

Deteriorament funcional biventricular transitori durant una cursa prolongada*

Deterioro funcional biventricular transitorio durante un carrera prolongada*

Ignasi Carrió; Ricard Serra-Grima; David M-Ducker R.; Lluís Bernà; Gustavo Torres; Montserrat Estorch

Departaments de Cardiologia i Medicina Nuclear, Hospital de Sant Pau, Barcelona, Espanya

RESUM

Els autors analitzen els efectes d'una cursa de llarga durada sobre la motilitat global del ventriclle esquerre, mitjançant la realització de ventriculografies isotòpiques amb 99mTC, en 6 atletes corredors de fons. La conclusió és que, durant una cursa molt perllongada, s'observa un deteriorament de la funció biventricular. Aquests canvis funcionals s'explicarien per un augment en la precàrrega i en la postcàrrega per a ambdós ventricles, degut a una redistribució del volum sanguini circulant.

Per determinar els efectes d'una cursa de llarga durada (6 hores) sobre la motilitat global del ventriclle esquerre, es van realitzar ventriculografies isotòpiques amb 99mTC a un total de 6 atletes corredors de fons. Les determinacions de la funció ventricular es van realitzar en repòs (1 hora abans de l'inici de la cursa), cada hora durant la cursa i una hora després d'haver finalitzat aquesta (recuperació). La freqüència cardíaca va augmentar progressivament arribant al seu pic màxim a la 4^a hora de la cursa (57 ± 3 a 104 ± 7 ; $p = 0.001$). Després de la primera hora de competició, es va observar un descens en la fracció d'ejecció amb el seu valor més baix a la 4^a hora ($70 \pm 3\%$ a 53 ± 5 ;

RESUMEN

Los autores analizan los efectos de una carrera de larga duración sobre la motilidad global del ventrículo izquierdo, mediante la realización de ventriculografías isotópicas con 99mTC, en 6 atletas corredores de fondo. La conclusión es de que, durante una carrera muy prolongada, se observa un deterioro de la función biventricular. Estos cambios funcionales se explicarían por un aumento en la precarga y en la postcarga para ambos ventrículos, debido a una redistribución del volumen sanguíneo circulante.

Para determinar los efectos de una carrera de larga duración (6 horas) sobre la motilidad global del ventrículo izquierdo, se realizaron ventriculografías isotópicas con 99mTC a un total de 6 atletas corredores de fondo. Las determinaciones de la función ventricular se realizaron en reposo (1 hora antes del inicio de la carrera), cada hora durante la carrera y una hora después de haber concluido ésta (recuperación). La frecuencia cardíaca aumentó progresivamente llegando a su pico máximo a la 4^a hora de la carrera (57 ± 3 a 104 ± 7 ; $p = 0.001$). Después de la primera hora de competición, se observó un descenso en la fracción de eyección con su valor más bajo a la 4^a hora

* Aquest estudi ha estat subvencionat per la Secretaria General de l'Esport de la Generalitat de Catalunya.

* Este estudio fue subvencionado por la Secretaria General de l'Esport de la Generalitat de Catalunya.

$p=0.015$), amb una posterior recuperació. L'evolució de la fracció d'ejecció del ventricle dret fou paral·lela a l'evolució de la fracció d'ejecció del ventricle esquerre durant la competició ($r=0.39$; $p=0.0068$). Els comptes batec es correlacionaren amb el volum telediastòlic per ambdós ventricles ($p < 0.0001$).

El volum sanguini pulmonar augmentà cap al final de la cursa (índex 1.13 ± 0.14) amb una normalització a la recuperació (índex 1.03 ± 0.03).

El temps de màxim ompliment dels ventricles esquerre i dret es va correlacionar inversament amb el volum pulmonar sanguini ($r=-0.31$; $p=0.041$), i ($r=-0.47$; $p=0.001$) respectivament.

La fracció d'ejecció del ventricle dret es va correlacionar amb la fracció d'ejecció del ventricle esquerre ($r=-0.38$; $p=0.006$), i ($r=-0.34$; $p=0.01$) respectivament. Una deterioració transitòria en la funció biventricular durant una cursa de llarga durada en relació amb una redistribució del volum pulmonar sanguini i una major precàrrega i postcàrrega per ambdós ventricles.

Informació recent fa palès el fet que l'exercici molt prolongat té un efecte perjudicial sobre la funció sistòlica i diastòlica.¹⁴ Ha estat demostrat que les curses prolongades produeixen defectes sobre la motilitat regional ventricular en subjectes sans⁵ i que el ventricle dret respon de forma diferent que el ventricle esquerre a un exercici prolongat.^{6,7} Ja que la resposta dels ventricles esquerre i dret depèn de la intensitat de l'esforç, aquest estudi va ser realitzat per avaluar la resposta funcional d'aquests durant una cursa prolongada. Es van realitzar ventriculografies isotòpiques amb tecnici-99m en repòs, cada hora durant la cursa de 6 hores i a la recuperació.

Mètodes

Subjectes i disseny de l'estudi: Sis atletes de categoria masculina (corredors de fons), amb edats compreses entre els 23 i 41 anys, van ésser inscrits en una cursa competitiva oficial de 6 hores de durada al voltant del perímetre del nostre hospital (1.454 metres), amb una distància de 720 metres i amb una inclinació de 6.8% graus.

La cursa va ser realitzada el 9 de febrer de 1991, i va durar des de les 10.30 h fins les 17.30 h. La temperatura era de 14.5°C a 16.1°C amb una humitat ambiental mitjana del 42%. Tots els atletes van donar el seu consentiment per a participar en l'estudi.

Cada subjecte va ser estudiat en repòs (1 hora abans d'iniciar la cursa), cada hora durant la cursa i a l'hora d'haver finalitzat la competició (recuperació). Fent un total de 8 exploracions per atleta. Cadascun d'ells va haver de retornar al lloc d'exploració a cada hora. La distància total recorregu-

($70 \pm 3\%$ a $53 \pm 5\%$; $p=0.015$), con una posterior recuperación. La evolución de la fracción de eyección del ventrículo derecho fue paralela a la evolución de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo durante la competición ($r=0.39$; $p=0.0068$). Las cuentas latido se correlacionan con el volumen telediastólico para ambos ventrículos ($p < 0.0001$). El volumen sanguíneo pulmonar aumentó hacia el final de la carrera (índice 1.13 ± 0.14) con una normalización en la recuperación (índice 1.03 ± 0.03). El tiempo de máximo llenado de ventrículo izquierdo y derecho se correlacionó inversamente con el volumen pulmonar sanguíneo ($r=-0.31$; $p=0.041$), y ($r=-0.47$; $p=0.001$) respectivamente. La fracción de eyección del ventrículo derecho se correlacionó con la fracción de eyección del ventrículo izquierdo ($r=-0.38$; $p=0.006$), y ($r=-0.34$; $p=0.01$) respectivamente. Un deterioro transitorio en la función biventricular durante una carrera de larga duración en relación con una redistribución de volumen pulmonar sanguíneo y una mayor precarga y poscarga para ambos ventrículos.

Información reciente sugiere que el ejercicio muy prolongado tiene un efecto perjudicial sobre la función sistólica y diastólica.¹⁴ Ha sido demostrado que las carreras prolongadas producen defectos sobre la motilidad regional ventricular en sujetos sanos⁵ y que el ventrículo derecho responde de distinta forma que el ventrículo izquierdo a un ejercicio prolongado.^{6,7} Ya que la respuesta del ventrículo izquierdo y derecho es dependiente a la intensidad del esfuerzo, este estudio fue realizado para evaluar la respuesta funcional del ventrículo izquierdo y derecho, durante una carrera prolongada. Se realizaron ventriculografías isotópicas con Tecnecio-99m en reposo, cada hora durante la carrera de 6 horas y en la recuperación.

Métodos

Sujetos y diseño del estudio: Seis atletas varones (corredores de fondo), con edades entre los de 23 y 41 años, fueron inscritos en una carrera competitiva oficial de 6 horas de duración alrededor del perímetro de nuestro hospital (1.454 metros), con una distancia de 720 metros con una inclinación de 6.8% grados. La carrera fue realizada el 9 de febrero de 1991, y duró desde las 10:30 a.m. hasta las 5:30 p.m. La temperatura era de 14.5°C a 16.1°C con una humedad ambiental media del 42%. Todos los atletas dieron su consentimiento para participar en el estudio. Cada sujeto fue estudiado en reposo (1 hora antes de iniciar la carrera), cada hora durante la carrera, y a la hora de haber terminado la competición (recuperación). Haciendo un total de 8 exploraciones por atleta. Cada atleta tuvo que regresar al sitio de exploración cada hora. La distan-

da en aquests intervals de temps fou registrada. El disseny de l'estudi va permetre l'anàlisi de la funció biventricular durant la cursa, durant la fase de recuperació i en estat basal, utilitzat com a estudi control.

Procediment: Es van realitzar ventriculografies isotòpiques amb eritrics marcats amb 30 mCi de tecneci-99m. Amb els atletes en decúbit supí, es van realitzar els registres amb un col·limador d'alta resolució (Siemens Orbiter ZLC connectada a una computadora Siemens Microdelta) en la posició obliqua anterior esquerra (angulada 30° a 50°) amb una projecció cabdal de 5° a 10° que va permetre una separació òptima entre ambdós ventricles i aurícules. El cicle cardíac es va dividir en 30 64 x 64 frames, i la tolerància de variació de l'interval RR va ser de $\pm 10\%$, amb al menys 300,000 comptes recollits en cada trama.

Interpretació de les ventriculografies isotòpiques: La fracció d'ejecció del ventricle esquerre (FEVE) es va calcular utilitzant un analitzador semiautomàtic de la regió ventricular per a la detecció del cantell ventricular. L'activitat de fons va ser estimada d'una regió d'interès situada en una posició contralateral al ventricle esquerre en fi de sistole, i es va prendre la precaució de no sobreposar l'esmentada regió amb l'aorta descendent o amb la melsa. La corba d'activitat-temps va ser posteriorment processada amb l'anàlisi de Fourier, derivant-se d'aquesta els índex sistòlics i diastòlics.

La fracció d'ejecció del ventricle dret (FEVD) va ser estimada utilitzant una doble àrea d'interès amb sostracció de fons.⁷ Els frames de fi de sistoles i diàstole en cada determinació van ser corregits a comptes per comparar els comptes corresponents en telesistole i en telediàstole a l'àrea ventricular després de la correcció de fons. Els comptes batec (normalitzats a fons) són expressats per la diferència entre els comptes de fi de diàstole menys els comptes de fi de sistoles, o com la diferència en percentatge de l'estudi basal normalitzat al 100%.

El període de temps per arribar a la sistoles màxima s'expressa com el percentatge de l'interval RR (cicle cardíac).⁷ Es van obtenir els següents paràmetres de funció sistòlica i diastòlica:

1. Temps de buidatge màxim (PER – peak emptying rate, expressat pel volum de fi de diàstole per segon; End-diastolic volume/second – EDV/s), definit com la màxima taxa de descens en el ventricle esquerre durant la sistole.
2. Temps per al buidatge màxim, normalitzat a freqüència cardíaca, expressat pel percentatge de l'interval RR entre el punt de volum ventricular màxim i el punt en que el PER ocorre.
3. Temps de ompliment màxim (PFR – peak filling rate), normalitzat a freqüència cardíaca (en EDV/S), definit com el moment en el que existeix un canvi de volum més gran durant la fase dias-

cia total recorrida en estos intervalos de tiempo fue registrada. El diseño del estudio permitió el análisis de la función biventricular durante la carrera, durante la fase de recuperación y en estado basal, usado como estudio control.

Procedimiento: Se realizaron ventriculografías isotópicas con eritrocitos marcados con 30 mCi de tecneci-99m. Con los atletas en decúbito supino, se realizaron los registros con un colimador de alta resolución (Siemens Orbiter ZLC conectada a una Computadora Siemens Microdelta) en la posición obliqua anterior izquierda (angulada 30° a 50°) con una proyección caudal de 5° a 10° que permitió una óptima separación entre ambos ventriculos y aurículas. El ciclo cardíaco se dividió en 30 64 x 64 frames, y la tolerancia de variación del intervalo RR fue de $\pm 10\%$, con al menos 300,000 cuentas recogidas en cada frame.

Interpretación de las ventriculografías isotópicas: La fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) se calculó utilizando un analizador semiautomático de la región ventricular para detección del borde ventricular. La actividad de fondo fue estimada de una región de interés situada en una posición contralateral al ventrículo izquierdo en fin de sistole, y se tomó la precaución de no suponer dicha región con la aorta descendente o con el bazo. La curva de actividad-tiempo fue posteriormente procesada con el análisis de Fourier, derivándose de ésta los índices sistólicos y diastólicos. La fracción de eyección del ventrículo derecho (FEVD) fue estimada utilizando una doble área de interés con sustracción de fondo.⁷

Los frames de fin de sistole y diástole en cada determinación fueron corregidos a cuentas para comparar las cuentas correspondientes en telesistole y en telediástole en el área ventricular después de la corrección de fondo. Las cuentas latido (normalizadas a fondo) son expresadas como la diferencia entre las cuentas de fin de diástole menos las cuentas de fin de sistole, o como la diferencia en porcentaje del estudio basal normalizado como el 100%.

El periodo de tiempo para llegar a la máxima sistole se expresa como el porcentaje del intervalo RR (ciclo cardíaco).⁷ Se obtuvieron los siguientes parámetros de función sistólica y diastólica.

1. Tiempo de máximo vaciamiento (PER-peak emptying rate), (expresado como volumen de fin de diástole por segundo; End-diastolic volume/second-EDV/s), definido como la máxima tasa de descenso en el ventrículo izquierdo durante la sistole.
2. Tiempo para el máximo vaciamiento, normalizado a frecuencia cardíaca, expresado como el porcentaje del intervalo RR entre el punto de máximo volumen ventricular y en punto en que el PER ocurre.
3. Tiempo de máximo llenado (PFR-peak filling

tòlica.

4. Temps per al màxim ompliment, normalitzat a freqüència cardíaca, expressat pel percentatge de l'interval RR entre el punt de volum ventricular més petit i el punt en el que el PFR ocorre.

El volum sanguini pulmonar fou analitzat en els frames de telediàstole segons el mètode de Okada i cols,⁸ traçant una regió d'interès sobre el pulmó adjacent a l'artèria aorta. Es va calcular un índex dividint els comptes en la regió d'interès durant la cursa i la recuperació sobre els comptes en la regió d'interès en l'estudi de repòs.

Anàlisi Estadístic: Les comparacions entre els estudis de repòs durant la cursa i en la recuperació es van realitzar per anàlisi de mostres repetides mitjançant anàlisis de la variació. Si que es demostrà significació estadística, es realitzà un anàlisi individual mitjançant la mostra d'anàlisi múltiple Newman-Keuls⁹ o mitjançant mostres aparellades amb la t d'Student. La correlació de Pearson. Una significació menor de $p < 0.05$ fou considerada com a vàlida.

rate), normalizado a frecuencia cardíaca, (en EDV/s), definido como el momento en donde existe un mayor cambio de volumen durante la fase diastólica.

4. Tiempo para el máximo llenado, normalizado a frecuencia cardíaca, expresado como el porcentaje del intervalo RR entre el punto de mínimo volumen ventricular y el punto en el que el PFR ocurre.

El volumen sanguíneo pulmonar fue analizado en los frames de telediastole según el método de Okada y cols,⁸ trazando una región de interés sobre el pulmón adyacente a la arteria aorta. Se calculó un índice dividiendo las cuentas en la región de interés durante la carrera y en la recuperación sobre las cuentas en la región de interés en el estudio de reposo.

Análisis Estadístico: Las comparaciones entre los estudios de reposo, durante la carrera y en la recuperación se realizaron por análisis de muestras repetidas mediante análisis de la varianza. Si se demostró significación estadística, se realizó un

| | FC (lpm/min) | EF (%) | PER (EDV/s-1) | TPER (% RR) | PFR (EDV/s-1) | TPFR (% RR) | CL (%) | % Sístole |
|---------|-----------------|-----------|------------------|----------------|------------------|----------------|-----------|-----------|
| Repòs | 57 ± 3 | 60 ± 4 | 3.3 ± .25 | 10 ± 2 | 3.5 ± .36 | 18 ± 1 | 100 | 41 ± 4 |
| Hora 1 | 89 ± 7* | 70 ± 3 | 3.6 ± .20 | 18 ± 3 | 4.4 ± .62 | 41 ± 3* | 116 ± 12 | 51 ± 3 |
| Hora 2 | 92 ± 4* | 66 ± 5 | 4.8 ± .35* | 13 ± 4 | 3.8 ± .40 | 51 ± 6* | 109 ± 12 | 49 ± 4 |
| Hora 3 | 98 ± 5* | 63 ± 3 | 4.3 ± .11* | 12 ± 4 | 4.7 ± .50 | 58 ± 6* | 113 ± 18 | 51 ± 1 |
| Hora 4 | 104 ± 7* | 53 ± 5† | 5.0 ± .74* | 22 ± 6 | 4.9 ± .53 | 54 ± 4* | 88 ± 22 | 63 ± 5* |
| Hora 5 | 99 ± 5* | 63 ± 3 | 4.2 ± .23* | 18 ± 2 | 3.9 ± .31 | 48 ± 4* | 106 ± 25 | 53 ± 4 |
| Hora 6 | 96 ± 6* | 62 ± 2† | 4.6 ± .40* | 20 ± .9 | 4.0 ± .48 | 55 ± 9 | 99 ± 17 | 49 ± 3 |
| Control | 79 ± 5* | 58 ± 2† | 3.6 ± .38 | 18 ± 3 | 4.0 ± .69 | 36 ± 5 | 92 ± 14 | 49 ± 3 |

Taula I. Paràmetres de ventricle esquerre

Valors en mitjana ± EEM.

EDVs-1 = Volum de fi de diàstole/seg; FE = Fracció d'ejecció %; FC = Freqüència cardíaca; PER = Pic de màxim buidatge; PFR = Pic de màxim ompliment; CL = Comptes batec (% en relació amb el repòs); % sístole = temps per aconseguir la màxima sístole (normalitzat a FC); TPER = temps per arribar al PER (%interval RR de fi de diàstole); TPFR = temps per arribar al PFR (% interval RR de fi de sístole).

* $p < 0.05$ de valors de repòs; † $p < 0.001$ de la 1a hora; ± $p < 0.05$ de la 1a hora.

Tabla I. Parámetros de ventrículo izquierdo.

Valores en media ± EEM.

EDVs-1 = Volumen de fin de diástole/seg; FE = Fracción de eyección %; FC = Frecuencia cardíaca; PER = Pico de máximo vaciamiento; PFR = Pico de máximo llenado; CL = Cuentas latido (% en relación con el reposo); % Sístole = Tiempo para la alcanzar la máxima sístole (normalizado a FC); TPER = Tiempo para llegar al PER (%intervalo RR de fin de diástole); TPFR = Tiempo para llegar al PFR (%intervalo RR de fin de sístole).

* $p < 0.05$ de valores de reposo; † $p < 0.01$ de la 1ª hora; ± $p < 0.05$ de la 1ª hora.

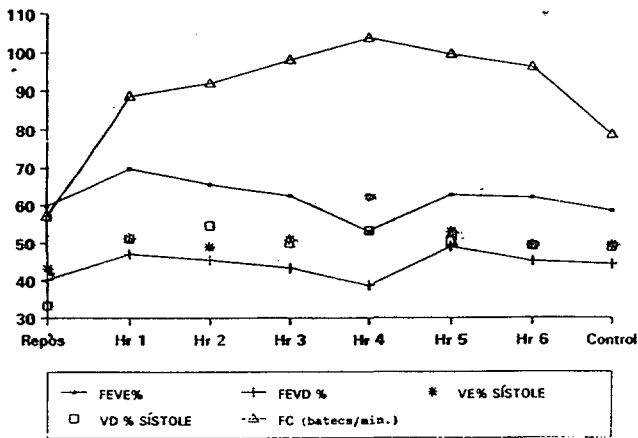


Figura 1.

Valors mitjos de la funció ventricular esquerra i dreta durant una cursa de 6 hores en el repòs, durant la cursa (Hr 1 a Hr 6) i una després de finalitzar-la (control): FE = Fracció d'ejecció; FC = Freqüència cardíaca; VE = Ventricle esquerre; VD = Ventricle dret; % Sístole = Temps per arribar a la màxima sístole en percentatge del cicle cardíac (normalitzat a freqüència cardíaca).

Figura 1.

Valores medios de la función ventricular izquierda y derecha durante la carrera de 6 horas en el reposo, durante la carrera (Hr 1 a Hr 6) y una después de finalizarla (control): FE = Fracción de eyección; FC = Frecuencia cardíaca; VI = Ventrículo izquierdo; VD = Ventrículo derecho; % Sístole = Tiempo para llegar a la máxima sístole en porcentaje del ciclo cardíaco (normalizado a frecuencia cardíaca).

Resultats

Els atletes van cobrir una distància mitjana de 50.1 ± 3.76 (mitjana \pm SD) quilòmetres durant la cursa. La freqüència cardíaca va mostrar un augment continuat fins arribar al seu pic màxim a la 4^a hora de competició (57 ± 3 a 104 ± 7 lpm; $p=0.001$) (Taula I, Figura 1).

Paràmetres de funció ventricular esquerra: La FEVE augmentà de $60 \pm 4\%$ a $70 \pm 3\%$ a la hora de la cursa i, posteriorment, disminuí a $53 \pm 5\%$ a la 4^a hora ($p=0.015$) (Taula I, Figura 1), coincidint amb el pic de la màxima freqüència cardíaca. Posteriorment s'observà una recuperació gradual de la FEVE. El valor més alt per al PER fou observat a la 4^a hora de competició (3.3 ± 0.25 a 5 ± 0.74 ; $p < 0.05$, quedant per sobre dels valors basals fins la 6^a hora de cursa (3.3 ± 0.25 a 4.6 ± 0.40 ; $p=0.02$). El temps per aconseguir el període de màxima sístole es va allargar progressivament ($43 \pm 4\%$ a $63 \pm 5\%$; $p=0.012$, a la 4^a hora).

anàlisi individual mediante la muestra de análisis múltiple Newman-Keuls⁹ o mediante muestras apareadas con la *t* de Student. La correlación se realizó mediante la prueba de matriz de correlación de Pearson. Una significancia menor de $p < 0.05$ fue considerada como válida.

Resultados

Los atletas cubrieron una distancia media de 50.1 ± 3.76 (media \pm SD) kilómetros durante la carrera. La frecuencia cardíaca mostró un aumento continuo hasta llegar a su pico máximo a la 4^a hora de competición (57 ± 3 a 104 ± 7 lpm; $p=0.001$) (Tabla I) (Figura 1).

Parámetros de función ventricular izquierda: La FEVI aumentó de $60 \pm 4\%$ a $70 \pm 3\%$ a la 1^a hora de la carrera, y posteriormente disminuyó a $53 \pm 5\%$ a la 4^a hora ($p=0.015$) (Tabla I) (Figura 1), coincidiendo con el pico de máxima frecuencia cardíaca. Posteriormente se observó una recuperación gradual de la FEVI. El valor más alto para el PER fue observado a la 4^a hora de competición (3.3 ± 0.25 a 5 ± 0.74 ; $p < 0.05$, permaneciendo por encima de los valores basales hasta la 6^a hora de carrera (3.30 ± 0.25 a 4.6 ± 0.40 ; $p=0.02$). El tiempo para alcanzar el período de máxima sístole se alargó progresivamente ($43 \pm 4\%$ a $63 \pm 5\%$; $p=0.012$, a la 4^a hora).

El pico máximo para llegar al tiempo de máxima sístole ocurrió a la 4^a hora de la carrera, con un acortamiento del período diastólico. El tiempo para llegar al pico de máxima diástole aumentó de la 2^a a la 6^a hora de la competición ($p < 0.05$).

Se halló una tendencia al descenso en las cuentas latido de 240 ± 16 (reposo) a 196 ± 48 a la 4^a hora de la carrera, (88% del estudio basal). Esto fue debido a una tendencia en el descenso de las cuentas de fin de diástole de 377 ± 35 (reposo) a 358 ± 66 a la 4^a hora de la carrera, y en una tendencia al aumento en las cuentas de fin de sístole de 136 ± 26 (reposo) a 162 ± 27 a la 4^a hora de la carrera.

Parámetros de función ventricular derecha: La evolución de la FEVD durante la carrera tuvo un paralelismo durante la competición con la FEVI ($r=0.39$; $p=0.0068$). La FEVD disminuyó a $39 \pm 5\%$ en la 4^a hora de competición a la 4^a hora de competición y posteriormente se observó un aumento (Tabla II). Las cuentas latido del ventrículo derecho se correlacionaron con las cuentas latido del ventrículo izquierdo ($r=0.50$; $p=0.0005$). Las cuentas latido se correlacionaron con las cuentas de fin de diástole para ambos ventrículos ($p < 0.0001$).

Se observó una tendencia en el descenso de las cuentas latido de 164 ± 25 (reposo) a 148 ± 46 a la 4^a hora de competición, (88% del estudio basal),

El pic màxim per arribar al temps de màxima sistole va ocórrer a la 4^a hora de la cursa, amb una disminució del període diastòlic. El temps per arribar al pic de màxima diàstole augmentà de la 2^a a la 6^a hora de la competició ($p < 0.05$). Es va trobar una tendència al descens en els comptes batec de 240 ± 16 (repòs) a 196 ± 48 a la 4^a hora de la cursa, (88% de l'estudi basal). Això fou degut a una tendència en el descens dels comptes de fi de diàstole de 377 ± 35 (repòs) a 358 ± 66 a la 4^a hora de la cursa, i amb una tendència a l'augment en els comptes de fi de sistole de 136 ± 26 (repòs) a 126 ± 27 a la 4^a hora de la cursa.

Paràmetres de funció ventricular dreta: L'evolució de la FEVD durant la cursa va tenir un paral·lelisme, durant la competició, amb la FEVE ($r=0.39$; $p=0.0068$). La FEVD disminuí a $39 \pm 5\%$ a la 4^a hora de competició i posteriorment s'observà un augment (Taula II).

Els comptes batec de ventricle dret es correlacionaren amb els comptes batec del ventricle esquerre ($r=0.50$; $p=0.0005$). Els comptes batec es van correlacionar amb els comptes de fi de diàstole per ambdós ventricle ($p < 0.0001$).

Es va observar una tendència en el descens dels comptes batec de 164 ± 25 (repòs) a 148 ± 54 a la 4^a hora de competició, (88% de l'estudi basal), això fou degut a una tendència en el descens en els comptes de fi de diàstole de 390 ± 43 (repòs) a 352 ± 74 a la 4^a hora de la cursa i a una tendència en el descens dels comptes de fi de sistole de 225 ± 21 (repòs) a 204 ± 32 a la 4^a hora de competició.

esto fue debido a una tendencia en el descenso en las cuentas de fin de diástole de 390 ± 43 (reposo) 352 ± 74 a la 4^a hora de la carrera y en una tendencia en el descenso de las cuentas de fin de sistole de 225 ± 21 (reposo) a 204 ± 32 a la 4^a hora de competición.

Volumen pulmonar sanguíneo: El volum sanguineo pulmonar mostró un incremento al final de la carrera (índice 1.13 ± 0.14), con una normalización en la fase de recuperación (índice 1.03 ± 0.03). El volumen sanguíneo pulmonar tuvo una correlación inversa con el pico de máximo vaciamiento para el ventrículo izquierdo y derecho ($r=-0.31$, $p=0.41$; $r=-0.47$, $p=0.001$ respectivamente). El volumen sanguíneo pulmonar mostró una correlación inversa con la FEVI y con la FEVD ($r=-0.38$, $p=0.006$; $r=-0.34$, $p=0.01$ respectivamente).

Discusión

El aumento progresivo de la frecuencia cardiaca con su pico máximo a la 4^a hora de competición, con un posterior descenso hacia la 6^a hora, indica que los atletas alcanzaron un esfuerzo máximo en su capacidad funcional a la 4^a hora.

Los parámetros funcionales derivados de la ventriculografía isotópica demuestran que el esfuerzo prologado durante la carrera conlleva un deterioro funcional de ambos ventrículos. Esto se demuestra por el descenso significativo de la FEVI y de la FEVD durante la carrera, junto con el alargamiento simultáneo del periodo sistólico. La cercana corre-

| | FE (%) | PER (EDV/s-1) | TPER (% RR) | PFR (EDV/s-1) | TPFR (% RR) | CL (%) | % Sístole |
|---------|-----------|------------------|----------------|------------------|----------------|-----------|-----------|
| Repòs | 40 ± 3 | 2.2 ± .31 | 8 ± 4 | 1.7 ± .25 | 23 ± 6 | 100 | 33 ± 6 |
| Hora 1 | 47 ± 5 | 2.8 ± .69 | 7 ± 3 | 2.2 ± .15 | 54 ± 9 | 92 ± 4 | 51 ± 4* |
| Hora 2 | 45 ± 3 | 2.8 ± .42 | 16 ± 4 | 3.2 ± .55 | 60 ± 12 | 105 ± 19 | 55 ± 3* |
| Hora 3 | 43 ± 2 | 2.9 ± .73 | 19 ± 2 | 2.5 ± .37 | 55 ± 11 | 109 ± 13 | 50 ± 2* |
| Hora 4 | 39 ± 5 | 2.5 ± .27 | 15 ± 6 | 3.0 ± .53 | 46 ± 13 | 88 ± 24 | 53 ± 2* |
| Hora 5 | 49 ± 4 | 3.4 ± .53 | 17 ± 4 | 2.6 ± .51 | 53 ± 9 | 117 ± 20 | 51 ± 4* |
| Hora 6 | 45 ± 3 | 3.3 ± .80 | 23 ± 3 | 2.8 ± .39* | 62 ± 11 | 91 ± 4 | 49 ± 2* |
| Control | 43 ± 2 | 2.4 ± .26 | 14 ± 3 | 2.0 ± .30 | 39 ± 11 | 93 ± 8 | 49 ± 2* |

Taula II. Paràmetres del ventricle dret.

Valors de la mitjana ± EEM.

Abreviacions iguals a la taula I.

* $p < 0.05$ de valors de repòs.

Tabla II. Parámetros del ventrículo derecho.

Valores en media ± EEM.

Abreviación como en Tabla I.

* $p < 0.05$ de valores en reposo

Volum pulmonar sanguini: El volum sanguini pulmonar mostrà un increment al final de la cursa (índex 1.13 ± 0.14), amb una normalització a la fase de recuperació (índex 1.03 ± 0.03), va mostrar una correlació inversa amb el pic de màxim buidatge per als ventricles esquerre i dret ($r = -0.31$, $p = 0.041$; $r = 0.47$, $p = 0.001$ respectivament).

Discussió

L'augment progressiu de la freqüència cardíaca amb el seu pic màxim a la 4^a hora de competició, amb un posterior descens cap a la 6^a hora indica que els atletes van arribar a l'esforç màxim en la seva capacitat funcional a la 4^a hora.

Els paràmetres funcionals derivats de la ventriculografia isotòpica demostren que l'esforç prolongat durant la cursa comporta una deterioració funcional d'ambdós ventricles.

Això es verifica pel descens significatiu de la FEVE i de la FEVD durant la cursa, junt amb l'allargament simultani del període sistòlic. La propera correlació de la FEVE i de la FEVD ens demostra la interdependència d'ambdós ventricles.

L'augment de la freqüència cardíaca és el mecanisme més important per augmentar la despesa cardíaca, particularment durant l'exercici o amb un volum batec fix. L'increment relatiu de la fracció d'ejecció observat a la primera hora de competició està raonat pel petit augment dels comptes batec, degut a un augment en els comptes de fi de diàstole i en descens en els comptes de fi de sistole.

Això ha estat demostrat per Flamm i cols,¹⁰ qui van reportar un augment en la fracció d'ejecció, degut inicialment a un descens en els comptes de fi de sistole seguit d'un augment en els comptes dels mateixos, amb un modest augment en els comptes de fi de diàstole.

En el nostre estudi, la correlació inversa entre la FEVE i el volum pulmonar ($p = 0.38$; $p = 0.006$), suggereix que la precàrrega juga un paper important en el compliment ventricular. Així mateix es va trobar una correlació inversa entre el pic d'ompliment màxim i el volum sanguini pulmonar ($r = -0.31$; $p = 0.041$). L'augment en la velocitat de buidatge màxima pot correspondre a una resposta apropiada a un augment en la postcàrrega. La FEVD també mostrà una correlació inversa amb el volum sanguini pulmonar ($r = -0.34$; $p = 0.01$) indicant que la postcàrrega és un factor determinant de la funció sistòlica del ventricle dret. Aquest fet consisteix en l'augment de la velocitat de buidatge màxima. Ha estat apuntat que una deterioració de la funció del ventricle esquerre comporta a una deterioració en la funció del ventricle dret, probablement per l'augment de la postcàrrega del ventricle dret.¹¹ Un descens en la FEVD després d'una cursa prolongada ha estat

lació de la FEVI i de la FEVD demostra la interdependència de ambos ventricles.

El aumento de la frecuencia cardíaca es el mecanismo más importante para aumentar el gasto cardíaco, particularmente durante el ejercicio o con un volumen latido fijo. El incremento relativo de la fracción de eyección observado en la primera hora de competición es explicado por el pequeño aumento de las cuentas latido, debido a un aumento en las cuentas de fin de diástole y en descenso en las cuentas en fin de sistole.

Esto ha sido demostrado por Flamm y cols,¹⁰ quienes reportaron un aumento en la fracción de eyección debido inicialmente a un descenso en las cuentas de fin de sistole, con un modesto aumento en las cuentas de fin de diástole.

En nuestro estudio, la correlación inversa entre la FEVI y el volumen pulmonar ($p = -0.38$; $p = 0.006$), sugiere que la precarga juega un papel importante en el llenado ventricular. Así mismo se encontró una correlación inversa entre el pico de llenado máximo y el volumen sanguíneo pulmonar ($r = -0.31$; $p = 0.041$). El aumento en la velocidad de vaciamiento máxima puede corresponder a una respuesta apropiada a un aumento en la poscarga. La FEVD también mostró una correlación inversa con el volumen sanguíneo pulmonar ($r = -0.34$; $p = 0.01$) sugiriendo que la poscarga es un factor determinante de la función sistólica del ventrículo derecho. Este hecho es consistente con el aumento de la velocidad de vaciamiento máxima. Ha sido sugerido que un deterioro de la función del ventrículo izquierdo conlleva a un deterioro en la función del ventrículo derecho, probablemente por el aumento de la poscarga del ventrículo derecho.¹¹ Un descenso en la FEVD después de una carrera prolongada ha sido descrito como consecuencia de una dilatación temporal del ventrículo derecho, demostrado por un aumento en las cuentas de fin de diástole y en las de fin de sistole sin cambios en el volumen latido.⁷ Los mecanismos por los que se observa un deterioro de la función biventricular puede ser debido a un aumento en la precarga y en la poscarga de ambos ventriculos.

El ejercicio provoca cambios en la redistribución regional de volumen sanguíneo circulante.¹⁰ El significado fisiológico de estos cambios puede ser debido a los requerimientos para aumentar la precarga para favorecer el mantenimiento del gasto cardíaco. Sandler y cols.¹² demostraron que el aumento del volumen sanguíneo observado durante una ventriculografía de esfuerzo en posición de decubito supino se correlaciona con un descenso en la radiactividad esplénica. También ha sido sugerido que sujetos normales demuestran un descenso significativo en la radiactividad hepática durante el ejercicio en decubito supino o en supino. Durante el máximo esfuerzo ha sido observado que los volúmenes esplénico, hepático y renal dis-

descriu com a conseqüència d'una dilatació temporal del ventricle dret, demostrat per un augment en els comptes de fi de diàstole i de fi de sistole sense canvis en el volum del batec.⁷ Els mecanismes pels quals s'observa una deterioració de la funció biventricular pot ser degut a un augment en la precàrrega i la postcàrrega d'ambdós ventricles.

L'exercici provoca canvis en la redistribució regional de volum sanguini circulant.¹⁰ El significat fisiològic d'aquests canvis pot ser degut als requeriments per augmentar la precàrrega per afavorir el manteniment de la despesa cardíaca. Sandler i cols¹² van demostrar que l'augment del volum sanguini observat durant una ventriculografia d'esforç, en posició de decúbit supí, es correlaciona amb un descens de la radioactivitat esplènica. També ha estat suggerit que subjectes normals demostren un descens significatiu en la radioactivitat hepàtica, durant l'exercici, en decúbit supí o en supí.

Durant el màxim esforç s'ha observat que els volums esplènics, hepàtic i renal disminueixen a $54 \pm 2\%$, $82 \pm 4\%$ i $76 \pm 4\%$ de nivells basals respectivament,¹⁰ això ens indica que un augment en el volum circulant sanguini pot influir en una major precàrrega i postcàrrega per ambdós ventricles.

Carrió i cols⁷ van reportar un augment en el volum sanguini pulmonar (índex 1.16 ± 0.17) del nivell basal després d'una cursa de 6 hores. Flamm i cols¹⁰ van donar compte d'un augment del $150 \pm 4\%$ del nivell basal en un esforç màxim en bicicleta.

Quan la sang és redistribuïda des de diferents òrgans, la vasculatura pulmonar pot actuar com a reserva temporal per aquest major volum sanguini, aquest fet pot ser important per a l'adaptació i per al manteniment d'un ompliment ventricular esquerre constant sota la influència d'un retorn venós més gran. El ventricle dret depèn més de la postcàrrega que el ventricle esquerre.¹⁵ Una correlació inversa significativa entre el volum sanguini pulmonar i la FEVD ha estat descrita, suggerint que la postcàrrega és un factor determinant en la funció sistòlica del ventricle dret.¹⁴

És conegut el fet de que la velocitat del buidatge màxima augmenta en subjectes normals durant l'exercici.¹⁶ Amb l'augment de la freqüència cardíaca, el temps absolut per a l'ompliment diastòlic disminueix, amb la major part del cicle cardíac dedicat al buidatge sistòlic. El fet de que la velocitat de buidatge màxima sigui més gran durant l'esforç per acomodar un volum telediastòlic més gran, conseqüència d'un augment del retorn venós en un temps menor, explica el descobriment de l'augment en el nostre estudi de la velocitat d'ejecció màxima. Coincidint amb el pic màxim de la freqüència cardíaca i amb el màxim allargament del període sistòlic, s'aprecia un descens en els comptes de fi de diàstole. Això pot ser degut a un període diastòlic més curt i, conseqüentment, en un

minuyen a $54 \pm 2\%$, $82 \pm 4\%$, y $76 \pm 4\%$ de niveles basales respectivamente,¹⁰ esto sugiere que un aumento en el volumen circundante sanguíneo puede influir en una mayor precarga y postcarga para ambos ventrículos.

Carrió y cols.⁷ reportaron un aumento en el volumen sanguíneo pulmonar (índice 1.16 ± 0.17) del nivel basal después de un carrera de 6 horas. Flamm y cols.¹⁰ reportaron un aumento del $150 \pm 4\%$ del nivel basal en un esfuerzo máximo en bicicleta.

Cuando la sangre es redistribuida desde diferentes órganos, la vasculatura pulmonar puede actuar como reservorio temporal para este mayor volumen sanguíneo, este hecho puede ser importante para la adaptación y para el mantenimiento de un llenado ventricular izquierdo constante bajo la influencia de un mayor retorno venoso. El ventrículo derecho es más dependiente de la postcarga que el ventrículo izquierdo.¹⁵ Una correlación inversa significativa entre el volumen sanguíneo pulmonar y la FEVD ha sido descrita, sugiriendo que la postcarga es un factor determinante en la función sistólica del ventrículo derecho.¹⁴

Es conocido el hecho de que la velocidad de vaciamiento máxima aumenta en sujetos normales durante el ejercicio.¹⁶ Con el aumento de la frecuencia cardíaca, el tiempo absoluto para el llenado diastólico disminuye, con la mayor parte del ciclo cardíaco dedicado al vaciamiento sistólico. El hecho de que la velocidad de vaciamiento máxima sea mayor durante el esfuerzo para acomodar a un volumen telediastólico mayor consecuencia de un aumento del retorno venoso en un menor tiempo explica el hallazgo del aumento en nuestro estudio de la velocidad de eyección máxima.

Coincidiendo con el máximo pico de la frecuencia cardíaca, y con el máximo alargamiento del período sistólico, se aprecia un descenso en las cuentas de fin de diástole. Esto puede ser debido en un período diastólico más corto y consecuentemente en un período diastólico restrictivo. El retraso para alcanzar el fin de sistole durante la competición puede ser explicado por el estado fisiológico en el cual un aumento en el período sistólico puede estar en relación con un aumento en el volumen circulante y con un descenso en las resistencias periféricas. Estos cambios aumentan el retorno venoso, y durante el esfuerzo, pueden contribuir a aumentar la tolerancia al esfuerzo.¹⁷

En conclusión, durante una carrera muy prolongada se observa deterioro de la función biventricular. Estos cambios funcionales pueden ser explicados por un aumento en la precarga y en la postcarga para ambos ventrículos, debido a una redistribución del volumen sanguíneo circulante, necesario para mantener un estado fisiológico apropiado durante un esfuerzo tan prolongado.

període diastòlic restrictiu. L'endarreriment per aconseguir la fi de sistole durant la competició pot ser explicat per l'estat fisiològic en el que un augment en el període sistòlic pot estar en relació amb un augment en el volum circulant i amb un descens a les resistències perifèriques.

Aquests canvis augmenten el retorn venós i, durant l'esforç, poden contribuir a augmentar la tolerància a l'esforç.¹⁷

En conclusió, durant una cursa molt prolongada s'observa deterioració de la funció biventricular. Aquests canvis funcionals poden ser explicats per un augment en la precàrrega i postcàrrega per ambdós ventricles, degut a una redistribució del volum sanguini circulant, necessari per mantenir un estat fisiològic apropiat durant un esforç tant prolongat.

Bibliografia

1. J. Thomas Heywood, Jeorg Grimm, Otto M. Hess, Markus Jakob, Hans Peter Kraysenbühl. Right ventricular diastolic function during exercises: Effect of ischemia. *J. Am. Coll Cardiol.* 1990; 16: 611-622.
2. Jean-Louis J. Vanoverschelde, Liwa T. Younis, Jacques A. Melin, Roland Vanbutsele, Beatrice Leclercq, Annie R. Robert, Jacques R. Cosyns, Jean-Marie R. Detry. Prolonged exercise induces left ventricular dysfunction in healthy subjects. *J. Appl Physiol* 1991; 70: 1356-1363.
3. Pamela S. Douglas, Mary L. O'Toole, Douglas B. Hiller, Keith Hackney, Nathaniel Reichek. Cardiac fatigue after prolonged exercise. *Circulation* 1987; 76: 1206-1213.
4. J. Thomas Heywood, Jeorg Grimm, Otto M. Hess, Markus Jakob, Hans P. Kraysenbuehl. Right ventricular systolic function during exercise with and without significant coronary artery disease. *Am. J. Cardiol.* 1991; 67: 681-686.
5. Pamela S. Douglas, Mary L O'Toole, Jean Woolard. Regional wall motion abnormalities after prolonged exercise in the normal left ventricle. *Circulation* 1990; 82: 2108-2114.
6. Pamela S. Douglas, Mary L. O'Toole, W. Douglas, B. Hiller, Nathaniel Reichek. Different effects of prolonged exercise on the right and left ventricles. *J. Am. Coll Cardiol.* 1990; 15: 64-69.
7. Ignasi Carrió, Ricard Serra-Grima, Lluís Bernà, Montserrat Estorch, Carlos Martínez-Dunker, Jordi Ordoñez. Transient alterations in Cardiac Performance after a six-hour race. *Am. J. Cardiol* 1990; 65: 1471-1474.
8. Okada R.D.; Pohost G.M.; Kirshenbaum H.D.; Kushner, F.G.; Boucher, C.A.; Block, P.C.; Strauss, H.W. Radionuclide-determined change in pulmonary blood volume with exercise. *N. Eng. J. Med.* 1979;1979; 301: 569-576.
9. Katherine Godfrey. Comparing the means of several groups. *N. Eng. J. Med.* 1985; 313: 1450-1456.
10. Scott D. Flamm, Junichi Taki, Richard Moore, Steven L. Lewis, Frances Keech, Frank maltais, Marsood Ahmad, Ronald Callahan, Steven Dragotakes, Nathaniel Alpert, H. William Strauss. Redistribution of regional and organ blood volume and effect on cardiac function in relation to upright exercise intensity in healthy human subjects. *Circulation* 1990; 81: 1550-1559.
11. Berger H.J., Johnstone D.E., Sands J.M., Gottschalk A, Zaret B.L. Response of right ventricular ejection fraction to upright bicycle exercise in coronary artery disease. *Circulation* 1979; 60: 1292-1300.
12. Martin P. Sandler, Marvin W. Kronenberg, Mervyn B. Forman, Oscar H. Wolfe, Jeffrey A. Clanton, Leon Partain. Dynamic fluctuations in blood and spleen radioactivity: Splenic contraction and relation to clinical radionuclide volume calculations. *J. Am. Coll Cardiol* 1984; 3: 1205-1211.
13. Kenneth A. Brown, Robert D. Okada, Charles A. Boucher, James A. Rothendler, William H. Strauss, Gerald M. Pohost. Exercise-induced changes in hepatic blood volume measured during cardiac equilibrium cineangiography: Relation to coronary anatomy and right ventricular function. *J. Am. Coll Cardiol* 1983; 2: 514-521.
14. Douglass Morrison, Sherman Sorensen, James Cald-

- well, Larry Wright, James Ritchie, J. Ward Kennedy, Glen Hamilton. The normal right ventricular response to supine exercise. *Chest* 1982; 82: 686-691.
15. Morris J.J., Weschsler A.S. Right ventricular function: The assessment of contractile performance. In: Fisk RL, Brest AN, eds. *The Right Heart*. Philadelphia: FA Davis Co. 1987: 3-18.
16. Lawrence R. Polinér, Steven H. Farber, Donald H. Glaeser, LeAnna Nylaan, Mario S. Verani, Robert Roberts. Alteration of diastolic filling rate during exercise radionuclide angiography: a highly sensitive technique for detection of coronary artery disease. *Circulation* 1984; 70: 942-950.
17. Mark T. Upton, Stephen K. Rerych, John R. Roebuck, Glenn E. Newman, James M. Douglas, Andrew G. Wallace, Robert H. Jones. Effect of brief and prolonged exercise on left ventricular function. *Am. J. Cardiol* 1980; 45: 1154-1160.