PubliCE, (PubliCE) 2007

Monograph

Cambios en el Consumo de Oxígeno y en la Producción de Potencia Asociados con la Edad: Un Estudio Transversal Realizado con Ciclistas Neozelandeses Entrenados en Resistencia

Stephen J Brown[1], Helen J Ryan[1] y Julie A Brown[2]

[1]*Institute of Food, Nutrition, and Human Health, Massey University Auckland.*
[2]*Faculty of Medical and Health Sci-ences, Auckland University, New Zealand.*

RESUMEN

En la presente investigación se estudiaron los cambios asociados con la edad en la potencia y en el consumo de oxígeno máximo (VO_2max) en una muestra representativa de ciclistas entrenados en resistencia. Un total de 56 sujetos realizaron un test progresivo de ejercicio en cicloergómetro durante el cual se determinó la concentración de lactato en sangre capilar [La^-]. La producción de potencia se incrementó en 30 Watts en intervalos de 5 minutos, partiendo de una producción de potencia inicial establecida según la capacidad individual. Cuando la [La^-] fue >4.5 mmol/L, los sujetos realizaron una recuperación de 10 min a una producción de potencia aproximadamente 50% menor que la potencia estimada para $[La^-]_{4mmol}$. Posteriormente los sujetos realizaron luego un test progresivo (etapas de 1 minuto) hasta el alcanzar el VO_2máx. La disminución en el consumo de oxígeno máximo fue de 0.65 ml/kg/min/año (r = -0.72, p <0,01) para los hombres, y de 0.39 ml/kg/min/año (r = -0.54, p <0.05) para las mujeres. La potencia al VO_2máx disminuyó en 0.048 W/kg/año (r = -0.72, p <0.01) en los hombres. La potencia a la $[La^-]_{4mmol}$ disminuyó 0.044 W/kg/año (r = -0.76, p <0.01) en los hombres, y 0.019 W/kg/año en las mujeres (r = -0.53 , p <0.05) .La frecuencia cardíaca al VO_2máx (HRmáx) mostró una baja correlación con la edad en los varones (r = -0.36, p <0.05). Los cambios asociados con la edad en la potencia aeróbica máxima y en la potencia submáxima fueron específicos del sexo, lo cual sugiere que hombres y mujeres exhiben diferentes efectos asociados con la edad en los sistemas que sostienen el ejercicio.

Palabras Clave: consumo máximo de oxígeno, envejecimiento, ejercicio, rendimiento

INTRODUCCION

Tanto en hombres como en mujeres, con la edad puede observarse una disminución en la reserva funcional de los sistemas que sostienen el ejercicio (Goldspink, 2005), aunque se sabe que el ejercicio retarda la tasa de esta disminución. Los atletas adultos entrenados experimentan una disminución en la capacidad fisiológica funcional a lo largo de las diferentes edades (Tanaka y Seals, 2003) aunque generalmente esta disminución se acelera durante y después de la sexta década (Tanaka y Seals, 2003). Con frecuencia se ha reportado que la tasa de disminución del VO_2máx con la edad es más alta en los adultos entrenados en resistencia en comparación con adultos sedentarios, a pesar de que los individuos entrenados en resistencia tienen valores de VO_2máx absoluto consistentemente más altos que los de sus pares sedentarios (Tanaka y Seals, 2003).

En un estudio se ha reportado una tasa de disminución del VO_2máx de 0.47 mL/kg/min/año asociada a la edad en corredores de distancia entrenados de entre 35 y 70 años mientras (Wells et al., 1992) que otros autores (Pimentel et al., 2003), han reportado una disminución del VO_2máx de 0.54 mL/kg/min/año en sujetos entrenados en resistencia (n = 89, edades comprendidas entre 21 y 74 años) y de 0.39 mL/kg/min/año en sujetos sedentarios (n = 64, edades comprendidas entre 20 y 75 años). Sin embargo, al considerar los diferentes intervalos de edades, los sujetos entrenados en resistencia de entre 20 y 50 años, muestran una disminución de 0.2 mL/kg/min/año que se incrementa a 0.89 mL/kg/min/año entre los 50 y 74 años. En un estudio transversal, Katzel et al (2001) observaron disminuciones de 0.42 mL/kg/min/año y 0.43 mL/kg/min/año en atletas entrenados y sujetos sedentarios respectivamente, mientras que en el estudio longitudinal (8 años de seguimiento) la tasa de disminución aumentó a 1.46 mL/kg/min/año en los atletas y a 0.48 mL/kg/min/año en los sujetos sedentarios. Cuando se utilizaron diferentes técnicas matemáticas para describir la disminución en el VO_2máx asociada con la edad (Rosen et al., 1998), todos los modelos indicaron que las tasas de disminución no eran diferentes entre varones entrenados y sedentarios, y en un estudio longitudinal de 8 años, (Stathokostas et al., 2004,) se observó una menor tasa de disminución en el VO_2máx con la edad en atletas master entrenados en resistencia en comparación con los controles sedentarios.

En un meta análisis llevado a cabo con estudios publicados previamente (Wilson y Tanaka, 2000) se reportaron disminuciones asociadas con la edad en el VO_2máx de 0.40, 0.39, y 0.46 mL/kg/min/año en sujetos masculinos sedentarios (n = 6231), activos (n = 5621), y entrenados en resistencia (n = 1967) respectivamente. Un análisis similar de los datos que han sido publicados para mujeres (Fitzgerald et al., 1997) informó disminuciones en el VO_2máx asociadas con la edad de 0.35, 0.44, y 0.62 mL/kg/min/año en mujeres sedentarias (n = 2256), activas (n = 1717), y entrenadas en resistencia (n = 911). Estudios transversales (Wiswell et al., 2000; 2001) han encontrado disminuciones en el VO_2máx asociadas con la edad de 0.36 mL/kg/min/año en atletas femeninas entrenadas (intervalo de edad de 40 a 70 o más años), y de 0.67 mL/kg/min/año en atletas masculinos entrenados (intervalo de edad de 40 a 70 o más años).

A pesar de los numerosos estudios que han evaluado la tasa de disminución en el VO_2máx asociada con la edad, son pocos los estudios que han analizado los cambios en la producción de potencia específica del deporte asociados con la edad. Por ejemplo, Martin et al., (2000) reportaron que la producción de potencia anaeróbica en ciclismo disminuyó aproximadamente un 7.5 % por década a partir de la adolescencia, y Seiler et al. (1998) reportaron una disminución en la potencia de aproximadamente un 3% por década en las edades comprendidas entre los 24 y 50 años, y del 7% en las edades comprendidas entre 50 y 74 años, en remeros de elite.

Dada la escasa disponibilidad de información referente a los cambios en la potencia con la edad, los objetivos de este estudio fueron: (1) Describir la disminución en el VO_2máx asociada a la edad en ciclistas entrenados en resistencia, y (2) analizar los cambios asociados con la edad en la producción de potencia específica tanto a nivel de VO_2máx como submáximo. Se hipotetizó que la función fisiológica disminuiría con la edad y esto se acompañaría por tasas similares de disminución en la producción de potencia específica del ciclismo.

METODOS

Sujetos

Cincuenta seis sujetos entrenados, 36 varones (rango de edad 17-64 años; masa corporal 8.4 ± 11.3 kg), y 20 mujeres (rango de edad 16-54 años; masa corporal 63.0 ± 5.9 kg) dieron su consentimiento informado por escrito, y completaron un cuestionario de revisación médica. Los procedimientos utilizados en este estudio fueron aprobados por el comité de ética local.

Criterio de selección: Todos los sujetos habían participado regularmente en programas de entrenamiento para participar en eventos de ciclismo de resistencia (eventos de más de una hora de duración) por más de 3 años, y al momento del estudio, realizaban al menos dos sesiones semanales de entrenamiento de ciclismo de alta intensidad. A lo largo de los 12 meses previos al estudio, los sujetos participaron en competencias de ciclismo (carreras en ruta y/o pruebas contra reloj) a nivel local y/o nacional. La muestra estuvo compuesta por ciclistas neozelandeses en actividad de sexo femenino y masculino menores de 21 años con medallas en carreras de ruta, ex corredores senior neozelandeses campeones de carrera en ruta de sexo masculino y femenino, ex ciclistas de ruta profesionales de sexo masculino y femenino y ciclistas de ruta en actividad de nivel Master y Veterano masculinos y femeninos ganadores de medallas a nivel nacional.

Ninguno de los sujetos presentó una historia médica que lo excluyera de poder realizar un test de ejercicio de alta intensidad, y se excluyó a aquellos sujetos potenciales que estuvieran consumiendo alguna medicación recetada, que hubieran experimentado alguna enfermedad (e.g., molestias estomacales, o síntomas de resfrío o gripe) en la semana previa, o que presentaran alguna una lesión músculo-esquelética que afectara su rutina normal de entrenamiento. Los sujetos se presentaron al laboratorio en estado post-prandial de 4 horas; y debían abstenerse de realizar ejercicios vigorosos al menos en las 24 hs previas a la realización del test. Asimismo se les requirió a los sujetos que no consumieran bebidas que contuvieran cafeína al menos en las 4 horas previas a la realización del test. Durante los tests se permitió el consumo de agua ad libitum.

Protocolo de ejercicio

Los sujetos realizaron una entrada en calor de 10 minutos en un cicloergómetro con cupla electromagnética (Lode Excalibur, Lode BV, Groningen, Netherlands) a una potencia de 60 Watts. Se pidió a los sujetos que pedalearan en su cadencia normal y se fijó la altura del asiento del cicloergómetro para que los sujetos pudieran mantener su posición habitual de pedaleo. Los sujetos realizaron una única serie de ejercicio que consistió en un test de progresivo de ejercicio para determinar el umbral de lactato, seguido de un test de ejercicio progresivo hasta el agotamiento volitivo para la determinación del VO_2máx.

Inicialmente, los sujetos realizaron un test progresivo continuo con un mínimo de 5 etapas, de 5 min de duración cada una. En cada etapa, luego de 4 minutos, se recolectó una muestra de sangre capilar en la yema de un dedo para la determinación de la concentración de lactato sanguíneo [La^-] (Lactate Pro, Arkray, Kyoto, Japón). El analizador de lactato fue calibrado con muestras estándar antes de cada test y la confiabilidad test-retest de este dispositivo estuvo dentro del 5% (observaciones no publicadas). La frecuencia cardíaca fue monitoreada continuamente a lo largo del test (S610, Polar Electro, Finland). Para todos los sujetos, la producción de potencia se incrementó en 30 Watts al comienzo de cada etapa, y la producción de potencia inicial fue equivalente a aquella producida cuando la frecuencia cardíaca era aproximadamente de 100 latidos por minuto. Cuando se alcanzaba un valor de lactato mayor a 4.5 mmol, se reducía la intensidad del ejercicio y se proporcionaba a los sujetos un período de 10 min de recuperación activa a una potencia 50% menor a la potencia estimada en $[La^-]_{4mmol}$. Si transcurridas las 5 etapas no se había alcanzado un valor de lactato >4.5mmol, los sujetos realizaban etapas adicionales (hasta un máximo de 7), luego de las cuales todos habían alcanzado un valor de lactato > 4.5mmol.

Luego los sujetos realizaron un test progresivo de ejercicio continuo hasta el agotamiento volitivo, con etapas de 1 min, comenzando con una producción de potencia equivalente a la alcanzada cuando la [La^-] era de aproximadamente 4.5mmol. Durante el test la producción de potencia se incrementó en 20 Watts por minuto. Se recolectaron muestras del aire exhalado a cada minuto las cuales fueron analizadas para determinar el contenido (Servomex CO_2 + O_2, 1440, East Sussex, UK) y el volumen total (Dry Gas Meter, Harvard Apparatus, Kent, UK) de oxígeno y de dióxido de carbono. Los analizadores de gases fueron calibrados con concentraciones conocidas de O_2 y de CO_2 antes de cada test, y la confiabilidad test – retest de este método para la determinación del VO_2máx se encuentra entre el 5 y 10% (observaciones no publicadas). El pulso de oxígeno máximo se calculó dividiendo el VO_2máx (en mL/kg/min) por la HRmáx (en latidos/min), con lo que la unidad de pulso de oxígeno quedaría expresada en mililitros por kilogramo por latido (mL/kg/latido).

Análisis Estadísticos

Para realizar comparaciones entre varones y mujeres se utilizó la prueba t de Student para muestras no apareadas de igual varianza y el nivel de significancia fue fijado en $p < 0.05$. Para describir la relación entre la edad y: (1) el VO_2máx, (2) la potencia al VO_2máx, y (3) la potencia a $[La^-]_{4mmol}$, se utilizó la regresión lineal normalizando los datos por la masa corporal. También se utilizó la regresión lineal para describir los cambios en la HRmáx, y en el pulso máximo de oxígeno con la edad. En todos los casos, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar en que medida los puntos se agruparon sobre la línea de la regresión. La significancia estadística se fijó a $p < 0.05$.

RESULTADOS

Todos los sujetos completaron los protocolos de determinación de umbral de lactato y VO_2máx. Todos los sujetos finalizaron el test de consumo máximo de oxígeno en el punto de agotamiento voluntario. Al final del test, el análisis de los gases espirados indicó una índice de intercambio respiratorio superior a 1.1. Los valores de HRmax se muestran en la Figura 1, en la cual también se muestran las líneas de regresión utilizadas para estimar la frecuencia cardíaca máxima en función de la edad (Tanaka et al., 2001). Las desviaciones de los valores de HRmax medidos con respecto a los valores estimados fueron 3.1 (± 6.9) % y 2.8 (± 5.7) % para el caso de las mujeres, y 1.9 (± 6.4) % y 2.3 (± 5.4% para los varones utilizando las ecuaciones 220-edad y 208-0.7×edad respectivamente. La Tabla 1 muestra las características promedio (± DE) del grupo total, y muestra las estadísticas descriptivas para los varones y mujeres en grupos separados. El peso de los varones fue significativamente mayor que el de las mujeres (hombres: 81.4 ± 11.3 kg vs mujeres: 63.1 ± 5.9 kg, p <0.01), y pudieron utilizar más oxígeno al VO_2máx (hombres: 4.5 ± 0.6 L/min vs. mujeres: 3.2 ± 0.5 L/min, p<0.01). No se detectaron diferencias significativas en la edad entre mujeres y hombres (Hombres: 42.1 ± 10.7 años vs mujeres: 37.7 ± 11.9 años, p>0.05) y tampoco se registraron diferencias significativas en la HRmax (hombres: 175 ± 11.2 latidos/min vs mujeres: 177 ± 9.7 latidos/min, p>0.05). Cuando los valores fueron normalizados según la masa corporal, no se encontraron diferencias entre hombres y mujeres respecto del VO_2máx medido en mL/kg/min, en la potencia al VO_2máx, o en la potencia submáxima a $[La^-]_{4mmol.}$

	Varones (n= 36)	Mujeres (n=20)	Total (n=56)
Edad (años)	42.1 (10.7)	37.7 (11.9)	40.5 (11.2)
Masa (Kg)	81.4 (11.3)	63.1 (5.9) **	74.8 (13.1)
HRmáx (latidos/minuto)	175 (11)	177 (10)	176 (11)
VO_2máx (L/min)	4.5 (0.6)	3.2 (0.5) **	4.1 (0.41)
VO_2máx (ml/kg/min)	56.2 (9.6)	51.3 (8.6)	54.5 (9.5)
O_2 max (ml/kg/latido)	0.321 (0.056)	0.289 (0.041) *	0.310 (0.053)
Potencia al VO_2máx (Watts/ kg)	4.4 (0.7)	4.2 (0.6)	4.4 (0.7)
Potencia en $[La^-]_{4\ mmol}$	3.1 (0.6)	2.9 (0.5)	3.0 (0.6)

Tabla 1. *Características descriptivas de los sujtos en conjunto y en grupos separados por sexo. Media (±DE). * y ** denotan p<0.05 y p<0.01 utilizando la prueba t de Studen para datos no apareados de igual varianza.*

En la Tabla 2 se observan los coeficientes de correlación de Pearson para varones y mujeres, los valores que presentan diferencias significativas y las ecuaciones de regresión lineal. En el grupo de mujeres no se hallaron correlaciones significativas entre edad y la HRmax ni entre edad y el pulso máximo de oxígeno. La tasa de disminución en el VO_2máx con la edad fue de 0.65 ml/kg/min/año y de 0.39 ml/kg/min/año para hombres y mujeres respectivamente.

	Varones (n= 36) Intervalo de edad:17-64 años	Mujeres (n=20) Intervalo de edad: 16-54 años
HRmáx (latidos/minuto)	-0.36 * y=-0.35x+190	-0.30
VO_2máx (L/ min)	- 0.63 ** y = -0.035x + 5.97	- 0.55 * y = -0.025x + 4.19
VO_2máx (mL/kg/min)	- 0.72 ** y = -0.65x + 83.4	- 0.54 * y = -0.39x + 66
O_2 max (ml/kg. latido)	- 0.57 ** y = -0.003x + .45	-0.42
Potencia al VO_2máx (Watts/kg)	- 0.72 ** y = -0.048x + 6.45	-0.10
Potencia a $[La^-]_{4\ mmol}$	- 0.76 ** y = -0.044x + 4.98	- 0.53 * y = -0.019x + 3.47

Tabla 2. *Coeficientes de correlación de Pearson para la edad en años versus las diferentes variables medidas en varones y mujeres. Se muestran las ecuaciones de regresión lineal para aquellas asociaciones significativas, donde y es la variable y x es la edad. * y ***

denotan p<0.05 y p<0.01

En los hombres, la potencia al VO_2máx mostró una correlación negativa con la edad. En este caso la potencia disminuyó en 0.048 Watts/kg/año (ver Figura 1). No se observó una clara disminución asociada a la edad en la potencia al VO_2máx para las mujeres. La potencia a $[La^-]_{4mmol}$ disminuyó a razón de 0.044 Watts/kg/año en los hombres, y de 0.019 Watts/kg/año en las mujeres (Figura 2).

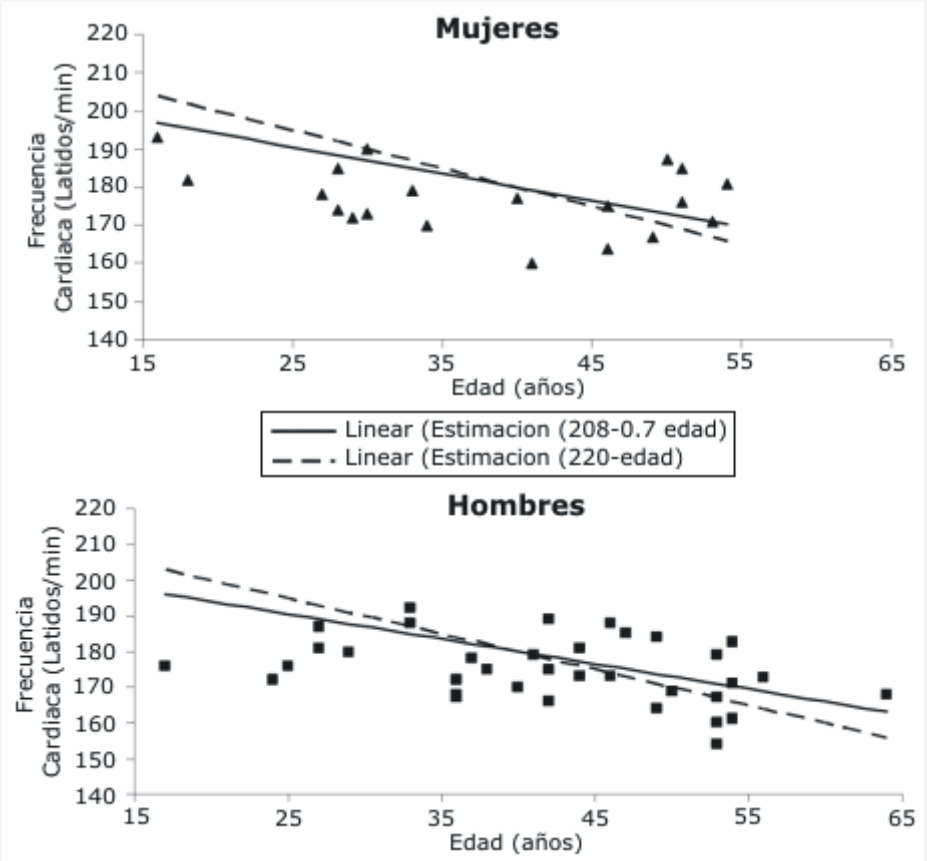

Figura 1. *Frecuencia cardíaca máxima de ciclistas entrenados en resistencia de ambos sexos en función de la edad: Hombres (abajo) y Mujeres (arriba). Se observan las líneas de regresión lineal de referencia obtenidas mediante las ecuaciones 220-edad (línea punteada) y 208-0.7edad (línea continua)*

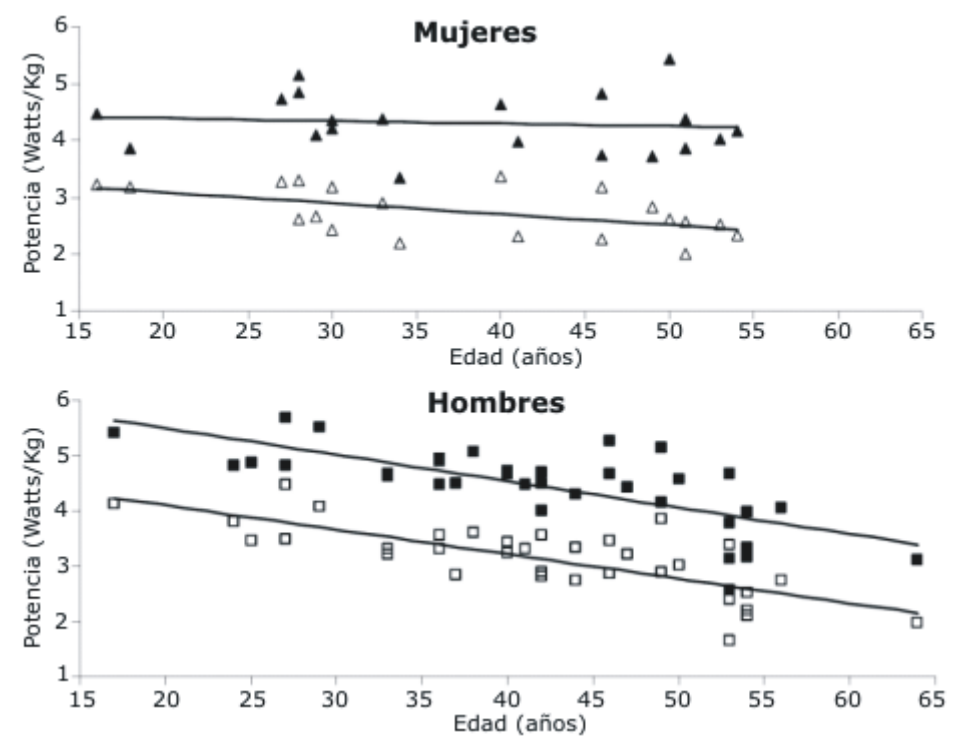

Figura 2. *Disminución en la potencia al VO_2máx (símbolos cerrados) y al $[La^-]_{4mmol}$ (símbolos abiertos) determinada en ciclistas entrenados en resistencia de ambos sexos: Mujeres (arriba) y hombres (abajo).*

DISCUSION

La producción de potencia al VO_2máx, normalizada por la masa corporal, es un índice que considera tanto la producción de potencia de los músculos esqueléticos involucrado como la capacidad aeróbica máxima. Por consiguiente, en el caso de los ciclistas, ésta es una medida de la capacidad funcional de los músculos esqueléticos al VO_2máx. En el presente estudio se observó una disminución asociada a la edad en la potencia relativa al VO_2máx en los hombres pero no en las mujeres, lo que sugiere que las mujeres mantuvieron la potencia aeróbica pico a lo largo de los intervalos de edad. Si bien es especulativo, esto podría sugerir que la potencia aeróbica pico podría ser mantenida si no hay ningún cambio asociado a la edad en el pulso de oxígeno máximo y en la HRmax, lo que coincide con los datos obtenidos en nuestro estudio.

Una potencia submáxima sostenible (por ejemplo la producción de potencia en el momento en que comienza a acumularse lactato de sangre) podría representar una medida de rendimiento muscular que, potencialmente, no se vería afectada por las disminuciones asociadas a la edad en el gasto cardíaco máximo, en el flujo máximo de sangre hacia los músculos y en la extracción de oxígeno. En el presente estudio observamos que la producción de potencia al $[La^-]_{4mmol}$ normalizada por la masa corporal, disminuyó con la edad tanto en los hombres como en las mujeres. La disminución casi paralela con la edad de la potencia aeróbica máxima y la potencia al $[La^-]_{4mmol}$ en los varones, podría sugerir que existe un mecanismo en común, como por ejemplo, la disminución en la captación de oxígeno a nivel periférico (lo cual queda respaldado al menos indirectamente por la disminución asociada a la edad en el pulso de oxígeno máximo), o la disminución en el gasto cardíaco (lo cual queda respaldado indirectamente por la disminución asociada a la edad en la HRmax). Sin embargo, la aparente divergencia de las líneas de regresión para los datos de la mujeres debería considerarse con precaución, ya que la disminución asociada a la edad en la potencia al $[La^-]_{4mmol}$ en las mujeres podría sugerir cambios asociados a la edad en la cinética de producción y/o *clearance* del lactato. Por lo tanto es necesario realizar investigaciones adicionales acerca de los mecanismos responsables de los cambios en la potencia aeróbica máxima y submáxima específicos del sexo.

La disminución asociada a la edad en la masa muscular y/o los cambios en la expresión de la cadena pesada de las isoformas de miosina (MHC) en el conjunto de unidades motoras reclutadas (Docherty, 2003; Goldspink, 2005) podrían contribuir a la disminución en la potencia con la edad. Farina et al. (2007) reportaron una correlación entre el porcentaje de la isoforma tipo I de MHC y la potencia al umbral de lactato y al VO_2máx en sujetos entrenados (edad 25 ± 4 años,

VO_2máx 52.5 mL/kg/min), mientras que Mattern et al. (2003) no encontraron diferencias en las isoformas de MHC expresadas en el músculo esquelético de sujetos jóvenes y ancianos. Sin embargo, Mattern et al. (2003) demostraron que la edad y la isoforma tipo I de MHC en conjunto explicaban el 58% de la varianza en la producción de potencia a la máxima concentración estable de lactato en sangre tolerable cuando fue expresada como un porcentaje de la capacidad aeróbica máxima. Mattern et al., (2003), reportaron una menor producción de potencia a la máxima concentración estable de lactato en sangre tolerable en atletas ancianos entrenados en resistencia. En este estudio los sujetos de 25 años (n = 9, VO_2máx 67.7 mL/kg/min) exhibieron una producción de potencia de 3.5 W/kg, mientras que los sujetos de 65 años (n = 9, VO_2máx 47.0 mL/kg/min) exhibieron una producción de potencia de 2.2 W/kg. El presente estudio estimó una potencia al $[La^-]_{4mmol}$ de 3.41 W/kg, para sujetos de 25 años y de 2.41 W/kg para sujetos de 65 años.

Efectivamente hay cierta variabilidad en la disminución asociada con la edad en el VO_2máx en sujetos entrenados, cuando las estimaciones provienen de estudios longitudinales o transversales, y ambos diseños experimentales tienen limitaciones. Nosotros incluimos todas las edades en los modelos de regresión específicos del sexo, lo que se corresponde con lo realizado en estudios anteriores (Fitzgerald et al, 1997; Wilson y Tanaka, 2000), pero reconocemos que en los presentes datos existe un sesgo de selección, que proviene de que los atletas de mayor edad fueron seleccionados a partir de un grupo con un número decreciente de sujetos disponibles (Katzel et al., 2001). La disminución asociada a la edad en el VO_2máx observada en nuestro estudio fue menor que la observada por Tanaka et al. (1997) en atletas de resistencia, pero superior a la reportada por Katzel et al. (2001) en su estudio transversal. En su estudio longitudinal, Katzel et al. (2001) hallaron mayores valores de la tasa de disminución, y Marcell et al. (2003) reportaron una tasa de 1 mL/kg/min/año en hombres y mujeres entrenados de entre 40 y 60 años de edad, a lo largo de un periodo de aproximadamente 6 años. Se ha señalado que los estudios longitudinales generalmente reportan mayores tasas de disminución del VO_2máx asociadas la edad (Eskurza et al., 2002; Katzel et al., 2001), y Stathokostas et al. (2004) informaron que la tasa de disminución longitudinal en hombres fue más alta que la rerportada en un estudio transversal de su muestra de población original. Pimental et al. (2003), cuando estratificación los valores por edades, encontraron que los sujetos entrenados en resistencia de edades comprendidas entre los 20 y 50 años mostraron disminuciones de 0.2 mL/kg/min/año, mientras que para el intervalo de edad de 50 a 75 años la disminución fue de 0.89 mL/kg/min/año. Nosotros reconocemos que el rango de edad evaluado en nuestro estudio no incluyó atletas “ancianos”, y el limitado tamaño de muestra imposibilita la estratificación por edades.

Si bien diversos estudios han reportado una disminución en la HRmax asociada a la edad (Fitzgerald et al., 1997;Tanaka et al., 1997; Pimentel et al., 2003;Wilson y Tanaka, 2000), en nuestro estudio no se observó un patrón claro de disminución de la HRmax en las mujeres y solo una ligera disminución en la HRmáx asociada a la edad en el caso de los hombres. La falta de asociación entre la edad y la disminución en la HRmax en el presente estudio podría deberse a la fatiga, dado que el protocolo para la determinación del VO_2máx se llevó a cabo al final del período de ejercicio. Sin embargo, es importante destacar que por medio de este protocolo, todos los sujetos alcanzaron el VO_2máx. En trabajos previos se han encontrado disminuciones (Rogers et al., 1990; El Fleg et al., 2005) o ningún cambio (Ogawa et al., 1992; Stathokostas et al., 2004) en el pulso de oxígeno máximo con la edad sin cambios direccionales consistentes en la frecuencia cardíaca máxima.

Las diferencias en la tasa de disminución del VO_2máx con el avance de la edad, se ha atribuido a los cambios específicos del sexo, en los componentes del sistema cardiovascular (Weiss et al., 2006). En el presente estudio no se observó ninguna correlación entre la edad y el pulso de oxígeno máximo en mujeres, pero si se evidenció una correlación negativa significativa en los hombres, confirmando así las diferencias específicas del sexo en la tasa de disminución en el rendimiento cardiovascular. Sin embargo, es necesario señalar que estas afirmaciones son meramente especulativas debido al pequeño tamaño de la muestra y a la falta de sujetos mayores de 60 años (especialmente mujeres).

Se han utilizado ecuaciones lineales para expresar la capacidad aeróbica máxima de los músculos esqueléticos en función de la masa muscular debido a que Proctor y Joyner (1997) reportaron la misma pendiente tanto en músculos de sujetos jóvenes como de ancianos. Esto indicó que para un cambio dado en la masa muscular, el cambio en la capacidad aeróbica muscular de los sujetos jóvenes y ancianos fue el mismo. Los autores concluyeron que era improbable que la capacidad oxidativa o la capilarización de los músculos esqueléticos fueran responsables de la reducción asociada a la edad en la capacidad aeróbica por kilogramo de músculo en los sujetos entrenados de mayor edad entrenados (Proctor y Joyner, 1997). Mattern et al. (2003) no encontraron diferencias en la actividad de la citrato sintasa en muestras de músculo esquelético provenientes de atletas entrenados en resistencia jóvenes, de mediana edad y mayores, respaldando así las conclusiones de Proctor y Joyner (1997). Sin embargo, el modelo de los cuadrados mínimos usado por Rosen et al. (1998) sugirió que el 35% de la disminución asociada a la edad en el VO_2máx se debía a la pérdida de masa magra, lo que representa aproximadamente 8 mL/kg/min/año.

En el presente estudio, nosotros escogimos usar el mismo protocolo de evaluación para todas las edades y para ambos sexos; una decisión basada en la selección de los sujetos (todos bien entrenados y que competían regularmente), y siguiendo la clasificación médica. Es probable que a medida que los atletas envejecen, se produzcan las variaciones en los regímenes de entrenamiento (Spirduso et al., 2005), aunque todos los sujetos que participaron en este estudio realizaban

por lo menos 2 sesiones de entrenamiento de alta intensidad por semana y en la mayoría de los casos además participaban de un evento competitivo semanal. Nuestra experiencia en el reclutamiento de atletas entrenados a lo largo de un amplio rango de edades indica que los sujetos de mayor edad no tienen un menor volumen de entrenamiento que el de sus colegas más jóvenes; sin embargo, reconocemos que son las condiciones médicas que afectan la capacidad para realizar el ejercicios de alta intensidad las que pueden definir los protocolos de evaluación adecuados para los sujetos de mayor edad (Huggett et al., 2005).

CONCLUSION

Este estudio transversal revela una disminución asociada a la edad en el VO_2máx en varones y mujeres, que concuerda con resultados de estudios anteriores. En trabajos previos, no se ha reportado frecuentemente la disminución concomitante en el pulso de oxígeno máximo con una variación mínima en la HRmax en varones. Un hallazgo particular del presente estudio fue la disminución asociada a la edad en la potencia en al VO_2máx en varones, y en la potencia submáxima al $[La^-]_{4mmol}$ tanto en hombres como en mujeres.

Puntos Clave

- Con el avance de la edad hay una reducción del VO_2máx de 0.65 mL/kg/min/año en hombres y de 0.39 mL/kg/min/año en mujeres entrenados en ciclismo de resistencia
- Con el avance de la edad hay una reducción de 0.048 Watts/kg/año en la potencia al VO_2máx en los hombres entrenados en ciclismo de resistencia
- La potencia submáxima a una concentración de lactato sanguíneo de 4 mmol/L se reduce en 0.044 Watts/kg/año y en 0.019 Watts/kg/año en hombres y mujeres entrenados en ciclismo de resistencia, respectivamente.

REFERENCIAS

1. Doherty, T.J (2003). Invited Review: Aging and sarcopenia. *Journal of Applied Physiology 95, 1717-1727*
2. Eskurza, I., Donato, A.J., Moreau, K.L., Seals, D.R. and Tanaka H (2002). Changes in maximal aerobic capacity with age in endurance-trained women: 7-yr follow up. *Journal of Applied Physi-ology 92, 2303-2308*
3. Farina, D., Fergusson, R.A., Macaluso, A., and DeVito, G (2007). Correlation of average muscle fibre conduction velocity measured during cycling exercise with myosin heavy chain composition, lactate threshold, and VO₂max. *Journal of Electromyography and Kinesiology, 17(4), 393-400*
4. Fitzgerald, M.D., Tanaka, H., Tran, Z.V. and Seals, D.R (1997). Age-related declines in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary women: a meta analysis. *Journal of Applied Physiology 83, 160-165*
5. Fleg, J.L., Morrell, C.H., Bos, A.G., Brant, L.J., Talbot, L.A., Wright, J.G. and Lakatta, E.G (2005). Accelerated longitudinal decline of aerobic capacity in healthy older adults. *Circulation 112(5), 674-682*
6. Goldspink, D.F (2005). Ageing and activity: their effects on the functional reserve capacities of the heart and vascular smooth and skeletal muscles. *Ergonomics 48, 1334-1351*
7. Huggett, D.L., Connelly, D.M. and Overend, T.J (2005). Maximal aerobic capacity testing of older adults: a critical review. *Journal of Gerontology: Biological Sciences and Medical Sciences 60, 57-66*
8. Katzel, L.I., Sorkin, J.D. and Fleg, J.L (2001). A comparison of longitudinal changes in aerobic fitness in older endurance athletes and sedentary men. *Journal of the American Geriatrics Society 49, 1657-1664*
9. Marcell, T.J., Hawkins, S.A., Tarpenning, K.M., Hyslop, D.M. and Wiswell, R.A (2003). Longitudinal analysis of lactate threshold in male and female master athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise 35(5), 810-817*
10. Martin, J.C., Farrar, R.P., Wagner, B.M. and Spirduso, W.W (2000). Maximal power across the lifespan. *Journal of Gerontology: Biological Sciences and Medical Sciences 55(6), 311-316*
11. Mattern, C.O., Gutilla, M.L., Bright, D.L., Kirby, T.E., Hinchcliff, K.W. and Devor S.T (2003). Maximal lactate steady state declines during the aging process. *Journal of Applied Physiology 95, 2576-2582*
12. Ogawa, T., Spina, R.J., Martin, W.H., Kohrt, W.M., Schechtman, K.B., Holloszy, J.O. and Ehsani, A.A (1992). Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation 86(2), 494-503*
13. Pimentel, A.E., Gentile, C.L., Tanaka, H., Seals, D.R. and Gates, P.E (2003). Greater rate of decline in maximal aerobic capacity with age in endurance-trained than in sedentary men. *Journal of Applied Physiology 94, 2406-2413*
14. Proctor, D.N. and Joyner, M.J (1997). Skeletal muscle mass and the reduction of VO₂max in trained older subjects. *Journal of Applied Physiology 82(5), 1411-1415*
15. Rogers, M.A., Hagberg, J.M., Martin, W.H., Ehsani, A.A. and Holloszy, J.O (1990). Decline in VO₂max with aging in master athletes and sedentary men. *Journal of Applied Physiology 68(5), 2195- 2199*

16. Rosen, M.J., Sorkin, J.D., Goldberg, A.P., Hagberg, J.M. and Katzel, L.I (1998). Predictors of age-associated decline in maximal aerobic capacity: a comparison of four statistical models. *Jour-nal of Applied Physiology 84(6), 2163-2170*
17. Seiler, K.S., Spirduso, W.W. and Martin, J.C (1998). Gender differences in rowing performance and power with aging. *Medicine and Science in Sports and Exercise 30(1), 121-127*
18. Spirduso, W., Francis, K.L. and MacRae, P.G (2005). Physical dimensions of aging. 2 nd edition. *Champaign, IL, Human Kinetics. 31 51; 287316*
19. Stathokostas, L., Jacob-Johnson, S., Petrella, R.J. and Paterson, D.H (2004). Longitudinal changes in aerobic power in older men and women. *Journal of Applied Physiology 97, 784-789*
20. Tanaka, H., DeSouza, C.A., Jones, P.P., Stevenson, E.T., Davy, K.P. and Seals, D.R (1997). Greater rate of decline in maximal aerobic capacity with age in physically active vs. sedentary healthy women. *Journal of Applied Physiology 83(6), 1947-1953*
21. Tanaka, H., Monahan, K.D. and Seals, D.R (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology 37(1), 153-156*
22. Tanaka, H. and Seals, D.R (2003). Dynamic exercise performance in masters athletes: insight into the effects of primary human aging on physiological functional capacity. *Journal of Applied Physi-ology 95, 2152- 2162*
23. Weiss, E.P., Spina, R.J., Holloszy, J.O. and Ehsani, A.A (2006). Gender differences in the decline in aerobic capacity and its physiologic determinants during the later decades of life. *Journal of Applied Physiology 101(3), 938-944*
24. Wells, C.L., Boorman, M.A. and Riggs, D.M (1992). Effect of age and menopausal status on cardiorespiratory fitness in masters women runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise 24, 1147-1154*
25. Wilson, T.M. and Tanaka, H (2000). Meta-analysis of the age-associated decline in maximal aerobic capacity in men: relation to training status. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology 278, H829-H834*
26. Wiswell, R.A., Hawkins, S.A., Jaque, S.V., Hyslop, D., Constantino, N., Tarpenning, K., Marcell, ., and Schroeder, E.T (2001). Relationship between physiological loss, performance decrement, and age in masters athletes. *Journal of Gerontology: Biological Sciences and Medical Sciences 56(10), 618-626*
27. Wiswell, R.A., Jaque, S.V., Marcell, T., Hawkins, S.A., Tarpenning, K., Constantino, N. and Hyslop, D.M (2000). Maximal aerobic power, lactate threshold, and running performance in master athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise 32(6), 1165-1170*

Cita Original

Stephen J. Brown , Helen J. Ryan y Julie A. Brown Age-associated changes in VO₂ and power output A cross-sectional study of endurance trained New Zealand cyclists. Journal of Sports Science and Medicine 6, 477-483 (2007).