Meta-analysis

Un Meta-Análisis sobre la Declinación de la Capacidad Aeróbica Máxima Asociada a la Edad en Hombres: Relación con el Nivel de Entrenamiento

Hirofumi Tanaka[1] y Teresa M Wilson[1]

[1]*Human Cardiovascular Research Laboratory, Center for Physical Activity, Disease Prevention, and Aging, Department of Kinesiology and Applied Physiology, University of Colorado at Boulder, Boulder, Colorado 80309.*

RESUMEN

En base a datos de estudios transversales, recientemente hemos reportado que, en contraste con el enfoque predominante, la tasa de disminución en el consumo máximo de oxigeno (VO_2 máx) con la edad es mayor en mujeres físicamente activas en comparación con mujeres sedentarias saludables. Hemos evaluado esta hipótesis en hombres a través de la utilización de un estudio meta analítico de los valores de VO_2 max publicados en la literatura. Un total de 242 estudios (538 grupos de sujetos y 13828 sujetos) cumplieron con los criterios de inclusión y fueron arbitrariamente separados en poblaciones de sedentarios (214 grupos, 6231 sujetos), activos (159 grupos, 5621 sujetos) y entrenados en resistencia (165 grupos, 1976 sujetos). El porcentaje de grasa se incremento con la edad en lo hombres sedentarios y activos ($p<0.001$), mientras que no se observaron cambios en los hombres entrenados en resistencia. El VO_2 máx. estuvo fuertemente e inversamente correlacionado con la edad dentro de cada población ($r = -0.80$ a -0.88, todas la $p<0.001$) y fue mayor en la población de sujetos entrenados en resistencia y menor en la población de sujetos sedentarios a cualquier edad. Las tasas absolutas de disminución en el VO_2 máx. con la edad no fueron diferentes ($p>0.05$) entre las poblaciones de sujetos sedentarios (-4.0 ml/kg/min/década), activos (-4.0) y entrenados en resistencia (-4.6). De manera similar, no hubo diferencias grupales ($p>0.05$) en las tasas relativas (%) de disminución del VO_2 máx. con el avance de la edad (-8.7, -7.3, y -6.8% /década, respectivamente). La frecuencia cardiaca máxima estuvo inversamente relacionada a la edad dentro de cada población ($r=-0.88$ a -0.93, todas la $p<0.001$), pero la tasa de reducción relacionada a la edad no fue diferente entre las poblaciones. Hubo reducción significativa en la cantidad de millas corridas y en la velocidad con el avance de la edad en los hombres entrenados en resistencia. Los hallazgos del presente meta-análisis transversal no respaldan la hipótesis acerca de que la tasa de disminución en el VO_2 máx. con la edad está relacionada al nivel de ejercicio aeróbico habitual en hombres.

Palabras Clave: envejecimiento, ejercicio

INTRODUCCION

Desde el clásico estudio de Robinson en 1938 (20), se ha reconocido que la capacidad funcional del sistema cardiovascular, valorada por el consumo máximo de oxigeno (VO_2 máx.), disminuye con el avance de la edad. Esta reducción resulta en una disminución de la capacidad fisiológica funcional que contribuiría a la perdida de independencia, al incremento en la incidencia de invalidez, y a una reducción en la calidad de vida con la edad (10, 27). Además, la máxima capacidad aeróbica es un factor de riesgo independiente de mortalidad cardiovascular y mortalidad por cualquier causa (1, 2). Asimismo, se ha demostrado recientemente que una disminución en el VO_2 máx. relacionada a la edad influencia la reducción en la función cognitiva observada con el avance de la edad (26).

El concepto predominante en base a cierta evidencia con hombres es que la tasa de disminución del VO_2 máx. asociada a la edad es hasta 50% menor en adultos entrenados en resistencia en comparación con adultos sedentarios (3, 6). En marcado contraste con este punto de vista, recientemente hemos reportado que con el avance de la edad la tasa absoluta de disminución en la máxima capacidad aeróbica asociada a la edad fue mayor en mujeres con un alto nivel de actividad física en comparación con sus pares sedentarias (5, 23). Los resultados de recientes estudios longitudinales en hombres entrenados en resistencia respaldan nuestra observación y sugieren tasas de reducción del VO_2 máx. tan o más grandes que aquellas reportadas previamente para hombres sedentarios (7, 18, 25). Sin embargo, los tamaños de las muestras relativamente pequeños, los limitados rangos de edad y la falta de grupos control con sujetos sedentarios en estos estudios imposibilita sacar alguna conclusión con respecto a este punto.

En consecuencia, el propósito principal de la presente investigación fue determinar la relación entre el nivel de ejercicio aeróbico habitual y la tasa de disminución en el VO_2 máx. con la edad en hombres. Nuestra hipótesis fue que la tasa de disminución en el VO_2 máx. asociada a la edad es mayor en hombres entrenados en resistencia que en hombres sedentarios saludables. Para realizar esto, utilizamos un enfoque meta-analítico para el cual se recolectaron un gran número de valores medios de VO_2 máx. (5) de la literatura publicada. Nosotros llegamos a la conclusión acerca de que la utilización de un enfoque con una gran población puede proporcionar una nueva y mejorada visión sobre este punto controversial.

METODOS

Procedimiento General

Un meta-análisis es un conjunto de procedimientos cuantitativos para integrar y analizar sistemáticamente los hallazgos de investigaciones previas. El meta-análisis en el presente estudio fue realizado con el mismo procedimiento descripto previamente en detalle por nuestro laboratorio (5). Como paso inicial, se realizó una extensiva búsqueda de la literatura para identificar tantos estudios como fuera posible en los cuales se hubiera medido el VO_2 máx. en hombres. Inicialmente, esto se realizó por medio de la utilización de búsquedas por computadora (a través de Sport Discus y Medline) utilizando palabras clave tales como potencia aeróbica, aptitud física, consumo máximo de oxigeno, VO_2 máx., y entrenamiento. Además, se realizó una extensiva búsqueda a mano y con referenciación cruzadas utilizando la bibliografía de los estudios ya recolectados. Asimismo, se examinaron aquellas revistas que consideramos que probablemente tendrían investigaciones pertinentes (*American Journal of Physiology, European Journal of Applied Physiology, International Journal of Sports Medicine, Journal of Applied Physiology, and Medicine and Science in Sports and Exercise*). Se analizaron todos los valores medios de los estudios previos que cumplieron con los siguientes criterios de inclusión: 1) estudios publicados en inglés en revistas sometidas a arbitraje científico 2) datos sobre hombres reportados separadamente de los de las mujeres; 3) datos de estudios en los cuales los grupos fueron separados por edad; 4) datos con al menos 5 sujetos por grupo; 5) estudios con los resultados más recientemente publicados de una población particular 6) estudios donde los grupos estuvieran conformados por hombres adultos (i.e., 18-89 años de edad); 7) estudios en el cual el VO_2 máx. se haya medido directamente (no estimado); 8) estudios en los cuales el VO_2 máx. se haya obtenido por medio de la utilización del al menos un criterio objetivo (e.g., una meseta en el VO_2, índice de intercambio respiratorio >1.10; ver Ref. 11); 9) estudios en los cuales el protocolo de ejercicio se haya realizado en cinta o en cicloergómetro; y 10) estudios en los cuales participaran solamente poblaciones saludables (i.e., sin enfermedades manifestadas). La lista de los artículos incluidos en el meta-análisis puede obtenerse solicitándola a los autores.

Codificación de Variables

Subsiguientemente, las características importantes de todos los estudios relevantes localizados en la búsqueda de la literatura fueron clasificados y codificados. Para integrar las diferentes metodologías (sujetos, resultados, etc.), se

construyo una planilla de codificación. Las principales variables codificadas incluyeron a las siguientes: 1) características del estudio (revista, país, etc.); 2) características físicas de los sujetos (masa corporal, grasa corporal, etc.), 3) característica del programa de ejercicio (cinta, cicloergómetro, etc.); y 4) valores de VO_2 máx. y de la frecuencia cardiaca máxima.

Asignación del Grupo

Debido a que los estudios incluidos en el meta-análisis utilizaron diferentes términos para describir el nivel de ejercicio aeróbico de los sujetos en sus grupos, nosotros separamos y analizamos los grupos en las siguientes tres categorías definidas arbitrariamente: 1) entrenados en resistencia, hace referencia a la práctica regular de entrenamiento de la resistencia vigoroso (e.g., carrera, ciclismo, esquí a campo traviesa) ≥3 veces por semana durante >1 año; 2) activos, hace referencia a la práctica ocasional o irregular de entrenamiento aeróbico (e.g., caminar, basquetbol, danza) ≤2 veces por semana; y 3) sedentarios, hace referencia a aquellos que no practican ninguna clase de ejercicio aeróbico.

Análisis Estadísticos

Los datos del ejercicio en cinta y en cicloergómetro fueron evaluados conjuntamente y separadamente. No hubo diferencias en los resultados entre los dos análisis. Por lo cual, los datos de ambos modos de ejercicio fueron agrupados y están presentados conjuntamente. Debido que hemos mostrado previamente que los resultados ponderados (por medio del tamaño de la muestra) no fueron significativamente diferentes de los resultados no ponderados (5), en el presente meta-análisis no se utilizo un esquema de ponderación. De las variables dependientes claves, estuvieron disponibles para todos los grupos los datos completos sobre la edad, el VO_2 máx., y la masa corporal. Debido a que los valores de la frecuencia cardiaca máxima no se habían reportado en el 10-15% de los sujetos de los grupos, el análisis de esta variable fue realizado solamente con la base de datos disponible. Para discernir la posible influencia de los cambios en el entrenamiento relacionados a la edad sobre el VO_2 máx., se obtuvo una cantidad limitada de datos sobre el entrenamiento de hombres entrenados en resistencia (corredores). La intensidad de carrera, el kilometraje recorrido, la frecuencia y los años de entrenamiento estuvieron disponibles en 16 grupos (5 estudios), 52 grupos (28 estudios), 16 grupos (11 estudios) y 43 grupos (28 estudios). Debido a que la intensidad y duración del entrenamiento son marcadamente diferentes entre las diferentes actividades (e.g., correr vs. ciclismo), en el análisis se incluyeron solamente los datos sobre corredores.

Para determinar las asociaciones entre las variables se realizaron análisis de regresión lineal. En todos los casos, la edad fue utilizada como la variable de predicción. Los coeficientes de correlación producto-momento de Pearson fueron utilizados para indicar la magnitud y dirección de las relaciones entre las variables. Para determinar las diferencias entre las variables dependientes (e.g., VO_2 máx.) entre las poblaciones se utilizó el análisis de varianza ANOVA de una vía. Cuando se indicó una diferencia global, para hallar las diferencias entre las medias de los tres grupos, se utilizó el método de Tukey para comparaciones múltiples. Las pendientes de las rectas de regresión fueron comparadas usando el análisis de covarianza. Se utilizaron análisis de regresión múltiple con el modo por pasos para identificar determinantes independientes significativos para la disminución en el VO_2 máx. asociada a la edad. Debido a que en los factores del entrenamiento solamente estuvieron disponibles un número limitado de valores, estos no fueron incluidos en los análisis de regresión por pasos. Todos los datos están reportados como medias agrupadas ±DE. El nivel de significancia estadística fue establecido a una $p<0.05$ para todos los análisis.

RESULTADOS

Características de los Sujetos

Un total de 242 estudios, 538 grupos, y 13828 sujetos cumplieron con los criterios de inclusión. Hubo 214 grupos (n=6231) en la categoría de sedentarios, 159 grupos (n=5261) en la categoría de activos, y 165 grupos (n=1976) en la categoría de entrenados en resistencia (Tabla 1). La edad media global fue 5-6 años más alta en los hombres sedentarios en comparación con las poblaciones físicamente activas. El porcentaje de grasa corporal fue 6-8% menor en los entrenados en resistencia en comparación con los hombres activos y los sedentarios. Como se esperaba, el valor del VO_2 máx. para los hombres sedentarios fue el más bajo, el mayor en los hombres activos y fue el más alto en los hombres entrenados en resistencia.

Variable	Población		
	Sedentarios	Activos	Entrenados en Resistencia
Nro. de grupos	214	159	165
Nro. de Sujetos	6231	5621	1976
Edad (años)	43 ± 18	38 ± 17	37 ± 16
Talla (cm)	175 ± 5	176 ± 4	176 ± 5
Masa Corporal (kg)	77 ± 8	75 ± 5	68 ± 6
Grasa Corporal (%)	20 ± 4	18 ± 5	12 ± 3
VO_2 máx. (l/min)	2.8 ± 0.6	3.4 ± 0.6	4.1 ± 0.7
VO_2 máx. (ml/kg/min)	36.9 ± 8.2	46.4 ± 8.4	60.2 ± 9.1
Frecuencia Cardiaca Máxima (latidos/min)	178 ± 16	179 ± 13	182 ± 12

Tabla 1. *Datos descriptivos sobre las tres poblaciones del estudio. Los valores son presentados como medias±DE. VO_2 máx., consumo máximo de oxígeno.*

La Tabla 2 presenta los valores medios para las características seleccionadas de los sujetos. En las tres poblaciones, la masa corporal no cambió con el avance de la edad. El porcentaje de grasa corporal se incremento con la edad tanto en la población de sujetos sedentarios como en la población de sujetos activos ($p<0.001$), mientras que no se observaron cambios en la población de sujetos entrenados en resistencia.

Variable	Grupos por Edad (años)					
	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	>70
Sujetos Sedentarios						
Nro. de Grupos	76	31	22	26	50	9
Edad (años)	24 ± 3	34 ± 3	45 ± 3	55 ± 3	65 ± 2	74 ± 4
Talla (cm)	176 ± 5	177 ± 4	174 ± 5	176 ± 2	173 ± 5	172 ± 3
Masa Corporal (kg)	73.7 ± 8.1	77.8 ± 6.1	78.0 ± 7.7	81.1 ± 5.8	78.5 ± 7.0	75.0 ± 4.9
Grasa Corporal (%)	17 ± 4	20 ± 3	20 ± 3	22 ± 4	23 ± 5	25 ± 0
Sujetos Activos						
Nro. de Grupos	80	18	17	16	25	3
Edad (años)	24 ± 3	34 ± 4	45 ± 3	56 ± 3	65 ± 3	73 ± 3
Talla (cm)	176 ± 5	174 ± 6	177 ± 3	176 ± 4	175 ± 3	174 ± 1
Masa Corporal (kg)	73.2 ± 5.4	76.8 ± 6.9	78.5 ± 4.4	76.5 ± 3.6	75.9 ± 3.9	74.4 ± 2.5
Grasa Corporal (%)	15 ± 3	18 ± 4	21 ± 5	21 ± 4	21 ± 4	30 ± 0
Sujetos Entrenados en Resistencia						
Nro. de Grupos	93	16	14	14	25	3
Edad (años)	25 ± 3	34 ± 2	46 ± 2	56 ± 3	64 ± 2	72 ± 2
Talla (cm)	178 ± 3	176 ± 5	171 ± 7	171 ± 7	171 ± 6	168 ± 9
Masa Corporal, (kg)	69.8 ± 4.5	67.9 ± 5.0	65.8 ± 7.9	65.4 ± 6.1	66.7 ± 6.8	62.4 ± 5.0
Grasa Corporal (%)	10 ± 3	12 ± 2	13 ± 2	13 ± 3	14 ± 3	14 ± 2

Tabla 2. *Valores medios de las características de los sujetos por grupos de edad. Los valores son presentados como medias±DE.*

Tasa de Disminución en el VO_2 máx

La Figura 1 muestra la disminución en el VO_2 máx. en tres poblaciones. El VO_2 máx. estuvo fuertemente e inversamente correlacionado a la edad en cada una de las tres poblaciones ($r=-0.80$ a -0.88, todas las $p<0.001$). La disminución en el VO_2

máx. con el incremento en la edad de los sujetos del grupo fue similar entre las tres poblaciones de sujetos. Cuando los datos se expresaron como la disminución porcentual a partir de los niveles medios a la edad de ~25 años, la tasa de disminución del VO_2 máx. tampoco fue diferente entre los tres grupos (Figura 2). A cualquier edad, los valores del VO_2 máx. fueron los más altos en el grupo de los entrenados en resistencia y los más bajos en el grupo de los sedentarios.

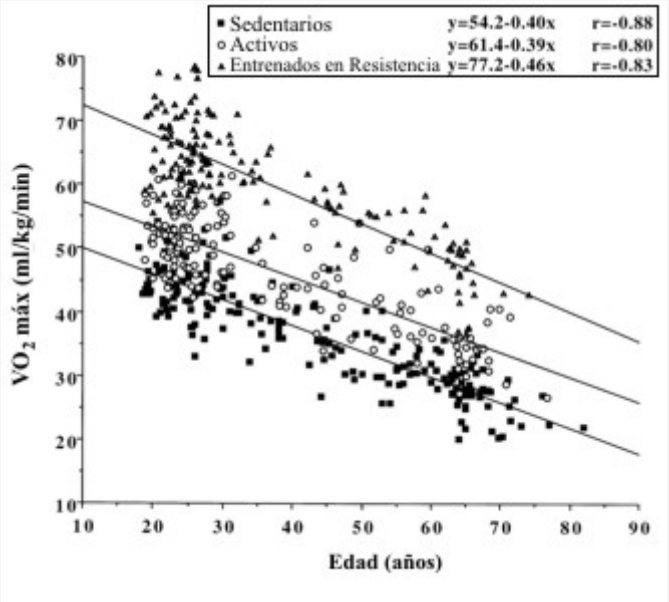

Figura 1. *Correlación entre el consumo máximo de oxigeno (VO_2 máx.) y el incremento de la edad de los sujetos en los grupos de las tres poblaciones del estudio. Las tasas de disminución del VO_2 máx. con la edad no fueron diferentes entre las tres poblaciones.*

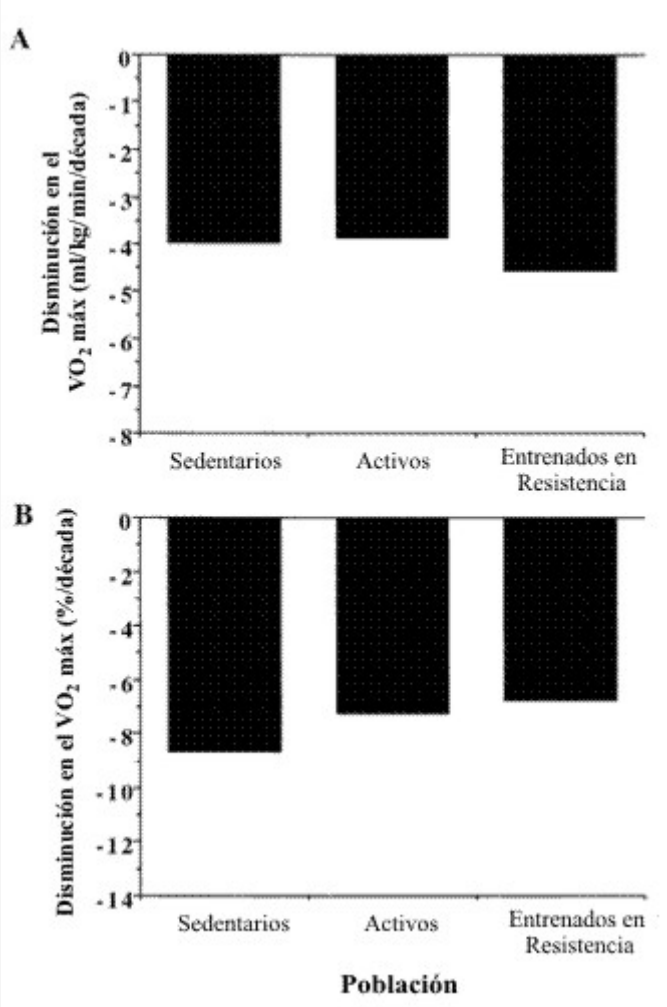

Figura 2. *Tasas medias de disminución en el VO_2 máx. con el avance de la edad en las tres poblaciones del estudio. Tanto la tasa absoluta de disminución (A) como la tasa porcentual de disminución (B) fueron similares.*

Tasa de Disminución en la Frecuencia Cardiaca Máxima

Como se muestra en la Figura 3, la frecuencia cardiaca máxima estuvo fuertemente e inversamente correlacionada con la edad de los sujetos de los grupos en cada una de las tres poblaciones (r=-0.88 a -0.93, todas a un nivel de significancia de $p<0.001$). La disminución en la frecuencia cardiaca asociada a la edad no fue diferente entre las tres poblaciones.

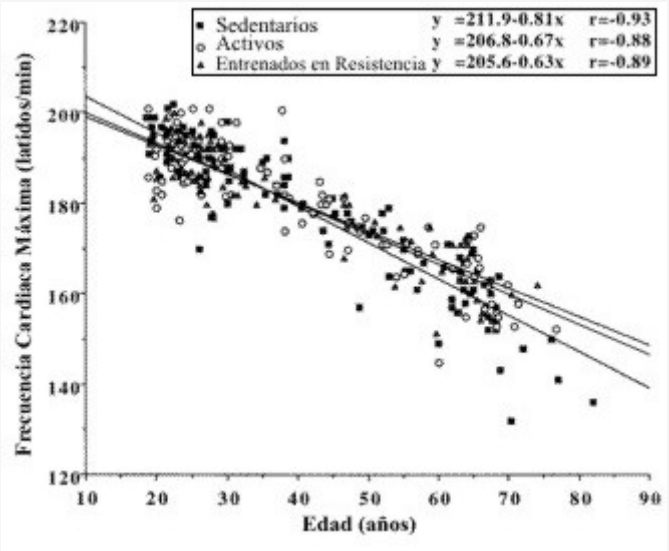

Figura 3. *Correlación entre la frecuencia cardiaca máxima y el incremento de la edad de los sujetos de los grupos en las tres poblaciones. No hubo diferencias grupales entre las tasas de disminución de la frecuencia cardiaca máxima con el avance de la edad.*

Cambios en los Factores de Entrenamiento Asociados a la Edad en los Hombres Entrenados en Resistencia

La Figura 4 muestra los datos del entrenamiento de los hombres entrenados en resistencia. El kilometraje recorrido semanalmente y la velocidad de carrera estuvieron inversamente correlacionadas a la edad (r= -0.60 a 0.77, $p<0.001$), mientras que los años de entrenamiento estuvieron positivamente asociados a la edad (r=0.60, $p<0.001$). La frecuencia semanal de entrenamiento fue similar a lo largo de todo el rango de edades. Hubo correlaciones significativas tanto entre el VO_2 máx. y el kilometraje corrido (r=0.73, $p<0.001$) como entre el VO_2 máx. y la velocidad (r=0.91, $p<0.001$).

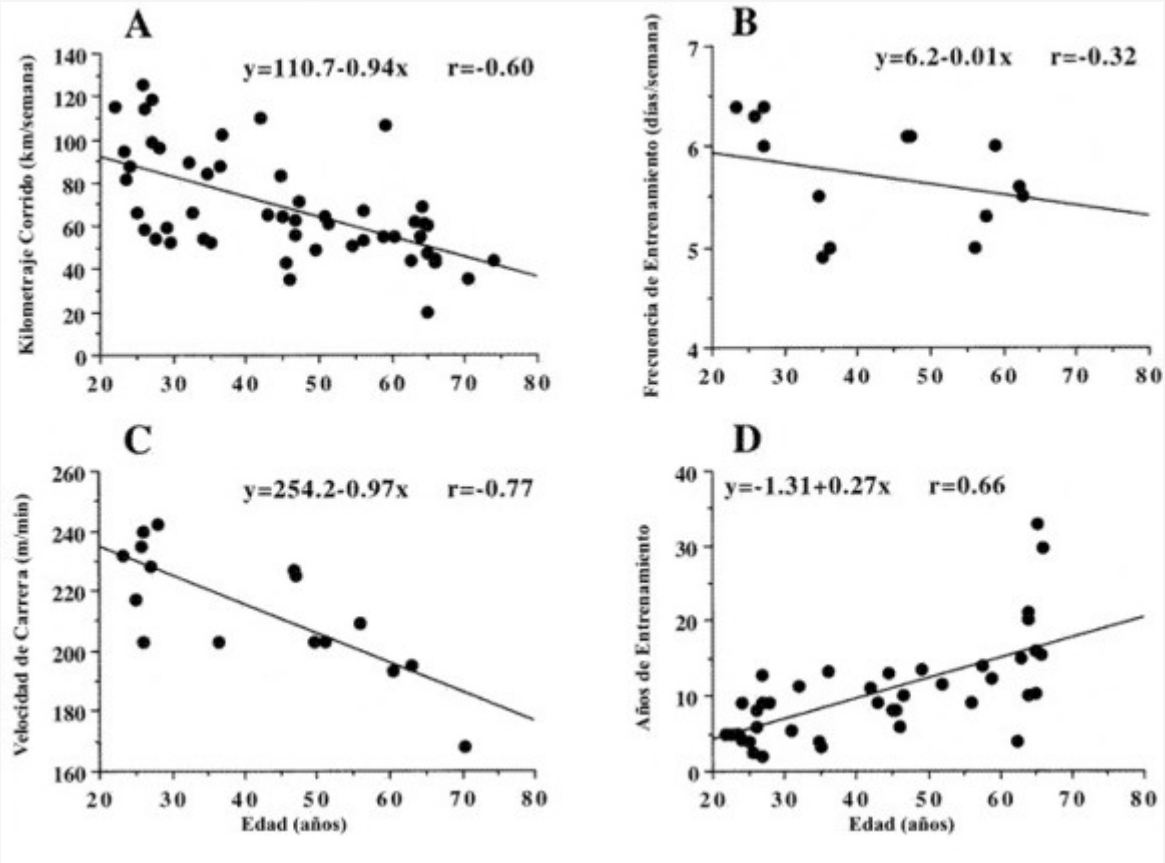

Figura 4. *Kilometraje corrido semanalmente (A), frecuencia (B), velocidad (C) y años de entrenamiento (D) de los corredores entrenados en resistencia. Hubo disminuciones significativas en el kilometraje recorrido y en la velocidad, aunque los años de entrenamiento se incrementaron con la edad.*

Correlaciones de la Disminución en el VO_2 máx Asociada a la Edad

La Tabla 3 presenta las variables de predicción significativas para la reducción en el VO_2 máx. asociada a la edad, valoradas por medio de los análisis de regresión múltiple por pasos. En todas las poblaciones, la edad fue la principal variable de predicción del VO_2 máx., explicando el 65-75% de la varianza total. La segunda variable de predicción en los grupos entrenados en resistencia y activos fue la masa corporal, la cual explicó un 3 y un 10% adicional de la varianza, respectivamente. En los grupos de sujetos sedentarios, la frecuencia cardiaca máxima apareció como la segunda variable de predicción y explicó un 2% adicional de la varianza. Debido a que en el 10-20% de los sujetos no se habían reportado los valores porcentaje de grasa corporal y de masa libre de grasa, se realizaron análisis separados con y sin la inclusión de estas variables. Los resultados fueron esencialmente los mismos.

Población	Variable de Predicción Nro 1 (r^2)	Variable de Predicción Nro 2 (r^2 Acumulativa)
Sedentarios	Edad (0.75)	Frecuencia Cardiaca Máxima (0.77)
Activos	Edad (0.65)	Masa Corporal (0.76)
Entrenados en Resistencia	Edad (0.72)	Masa Corporal (0.74)

Tabla 3. *Análisis de regresión múltiple por pasos para la predicción de los factores responsables de la disminución asociada a la edad en el VO_2 máx.*

DISCUSION

El hallazgo principal del presente estudio es que, de manera contraria con nuestros hallazgos previos en mujeres, la tasa de declinación en el VO_2 máx. con el avance de la edad no fue diferente entre sujetos con distintos niveles habituales de ejercicio. Estos resultados sugieren que los hombres sedentarios que son saludables y que experimentan un envejecimiento sin problemas demuestran tasas de declinación en el VO_2 máx. similares a las de hombres altamente entrenados en resistencia.

En el área del envejecimiento, el ejercicio y la función cardiovascular, se ha establecido y promovido ampliamente el concepto de que la tasa de disminución de la capacidad aeróbica máxima con la edad esta marcadamente atenuada en los adultos que realizan ejercicio aeróbico regular. En contraste, nuestros presentes hallazgos indican que tanto las tasas absolutas como relativas de la disminución de la capacidad aeróbica máxima no fueron diferentes entre hombres entrenados en resistencia, hombres dactivos y sedentarios. Hay al menos tres líneas independientes de evidencias que respaldan nuestros hallazgos. Primero, ya desde 1977, Hodgson y Buskirk (9) reportaron datos de una disertación, mostrando que no había asociación entre el nivel de entrenamiento de resistencia y la tasa de disminución del VO_2 máx. asociada a la edad. Segundo, en un artículo de revisión, Saltin (22) presento datos no publicados que demostraban que la tasa promedio de disminución del VO_2 máx. con la edad era esencialmente la misma en deportistas de deportes de orientación entrenados en resistencia y en controles saludables. Tercero, estudios longitudinales recientes en hombres entrenados en resistencia reportaron tasas de disminución del VO_2 máx. similares a las reportadas previamente para hombres sedentarios (7, 18, 25). Tomados conjuntamente, estos resultados sugieren que la tasa de disminución en el VO_2 máx. asociada a la edad no esta relacionada al nivel habitual de ejercicio en hombres saludables.

Nosotros queremos enfatizar que, aunque la tasa de disminución del VO_2 máx. con la edad fue similar entre los tres grupos, los hombres entrenados en resistencia a cualquier edad poseen mayores niveles absolutos de capacidad funcional fisiológica que los hombres sedentarios. De esta manera los hombres que regularmente realizan ejercicio aeróbico son capaces de realizar tareas físicas que no pueden ser realizadas por sus pares sedentarios (27). Además, en base a datos epidemiológicos (1, 2, 10) los hombres físicamente activos tienen menor riesgo de mortalidad prematura y de discapacidad funcional.

Los presentes resultados en hombres difieren de nuestros hallazgos previos en mujeres (5, 23). Como se describió anteriormente, hemos hallado previamente que la tasa absoluta, pero no la relativa, de disminución del VO_2 máx. con la edad es mayor en las mujeres con mayor actividad física y menor en las mujeres menos activas. Interesantemente, las diferencias sexuales en la reducción del VO_2 máx. asociada a la edad están en concordancia con un estudio previo realizado por Ogawa y cols. (14). Ogawa y cols. estudiaron solamente hombres y mujeres jóvenes y ancianos (i.e., no hubo una distribución continua de la edad), pero el desarrollo de la regresión lineal utilizando sus datos medios indicó que las mujeres entrenadas en resistencia mostraban una tasa absoluta de disminución del VO_2 máx. un 50% mayor que las mujeres sedentarias. En contraste, la tasa de disminución del VO_2 máx. asociada a la edad fue similar en hombres entrenados en resistencia y en hombres sedentarios (14). Tomados conjuntamente, estos resultados indican que la relación entre el nivel de ejercicio habitual y la tasa de disminución en el VO_2 máx. asociada a la edad podría depender del género. Es tentador especular que las mayores reducciones en el VO_2 máx. en las mujeres físicamente activas en comparación con los hombres puede ser responsable de las mayores tasas de disminución en el rendimiento de resistencia con la edad, observadas previamente en mujeres (4, 24). No esta claro porque la relación entre el entrenamiento de resistencia y la disminución en el VO_2 máx. asociada a la edad es dependiente del género. Un posibilidad es que las mujeres entrenadas en resistencia experimentan una mayor reducción asociada a la edad en el volumen sistólico máximo con su respectivo efecto sobre el gasto cardiaco máximo y subsecuentemente sobre el VO_2 máx. En este contexto, en el estudio de Ogawa y cols. (14) mencionado anteriormente, se reportó que la tasa de disminución en el volumen sistólico (ml/kg) asociado a la edad fue ~60% mayor en mujeres entrenadas vs. mujeres sedentarias, mientras que en los hombres, la magnitud de la reducción fue similar entre los dos grupos. De manera similar, en el presente meta-análisis, cuando graficamos un número limitado de valores disponibles para el gasto cardiaco máximo en hombres sedentarios (5 estudios, 7 grupos) y en hombres entrenados en resistencia (5 estudios, 12 grupos), las tasas de disminución fueron similares en los hombres sedentarios (-2.6 l/min/década) y en los hombres entrenados en resistencia (-2.4 l/min/década) (datos no mostrados). De manera alternativa, también es posible que factores independientes a los cambios fisiológicos verdaderos (e.g., factores sociológicos) puedan contribuir a estas observaciones. Por ejemplo, es menor el número de mujeres ancianas bien entrenadas que compiten que hombres. Esto puede contribuir a la mayor tasa de disminución en la máxima capacidad aeróbica con la edad en mujeres entrenadas en resistencia (13).

Se piensa que la disminución más lenta en la frecuencia cardiaca máxima con el avance de la edad en adultos entrenados es un factor principal que contribuye a la tasa más lenta de disminución en el VO_2 máx. (6, 8). En el presente estudio, no hubo diferencias grupales en la tasa de disminución de la frecuencia cardiaca con la edad. Los presentes hallazgos son

consistentes con nuestro estudio previo en mujeres (5, 23). De hecho, las tasas de disminución en la frecuencia cardiaca máxima asociadas con la edad y las ecuaciones de regresión son muy similares en hombres y en mujeres. Tomados conjuntamente, estos resultados sugieren que la tasa de disminución de la frecuencia cardiaca no esta asociada con el nivel de ejercicio habitual ni con el género.

El ejercicio habitual desempeña un rol principal en la determinación del VO_2 máx. (16). En el presente estudio, la duración de la carrera y la intensidad disminuyeron significativa y progresivamente con el avance de la edad. El kilometraje de carrera, por ejemplo, diminuyó en un 50% desde la edad de 20 años hasta la edad de 70 años. Estas observaciones respaldan el enfoque de que los niveles globales de ejercicio aeróbico diminuyen marcadamente con la edad, en adultos entrenados en resistencia (19, 23). Además, en hombres entrenados en resistencia, hemos observado fuertes y significativas asociaciones tanto entre el VO_2 máx. y el kilometraje de carrera como entre el VO_2 máx. y la intensidad de entrenamiento. Debido a que conceptualmente, los hombres sedentarios no están realizando ningún tipo de ejercicio aeróbico a través del rango de edad, la magnitud de la disminución en los niveles de actividad física es mucho mayor en los hombres físicamente activos. Estos resultados sugieren que los efectos combinados de la disminución en estos factores del entrenamiento pueden haber contribuido a disminuir significativamente el VO_2 máx. con la edad en hombres entrenados en resistencia. En este contexto, se ha reportado que la capacidad aeróbica máxima puede ser mantenida a lo largo de períodos de 10 a 20 años en hombres de mediana edad que son capaces de mantener altos niveles de entrenamiento aeróbico (17, 21). Debería señalarse que nuestros resultados no difieren de los hallazgos de estos estudios previos. Más bien, nuestros resultados sugieren que en promedio la tasa de declinación en el VO_2 máx. no esta asociada con el nivel de ejercicio aeróbico cuando se considera el lapso normal de la vida adulta. El presente estudio tiene al menos dos limitaciones importantes. Primero, no podemos descontar la posibilidad de que la genética u otros factores constitutivos puedan influenciar los hallazgos del presente estudio transversal. Sin embargo, se enfatiza que en nuestros estudios previos (5, 23), se ha demostrado que, cuando se combinan análisis transversales y longitudinales en la misma población de sujetos, la estimación de la tasa promedio de disminución del VO_2 máx. con la edad es similar para los dos enfoques (21, 15, 22). Sin embargo, para proporcionar un conocimiento más definitivo con respecto a este tema, serán necesarios estudios longitudinales. Segundo, una de las fortalezas del presente estudio es la utilización del meta-análisis que nos permitió sistemáticamente integrar un gran número de estudios. Sin embargo, deberíamos enfatizar que una limitación del meta-análisis es la falta de control experimental principalmente debido a la heterogeneidad de los métodos utilizados entre los estudios individuales que conformaron la base de datos. Es necesario un estudio de laboratorio bien controlado para complementar los hallazgos del presente estudio.

En resumen, los hallazgos obtenidos en este estudio transversal y meta-analítico no respaldan la hipótesis acerca de que en los hombres, la tasa de disminución en el VO_2 máx. con el avance de la edad esta relacionada al nivel habitual de ejercicio. Así, estos resultados sugieren que los hombres sedentarios que son saludables y que experimentan un envejecimiento sin problemas muestran tasas similares de disminución del VO_2 máx. que los hombres con un alto nivel de actividad física.

Agradecimientos

Este trabajo fue respaldado por una beca del National Institute on Aging AG-00847 y por una beca de la American Heart Association 9960234Z.

Dirección para el pedido de reimpresiones y otra correspondencia

H. Tanaka, Dept. of Kinesiology and Applied Physiology, Campus Box 354, Univ. of Colorado at Boulder, Boulder, CO 80309-0354 (correo electrónico: tanakah@colorado.edu).

REFERENCIAS

1. Blair, S. N., H. W. Kohl, C. E. Barlow, R. S. Paffenbarger, L. W. Gibbons, and C. A. Macera (1995). Changes in physical fitness and all-cause mortality. *JAMA 273: 1093-109*
2. Blair, S. N., H. W. Kohl, R. S. Paffenbarger, D. G. Clark, K. H. Cooper, and L. W. Gibbons (1989). Physical fitness and all-cause mortality: a prospective study of men and women. *JAMA 262: 2395-2401*
3. Buskirk, E. R., and J. L. Hodgson (1987). Age and aerobic power: the rate of change in men and women. *Federation Proc. 46: 1824-1829*
4. Dempsey, J. A., and D. R. Seals (1995). Aging, exercise, and cardiopulmonary function. *In: Perspectives in Exerc. Sci. and Sports Med: Exerc. in Older Adults, ed. by Lamb, Gisolfi, and Nadel. Carmel, IN: Cooper, vol. 8, p. 237-304*
5. FitzGerald, M. D., H. Tanaka, Z. V. Tran, and D. R. Seals (1997). Age-related decline in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary females: a meta-analysis. *J. Appl. Physiol. 83: 160-165*

6. Hagberg, J. M (1987). Effect of training on the decline of VO2 max with aging. *Federation Proc. 46: 1830-1833*
7. Hagerman, F. C., R. A. Fielding, M. A. Fiatarone, J. A. Gault, D. T. Kirkendall, K. E. Ragg, and W. J. Evans (1996). A 20-yr longitudinal study of Olympic oarsmen. *Med. Sci. Sports Exerc. 28: 1150-1156*
8. Heath, G. W., J. M. Hagberg, A. A. Ehsani, and J. O. Holloszy (1981). A physiological comparison of young and older endurance athletes. *J. Appl. Physiol. 51: 634-640*
9. Hodgson, J. L., and E. R. Buskirk (1977). Physical fitness and age, with emphasis on cardiovascular function in the elderly. *J. Am. Geriatr. Soc. 25: 385-392*
10. Holloszy, J. O., and W. M. Kohrt (1995). Exercise. *In: Handbook of Physiology: Aging, edited by E. J. Masoro. New York: Oxford Univ. Press, sect. 11, p. 633-666*
11. Howley, E. T., D. R. Bassett, and H. G. Welch (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med. Sci. Sports Exerc. 27: 1292-1301*
12. Jackson, A. S., E. F. Beard, L. T. Wier, R. M. Ross, J. E. Stuteville, and S. N. Blair (1995). Changes in aerobic power of men, ages 25-70 yr. *Med. Sci. Sports Exerc. 27: 113-120*
13. Joyner, M. J (1993). Physiological limiting factors and distance running: influence of gender and age on record performances. *In: Exercise and Sport Science Reviews, edited by J. O. Holloszy. Baltimore, MD: Williams & Wilkins, vol. 21, p. 103-133*
14. Ogawa, T., R. J. Spina, W. H. Martin, W. M. Kohrt, K. B. Schechtman, J. O. Holloszy, and A. A. Ehsani (1992). Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation 86: 494-503*
15. Plowman, S. A., B. L. Drinkwater, and S. M. Horvath (1979). Age and aerobic power in women: a longitudinal study. *J. Gerontol. B Psychol. Sci. Soc. Sci. 34: 512-520*
16. Pollock, M. L (1973). The quantification of endurance training programs. *In: Exercise and Sports Sciences Reviews, edited by J. Wilmore. New York: Academic, vol. 1, p. 155-188*
17. Pollock, M. L., C. Foster, D. Knapp, J. L. Rod, and D. H. Schmidt (1987). Effect of age and training on aerobic capacity and body composition of master athletes. *J. Appl. Physiol. 62: 725-731*
18. Pollock, M. L., L. J. Mengelkoch, J. E. Graves, D. T. Lowenthal, M. C. Limacher, C. Foster, and J. H. Wilmore (1997). Twenty-year follow-up of aerobic power and body composition of older track athletes. *J. Appl. Physiol. 82: 1508-1516*
19. Rivera, A. M., A. E. Pels, S. P. Sady, M. A. Sady, E. M. Cullinane, and P. D. Thompson (1989). Physiological factors associated with the lower maximal oxygen consumption of master runners. *J. Appl. Physiol. 66: 949-954*
20. Robinson, S (1938). Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiology 10: 251-323*
21. Rogers, M. A., J. M. Hagberg, W. H. Martin, A. A. Ehsani, and J. O. Holloszy (1990). Decline in VO2 max with aging in master athletes and sedentary men. *J. Appl. Physiol. 68: 2195-2199*
22. Saltin, B (1986). The aging endurance athlete. *In: Sports Medicine for the Mature Athlete, edited by J. R. Sutton, and R. M. Brock. Indianapolis, IN: Benchmark, p. 59-80*
23. Tanaka, H., C. A. DeSouza, P. P. Jones, E. T. Stevenson, K. P. Davy, and D. R. Seals (1997). Greater rate of decline in maximal aerobic capacity with age in physically active vs. sedentary healthy women. *J. Appl. Physiol. 83: 1947-1953*
24. Tanaka, H., and D. R. Seals (1997). Age and gender interactions in physiological functional capacity: insight from swimming performance. *J. Appl. Physiol. 82: 846-851*
25. Trappe, S. W., D. L. Costill, M. D. Vukovich, J. Jones, and T. Melham (1996). Aging among elite distance runners: a 22-yr longitudinal study. *J. Appl. Physiol. 80: 285-290*
26. Van Boxtel, M. P. J., F. G. W. Paas, P. J. Houx, J. J. Adam, J. C. Teeken, and J. Jolles (1997). Aerobic capacity and cognitive performance in a cross-sectional aging study. *Med. Sci. Sports Exerc. 29: 1357-1365*
27. WHO Study Group (1993). Aging and Working Capacity. *Geneva, Switzerland: World Health Organization*

Cita Original

Teresa M. Wilson and Hirofumi Tanaka. Meta-analysis of the age-associated decline in maximal aerobic capacity in men: relation to training status. Am J Physiol Heart Circ Physiol; 278: H829-H834, 2000