

Adaptaciones cardiovasculares derivadas de la práctica de agility en la especie canina

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria)

SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Dpto. de Medicina y Cirugía Animal

Universidad Cardenal Herrera-CEU

Avda. Seminario s/n; 46113 – Moncada (Valencia)

mbenito@uch.ceu.es; Telef.- 96 1369000 (x1207)

Sumario

El *agility* es una competición de habilidad y destreza en la que los perros, conducidos por sus guías, son capaces de superar diversos obstáculos a gran velocidad. Como otras prácticas deportivas, el *agility*, requiere una adaptación cardiovascular, hematológica y muscular. El objetivo de este artículo es proporcionar a los veterinarios clínicos y a los propietarios-guías de estos perros toda la información relativa a los cambios cardiovasculares que se producen en estos animales cuando practican este deporte de forma rutinaria.

Resumen

El estudio de las respuestas al ejercicio ha sido objeto de numerosos estudios en las especies humana y equina. En la especie canina, sin embargo, estos estudios han sido escasos y se han referido principalmente a la práctica de dos deportes concretos: las competiciones de trineo y las carreras de galgos. En las competiciones de trineo, los estudios se refieren a las necesidades energéticas especiales que estos animales requieren durante las largas distancias que recorren. En las carreras de galgos, los trabajos de investigación se han dirigido a la caracterización de las alteraciones electrocardiográficas que presentan estos perros, capaces de alcanzar velocidades de 70 Km/h cuando recorren distancias aproximadas a los 300 metros en pista.

A diferencia de los dos deportes caninos mencionados, el *agility* se considera como una disciplina joven, aunque de gran popularidad, donde apenas hay estudios concluyentes sobre las adaptaciones que este ejercicio supone para el perro. Es necesario recordar que esta práctica deportiva requiere que el perro disponga de habilidad, destreza, inteligencia, obediencia, concentración, sociabilidad y agilidad para ejecutar con rapidez las órdenes de su guía. Además, ha de disponer de una buena forma física obtenida con un entrenamiento bien planificado. Este entrenamiento conlleva la adaptación física cardiovascular, hematológica y muscular. De estas respuestas al ejercicio, las adaptaciones cardiovasculares que nos ocupan en este capítulo, se refieren a los cambios temporales (morfológicos y funcionales) derivados del ejercicio físico y que se resumen en los cambios de frecuencia cardiaca, del volumen latido, de la presión sanguínea y de la distribución del flujo sanguíneo.

Publicado originalmente en la revista Canis et Felis (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor

Introducción

Durante cualquier ejercicio físico, el sistema cardiovascular debe adaptarse a la mayor demanda metabólica del músculo esquelético, con el fin de asegurar la irrigación sanguínea de los músculos en contracción, mantener el equilibrio de la homeostasis mediante la eliminación de productos de desecho generados por el incremento de la actividad muscular y eliminar el calor generado por el trabajo muscular¹.

Estas respuestas cardiovasculares van a ser diferentes según el tipo de ejercicio realizado. En el perro que practica un ejercicio dinámico como el **agility**, estas adaptaciones cardiovasculares se traducen en un aumento del gasto cardiaco a expensas tanto del volumen de eyección como de la frecuencia cardiaca. Además, en este tipo de ejercicio, la presión arterial sistólica aumentará de forma progresiva conforme aumenta la intensidad del esfuerzo. También los pulmones se adaptarán de forma eficiente cuando se produce un ejercicio de este tipo, pudiendo absorber hasta 20 veces más oxígeno hacia la sangre gracias al aumento de número de capilares abiertos y al aumento del gasto cardiaco con el consiguiente incremento del flujo sanguíneo¹.

Figura 1: Border Collie superando un obstáculo de salto durante una competición de agility



Es evidente, por lo tanto, que en un perro que practica **agility** (figura 1), su rendimiento físico va a depender directamente de su sistema cardiovascular, habida cuenta de que va a asegurar un consumo de oxígeno adecuado. Este consumo de oxígeno depende del gasto cardiaco y de la diferencia arteriovenosa de oxígeno, tal como indica el principio de Fick: "**consumo de oxígeno (VO_2) = gasto cardiaco (GC) x D (a-v) O_2** "¹. Por ello, para que el sistema cardiovascular permita un rendimiento óptimo en el ejercicio, deberá asegurar una volemia (dependiente del volumen latido o VL) y deberá asegurar su función (establecida según la frecuencia cardiaca o FC). Tanto el VL como la FC actúan como determinantes del rendimiento cardiaco².

Respuestas cardiovasculares en un ejercicio dinámico

Antes incluso del inicio del propio ejercicio, el perro presenta una respuesta anticipada previa que provoca un aumento del tono nervioso simpático. Esta respuesta neurovegetativa simpática es la responsable del inicio de la primera respuesta cardiovascular al ejercicio instaurando los sistemas compensadores casi instantáneamente mediante un aumento de la frecuencia cardiaca, de la contractilidad miocárdica y de la tensión arterial previa al ejercicio.

Una vez que se ha iniciado el ejercicio, las respuestas cardiovasculares se producen simultáneamente y pueden clasificarse en las tres siguientes¹:

Publicado originalmente en la revista Canis et Felis (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

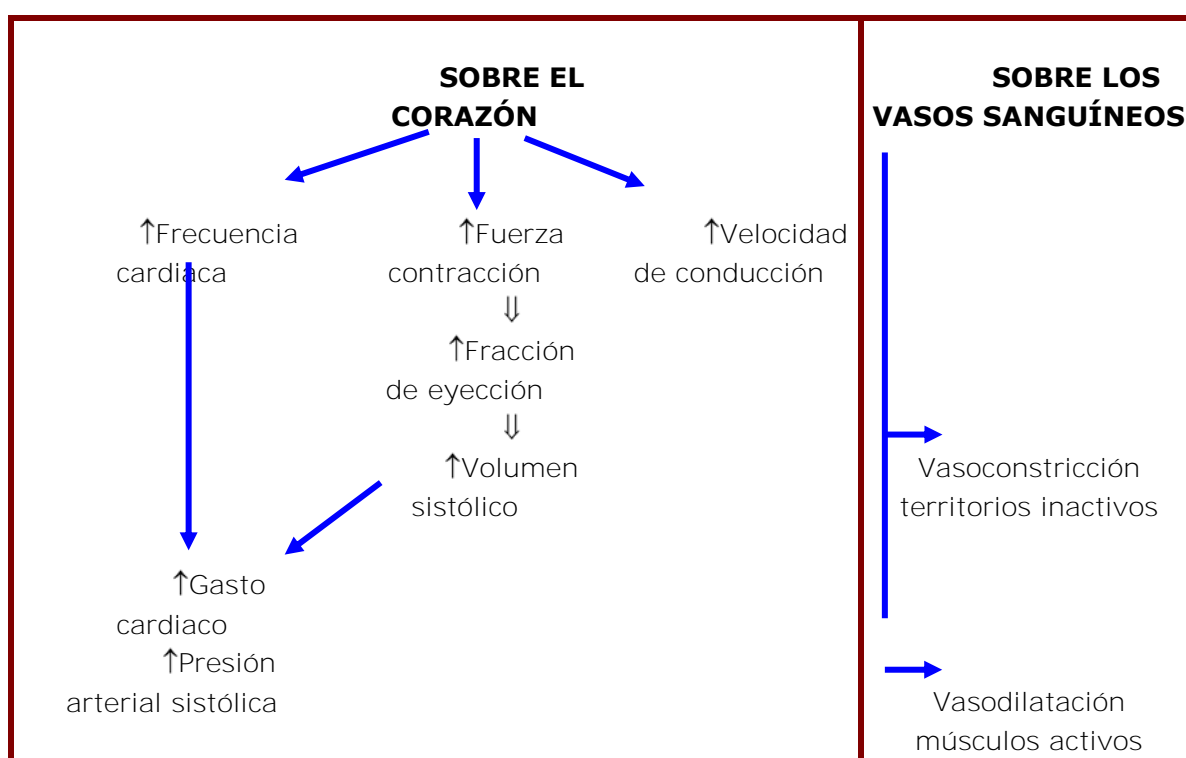
MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor

Respuesta regulada por mecanismos nerviosos

Esta respuesta simpática provoca una descarga adrenérgica por dos vías: vía neural (rápida) y vía humoral (de acción más lenta) que provoca efectos tanto sobre el corazón como sobre los vasos sanguíneos (figura 2). Además, esta respuesta simpática estimula la respuesta endocrina con la activación del sistema renina-angiotensina-aldosterona y la respuesta ventilatoria. Esta respuesta ventilatoria es fundamental en la especie canina por su papel termorregulador. Una vez cesa el ejercicio, este predominio simpático desaparece y reaparece el predominio parasimpático que reduce la frecuencia cardíaca hasta recuperar los niveles basales normales.

Figura 2.- Esquema de acción del sistema nervioso simpático sobre el sistema cardiovascular (tomada de López *et al*, 2003)



Respuesta regulada por mecanismos humorales

La regulación metabólica local provocada por la producción de metabolitos en los músculos activos (K^+ , bradicinina, adenosina, lactato, histamina y PGI_2), así como la regulación hormonal (catecolaminas, glucagón, péptido auricular natriurético, sistema renina-angiotensina-aldosterona y hormona antidiurética), producen una acción local vasodilatadora sobre las arteriolas.

Respuesta hidrodinámica

En el ejercicio se produce un aumento de retorno venoso que es fundamental para aumentar el gasto cardíaco. Este aumento del retorno venoso tiene efecto sobre las cámaras derechas, produciendo una mayor distensión de aurícula derecha que conlleva una hiperexcitabilidad de nódulo sinusal y un aumento de la frecuencia de descarga automática.

Publicado originalmente en la revista *Canis et Felis* (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor

Este fenómeno desencadena un aumento de frecuencia cardiaca y con ello del gasto cardiaco. Sobre las cámaras izquierdas, el aumento del retorno venoso produce un aumento del volumen de llenado del ventrículo izquierdo que provoca mayor elongación de las fibras miocárdicas y un aumento de la fuerza de contracción y por tanto de la fracción de eyección que implica un aumento de volumen latido y de gasto cardiaco que responde a la *ley de Frank-Starling*.

EVALUACIÓN CLÍNICA PRÁCTICA EN EL EXAMEN DEL PERRO DEPORTISTA

Cuando se realiza un examen físico a un perro deportista, es fundamental conocer cuáles son las respuestas fisiológicas típicas derivadas del entrenamiento que haya seguido con el fin de evitar una prohibición errónea de la práctica deportiva al ser valorado como un corazón "enfermo". A continuación se citan los puntos del examen cardiovascular en los que deberemos incidir para averiguar si se han producido las alteraciones típicas de la práctica de *agility* en el perro son los siguientes:

1. Cambios en la frecuencia cardiaca
2. Hallazgos electrocardiográficos
3. Hallazgos ecocardiográficos
4. Cambios de distribución en el flujo sanguíneo

1.-Cambios de la frecuencia cardiaca con el deporte

En los atletas humanos y equinos, se admite que la frecuencia cardiaca es un indicador de la capacidad funcional cardiovascular que refleja el grado de llegada de oxígeno al músculo activo³. Así, los individuos en mejor forma física y, por tanto, con mejores resultados deportivos, muestran bradicardia en reposo y recuperan su frecuencia cardiaca tras el esfuerzo antes que un individuo desentrenado, gracias a las adaptaciones neurovegetativas derivadas de la acción combinada de la actividad simpática y parasimpática^{1, 4, 5, 6, 7}; aunque algunos investigadores no aceptan la existencia de bradicardia por entrenamiento en la especie equina^{8, 9}.

En el perro, también se ha observado una reducción de la frecuencia cardiaca basal tras un programa de entrenamiento, siendo este descenso del 15% tras un entrenamiento de resistencia^{7, 10, 11, 12, 13, 14}.

¿Cómo se producen los cambios de frecuencia cardiaca en un esfuerzo físico?

Ya en los momentos previos al esfuerzo se produce una taquicardia como respuesta anticipada al ejercicio, debida a la activación de la corteza motora y de las áreas superiores del cerebro, que producen un aumento del tono nervioso simpático^{1, 4, 15, 16}. Tras este aumento previo, una vez iniciado el ejercicio, la FC experimenta una elevación rápida, alcanzando un equilibrio en 2-3 minutos. Este incremento rápido de la FC se denomina "overshoot" (pasar los límites)^{2, 3, 4, 9, 16} y se debe a la actividad simpática y/o liberación de catecolaminas, al incremento en el volumen sanguíneo total después de la esplenotomía.

Publicado originalmente en la revista Canis et Felis (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor

y a la aceleración al inicio del ejercicio. El momento en el que se produce el aumento inicial y el tiempo necesario para que la FC se estabilice está supeditado al estado del sistema cardiovascular, al nivel de forma física, al estado de entrenamiento y al calentamiento previo al esfuerzo^{3, 17}.

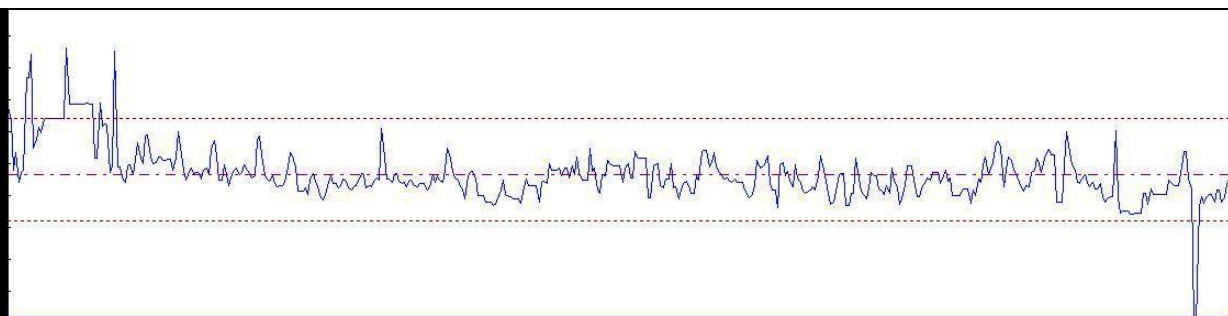
Medición de la frecuencia cardíaca y cambios que se producen en los perros de agility

En los perros de *agility*, el valor de FC de cada animal se obtiene a lo largo de un test de ejercicio mediante un pulsímetro (Polar Horse-Trainer®) colocado tal como se muestra en la figura 3. La frecuencia cardíaca se almacena a intervalos de 5 segundos y los datos grabados se transfieren al ordenador mediante una interfase (figura 4). El valor máximo de FC obtenido con este registro en perros de *agility* fue de $161 \pm 28,75$ l.p.m. Estos valores de FC, junto con los de lactato obtenidos en los análisis sanguíneos realizados a estos perros, parecen indicar que la intensidad del ejercicio de *agility* es submáxima, ya que no alcanzaron el umbral anaerobio metabólico¹⁸.

Pulsímetro colocado en una perra Pastor Alemán antes de un entrenamiento de *agility*



Figura 4: Representación gráfica de la frecuencia cardíaca de una perra Border Collie en un entrenamiento de *agility* de 90 segundos. El pulsímetro se mantuvo 30 minutos después del esfuerzo para valorar la recuperación. En el eje de abscisas se representa el tiempo y en el eje de ordenadas la frecuencia cardíaca



HR: 170 bpm

Time: 0:00:00.0

Normal Data Average Recovery
Increase Time

Publicado originalmente en la revista Canis et Felis (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor

A una misma intensidad submáxima, los valores de FC que alcanza un individuo dependen, entre otros factores, de la duración del ejercicio^{2, 16, 19, 20, 21}. En el caso del *agility*, como modalidad deportiva de corta duración, la frecuencia cardíaca es menor a la que cabría esperar en actividades de igual intensidad pero con una mayor duración. Así, en actividades de 30 y 60 minutos las frecuencias cardíacas alcanzarían valores de 238 ± 27 l.p.m. y de 202 ± 3 l.p.m., respectivamente^{12, 22}.

Una vez finalizado el esfuerzo, la respuesta de la FC se reduce tras el ejercicio, debido a las adaptaciones en las diversas fases que integran la cadena de transporte de oxígeno^{2, 16} y vuelve a tener los valores de FC previos al esfuerzo en un corto espacio de tiempo que depende del nivel de entrenamiento del perro^{10, 11, 12, 13, 22, 23, 24}. Así, en perros entrenados para competiciones submáximas, se ha observado que, tras dos minutos de recuperación, la FC es significativamente inferior a la de los perros no entrenados¹¹.

Queda decir con respecto a la frecuencia cardíaca que la temperatura y la humedad ambiental también parecen ser factores determinantes en la recuperación de este índice cardiovascular, de manera que su regresión se hace más lenta en ambientes húmedos y calurosos, sobre todo cuando el perro no se encuentra habituado a esas condiciones ambientales.

2.-Electrocardiografía y deporte

En la especie humana, el hallazgo electrocardiográfico más frecuente encontrado en deportistas de resistencia es una bradicardia sinusal en reposo, generalmente asociada a una arritmia sinusal respiratoria. El mecanismo desencadenante de esta bradicardia no está claro, pero la hipótesis más aceptada se basa en la mayor influencia del sistema nervioso parasimpático y menor del simpático en los individuos entrenados, que induce una disminución de la FC intrínseca del corazón¹.

Por otro lado, una actividad física puede desencadenar arritmias cardíacas, en asociación a tres circunstancias: calentamiento inadecuado, realización de un ejercicio máximo e inicio del periodo de recuperación, considerado periodo arritmogénico^{9, 25}.

La fisiopatología de las arritmias asociadas al esfuerzo físico en galgos de carrera se puede resumir en estos tres puntos²⁵:

- Isquemia miocárdica durante el ejercicio, consecuente al aumento de la resistencia de los vasos coronarios y a la compresión de dicho vasos durante la sístole.
- Aumento de los niveles circulantes de catecolaminas.
- Movilización de los ácidos grasos libres en plasma, sobre todo en ejercicio máximo en el que el metabolismo oxidativo no es el predominante y el ácido láctico impide la eliminación periférica de los lípidos.

Publicado originalmente en la revista Canis et Felis (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor

¿Qué cambios electrocardiográficos pueden producirse en perros de agility?

Para conocer el comportamiento electrocardiográfico de los perros de *agility*, se hace necesario obtener registros no sólo en la consulta, sino también en el lugar de entrenamiento, con el fin de recoger estos registros antes y después del esfuerzo (figura 5), que permitan detectar las posibles alteraciones del ritmo, de la conducción y de la repolarización que este ejercicio pueda provocar. Dada las limitaciones de equipamiento para poder realizar electrocardiografía a distancia, se hace necesario recoger registros electrocardiográficos en **momentos considerados "clave" para conocer los cambios electrocardiográficos durante el ejercicio**. Esos momentos son: inmediatamente antes del ejercicio, inmediatamente terminado el entrenamiento de *agility* y a los 5, 10, 15 y 30 minutos de recuperación.

A diferencia de lo que ocurre en los galgos de carreras (ejercicio de máxima intensidad), en los que se produce un incremento significativo (150%) de la incidencia de arritmias cardiacas no fisiológicas tras una carrera de velocidad²⁵, en los perros de *agility*,

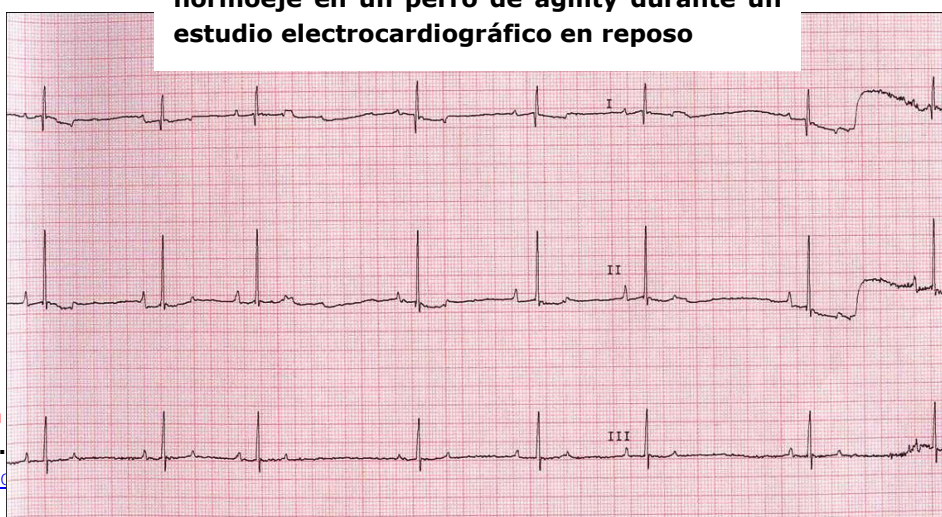
Figura 5: Electrocardiografía en un Border Collie en el lugar de entrenamiento.



sólo se ha observado arritmia sinusal respiratoria (figura 6) en reposo en el 100 % de los animales estudiados¹⁸. Pueden aparecer, además, retrasos en la conducción aurículo-ventricular (AV), tipo bloqueo AV de primer grado y/o de segundo grado tipo I (Wenckebach). En perros entrenados, se ha observado un incremento de la duración del intervalo QRS, atribuible a la hipertrofia cardiaca inducida por el ejercicio, y de hecho, se ha demostrado una correlación entre la duración de este intervalo y el peso del corazón²⁴.

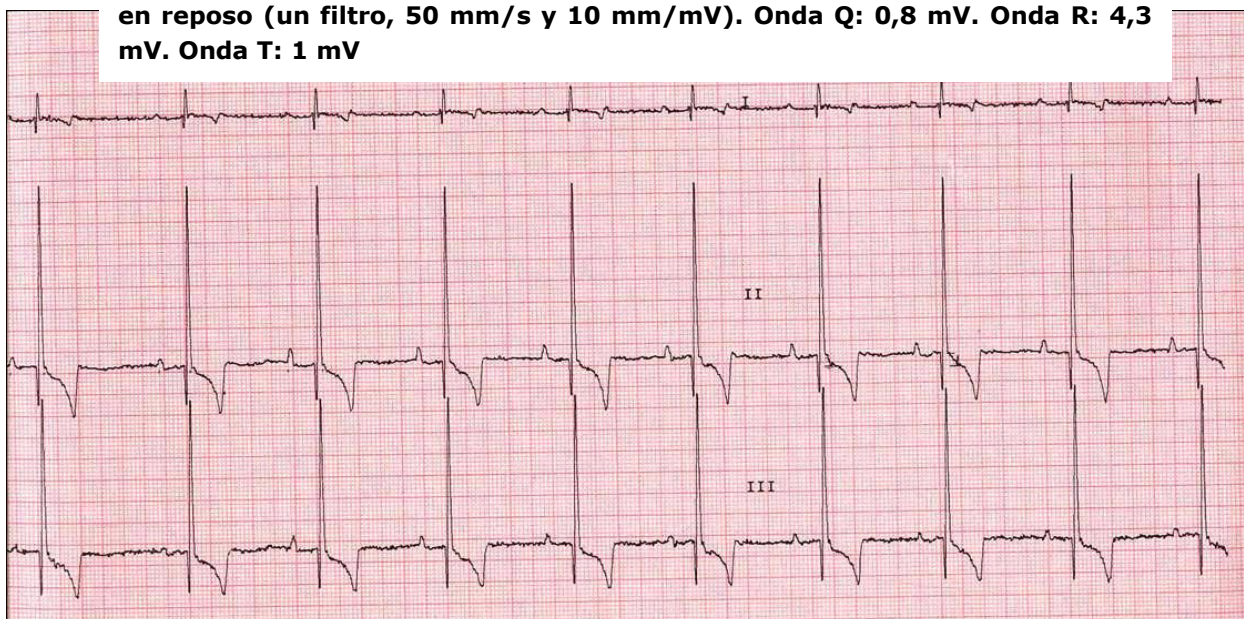
En otro estudio¹⁸ realizado con perros que practicaban *agility* con asiduidad, se ha observado un aumento de amplitud de la onda R en el 21,42% de los casos, mientras que el aumento del voltaje de la onda Q se evidenció en el 42,84% (figura 7). Estos datos, que pueden revelar los cambios propios de la remodelación miocárdica de estos perros por el entrenamiento, han de ser complementados con un estudio ecocardiográfico completo. De hecho, en el hombre, sólo se han encontrado criterios electrocardiográficos de

Figura 6: Arritmia sinusal respiratoria en normoeje en un perro de agility durante un estudio electrocardiográfico en reposo



hipertrofia ventricular izquierda, confirmada luego por ecocardiografía, en cinco especialidades deportivas: atletismo, baloncesto, ciclismo, gimnasia artística y triatlón²⁶.

Figura 7: Derivaciones electrocardiográficas bipolares de un perro de agility en reposo (un filtro, 50 mm/s y 10 mm/mV). Onda Q: 0,8 mV. Onda R: 4,3 mV. Onda T: 1 mV



3.-Ecocardiografía y deporte

Aunque en un principio fueron las técnicas radiológicas las que permitían medir el tamaño cardíaco mediante el índice cardio/torácico de la silueta cardíaca, hoy en día este estudio radiológico no es suficiente por sí solo y se hace necesario complementarlo con la ecografía, de ventajas sobradamente conocidas y que permite comprender, de forma no invasiva, los cambios morfofuncionales que se están produciendo en el corazón de los deportistas.

Las adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento aeróbico o de resistencia, determinables ecocardiográficamente, consisten en una hipertrofia cardíaca con agrandamiento de las cavidades y engrosamiento de las paredes. La cardiomegalia se produce dentro de un proceso de remodelación global, a expensas tanto de un aumento de tamaño de todas las cavidades cardíacas, como de un ligero engrosamiento de las paredes, que en humanos, de forma excepcional pueden llegar a superar los límites de normalidad establecidos para población sedentaria. El resultado final es la aparición de una hipertrofia excéntrica, expresión del proceso de una replicación en serie de los sarcómeros con elongación de las fibras musculares. La cavidad tiende a adquirir una forma más globosa y en teoría, más económica para el trabajo realizado por el corazón. El aumento en el volumen del corazón es, posiblemente, un fenómeno determinante del aumento del gasto cardíaco en el deportista de resistencia.

El mecanismo que explica esta hipertrofia es la sobrecarga hemodinámica. Según esta teoría, el entrenamiento aeróbico, entendido como el ejercicio físico repetitivo en el que

Publicado originalmente en la revista Canis et Felis (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor

intervienen grandes grupos musculares contra una resistencia moderada y durante un tiempo prolongado, produce una serie de adaptaciones a nivel central y periférico, que se manifiesta en un incremento del VO_2 máx. Este aumento se produce por una mejora en la extracción del oxígeno por parte del músculo esquelético y por el aumento en GC y VL. La sobrecarga de volumen produce una dilatación del ventrículo izquierdo, sin variación en los espesores parietales y la sobrecarga de presión resulta en engrosamiento de las paredes sin dilatación del ventrículo izquierdo (hipertrofia concéntrica)¹.

En el caballo, el entrenamiento submáximo prolongado conduce a una hipertrofia excéntrica del corazón, sobre todo de la pared del ventrículo izquierdo y presumiblemente de la pared del ventrículo derecho, incrementándose de esta manera el volumen-latido¹⁵.

Según Hinchcliff²⁷, un entrenamiento de resistencia de 5 meses de duración en perros, resultó en un incremento significativo del grosor del septo interventricular (15% en sístole y un 13% en diástole), del diámetro del ventrículo izquierdo en diástole (4%), del grosor de la pared libre del ventrículo izquierdo (9% en sístole y en diástole) y del diámetro de la aurícula izquierda (5%). Todos estos cambios se relacionaron con el incremento del volumen plasmático inducido por el entrenamiento, provocando un aumento de volumen y presión en el corazón.

Hallazgos ecocardiográficos obtenidos en los perros de deporte

Un entrenamiento para un ejercicio máximo provocó, en perros, un incremento del peso del corazón y de la pared del ventrículo izquierdo y un engrosamiento de la pared de éste mismo¹⁰. Los galgos entrenados para carreras de velocidad presentan cardiomegalia, por lo que autores como Carew *et al*²⁸ usaron a este animal como modelo de hipertrofia cardiaca inducida por el ejercicio, a pesar de que existen estudios²⁹ que sugieren que esta hipertrofia cardiaca, definida como un mayor peso del corazón en proporción al peso corporal, se encuentra incluso en cachorros, lo que podría sugerir una causa primaria de origen genético.

En los perros de *agility*, la ecografía cardiaca permite determinar la función ventricular hemodinámica como consecuencia del entrenamiento. Así, los cambios cardiacos obtenidos por ecocardiografía en perros de *agility*¹⁸, sugieren la cardiomegalia excéntrica típica del deportista cuando se comparan los valores ecocardiográficos obtenidos con los valores de referencia para cada perro deportista. De cualquier modo, se hace necesario ampliar estos estudios ecocardiográficos a perros deportistas antes de la práctica de *agility* con el fin de comprobar los cambios morfológicos y funcionales (figuras 8 y 9) derivados del tiempo de entrenamiento en estos perros.

Ecocardiografía longitudinal en 2D de las cuatro cámaras cardiacas obtenida desde una vista parasternal derecha en una de las perras de deporte de agility

Publicado originalmente en la revista *Canis et Felis*
MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), S
Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de



INFORME CARDIACO DE ACUSON			
PT: ZARA P-14		24-ENE-03	
MEDICIONES MODO M			
PARED VD			
DIÁ	0.56cm		
SSS	1.13cm		
DIAMETRO VD			
DIÁ	0.19cm		
SSS	0.09cm		
GROSOR TIV			
DIÁ	0.94cm	ENGROS FRAC	50%
SSS	1.41cm		
DIAMETRO VI			
DIÁ	4.41cm	VS	67.1ml
SSS	2.44cm	FE	76%
ACORT FRAC	45%	FC	bpm
VOL DIÁ	88.2ml	RC	L/mín
VOL SIS	21.0ml		
GRUESO PPVI			
DIÁ	0.94cm	ENGROS FRAC	80%
SSS	1.69cm		
MASA VI			
ASE	170g		
ASE (corr)	136g		
TIV/PPVI	1.00		
PÁGINA	IMAGEN	AMPLIAR	IMP/CALC

Medidas ecocardiográficas obtenidas en la misma perra de la figura 9 tras lanzar el modo M en un corte transversal estándar desde una vista parasternal derecha

Una gran ventaja de la ecocardiografía en los estudios de los perros deportistas es que nos permite extraer medidas fundamentales para conocer la función cardiaca y obtener así valores tales como el rendimiento cardiaco, el índice cardiaco, la fracción de acortamiento, la fracción de engrosamiento y la fracción de eyección. En la figura 10 se representan las fórmulas de obtención de estos índices. De ellos, es fundamental reconocer los cambios que se producen en el rendimiento cardiaco, ya que su incremento es el principal medio para aumentar el consumo máximo de oxígeno⁹. Este rendimiento cardiaco depende de forma directa del volumen latido, que en el caso del perro varía de 2,2 ml/kg en reposo hasta 3,0 ml/kg durante un ejercicio máximo^{30, 31}. Esta ligera elevación, acoplada a una FC_{máx} que puede llegar a los 300 l.p.m. en ejercicios de intensidad máxima, resulta en un incremento importante del rendimiento cardiaco. Mediante técnicas de termodilución, se han descrito rendimientos cardiacos de 200 ml/kg min. en reposo y de 1000 ml/kg min. durante un esfuerzo máximo³⁰.

ÍNDICES DE FUNCIÓN VENTRICULAR		
RENDIMIENTO CARDIACO (l/min)	$VL \times FC = (Vd - Vs) \times FC = [(DVID)^3 - (DVIS)^3] \times FC$	VL: volumen por latido FC: frecuencia cardiaca Vd: Volumen ventricular en telediástole Vs: Volumen ventricular al final de la sístole DVID: Dimensión de la cámara ventricular izquierda en telediástole DVIS: Dimensión de la cámara ventricular izquierda al final de la sístole
ÍNDICE CARDIACO (l/min/m ²)	$RC \times SC$ $SC (m^2) = 0,112 \times PC (Kg)^{2/3}$	SC: Superficie corporal PC: Peso corporal
FRACCIÓN DE ACORTAMIENTO (%)	$[(DVID - DVIS) / DVID] \times 100$	DVID: Dimensión ventricular en telediástole DVIS: Dimensión ventricular al final de la sístole
FRACCIÓN DE ENGROSAMIENTO (%)	$[(PVID - PVIS) / PVID] \times 100$	PVID: Grosor de la pared libre de ventrículo izquierdo en telediástole PVIS: Grosor de la pared libre de ventrículo izquierdo en sístole
FRACCIÓN DE EYECCIÓN (%)	$[(Vd - Vs) / Vd] \times 100 = [(DVID)^3 - (DVIS)^3] / [(DVID)^3] \times 100$	Vd: Volumen al final de la diástole Vs: Volumen al final de la sístole

Figura 10.- Fórmulas de obtención de los índices de función ventricular

Publicado originalmente en la revista Canis et Felis (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor

En ejercicios de intensidad submáxima, el volumen latido puede aumentar entre un 20 a un 50% tras el ejercicio. A partir de una intensidad del 40% VO_2 máx, no se producen cambios en el VL, a pesar de la reducción del tiempo disponible para el llenado ventricular. Esto se debe a la actuación de algunos mecanismos compensadores, como el incremento de la actividad simpática durante el ejercicio, con aumento de la contractibilidad cardíaca, de modo que el llenado ventricular es más efectivo. Por tanto, a partir de un 40- 50% VO_2 máx, el incremento del rendimiento cardíaco depende exclusivamente de la taquicardia del esfuerzo^{3, 9}.

4.-La distribución del flujo sanguíneo en los perros de *agility*

Durante el ejercicio se produce una distribución del flujo sanguíneo hacia los músculos activos, sistema nervioso central y piel (mecanismos termorreguladores), surgiendo una vasoconstricción en la región esplácnica y en los músculos no activos. Así, el flujo renal durante el ejercicio es tan sólo un 20% del basal, mientras que los músculos respiratorios reciben un 15% del gasto cardíaco (10% del valor basal) y la musculatura locomotora en contracción llega a recibir hasta un 70% o 85% del gasto cardíaco, en comparación con el 15% que reciben en reposo^{3, 4, 9, 16}.

Diversos estudios realizados con perros han demostrado que el flujo sanguíneo en riñón, glándulas adrenales e hígado se mantiene constante durante el ejercicio. Por otro lado, el flujo sanguíneo hacia el intestino delgado y bazo fue constante, excepto cuando los perros realizaron un ejercicio máximo, momento en el que se encontró una reducción del 50%. El flujo sanguíneo hacia el estómago, páncreas e intestino grueso disminuyó ligeramente durante el ejercicio moderado, siendo este descenso más marcado durante un ejercicio máximo.

En definitiva, en ejercicios de intensidad submáxima como el *agility*, el sistema cardiovascular debe garantizar un flujo sanguíneo adecuado dirigido hacia los músculos activos, cuyas necesidades se incrementan progresivamente en relación con la intensidad del esfuerzo. Para conseguir una máxima efectividad de los tejidos metabólicamente activos, el sistema cardiovascular deberá adaptarse a una elevación del volumen sanguíneo total. Este aumento del volumen sanguíneo total se tasa en un 9,8% en los perros de *agility* y depende en mayor grado de la esplenotomía y en menor medida del aumento del volumen plasmático en estos perros¹⁸, calculado a partir de un método indirecto para el cálculo de los cambios en el volumen plasmático³².

CONCLUSIONES

Por limitaciones de espacio, no nos hemos podido extender en los factores endógenos y exógenos que regulan la frecuencia cardíaca durante el esfuerzo y que limitan por tanto el rendimiento físico de estos animales. Estos factores son: las condiciones patológicas de los perros que practican este deporte, las condiciones ambientales, la edad y el grado de entrenamiento. En este punto, es necesario mencionar que cuando estos perros deportistas realizan un entrenamiento adecuado, son capaces de superar su frecuencia cardíaca máxima teórica y su recuperación será más rápida que en un perro desentrenado, por lo que se impone seguir un programa de entrenamiento individualizado para los perros que practican esta modalidad deportiva. Es claro que el entrenamiento continuado en cualquier tipo de ejercicio provoca unas adaptaciones en el organismo que incluyen el agrandamiento de las cámaras cardíacas, el engrosamiento del espesor parietal, los cambios electrocardiográficos y del volumen/latido. Pero estos cambios no debemos de asociarlos con estados patológicos secundarios al entrenamiento, sino que se relacionan con el mantenimiento de una función normal e incluso mejorada del corazón en los perros que practican el *agility*, por lo que las modificaciones morfológicas y funcionales del corazón no deben ser motivo de preocupación por sí mismas, si bien es fundamental conocer con detalle estas adaptaciones a lo largo de la vida de estos animales deportistas con el fin de ayudarnos a conocer las consecuencias cardíacas derivadas de este ejercicio a lo largo de la vida de estos perros.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Luís Ciurana, Rosa Alemany, Isabel Gimeno, Antonio Torregrosa, José Murgui, María José Blanc, Juan Ibáñez, Javier Pérez y Domingo Roig. Todos ellos han colaborado con sus campeones de *agility* y nos han cedido sus instalaciones para la realización de los test de ejercicio.

ABREVIATURAS EMPLEADAS EN EL TEXTO

VO ₂	Consumo de oxígeno
VO ₂ máx	Consumo máximo de oxígeno
GC	Gasto cardíaco
D _(a-v) O ₂	Diferencia arteriovenosa de oxígeno
VL	Volumen latido
FC	Frecuencia cardíaca
FCmáx	Frecuencia cardíaca máxima
l.p.m.	Latidos por minuto
O ₂	Oxígeno
AV	Aurículo-ventricular

Publicado originalmente en la revista Canis et Felis (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor

BIBLIOGRAFÍA

1. López J, Rabadán M, Serratosa L, Fernández A. Respuestas y adaptaciones cardiovasculares al ejercicio. En: López J y Fernández A **Eds**. Fisiología del ejercicio 2ª Ed. Madrid: Panamericana; 2003.
2. Persson SGB, Essén-gustavsson B, Lindholm A, McMiken D, Thornton JR. Cardiorespiratory and metabolic effects of training of standardbred yearlings. En: Snow DH, Persson SGB, Rose RJ **Eds**. Equine exercise physiology. Cambridge, Granta Editions: 458-469; 1983.
3. Cuesta I. Influencia de los parámetros hematológicos y metabólicos sobre el patrón locomotor en caballos durante el ejercicio. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba; 1999.
4. Fregin GF, Thomas DP. Cardiovascular response to exercise in the horse: a review. En: Snow DH, Persson SGB, Rose RJ **Eds**. Equine exercise physiology. Cambridge, Granta Editions: 76-90; 1983.
5. Thornton J, Essén-Gustavsson B, Lindholm A, McMiken D, Persson S. Effects of training and detraining on oxygen uptake, cardiac output, blood gas tensions, pH and lactate concentrations during and after exercise in the horse. En: Snow DH, Persson SGB, Rose RJ **Eds**. Equine exercise physiology. Cambridge, Granta Editions: 470-485; 1983.
6. Agüera EI, Rubio MD, Vivo R, Santisteban R, Muñoz A, Castejón F. Blood parameter and Herat rate response to training in Andalusian horses. Rev. Esp. Fisiol., 2: 55-64; 1995.
7. Stepien RL, Hinchliff KW, Constable PD, Olson J. Effect of endurance training on cardiac morphology in Alaskan sled dogs. J. Appl. Physiol.: 1368-1375; 1998.
8. Bayly WM, Grant BD, Pearson RC. Lactate concentrations in thoroughbred horses following maximal exercise under field conditions. En: Snow DH, Persson SGB, Rose RJ **Eds**. Equine exercise physiology. Cambridge, Granta Editions: 426-437; 1983.
9. Evans DL. The cardiovascular system: anatomy, physiology and adaptations to exercise and training. En: Hodgson DR, Rose RJ **Eds**. The athletic horse: principles and practice of equine sports medicine. Philadelphia, W.B. Saunders: 129-142; 1994.
10. Barnard RJ, Duncan HW, Balwin KM, Grimditch G, Buckberg GD. Effects of intensive exercise training on myocardial performance and coronary blood flow. J. Appl. Physiol., 49 (3): 444-449; 1980.
11. Mackintosh IC, Dormehl IC, Van Gelder AL, Plesis M. Blood volume, Herat rate and left ventricular ejection fraction changes in dogs before and after exercise during endurance training. Am. J. Vet. Res. 44 (10): 1960-1962; 1983.

Publicado originalmente en la revista Canis et Felis (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor

12. Musch TI, Haidet GC, Ordway GA, Longhurst JC, Mitchell JH. Dynamic exercise training in foxhounds I. Oxygen consumption and hemodynamic responses. *J. Appl. Physiol.*: 183-189; 1985.
13. Gwartz PA, Brandt MA, Mass HJ, Jones CE. Endurance training alters arterial baroreflex function in dogs. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 22 (2): 200-206; 1990.
14. Constable PD, Hinchcliff KW, Olson JL, Stepien RL. Effects of endurance training on standard and signal-averaged electrocardiograms of sled dogs. *Am. J. Vet. Res.*, 61 (5): 582-588; 2000.
15. Patteson M. *Equine Cardiology*. London, Blackwell Science; 1996.
16. Lagares R. Respuesta metabólica a un ejercicio submáximo hasta la fatiga en el caballo. Tesina de Licenciatura. Universidad de Córdoba, 1999.
17. Muñoz A, Riber C, Santisteban R, Rubio MD, Agüera EI, Castejón FM. Cardiovascular and metabolic adaptations in horses competing in cross-country events. *J. Vet. Med. Sci.*, 61 (1): 13-20; 1999.
18. Rovira, S. Estudio descriptivo de las adaptaciones fisiológicas derivadas del ejercicio en perros de deporte (*agility*). Trabajo de investigación titulado para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados. Universidad Cardenal Herrera-CEU; 2004.
19. Lindholm A, Saltin B. The physiological and biochemical response of standardbred horses to exercise of varying speed and duration. *Acta Vet. Scand.*, 15: 310-324; 1974.
20. Art T, Desmecht D, Amory H, Delogne O, Buchet M, Leroy P, Lekeux P. A field study of postexercise values of blood biochemical constituents in jumping horses: relationship with score, individual and event. *J. Vet. Med. A.*, 37: 231-239; 1990.
21. White SL, Williamson LH, Maykuth P, Cole S, Andrews F. Heart rate and lactate concentration during two different cross country events. *Equine Vet. J. Suppl.*, 18: 463-467; 1995.
22. Tipton CM, Carey RA, Eastin WC, Erickson HH. A submaximal test for dogs: evaluation of effects of training, detraining and cage confinement. *J. Appl. Physiol.*, 37 (3): 271-275; 1974.
23. Squires WG, Branddon TD, Rotto D, Nunneley S. Hemodynamic effects of 6 degrees tilt on exercise-trained vs. cage-confined dogs. *Med. Sci. sports Exerc.*, 17 (2): 282; 1985.
24. Constable PD, Hinchliff KW, Farris J, Schmidt KE. Factors associated with finishing status for dogs competing in a long-distance sled race. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 208 (6): 879-882; 1996.
25. Ponce J, Pascual F, Álvarez A, Dolz JF, Rodríguez LP. Arritmias cardíacas inducidas por el ejercicio dinámico máximo de corta duración (*sprint*) estudio en el galgo *greyhound*. *Rev. Esp. Cardiol.*, 51 (7): 559-565; 1998.

Publicado originalmente en la revista *Canis et Felis* (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor

26. Boraita A, Serratosa L. "El corazón del deportista": hallazgos electrocardiográficos más frecuentes. Rev. Esp. Cardiol., 51: 356-368; 1998.
27. Hinchcliff KW, Shaw LC, Vukich NS, Schmidt KE. Effect of distance travelled and speed of racing on body weight and serum enzyme activity of sled dogs competing in a long-distance race. J. Am. Vet. Med. Assoc., 213: 639-644; 1998.
28. Carew TE, Cowell JW. Left ventricular function in exercise-hypertrophy in dogs. Am. J. Cardio. 42: 82-88; 1978.
29. Pape LA, Price JM, Alpert JS, Rippe JM. Hemodynamics and left ventricular function : a comparison between adult racing greyhounds and greyhounds completely untrained from birth. Basic Res. Cardiol.: 81: 417-424; 1986.
30. Staaden RV. The exercise physiology of the racing greyhound. Refresher Course for Veterinarians, Proceeding nº 122, Greyhound Medicine and Surgery; 1989.
31. Staaden RV. The exercise physiology of sporting dogs. En: Bloomberg MS, Dee JF, Taylor RA *Eds*. Canine sport medicine and surgery. Philadelphia, W.B. Saunders: 357-363; 1998.
32. Toll PW, Gaehtgens P, Neuhans D, Pieschl RL, Fedde MR. Fluid, electrolyte and packed cell volume shifts in racing Greyhounds. Am. J. Vet. Res., 56 (2): 227-232; 1995.

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria)
SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Dpto. de Medicina y Cirugía Animal
Universidad Cardenal Herrera-CEU
Avda. Seminario s/n; 46113 – Moncada (Valencia)
mbenito@uch.ceu.es; Telef.- 96 1369000 (x1207)

Publicado originalmente en la revista Canis et Felis (Nº 77. ISSN: 1133-2751)

MILAGROS BENITO HERNÁNDEZ (Dra. en Veterinaria), SABINA ROVIRA CARDETE (Dra. en Veterinaria)

Publicado en <http://www.voraus.com> con permiso de su autor