Todos los intervalos R-R se editaron mediante una inspección visual a fin de excluir todos los latidos no deseados o ectópicos. Se suprimieron con el latido extra sistólico posterior y se reemplazaron de manera automática por los valores interpolados de los intervalos R-R adyacentes.

Diseño del Estudio

A los participantes se les pidió que visitaran el laboratorio de ejercicios en cuatro ocasiones diferentes (intentos). El primer día se determinó la potencia pico y la HR pico mediante el test anaeróbico de Wingate y durante las tres visitas posteriores se realizaron las mediciones de la HRV. A los sujetos se les asignó de manera aleatoria uno de los tres grupos, de igual tamaño en relación con el orden en el que cada grupo realizó las mediciones de la HRV en una posición corporal diferente (en posición de sentado, en posición supina, en posición supina con las piernas elevadas).

En la posición de sentado, los participantes colocaron los pies sobre una plataforma delante de los pedales con ambas piernas flexionadas a la altura de la rodilla a 90° aproximadamente. De este modo la mayor parte del peso corporal se centró en el asiento. Los brazos estaban apoyados sobre los muslos. En esta posición, los participantes informaron que se sentían cómodos y relajados. Para la posición supina, se les pidió a los participantes que se recostaran boca arriba, sobre la cama que estaba ubicada junto al cicloergómetro. Y por ultimo, en la posición supina con las piernas elevadas, colocaron la parte inferior de las piernas de manera horizontal sobre una plataforma acolchada ubicada en el extremo de la cama mientras que los muslos se encontraban de manera vertical hacia la parte superior del cuerpo. En esta posición ambas piernas estaban flexionadas con la rodilla a 90° aproximadamente.

El registro de ECG se realizó durante cinco minutos en descanso en la posición de sentado, supina o supina con las piernas elevadas en días diferentes. Después de las mediciones en reposo (valores pre ejercicio), los participantes realizaron cinco minutos de ciclismo submáximo (Cicloergómetro Wattbike, Wattbike Ltd, Nottingham, RU) con una intensidad del 80% de los valores individuales de la HR pico. Se utilizó una carga submáxima elevada para provocar una respuesta cardiaca autónoma sustancial. Los valores de frecuencia cardiaca observados al final del ejercicio (para cada protocolo experimental, seguido de una recuperación en la posición corporal adecuada - de sentado, supina o supina con las piernas elevadas) fueron de 142.9 ± 2.5 latidos por minuto (a 129.8 ± 7.9 W), 141.8 ± 1.9 latidos por minuto (a 130.5 ± 7.2 W) y 143.0 ± 2.3 latidos por minuto (a 131.3 ± 8.0 W), respectivamente. Al cese del ejercicio, se continuó con el registro de ECG durante el período de 15 minutos de recuperación en la misma posición corporal que antes del ejercicio (Figura 1). Después del ejercicio, los participantes lograron moverse a la posición corporal requerida en menos de 5 segundos.

Análisis de la HRV

Los intervalos promedio RR normal-normal (RRNN), la desviación estándar de los intervalos normal a normal (SDNN), la raíz cuadrada media de las diferencias sucesivas (RMSSD) se obtuvieron como mediciones del dominio del tiempo. Las mediciones de la HRV en el dominio de frecuencia derivaron de la transformación rápida de Fourier: fueron la potencia espectral de baja frecuencia (LF; 0.04-0.15 Hz) y de alta frecuencia (HF; 0.15-0.40 Hz) (Task Force, 1996). Las mediciones de TP y VLF no se incluyeron en otros análisis, pues su interpretación es cuestionable cuando se obtienen a partir de registros breves de 5 minutos (Sandercock et al., 2004). Se ha reportado que las mediciones de la HRV temporales y espectrales computadas a partir de registros a corto plazo son reproducibles y confiables (Carrasco et al., 2003, Sandercock et al., 2004, Sandercock et al., 2005, Nunan et al., 2009).

Análisis de los Datos

La distribución de cada variable se analizó con la prueba de normalidad de Lilliefors. Dado que los valores de potencia HF

y LF eran antisimétricos, las densidades de potencia se transformaron tomando sus logaritmos naturales para permitir comparaciones estadísticas paramétricas que suponen distribuciones normales (Sandercock et al., 2007).

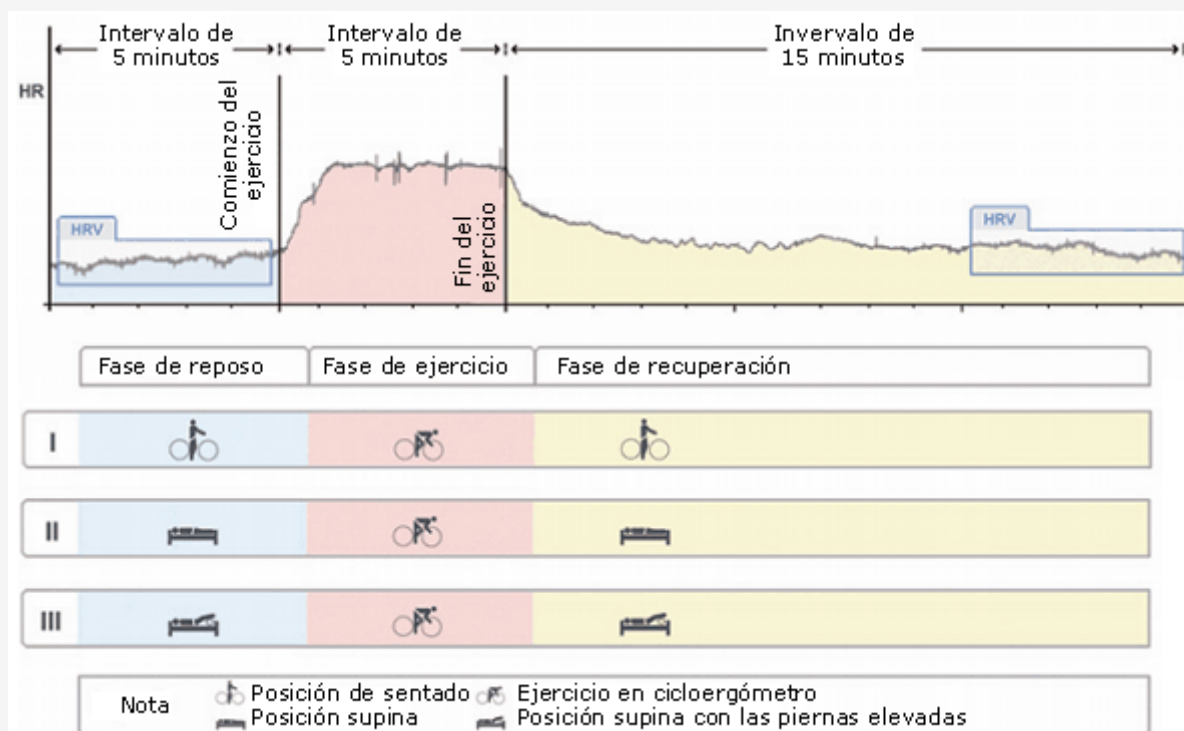


Figura 1. Descripción esquemática del diseño experimental. Después de la fase de descanso los participantes se realizaron ciclismo submáximo seguido de una fase de recuperación. La variabilidad de la frecuencia cardíaca se registró durante 5 minutos en el descanso (valores pre ejercicio) y durante los últimos 5 minutos de un periodo de recuperación de 15 minutos (post-ejercicio). Las mediciones de los valores pre y post-ejercicio se llevaron a cabo en diferentes posiciones corporales (en posición de sentado con el tronco erguido en un cicloergómetro-protocolo I, en posición supina-protocolo II, y en posición supina con las piernas elevadas-protocolo III).

Para evaluar las diferencias se utilizó una prueba *t* para datos apareados (para los valores iniciales vs. los post-ejercicio, de otro modo de dos colas). La hipótesis de trabajo fue que dos muestras independientes provenían de distribuciones normales con medias iguales. La prueba utilizada fue el problema de Behrens-Fisher, pues había varianzas desconocidas y desiguales. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el programa MatLab 6 (The MathWorks Inc., Natick, MA, EUA). La significancia estadística se indicaba si $p < 0.05$. Todos los datos se presentaron como medias \pm DE, a menos que se indicara de otra manera.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan las mediciones de la HRV en los dominios de tiempo y frecuencia con diferentes posiciones corporales antes y después del ejercicio. En los valores iniciales hubo valores más elevados de RRNN (+17.6%), SDNN (+27.2%) y RMSSD (+86.3%) en la posición supina; y de RRNN (+15.2%) y RMSSD (+50.6%) en la posición supina con las piernas elevadas ($p < 0.01$), en comparación con la posición de sentado. No se halló ninguna diferencia significativa entre las dos posiciones supinas con respecto a las mediciones de la HRV en el dominio de tiempo y frecuencia. En los valores iniciales, el componente ln LF de la HRV fue significativamente más bajo en la posición supina con las piernas elevadas que en la posición de sentado (-5.6%) ($p < 0.05$). En contraste, el componente ln HF de la HRV fue significativamente más alto en la posición supina (+12.5%) ($p < 0.01$) y supina con las piernas elevadas (+7.2%) ($p < 0.05$) que en la posición de sentado.

	Sentado		Supina		Supina con las piernas elevadas	
	Pre Ejercicio	Post Ejercicio	Pre Ejercicio	Post Ejercicio	Pre Ejercicio	Post Ejercicio
HR (latidos·min ⁻¹)	88 (8)	97 (6)**	76 (10)††	84 (8)**§§	77 (8)††	82 (4)**§§
Dominio de tiempo HRV						
RRNN (ms)	684.4 (60.0)	624.1 (42.8)**	805.0 (112.4)††	717.3 (59.8)**§§	788.5 (84.2)††	732.0 (36.3)**§§
SDNN (ms)	48.8 (11.8)	35.6 (12.1)**	62.0 (19.5)††	40.3 (12.5)**	53.0 (15.1)	37.0 (9.3)**
RMSSD (ms)	26.1 (8.1)	16.0 (6.5)**	48.6 (22.8)††	21.9 (9.0)**§§	39.3 (15.8)††	22.2 (7.9)**§§
Dominio de frecuencia HRV						
InLF (ms ²)	7.28 (.59)	6.82 (.79)*	7.18 (.53)	6.55 (.66)**	6.87 (.61)†	6.31 (.68)**§
InHF (ms ²)	6.15 (.71)	5.23 (.80)**	6.92 (0.71)††	5.57 (.64)**	6.59 (0.80)†	5.55 (.85)**

Tabla 1. Mediciones de la HRV antes (pre ejercicio) y después del ejercicio submáximo a corto plazo (post-ejercicio) en diferentes posiciones corporales. Los datos son medias (\pm DE). HR, frecuencia cardiaca; RRNN, intervalo promedio RR normal a normal; SDNN, desviación estándar de los intervalos normal a normal; RMSSD, raíz cuadrada media de las diferencias sucesivas; In LF, logaritmo natural de la potencia espectral de baja frecuencia; In HF, logaritmo natural de la potencia espectral de alta frecuencia. * y ** indican $p < 0.05$ y 0.01 , respectivamente, post-ejercicio vs pre ejercicio; † y †† indican $p < 0.05$ y 0.01 , respectivamente, vs pre ejercicio en posición de sentado; § y §§ indican $p < 0.05$ y 0.01 , respectivamente, vs sentado post-ejercicio.

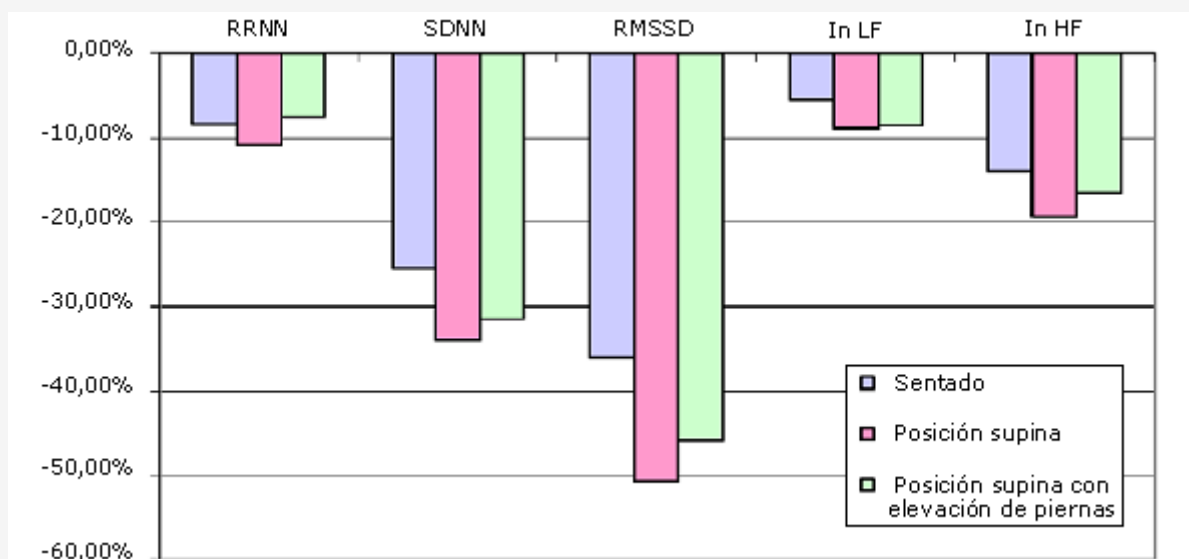


Figura 2. Cambios relativos de los parámetros de la HRV en el dominio de tiempo y frecuencia pre- y post-ejercicio. RRNN, intervalo promedio RR normal a normal; SDNN, desviación estándar de los intervalos normal a normal; RMSSD, raíz cuadrada media de las diferencias sucesivas; In LF, logaritmo natural de la potencia espectral de baja frecuencia; In HF, logaritmo natural de la potencia espectral de alta frecuencia.

No se halló ninguna diferencia significativa entre las dos posiciones supinas durante el período de recuperación para ninguna de las variables de la HRV en los dominios de tiempo y frecuencia que se midieron ($p > 0.05$). Los valores post-ejercicio de las variables de la HRV en el dominio de tiempo fueron más elevados en la posición supina: RRNN (+14.9%), RMSSD (+36.6%) y en la posición supina con las piernas elevadas: RRNN (+17.3%), RMSSD (+38.6%) ($p < 0.01$) en comparación con la posición de sentado. La In LF post-ejercicio fue significativamente más baja en la posición supina con las piernas elevadas (-7.5%) que en la posición de sentado ($p < 0.05$). No se halló ninguna diferencia significativa entre las tres posiciones corporales diferentes para la In HF post-ejercicio ($p > 0.05$).

En la Figura 2 se presentan los cambios relativos de los parámetros de la HRV en los dominios de tiempo y frecuencia pre- y post-ejercicio. Las mediciones post-ejercicio de la HRV en el dominio del tiempo (RRNN, SDNN, RMSSD) fueron significativamente más bajas en comparación con los valores pre ejercicio ($p < 0.01$), sin tener en cuenta la posición corporal. Las In LF y In HF post-ejercicio en las tres posiciones permanecieron disminuidas de manera significativa durante la recuperación, en comparación con los valores pre ejercicio ($p < 0.01$).

DISCUSION

En el presente estudio se evaluaron los efectos de las diferentes posiciones corporales sobre las mediciones de la HRV en reposo (valores pre-ejercicio) y después de la realización de un ejercicio submáximo de corta duración. La mayoría de las variables de la HRV medidas no regresaron a los valores iniciales 15 minutos después del ejercicio. Más importante, el presente estudio sugiere que la posición corporal puede influenciar las mediciones de HRV no sólo en los valores iniciales sino también después del ejercicio submáximo.

En esta investigación, los valores iniciales de todos los parámetros de la HRV en el dominio de tiempo (RRNN, SDNN, RMSSD) fueron significativamente más elevados en las dos posiciones supinas en comparación con la posición de sentado, sugiriendo que la actividad parasimpática está relacionada con los efectos posturales. De manera similar, la ln HF fue significativamente más elevada en la posición supina (con y sin las piernas elevadas) que en la posición erguida en el cicloergómetro. La revisión de Perini y Veicsteinas (2003) establece que las fluctuaciones de alta frecuencia durante las posiciones supina y de sentado parecen ser mayores que durante la posición de parado (Perini y Veicsteinas, 2003). El índice de fluctuación de baja a alta frecuencia durante la posición de parado fue significativamente más alto que durante las posiciones supina y de sentado (Perini y Veicsteinas, 2003). Esto se relacionó con el predominio parasimpático durante las posiciones supina y de sentado, y un cambio hacia el predominio simpático en la posición de parado (Perini y Veicsteinas, 2003). La distribución del volumen sanguíneo en el cuerpo en la posición erguida se ve afectada por la fuerza gravitacional. Se ha hallado que el ajuste de la presión sanguínea arterial para compensar el cambio postural se logra a través de una cantidad de mecanismos reflejos (e.g., *barorreflejos arteriales*, *barorreflejos cardiopulmonares*) que pueden conducir a un mayor compromiso del sistema nervioso simpático (Rowel, 1993). Es probable que la actividad nerviosa simpática pre-ejercicio en la posición supina con las piernas elevadas, expresada a través los valores más bajos de ln LF observados en el presente estudio, se haya suprimido de manera refleja por medio de los barorreceptores arteriales. Éstos fueron cargados por un mayor volumen sanguíneo en las venas centrales transferido desde las extremidades inferiores, en comparación con la posición de sentado erguido o la otra posición supina.

En el presente estudio se deseó obtener más evidencia con respecto a la recuperación del control autónomo después del ejercicio. El fundamento para elegir el 80% de la HR pico fue que se buscaba implementar una elevada carga submáxima a fin de evocar la respuesta cardiaca autónoma sustancial. No existen “estándares de referencia” para la prescripción de la carga del entrenamiento, pero en general se ha medido con la frecuencia cardiaca, el consumo de oxígeno, la concentración de lactato en sangre y el índice de esfuerzo percibido (Kaikkonen et al., 2010). Aunque mucha de la variabilidad en las respuestas fisiológicas al ejercicio submáximo puede ser resultado de que la contribución de los sistemas aeróbicos y anaeróbicos difiere de manera considerable como función de la HR máxima y el VO_2 máx (Meyer et al., 1999, Hofmann et al., 2001), la mayoría de los artículos que abordan la recuperación de la HRV post-ejercicio definen las cargas de trabajo como un porcentaje de la HRmax o el VO_2 máx, (Takahashi et al., 2000, Parekh et al., 2005, Kaikkonen et al., 2010), el umbral anaeróbico (Terziotti et al., 2001) o el nivel de lactato en sangre

(Gladwell et al., 2010). Se han escogido intensidades fijas que apuntan al porcentaje de los valores de la HR pico individual, pero los participantes que no tenían entrenamiento alcanzaron cargas de trabajo similares en las tres condiciones de prueba, formando grupos homogéneos para los valores de potencia.

En el presente estudio todos los participantes realizaron un ejercicio submáximo de 5 minutos seguido de un período de recuperación de 15 minutos en diferentes posiciones corporales. Terziotti et al (2001) demostraron que después de 15 minutos de recuperación el control autónomo del sistema cardiovascular aún estaba alterado, y el tono vagal no se recuperó por completo (potencia HF baja) después de la realización de ejercicio tanto al 50% como al 80% del umbral anaeróbico (Terziotti et al., 2001). Parekh y Lee (2005) examinaron la modulación cardiaca autónoma por medio de la HRV después de series de ejercicios al 50% y 80% de VO_2 de reserva. Las mediciones de la HRV se analizaron en periodos de 5 minutos de una recuperación post-ejercicio de 30 minutos en posición supina. Estos investigadores demostraron que la reactivación vagal se retrasó por un período más prolongado después de la serie de ejercicios de alta intensidad (HF restituida después de 25 minutos) en comparación con los de baja intensidad (HF restituida después de 10 minutos) (Parekh y Lee, 2005). Gladwell et al (2010) también demostraron una recuperación de la HF en la posición supina 15 minutos después de una intensidad de ejercicio moderada y 30 minutos después de intensidades fuertes y severas (Gladwell et al., 2010).

La demora post-ejercicio en la restauración de la actividad vagal se demostró a través de los parámetros disminuidos de la HRV en el dominio de tiempo y el componente ln HF de la HRV, sin tener en cuenta la posición corporal. Aunque las mediciones de la HRV en el dominio del tiempo fueron significativamente más bajas después del ejercicio en todas las posiciones corporales en comparación con los valores iniciales, permanecieron más elevadas en las posiciones supinas en comparación con la posición de sentado erguido. Esto sugiere que no se alcanzó una completa recuperación de las

mediciones de la HRV en el dominio del tiempo después de 15 minutos, pero los efectos posturales de la posición corporal permanecieron evidentes, es decir, las discrepancias en la HRV entre las tres posiciones corporales post-ejercicio no fueron del mismo grado que en reposo. Por lo tanto, al tener en cuenta los efectos del ejercicio sobre la recuperación de la HRV también debería considerarse el grado de recuperación. En concordancia con los estudios citados anteriormente (James et al., 2002, Terziotti et al., 2001, Mourot et al., 2004), las fluctuaciones de baja y alta frecuencia en la HRV permanecieron reducidas en comparación con los valores iniciales después del ejercicio. Las fluctuaciones de la ln HF no se han recuperado después de 15 minutos, sin tener en cuenta la posición corporal, pero la diferencia entre posiciones que existía en el descanso (entre la posición de sentado y supina de alrededor del 12.5%, y la posición de sentado y supina con las piernas elevadas de alrededor del 7.2%) desapareció después del ejercicio. La potencia de la ln LF de la HRV también permaneció disminuida de manera significativa en comparación con los valores iniciales para todas las posiciones. Takahashi et al. (2000) también demostraron que las amplitudes de HF más bajas en comparación con las del descanso antes del ejercicio en las posiciones erguida y supina indicaban que la restauración de la actividad en la actividad post-ejercicio del vago se retrasaba, sin tener en cuenta la posición corporal (Takahashi et al., 2000).

Los valores más bajos de la HRV después del ejercicio podrían explicarse a través de los efectos inhibitorios de las hormonas simpáticas sanguíneas sobre la modulación vagal (Miyamoto et al., 2003). *Los metaboreceptores con aferentes simpáticos también podrían activarse mediante el producto de los metabolitos acumulado durante el ejercicio* (O'Leary, 1993), proponiendo un mecanismo alternativo para el predominio simpático. La eliminación de estas influencias de la sangre no se ve afectada por la postura corporal que elimina las diferencias entre posiciones en la recuperación de la HRV.

Si las diferencias en las mediciones de la HRV en relación a la posición corporal son meramente un resultado de las influencias presentes en las condiciones de los valores iniciales todavía no son claras. La ausencia de restauración de las mediciones de la HRV después de 15 minutos de recuperación favorecen la existencia de efectos modificadores del ejercicio sobre los mecanismos de regulación cardíaca subyacente (e.g., las funciones barorreflejas y metaboreflejas). Sobre la base de las discrepancias en las mediciones de la HRV en las diferentes posiciones corporales pre- y post-ejercicio se argumenta que el ritmo de recuperación de la regulación cardíaca autónoma depende de la postura corporal.

Después del cese del ejercicio, la precarga en la posición erguida y la ausencia de los mecanismos de comando central provocan una caída en el rendimiento cardíaco y la presión sanguínea arterial que se restaura de manera refleja a través de la actividad simpática incrementada (Bradley y Davis, 2003, Westerhof et al., 2006). La actividad nerviosa simpática cardíaca disminuye y la actividad nerviosa del vago se incrementa cuando la posición corporal cambia de la posición erguida a la supina (Rowel, 1993). Si se produce un cambio similar en la actividad de los dos componentes del ANS durante el periodo post-ejercicio, se provocaría una disminución más rápida en la HR en la posición supina por medio del predominio de la actividad nerviosa del vago, en comparación con la posición erguida (Takahashi et al., 2000). Asimismo serían evidentes respuestas similares inmediatas en otros aspectos de la actividad cardíaca autónoma. Los barorreceptores incluidos en esta regulación refleja son efectivos sólo para atenuar los cambios a corto plazo, así las principales perturbaciones en la actividad del ANS serían evidentes inmediatamente después del cese del ejercicio (Rowell, 1993). Otros cambios en las mediciones de la HRV no podrían explicarse simplemente mediante este mecanismo reflejo, sin embargo el debilitamiento de la influencia barorrefleja en la actividad del ANS post-ejercicio después de 15 minutos de recuperación podrían explicar la ausencia de una diferencia significativa entre las dos posiciones supinas. No se ha demostrado de manera concluyente si la redistribución de la sangre en la posición supina con las piernas elevadas es suficiente para evocar mayores perturbaciones en la regulación cardíaca autónoma que en una posición supina simple.

CONCLUSION

El presente estudio sugiere que 15 minutos después de la realización de un ejercicio submáximo de corta duración, la mayor parte del tiempo y las mediciones de la HRV en el dominio de frecuencia no han retornado a los valores previos al ejercicio, sin tener en cuenta la posición corporal. Las modificaciones en la regulación cardíaca autónoma inducida por la postura corporal presente en el descanso se mantuvieron después del ejercicio, pero las diferencias post-ejercicio entre las tres posiciones no se parecieron a las establecidas en el descanso. Aún sigue siendo un interrogante si hay alguna posición corporal favorable que acelere la recuperación de la regulación cardíaca autónoma.

Puntos Clave

- Aún continúa siendo poco claro si las diferentes posiciones corporales pueden mejorar la recuperación post-ejercicio de la regulación autónoma.
- La ausencia de restauración de las mediciones de la HRV después de 15 minutos de recuperación favorecen la existencia de los efectos modificadores del ejercicio sobre los mecanismos de regulación cardíaca subyacente.

- Sobre la base de las discrepancias en las mediciones de la HRV en las diferentes posiciones corporales pre- y post-ejercicio se argumenta que el ritmo de recuperación de la regulación cardiaca autónoma depende de la postura corporal.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado con una beca de investigación que proporcionó la Secretaría Provincial para la Ciencia y el Desarrollo Tecnológico, Provincia Autónoma de Vojvodina, Serbia; Contrato de Becas número: 114-451-00717/2009.

REFERENCIAS

1. Arai, Y., Saul, J.P., Albrecht, P., Hartley, L.H., Lilly, L.S., Cohen, R.J. and Colucci, W.S (1989). Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *American Journal of Physiology* 256, H132-H141
2. Bradley, J.G. and Davi, K.A (2003).
3. Buchheit, M. and Gindre, C (2006). Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology* 291, H451-H458
4. Buchheit, M., Al Haddad, H., Laursen, P.B. and Ahmaidi, S (2009). Effects of body posture on parasympathetic reactivation in men. *Experimental Physiology* 94, 795-804
5. Carrasco, S., Gonzalez, R., Gaitan, M.J. and Yanez, O (2003). Reproducibility of heart rate variability from short-term recordings during five manoeuvres in normal subjects. *Journal of Medical Engineering and Technology* 27, 241-248
6. Furlan, R., Piazza, S., Dell'Orto, S., Gentile, E., Cerutti, S., Pagani, M. and Malliani, A (1993). Early and late effects of exercise and athletic training on neural mechanisms controlling heart rate. *Cardiovascular Research* 27, 482-488
7. Gladwell, V.F., Sandercock, G.R.H. and Birch, S.L (2010). Cardiac vagal activity following three intensities of exercise in humans. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 30, 17-22
8. Hebestreit, H., Mimura, K-I. and Bar-Or, O (1993). Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. *Journal of Applied Physiology* 74(6), 2875-2880
9. Heffernan, K.S., Kelly, E.E., Collier, S.R. and Fernhall, B (2006). Cardiac autonomic modulation during recovery from acute endurance versus resistance exercise. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation* 13, 80-86
10. Hoffmann, P., Von Duvillard, S.P., Seibert, F.-J., Pokan, R., Wonisch, M., Lemura, L. and Schwaberg, G (2001). % HRmax target heart rate is dependent on heart rate performance curve deflection. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33(10), 1726-1731
11. James, D.V.B., Barnes, A.J., Lopes, P. and Wood, D.M (2002). Heart rate variability: response following a single bout of interval training. *International Journal of Sports Medicine* 23, 247-251
12. Javorka, M., Zila, I., Balharek, T. and Javorka, K (2002). Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 35(8), 991-1000
13. Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H. and Nummela, A (2010). Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises?. *European Journal of Applied Physiology* 108(3), 435-442
14. Kaikkonen, P., Rusko, H. and Martinmaki, K (2008). Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 118, 511-519
15. Meyer, T., Gabriel, H.H. and Kindermann, W (1999). Is determination of exercise intensities as percentages of VO₂max or HRmax adequate?. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31(9), 1342-1345
16. Miyamoto, T., Kawada, T., Takaki, H., Inagaki, M., Yanagiya, Y., Jin, Y., Sugimachi, M. and Sunagawa, K (2003). High plasma norepinephrine attenuates the dynamic heart rate response to vagal stimulation. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology* 284, H2412-H2418
17. Mourot, L., Bouhaddi, M., Tordi, N., Rouillon, J.D. and Regnard, J (2004). Short- and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises. *European Journal of Applied Physiology* 92, 508-517
18. Neiwidomski, W., Gasiorowska, A., Krauss, B., Mroz, A. and Cybulski, G (2007). Suppression of heart rate variability after supramaximal exertion. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 27, 309-319
19. Nunan, D., Donovan, G., Jakovljevic, D.G., Hodges, L.D., Sandercock, G.R. and Brodie, D.A (2009). Validity and reliability of short-term heart-rate variability from the Polar S810. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 41, 243-50
20. OLeary, D.S (1993). Autonomic mechanisms of muscle metaboreflex control of heart rate. *Journal of Applied Physiology* 74, 1748-1754
21. Parekh, A. and Lee, C.M (2005). Heart rate variability after isocaloric exercise bouts of different intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 37, 599-605
22. Perini, R. and Veicsteinas, A (2003). Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *European Journal of Applied Physiology* 90, 317-325
23. Pober, D.M., Braun, B. and Freedbon, P.S (2004). Effects of a single bout of exercise on resting heart rate variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36, 1140-1148
24. Rowell, L.B (1993). Reflex control during orthostasis. In: Human cardiovascular control. Ed: Rowell, L.B. New York: Oxford University Press. 37-80

25. Sandercock, G.R.H (2007). Normative values, reliability and sample size estimates in heart rate variability. *Clinical Science* 113, 129-130
26. Sandrecock, G.R.H., Bromley, P. and Brodie, D.A (2004). Reliability of three commercially available heart rate variability instruments using short-term (5-min) recordings. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 24, 359-367
27. Sandrecock, G.R.H., Bromley, P. and Brodie, D.A (2005). The reliability of short-term measurements of heart rate variability. *International Journal of Cardiology* 103, 238-247
28. Sandercock, G.R.H. and Brodie, D.A (2006). The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 116, 302-313
29. Seiler, S., Haugen, O. and Kuffel, E (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39, 1366-1373
30. Takahashi, T., Okada, A., Saitoh, T., Hayano, J. and Miyamoto, Y (2000). Difference in human cardiovascular response between upright and supine recovery from upright cycle exercise. *European Journal of Applied Physiology* 881, 233-239
31. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). Heart Rate Variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *European Heart Journal* 17, 354-381
32. Terziotti, P., Schena, F., Gulli, G. and Cevese, A (2001). Post-exercise recovery of autonomic cardiovascular control: a study by spectrum and cross-spectrum analysis in humans. *European Journal of Applied Physiology* 84, 187-194
33. Torres, B.C., Lopez, C.L. and Orellana, J.N (2008). Analysis of heart rate variability at rest and during aerobic exercise: a study in healthy people and cardiac patients. *British Journal of Sports Medicine* 42, 715-720
34. Tulppo, M.P. and Huikuri, H.V (2004). Origin and significance of heart rate variability. *Journal of the American College of Cardiology* 43(12), 2278-80
35. Westerhof, B.E., Gisolf, J., Karemaker, J.M., Wesseling, K.H., Secher, N.H. and van Lieshout, J.J (2006). Time course of baroreflex sensitivity during postural stress. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology* 291, H2864-H2874
36. Yamamoto, K., Miyachi, M., Saitoh, T., Yoshioka, A. and Onodera, S (2001). Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33, 1496-1502

Cita Original

Otto F. Barak, Djordje G. Jakovljevic, Jelena Z. Popadic Gacesa, Zoran B. Ovcin, David A. Brodie, Nikola G. Grujic. Heart Rate Variability Before and After Cycle Exercise in Relation to Different Body Positions. *Journal of Sports Science and Medicine* (2010) 9, 176 - 182.