PubliCE, (PubliCE) 1997

Research

33 Años de Seguimiento del Consumo de Oxígeno Pico y Variables relacionadas de antiguos Estudiantes de Educación Física

Per O Åstrand[1], Ulf Bergh[2] y Åsa Kilbom[3]

[1]*Department of Physiology and Pharmacology, Karolinska Institutet, SE-171 77 Stockholm, Sweden.*
[2]*National Defence Research Establishment, S-172 90 Sundbyberg, Suecia.*
[3]*National Institute for Working Life, S-171-84 Solna, Suecia.*

RESUMEN

En 1949, 27 mujeres y 26 varones estudiantes de educación física fueron estudiados a la edad promedio de 22 y 25 años respectivamente. Fueron reestudiados en 1970 y en 1982. Las mediciones incluyeron el consumo de oxígeno, la frecuencia cardiaca y la ventilación pulmonar durante ejercicio submáximo y máximo en cicloergómetro y cintaergómetro. Luego de 21 años el pico de potencia aeróbica se redujo significativamente, desde 2.90 a 2.18 l/min y desde 4.09 a 3.28 l/min en mujeres y hombres, respectivamente. Después de otros 12 años, los valores máximos de 1970 no sufrieron reducciones adicionales. Desde 1949 a 1982 hubo una disminución en la frecuencia cardiaca pico desde 196 a177 latidos/min en mujeres y desde 190 a 175 latidos/min en hombres ($p<0.05$). El valor más alto de ventilación pulmonar no cambió significativamente. A un consumo de oxígeno de 1.5 l/min, la frecuencia cardiaca fue la misma en 1949 y 1982. En conclusión, el nivel de aptitud física de los sujetos estuvo por sobre el promedio para esas edades. Desde 1970 a 1982 no hubo una disminución en la potencia aeróbica pico, un hallazgo posiblemente relacionado a un incremento del nivel de actividad física habitual.

Palabras Clave: ejercicio máximo y submáximo, frecuencia cardíaca, función pulmonar, edad, estudio longitudinal

INTRODUCCION

El consumo máximo de oxígeno disminuye a una tasa de ~10% por década en personas sedentarias después de la edad de 25 años (Ref 14; para referencias adicionales, ver Refs. 16, 26). En base a una extensiva revisión de la literatura, Shvartz y Reibold (25) concluyeron que entre los 50 y los 75 años la disminución es de ~15% por década (consumo máximo de oxígeno en l/min). Se ha reportado que en atletas masters la disminución en el consumo de máximo de oxígeno es de alrededor de 5% por década (23). La mayoría de los datos que contribuyeron a estos reportes son de estudios transversales. Un hallazgo común es que el entrenamiento a lo largo de varios meses puede incrementar el consumo máximo de oxígeno en ~20% (sin embargo, con marcadas diferencias individuales en la respuesta, ver Ref. 6, Ref. 8, cap. 10). La adaptación del sistema de transporte de oxígeno al entrenamiento es de la misma magnitud relativa dentro del rango de los 20 a 70-80 años, y la respuesta es independiente del sexo (ver Ref. 19).

La disminución con la edad del consumo máximo de oxígeno y de otros parámetros de importancia para la aptitud física es un efecto de cambios aparentemente inevitables en parámetros fisiológicos, ej. 1) reducción de la frecuencia cardiaca (3, 22) y como consecuencia un gasto cardiaco reducido, y 2) pérdida de motoneuronas y de este modo de unidades motoras y masa muscular (ver Ref. 7). Además, las personas ancianas tienen un estilo de vida más sedentario que cuando eran jóvenes. Como ha sido señalado por Jackson y cols. (15, 16), la disminución en la potencia aeróbica máxima a través del tiempo se debe no solamente al envejecimiento, sino también ha variables relacionadas con el estilo de vida, tales como ejercicio y composición corporal. En 1949, 44 mujeres y 42 hombres que eran estudiantes de educación física (rango de edad desde 20 a 33 años) fueron participantes en un estudio que incluyó mediciones submáximas y máximas del consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca en cicloergómetro o en cinta. Además, se midieron volúmenes pulmonares estáticos y dinámicos (4). En 1970, 35 de las mujeres y 31 de los varones fueron reestudiados (3). En 1982, 27 mujeres y 26 varones, ahora 33 años mayores y aún capaces de realizar ejercicios máximos, fueron reexaminados. Esta reexaminación ofreció un oportunidad única para estudiar el efecto de la interacción de la actividad física habitual y el envejecimiento sobre la potencia aeróbica máxima.

Desde luego, este es de algún modo un grupo único. Sin embargo, una ventaja es que la elección de estudiantes de educación física indicaba que estos estaban muy interesados y comprometidos con la actividad física personal. La elección de estudiantes de educación física provee alguna garantía contra un sesgo en la estimación de la actividad física a lo largo de la vida de los sujetos. Para nuestro conocimiento, hasta ahora no se ha reportado ningún estudio longitudinal que incluyera tanto mujeres como hombres seguidos por un período de tiempo similarmente largo, 33 años.

METODOS

Diseño Experimental

Elección de los Sujetos

De las 35 mujeres estudiadas en 1970, una no quiso volver a participar nuevamente, una tenía dirección desconocida en el extranjero, y seis no podían realizar ejercicios máximos [2 tenían enfermedad cardiaca coronaria (CHD), 1 tenía cáncer en una de sus piernas, y las otras 3 tenían problemas locomotores]. De esta manera, el grupo se redujo a 27 sujetos. De los 31 hombres estudiados en 1970, uno no respondió a nuestra invitación, dos se rehusaron a participar, uno tenía CHD, y uno había muerto de cáncer. De esta manera, el grupo de varones se redujo a 26 sujetos. Todos participaron voluntariamente luego de ser informados acerca de la naturaleza y los posibles riesgos de los procedimientos. El proyecto fue aprobado por el Comité de Ética del Instituto Karolinska en Estocolmo, Suecia.

Programa

El día 1 consistió de una entrevista para responder a un cuestionario (ver entrevista), de una examinación física, espirometría, cicloergometría submáxima y máxima, una almuerzo ligero, y las mediciones de potasio total y de la fuerza muscular de brazos, tronco y piernas.

En el Día 2 se realizaron ecocardiogramas, tomografía axial computada de brazos, tronco y piernas, un almuerzo ligero, caminata en cinta a 5 km/h; trabajos en cicloergómetro a tasas de trabajo submáximo, esfuerzo máximo en cinta, y biopsia muscular del vasto lateral. (Los datos de las mediciones de potasio total, de la fuerza muscular de brazos, tronco y piernas, del ecocardiograma, y de la tomografía computada de brazos, tronco y piernas serán reportados por separado en otro artículo).

Entrevista

Los sujetos fueron entrevistados en lo concerniente a su estado de salud desde la examinación previa (1970), hábitos como el cigarrillo, ocupación actual y actividad física habitual. Los hábitos de actividad física fueron puestos en una escala de cinco grados en base a la intensidad, duración y frecuencia de las demandas aeróbicas durante el trabajo y el tiempo libre. Para la graduación del trabajo, se considero también la manipulación de cargas pesadas. Se creó un índice de estas actividades multiplicando por dos las horas de ejercicio vigoroso semanal y adicionando las horas de actividad física liviana.

Se realizó un examen físico que estuvo enfocado en los sistemas cardiovascular, pulmonar y músculo esquelético e incluyo la medición de la presión sanguínea de reposo con los sujetos en posición supina. Para la valoración de problemas de salud clínicamente significativos, la historia clínica y los resultados de la examinación física constituyeron las bases de la evaluación, junto con los registros electrocardiográficos de reposo y durante el ejercicio en cicloergómetro, perfil

sanguíneo y examinaciones espirométricas.

Procedimientos

En el Día 1 los sujetos realizaron de tres a cuatro series de ejercicio a intensidades submáxima y una serie a intensidad máxima, en un cicloergómetro con cupla mecánica (Monark). El tiempo para cada serie fue de 6-8 min, con unos pocos minutos de recuperación entre los períodos de ejercicio. La duración del ejercicio máximo fue, en promedio, de 5.8 min (rango de 2.15 – 10.50 min) para las mujeres y de 6.0 min (3.80 – 8.90 min) para los hombres. La tasa de pedaleo fue de 50 revoluciones/min (rpm) para el ejercicio submáximo y 50 o 60 rpm para el ejercicio máximo, según era decidido por cada sujeto. Dentro del minuto posterior al ejercicio y también ~3 min después del esfuerzo máximo, se tomaron muestras de sangre de la punta del dedo de una de las manos previamente calentada, para el análisis de lactato. El electrocardiograma se registró durante el reposo en posición supina (I, II, II, aVR, aVL, aVF, V1-V6) y durante el ejercicio (CH 1, 2 , 4, 6).

En el Día 2 los sujetos caminaron en una cinta motorizada horizontal a una velocidad de 5 km/h. Luego de dos a tres tasas de trabajo submáximas adicionales en el cicloergómetro, dependiendo de los resultados del día anterior y siguiendo un protocolo similar, los sujetos corrieron en la cinta con el propósito de alcanzar el mayor consumo de oxígeno posible. Debido a que se conocía el pico de consumo de oxígeno, a partir de la evaluación en cicloergómetro del día anterior, se eligió una velocidad y pendiente de la cinta que demandara ~90% de ese valor pico. La pendiente y/o la velocidad se incrementaron de manera incremental de manera tal que los sujetos llegaran al agotamiento después de ~6 min. La frecuencia cardiaca se midió con un monitor de la frecuencia cardiaca (sporttester P-O 300, Polar Electro).

Mediciones

El consumo de oxígeno fue determinado utilizando la técnica de bolsas de Douglas, y el volumen de aire espirado fue medido con un espirómetro equilibrado. El tiempo para la recolección de aire espirado durante el esfuerzo máximo fue de ~0.8 min, y en algunos casos fue de solo 0.5 min. Las muestras de gases fueron analizadas por medio de un espectrómetro de masas (Centronics MGA 200) calibrado con mezcla de gases analizados por medio de la técnica de Haldane. La concentración de lactato fue analizada por medio del método modificado de Barker-Summerson (28). El responsable del perfil químico de la sangre fue Laboratorios Médicos CALAB, Estocolmo, Suecia (una compañía que provee servicios a hospitales en la región de Estocolmo). Las espirometrías estática y dinámica fueron realizadas utilizando el método de dilución con helio en un sistema espirométrico cerrado y un espirómetro Bernstein, respectivamente.

Se calcularon rectas de regresión individuales para los datos sobre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno registrados a intensidades submáximas de ejercicio en cicloergómetro. De allí se interpolaron las frecuencias cardiacas que correspondían al consumo de oxígeno de 1.5 y 2.0 l/min para todos los sujetos, y también a 2.5 l/min para hombres. La temperatura de la habitación se mantuvo entre 18 y 20º C.

Análisis Estadísticos

Se utilizó el análisis de varianza para analizar las diferencias entre sexo y edad, excepto para el índice de actividad física, para lo cual se utilizo el test de probabilidad de Fisher. Las diferencias se consideraron significativas a valores de $p<0.05$.

RESULTADOS

Ocupación y Estado de Salud

En la primera examinación en 1982, participaron 29 mujeres y 27 hombres. Dieciséis mujeres y dieciséis hombres todavía trabajaban como profesores de educación física. Uno de los hombres se había retirado, y los otros habían cambiado de profesión, en la mayoría de los casos a profesiones más sedentarias, principalmente de carácter administrativo. Cuatro mujeres y seis hombres eran fumadores. Todas las mujeres excepto dos habían pasado la menopausia. Debido a enfermedad cardiaca coronaria, dos mujeres y un hombre de los individuos examinados no realizaron ejercicio máximo, y por ello no fueron incluidos en los siguientes resultados.

En general, el estado de salud de los sujetos era razonablemente bueno (Tabla 1). Los trastornos más comunes eran del sistema músculo esquelético. En comparación con una selección aleatoria de la población de Estocolmo que estaba por encima de los 45 años, no se halló predominio en los síntomas subjetivos de trastornos músculo esqueléticos de cuello, hombros, o espalda baja (12). No se realizaron comparaciones para los problemas de las piernas, debido a diferencias en los criterios de diagnostico entre el presente estudio y el de Hagberg y Hogstedt (12). Los hombres que todavía trabajaban como profesores de educación física tuvieron una tendencia a reportar un mayor predominio de problemas en las piernas

(test de Fisher, p=0.11) y del sistema músculo esquelético en general (test de Fisher, p=0.10), en comparación con los sujetos que ya no ejercían la profesión. Dicha tendencia no se observó entre las mujeres o en otros lugares específicos del sistema músculo esquelético entre los hombres.

	1970		1982	
	Mujeres	Varones	Mujeres	Varones
Hipertensión (bajo tratamiento)	0	0	3	4
Diabetes	0	0	0	1
Trastornos Músculo esqueléticos	8	9	15 (7)	15 (11)
Cuello	3	2	4 (3)	1 (1)
Hombro(s)	0	2	5 (3)	7 (5)
Espalda Baja	5	5	7 (2)	5 (4)
Pierna(s)	0	3	5 (3)	7 (6)
Pie(s)	0	0	2 (0)	0 (0)
Artritis reumatoide	0	0	0 (0)	1 (0)

Tabla 1. *Diagnóstico clínico de los sujetos. Los datos son de 29 mujeres y 27 hombres. Los números en paréntesis son el número de diagnósticos entre los sujetos que trabajaban como profesores de educación física. Debe notarse que algunos individuos tenían varios de los desordenes músculo esqueléticos listados.*

El peso corporal se mantuvo sin cambios tanto en los hombres como en las mujeres, y para las mujeres la masa corporal media fue la misma en 1982 y 1949 y el rango también fue el mismo (21.3 y 20.3 kg, respectivamente). En 1982 los hombres eran en promedio 3.8 kg mas pesados que 33 años antes ($p<0.05$; rango 25.3 y 20.6 kg, respectivamente; Tabla 2).

	Año	Edad (años)	Peso Corporal (kg)	Talla (cm)	Lactato Sanguíneo (mmol/l)	VO_2 (l/min)	VO_2 (ml. kg^{-1}. min^{-1})	Frecuencia Cardiaca (lat/min)	RER	Pulso de O_2 (ml)
Mujeres	1949	22.0±1.2	59.4 ±5.5	165.4 ±5.4	11.7 ±1.9	2.90 ±0.26	48.9 ±3.7	196.0 ±8.1	1.08 ±0.04	14.8 ±1.3
	1970	42.9	57.1± 5.2 *		12.0 ±1.7	2.18 ±0.26*	38.2 ±4.2*	182.3 ±10.2*	1.20 ±0.10 *	12.0 ±1.6*
	1982	55.0	58.9 ±5.5 *	165.3 ±6.1	10.1 ±1.9 *	2.23 ±0.32	38.1 ±5.7	177. ±9.1*	1.14 ±0.06 *	12.7 ±1.9
Varones	1949	25.5±3.6	69.0 ±5.3	175.7 ±6.0	12.0 ±2.2	4.09 ±0.38	59.3 ±4.0	190.4 ±8.9	1.07 ±0.05	21.5 ±2.3
	1970	46.5	72.2 ±7.6 *		12.6 ±2.4	3.28 ±0.42*	45.6 ±5.6*	181.5 ±7.2 *	1.20 ±0.06 *	18.2 ±2.6*
	1982	58.5	72.9 ±6.9	175.3 ±6.1	9.9 ±2.2 *	3.13 ±0.50	43.2 ±7.3	174.8 ±11.2*	1.11 ±0.05 *	18.1 ±2.7

Tabla 2. *Valores pico para la concentración de lactato sanguíneo, VO_2, frecuencia cardiaca, RER, frecuencia cardiaca, y pulso de oxígeno durante ejercicio hasta el agotamiento en cicloergómetro o en cinta. Los valores son presentados como medias ± DS para los datos de las 27 mujeres y los 26 hombres, excepto para la frecuencia cardiaca y el pulso de O_2, en donde fueron 23 hombres (los hombres con bloqueo-β fueron excluidos). VO_2, consumo de oxígeno; RER, índice de intercambio respiratorio. * Diferencia significativa*

con respecto al valor de la línea superior, $p<0.05$

Ejercicio Máximo

En 1982, 16 mujeres y 18 varones realizaron series de ejercicio máximo tanto en cinta como en cicloergómetro. El promedio en el pico de consumo de oxígeno para las mujeres fue de 2.25 l/min cuando corrieron y de 2.26 l/min en el cicloergómetro. Los valores pico para los hombres fueron 3.22 y 3.20 l/min, respectivamente. El mismo grupo de hombres, evaluados en 1949 alcanzaron valores de VO_2 de 4.04 y 3.98 l/min, en cinta y cicloergómetro respectivamente. Para 13 de las mujeres que realizaron ejercicio máximo en ambos ergómetros, no hubo diferencias significativas en el pico de consumo de oxígeno, ya sea en 1949 o en 1982, cuando se compararon los valores de cinta y de cicloergómetro.

Los valores de concentración pico de lactato sanguíneo son presentados en la Tabla 2. Hubo una ligera, pero significativa ($p<0.05$) reducción entre los valores de 1949 y los de 1982, desde 11.7 a 10.1 mmol/l para las mujeres y desde 12.0 a 9.9 mmol/l para los hombres. No hubo diferencias significativas entre los sexos para ninguno de los valores medios.

La Tabla 2 y las Figuras 1A y B, presentan datos sobre el consumo de oxígeno pico (en cinta o en cicloergómetro). En contraste a la comparación entre los datos del consumo de oxígeno (l/min) de 1949 y 1970, no hubo cambios significativos a lo largo del siguiente período de 12 años. Debido a que el peso corporal promedio fue aproximadamente el mismo en 1982 que en 1970, no hubo diferencias significativas en el consumo máximo de oxígeno en mililitros por kilogramo por minuto durante este período de tiempo. En promedio, la reducción en este valor pico desde 1949 a 1982 fue del 23%, sin diferencias entre los sexos. Cuando el valor se expreso relativo a los kilogramos de masa corporal, la disminución fue del 22% para las mujeres y del 27% para los hombres.

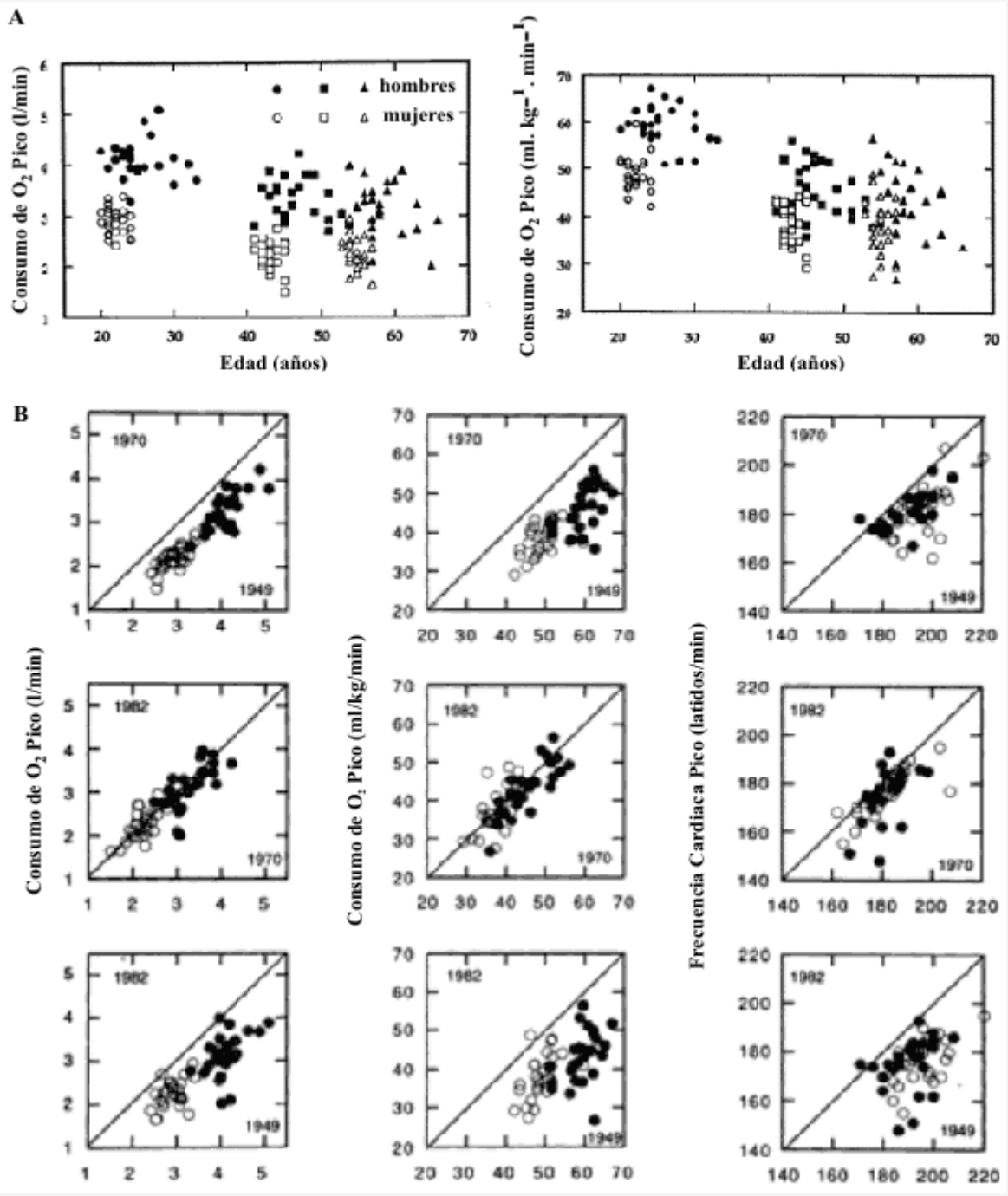


Figura 1. *A, Datos individuales sobre el consumo de oxígeno pico en relación a la edad en un estudio longitudinal de sujetos que en la primer medición eran estudiantes de educación física. ○ y ●, datos obtenidos en 1949; □ y ■, datos obtenidos en 1970; y , datos obtenidos en 1982. B: Comparación de los registros de 1949 – 1970, 1970 – 1982, y 1949 – 1982 para los mismos datos, más los datos de la frecuencia cardiaca pico en relación a la línea de identidad. ○ Mujeres, ● Hombres.*

La caída en la frecuencia cardiaca pico desde 1949 a 1982 fue en promedio de 19.0 latidos/min para las mujeres y de 15.6 latidos/min para los hombres. La disminución fue significativa ($p<0.05$; Tabla 2, Figuras 1B y 2). En este análisis se excluyeron tres hombres debido a que estaban medicados con β-bloqueantes.

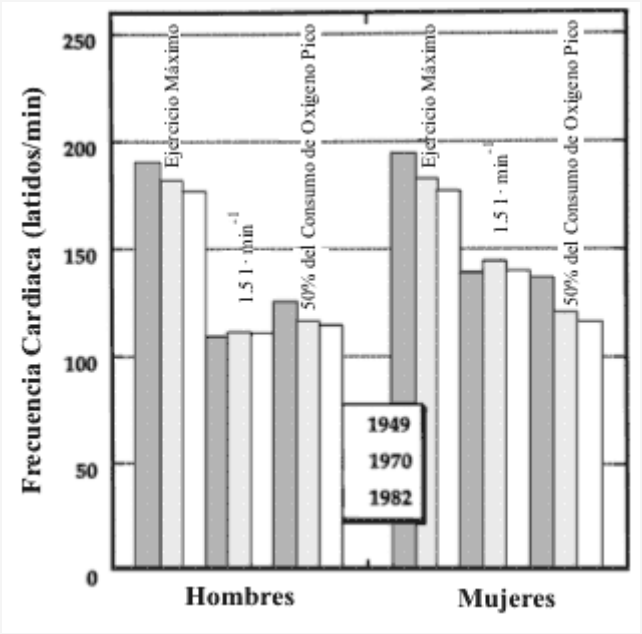


Figura 2. *Frecuencia cardiaca registrada en 3 ocasiones (1949, Barras oscuras; 1970, barras claras; 1982 barras blancas) durante ejercicio máximo, con un consumo de oxígeno de 1.5 l/min y con un consumo de oxígeno del 50% del pico máximo.*

Los datos sobre la ventilación pulmonar pico, frecuencia respiratoria, y volumen corriente están presentados en la Tabla 3, y los datos sobre la ventilación pulmonar pico están presentados también en la Figura 3. No hubo diferencias significativas en los valores medios en cada función, pero hubo una tendencia a una reducción en la ventilación pulmonar pico desde 92.5 a 88.5 l/min en el grupo de mujeres y desde 120.9 a 114.4 l/min en el grupo de los hombres. Debería ser señalado que la desviación estándar es grande. La fracción de capacidad vital utilizada en el volumen corriente pico se incremento significativamente desde un 48 a 55% en mujeres y desde un 53 a un 62% en hombres ($p<0.05$).

	Año	V_E (l/min)	F, (respiraciones/min)	VT (litros)	CV (litros)	VC (%CV)	CPT (litros)	VR (litros)
Mujeres	1949	92.5±11.8	45.7±7.0	2.07±0.44	4.25±0.46	48±7	5.33±0.52	1.08±0.18
	1970	90.2±13.9	44.6±9.3	2.09±0.40	4.24±0.47	50±8	5.93±0.57 *	1.69±0.37*
	1982	88.5±13.5	40.9±7.2 *	2.21±0.42	4.08±0.45*	55±10 *	5.67±0.57 *	1.64±0.28
Hombres	1949	120.9±17.2	42.6±8.7	2.90±0.57	5.55±0.67	53±9	7.00±0.86	1.45±0.33
	1970	120.9±25.1	40.5±10.4	3.07±0.64	5.39±0.76	57±9 *	7.43±1.04 *	2.04±0.39*
	1982	114.4±23.2	38.4±8.9	3.05±0.60	4.92±0.61*	62±10 *	7.01±0.87 *	2.12±0.39

Tabla 3. *Datos sobre las funciones respiratorias. Los datos son presentados como medias ± DS de la respiración BTPS en 27 mujeres y 26 hombres durante el ejercicio, pero solo de 23 mujeres y 25 varones cuando se los examino con espirometría. La ventilación pulmonar (V_E), la frecuencia respiratoria (F), y el volumen corriente (VC) son los valores máximos observados durante el ejercicio. CV, capacidad vital, CPT, capacidad pulmonar total, VR, volumen residual. * Diferencia significativa con respecto al valor de la línea superior, $p<0.05$.*

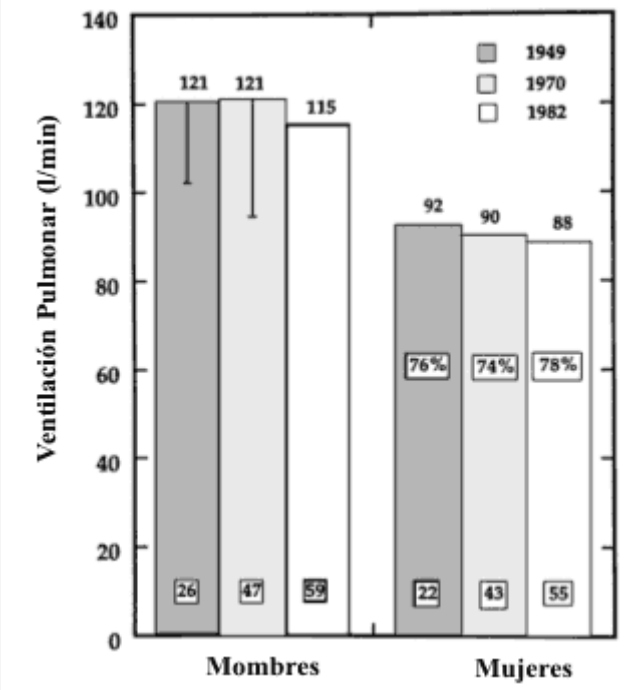


Figura. 3. *Ventilación pulmonar pico medida en 3 ocasiones, en 1949, 1970 y 1982. Los números en la parte inferior de las barras son las edades medias de los sujetos. Para las mujeres, la ventilación pulmonar esta dada en porcentaje de los datos registrados para los hombres.*

Ejercicio Submáximo

El consumo de oxígeno a una tasa dada de trabajo submáxima (100 y 150 W para las mujeres y 150 W para los hombres) fue el mismo tanto en 1982 como en 1942 Tabla 4. En las mujeres la frecuencia cardiaca a consumos de oxígeno de 1.5 y 2.0 l/min fue significativamente mayor en 1970 que en 1942 y 1982, no habiendo diferencias en el intervalo de 33 años (Tabla 4, Figura 2). Los datos de los hombres mostraron que no hubo diferencias significativas en la frecuencia cardiaca a un consumo de oxígeno de 1.5 l/min, pero a un consumo de oxígeno de 2.0 y 2.5 l/min la frecuencia cardiaca fue significativamente mayor en 1970 que 21 años antes. Sin embargo, la frecuencia cardiaca se mantuvo en el mismo nivel en la examinación de 1982. Cuando los sujetos se ejercitaron al 50% del consumo de oxígeno pico, hubo, como se ilustra en la Tabla 4 y en la Figura 2, una reducción significativa en la frecuencia cardiaca desde ~135 a 120-115 latidos/min en las mujeres. En los hombres hubo una reducción significativa desde 126 latidos/min en 1949 a 116 latidos/min en 1970. Sin embargo, la reducción adicional a 115 latidos/min en 1982 no fue significativa.

	Año	VO_2 (l/min)		Frecuencia Cardiaca (latidos/min)			
		100 w	150 W	1.5 l/min	2.0 l/min	2.5 l/min	50% del VO_2 máx.
Mujeres	1949	1.47 ±0.07	2.04±0.09	139.3±10.9	160.2±9.6		134.7±10.1
	1970	1.49±0.06	2.11±0.08	144.4±13.6 *	168.5±11.4 *		120.2±10.7 *
	1982	1.45±0.07	2.03±0.07	138.9±12.8 *	161.9±10.9 *		114.9±10.5 *
Hombres	1949		2.09±0.08	109.1±14.2	125.2±12.8	139.7±9.2	126.5±9.2
	1970		2.13±0.07	111.3±8.7	131.5±11.0 *	150.5±13.2 *	116.1±5.7 *
	1982		2.11±0.09	110.6±10.9	131.0±12.7	150.2±14.8	114.6±7.9

Tabla 4. *Valores de VO_2 y frecuencia cardiaca durante diferentes tasas de trabajo, valores de VO_2 y al 50% del VO_2 máx. Los valores son medias ± DS para 23 mujeres y 21 hombres. Los datos fueron recolectados durante ejercicio en cicloergómetro. Solo 10 mujeres realizaron ejercicio a 150 W en las tres ocasiones. VO_2 máx., pico de consumo de oxígeno. * Diferencia significativa con respecto al valor en la línea superior, $p<0.05$.*

El consumo de oxígeno cuando los sujetos caminaban a 5 km/h fue en promedio de 14.3±1.2 (DS) ml. $kg^{-1}.min^{-1}$ para las mujeres (n = 27) y de 14.2 ± 1.4 ml $kg^{-1}.min^{-1}$ para los hombres (n = 20).

Espirometría Estática y Dinámica

Desde 1970 a 1982 hubo una reducción significativa del 4% ($p<0.05$) en la capacidad vital en las mujeres y del 11% en los hombres (Tabla 3). La capacidad pulmonar total fue un 7% mayor en 1982 que en 1949 en las mujeres, pero en los hombres no hubo diferencias, registrándose el mayor valor en 1970. El incremento en el volumen residual (VR) a lo largo del período de 33 años fue del 52% en las mujeres y del 46% en los hombres. Este incremento ya había sido notado durante las mediciones de 1970 (Tabla 3). El cociente VR/CPT se incrementó desde 0.20 a 0.29 en las mujeres y desde 0.21 a 0.30 en los hombres. El volumen espiratorio forzado en 1 seg disminuyó desde el 80% en 1970 al 75-76% en 1982 (no hay datos disponibles de 1949).

Niveles de Actividad Física Habitual

Los datos de los sujetos cuando tenían 20-30 años de edad son presentados en la Tabla 5. Los sujetos que todavía eran activos como profesores de educación física tenían un mayor nivel de actividad física en su trabajo que aquellos que realizaban otro tipo de tareas. Sin embargo, no tenían, en promedio, una mayor potencia aeróbica que los sujetos con una profesión sedentaria (45.4 y 39.8 ml/kg/min para hombres y mujeres que trabajaban como profesores respectivamente, vs. 45.4 y 41.5 ml/kg/min para hombres y mujeres que no trabajaban como profesores). En las mujeres hubo una débil, pero significativa correlación entre el índice de actividad física y la potencia aeróbica máxima (r=0.60) mientras que en hombres no hubo correlación (r=0.29).

	20-29 Años	30-39 Años	40-49 Años	50 Años
Mujeres				
Trabajo	3.3±0.7	3.0±0.5	2.8±0.7	2.0±0.8 (2.4±0.5)
Tiempo Libre	3.2± 0.9	2.8±0.9	3.2±0.9	2.4 ± 0.7 (2.4±0.6)
Hombres				
Trabajo	3.9 ± 0.7	3.4±0.8	2.9±1.1	2.1±1.0 (2.8±0.7)
Tiempo Libre	4.4 ± 0.7	3.9±0.8	3.5±0.8	2.6±0.6 (2.6±0.5)

Tabla 5. *Nivel de actividad física habitual en el trabajo y durante el tiempo libre [Nivel 1= muy inactivo, Nivel 5 = muy activo (Entrenamiento de resistencia para competición)]. Los valores son presentados como media ± DS; los números entre paréntesis son los resultados de 1982 solamente para los profesores de educación física.*

DISCUSION

¿Midió la captación de oxígeno pico alcanzada la potencia aeróbica máxima real de los sujetos?. Durante el ejercicio hasta el agotamiento en cicloergómetro, el consumo de oxígeno en las mujeres estuvo en promedio 10.2% por debajo de la demanda media calculada a partir de la tasa de trabajo y la eficiencia mecánica estuvo un 23% debajo, de los valores medios calculados en 1949. Para los hombres el consumo de oxígeno estuvo un 5.2% por debajo. En cuatro de los hombres el máximo medido fue aproximadamente igual a la demanda estimada. Estos cuatro hombres tuvieron una concentración pico de lactato ≥10.9 mmol/l. Durante la carrera máxima, el consumo de oxígeno medido fue 9.0 y 12.3% para las mujeres y los hombres respectivamente, lo cual está por debajo de la demanda calculada a partir de datos experimentales en base a mediciones del consumo de oxígeno en un rango de velocidades, inclinación de la cinta y masa corporal de los sujetos. De los cuatro sujetos cuya demanda estimada estuvo cerca del consumo de oxígeno medido, uno tuvo una concentración sanguínea de lactato de 8 mmol/l y los otros tuvieron una concentración de lactato de 10.3 mmol/l o mayor. A través de los estudios el índice intercambio respiratorio (RER) fue en promedio de 1.07 o mayor en todas las ocasiones (Tabla 2).

Como se mencionó en la introducción, los sujetos en este estudio eran un grupo algo selecto debido a haber estudiado educación física y haber tenido a la misma como profesión. Esta es una acción de equilibrio con respecto a quienes, por razones médicas, deberían ser excluidos de un estudio como este. Es interesante destacar que el pico de consumo de oxígeno promedio de los tres sujetos que utilizaban β-bloqueantes fue casi idéntico a los valores medios de todos los sujetos observados en 1949, 1970 y 1982.

Una evaluación de los niveles habituales de actividad física por medio de cuestionarios tiene problemas metodológicos, como se ilustra en los siguientes dos ejemplos. 1) ¿De que forma deberían compararse 3 x 10 min de actividad física a una potencia aeróbica dada con 1 x 30 min?. 2) Un entrenamiento vigoroso 4-6 semanas antes de la medición del consumo de oxígeno pico puede compensar los efectos de 12 años de sedentarismo. Otro problema es el relacionado a los efectos de la actividad física habitual sobre la salud y el consumo de oxígeno pico. Por ello, la Tabla 6 debe ser interpretada con precaución.

Estudio	n	Sexo	Edad (años)	VO_2 Pico		Nivel de Actividad
				l/min	ml. kg.$^{-1}$min.$^{-1}$	
Presente Estudio	26	Hombres	58.5 (53-66)	3.13	43.2	
Åstrand (2)	66	Hombres	(50-59)	2.54	33.1	Relativamente activos
Hagberg et al. (11)	8	Hombres	56.0 (50-66)	3.69	56.6	Atletas Masters
Hagberg et al. (11)	15	Hombres	58.0 (49-63)	2.44	29.7	Sedentarios
Heath et al. (31)	16	Hombres	59.0 (50-72)	3.72	58.7	Atletas Masters
Jackson et al. (15)	160	Hombres	58.0 (55-70)	2.60	33.2	Empleados
Kasch et al. (17)	12	Hombres	59 ± 7.7*	3.04	41.8	Entrenados en Resistencia
Kavanagh and Shephard (18)	?	Hombres	(50-59)	3.19	42.0	Atletas Masters
Rogers et al. (23)	14	Hombres	61.4 (47-84)	2.45	30.6	Sedentarios
Rogers et al. (23)	15	Hombres	62.0 (47-84)	3.54	51.8	Atletas Masters
Presente Estudio	27	Mujeres	55.0 (53-57)	2.23	38.1	
Åstrand (2)	16	Mujeres	55.6 (50-65)	1.85	28.4	Relativamente Activos
Jackson et al. (16)	70	Mujeres	54.6	1.64	24.4	Empleados
Kavanagh and Shephard (18)	?	Mujeres	(50-59)	2.21	36.2	Atletas Masters

Tabla 6. *Comparación de los datos del presente estudio con los datos reportados en la literatura. Los valores son presentados como medias con los rangos entre paréntesis, excepto para el valor con el símbolo * el cual es la media ± el DS. n, número de sujetos; ?, desconocido. Nivel de actividad se refiere al nivel habitual de actividad Física.*

En este estudio, los sujetos que realizaron ejercicio máximo tanto en cinta como en cicloergómetro no tuvieron diferencias en los valores promedios del consumo de oxígeno pico. Por ello, la discusión se concentrara en los valores pico alcanzados sin tener en cuenta el tipo de ejercicio. Es sorprendente que en estudios transversales, así como también en estudios longitudinales, y también en test de estrés en pacientes cardiacos, haya un énfasis en el consumo de oxígeno pico/máximo relacionado al peso corporal (en ml. $kg^{-1}.min^{-1}$ o equivalentes metabólicos). En realidad, el coeficiente de correlación entre el rendimiento cardiaco, i.e. gasto cardiaco y consumo de oxígeno expresado en litros por minuto, es alto (r=0.90 en 54 sujetos evaluados en nuestro departamento por medio de la técnica de dilución de tinta con un aparato Cardio Green para la medición del gasto cardiaco en base a los datos de las Refs. 5, 10, 27). Ninguno de estos sujetos tenía sobrepeso. Obviamente, la adición de 5, 10, o en algunos de estos sujetos, 15 kg de tejido adiposo al cálculo, reduciría el coeficiente de correlación, ej. a un valor de 0.8 si el gasto cardiaco esta relacionado al consumo de oxígeno pico por kilogramo de masa corporal. El consumo de oxígeno pico en relación a la masa corporal puede estimar el potencial de aptitud física aeróbica de la persona para mover su cuerpo, pero podría ser una guía pobre en la estimación del rendimiento cardiaco individual. En promedio, los sujetos que participaron en este estudio mantuvieron razonablemente bien su masa corporal total (Tabla 2), y, de esta manera, no es crítico si el consumo de oxígeno es presentado en litros por minuto o en mililitros por kilogramo por minuto. Sin embargo, hemos presentado los datos en ambas maneras para enfatizar este punto.

De la muestra original (1949), 35 mujeres y 31 hombres fueron estudiados nuevamente 21 años después (2). Sin excepción

hubo una disminución en el consumo de oxígeno pico, expresado tanto en litros por minuto como en mililitros por kilogramo por minuto (Figura 1B). En promedio, la reducción fue del 22% en las mujeres y del 20% en los hombres (l/min). Sin embargo, los datos obtenidos después de los siguientes 12 años mostraron cambios individuales marcados, pero en promedio no hubo una reducción adicional en el consumo de oxígeno pico (Tabla 2, Figura 1, A y B). De acuerdo a los cuestionarios, particularmente cuando los mismos se enfocaron en la situación de las mujeres, se observó que hubo menos demanda para el cuidado de los niños y pudieron dedicar mayor tiempo a la actividad física.

Como se menciono en la introducción, varios estudios indican que hay un tasa de disminución en la potencia aeróbica máxima de ~10% por década cuando está relacionada al peso corporal. Sin embargo, Jackson y cols. (15) reportaron datos, principalmente de estudios transversales, que incluyeron hombres saludables de entre 25 a 70 años de edad y determinaron que la reducción de 0.46 ml. kg^{-1}.$min.^{-1}$.$año^{-1}$ en la pendiente de la potencia aeróbica máxima era consistente con la pendiente de 0.4–0.5 ml. kg^{-1}.$min.^{-1}$.$año^{-1}$ reportada en la literatura (9). En un estudio posterior, Jackson y cols. (16) reportaron datos de mujeres en un rango de edad de 20-64 años. La disminución en el consumo de oxígeno pico en relación a la edad para ese estudio fue de 0.54 ml. kg^{-1}.$min.^{-1}$.$año^{-1}$. En un estudio longitudinal de 25 años con hombres continuamente activos, Kasch y cols. (17) hallaron que la disminución en la potencia aeróbica máxima era de 0.25 ml. kg^{-1}.$min.^{-1}$.$año^{-1}$. Los datos del presente estudio muestran una mayor reducción en el pico de potencia aeróbica a lo largo de los primeros 21 años que en promedio fue de 0.51 ml. kg^{-1}.$min.^{-1}$.$año^{-1}$ en mujeres y todavía mayor en hombres donde fue de 0.65 ml. kg^{-1}.$min.^{-1}$.$año^{-1}$. Sin embargo, durante los siguientes 12 años, hasta la edad promedio de 55.0 años en la mujeres y de 58.5 años en los varones, no hubo una reducción adicional significativa en el consumo máximo de oxígeno expresado tanto en litros por minuto como en mililitros por kilogramo por minuto. Hay variaciones individuales en los datos del consumo de oxígeno pico cuando se comparan los datos de 1970 con los de 1982 (ver Figura 1B). Un ejemplo extremo de "envejecimiento" individual es ilustrado por medio de la comparación de las mediciones de la potencia aeróbica pico alcanzada en 1949 con la alcanzada en 1982. Uno de los hombres tuvo un máximo de 4.0 l/min en ambas ocasiones. Físicamente, era muy activo, corría maratones, realizaba ski cross country, etc. Otro hombre con la misma potencia aeróbica pico en 1949, en 1982 alcanzó un pico de potencia de solo 2.0 l/min. El primero es un ejemplo extremo del efecto de la actividad física regular. Durante los años anteriores a las últimas evaluaciones, su actividad física habitual fue más o menos cero, debido a que tenía problemas en las articulaciones y sentía dolor cuando realizaba actividad física. Sin embargo, en la evaluación en el cicloergómetro el realizó un esfuerzo máximo, y alcanzó una concentración pico de lactato sanguíneo de 9.4 mmol/l y un RER de 1.05. Cuando los datos de este son comparados con aquellos reportados por Jackson y cols. (15), el consumo de oxígeno pico fue mucho mayor en este estudio (1982); con un consumo de oxígeno pico promedio de 3.13 l/min en hombres, en comparación con los 2.60 l/min para los 160 sujetos del estudio de Jackson y cols. (rango de edad entre 55-70 años). Cuando el consumo de oxígeno se expresó en relación al peso corporal los valores fueron 43.2 y 33.2 ml kg^{-1}.$min.^{-1}$, respectivamente. Los sujetos de Jackson y cols. (16) eran empleados en la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio en el Centro Espacial Johnson en Houston, Texas. En el estudio de Jackson y cols. en mujeres (rango de edad entre 50-64 años) el consumo de oxígeno pico fue en promedio de 1.63 l/min o 24.4 ml kg^{-1}.$min.^{-1}$ en comparación con los valores del presente estudio de 1.85 l/min y 28.4 ml.kg^{-1}.$min.^{-1}$ (Tabla 6). Rogers y cols. (23) presentaron datos sobre 14 sujetos sedentarios y 15 varones atletas masters bien entrenados en resistencia durante un período de seguimiento de 8 años. La edad de los sujetos en el seguimiento fue en promedio de 61-62 años. Estos autores señalaron una declinación en la potencia aeróbica pico del 12% por década hasta 2.45 l/min o 30.6 ml/kg/min en los sujetos sedentarios y una reducción del 5.5% por década y valores finales de 3.54 l/min y 51.8 ml/kg/min en los atletas masters. En valores absolutos los hombres en el presente estudio alcanzaron un pico de potencia aeróbica entre estos valores, pero cuando los valores estuvieron en relación al peso corporal estuvieron mucho más cerca de los valores observados en los atletas masters.

A partir de una revisión extensiva de la literatura sobre estudios llevados a cabo en Estados Unidos, Canadá, y siete países Europeos, Shvartz y Reibold (25) formularon normas de aptitud física aeróbica para mujeres y varones de entre 6 y 75 años. Estos autores presentaron siete categorías de aptitud física en una escala que va desde 1= excelente a 7= muy pobre. Una evaluación de la aptitud física aeróbica promedio de los sujetos a través de la aplicación de estas normas a los datos del presente estudio proporcionó los siguientes resultados. En 1949 y en 1970 tanto mujeres como hombres estaban en la categoría 1 o 2, dependiendo de si el consumo de oxígeno pico estaba expresado en litros por minuto o en mililitros por kilogramo por minuto. En 1982 los sujetos entraron definitivamente en la categoría de "excelente".

En un estudio realizado por Åstrand (2), el consumo de oxígeno pico de sujetos relativamente aptos físicamente fue de 1.85 l/min para 16 mujeres (edad media 55.6 años) y de 2.54 l/min para 66 hombres (edad media 53 años) en comparación con los 2.23 y 3.13 l/min respectivamente, observados en este estudio. En comparación con atletas masters entrenados en resistencia, los hombres del presente estudio tuvieron una menor potencia aeróbica pico. En el estudio realizado por Heath y cols. (13), 16 atletas (59±6 años de edad) alcanzaron un consumo de oxígeno máximo que fue en promedio un 19% mayor (l/min); y expresado en relación al peso corporal, un 36% mayor que los valores observados en el presente estudio. La ventilación pulmonar pico fue 15 l/min mayor y la frecuencia cardiaca pico fue 6 latidos/min menor que los valores observados en el presente estudio. El volumen de entrenamiento en el estudio de Heath y cols. tuvo un rango de 64 a 145

km/semana. Cuando los datos del presente estudio son comparados con los resultados publicados por Hagberg y cols. (15) para ocho atletas masters de resistencia (56±5 años) se puede observar una diferencia similar. Sin embargo, cuando el consumo de oxígeno pico es comparado en valores absolutos o en relación al peso corporal, estos datos son casi idénticos a los presentados por Kavanagh y Shephard (18) en mujeres y hombres atletas masters que compitieron en el campeonato mundial masters de 1985 en Toronto, Canadá, la edad de los atletas era de 50-59 años.

En 1949, los valores en el consumo de oxígeno pico en mujeres fueron en promedio el 71% del valor de los hombres, en 1970 del 66% y en 1982 de nuevo del 71% (l/min). Cuando el consumo de oxígeno fue expresado con relación al peso corporal los valores fueron del 82, 84, y 89% respectivamente. Es interesante señalar que en los datos sobre la potencia aeróbica pico en relación a la masa corporal medidos en 1949, hubo una pequeña superposición entre hombres y mujeres. Esto esta en contraste con la situación de 1982 (Figura 1A).

El pulso de oxígeno pico (ver Tabla 2), reflejado en el volumen latido y la diferencia arterio-venosa de oxígeno, fue 14% más bajo en 1982 en comparación con los valores de 1949 en mujeres y un 16% más bajo en los hombres. La disminución en la potencia aeróbica pico fue del 23% para ambos grupos. Una interpretación de este hallazgo es que hubo una reducción del 15% en el volumen latido (debido a que la concentración de hemoglobina fue normal en ambas ocasiones). Sin embargo, Rivera y cols. (20) reportaron que corredores varones masters [66±8 (DS) años] tuvieron una diferencia arterio-venosa de oxígeno significativamente menor (11%) que corredores más jóvenes [32±5 (DS) años]. Si este hallazgo se aplica al presente estudio, entonces la reducción del 9.6% en la frecuencia cardiaca pico en mujeres y del 8.2 en hombres podría explicar la pendiente descendente en la potencia aeróbica pico. Sin embargo, aún queda por explicarse porque la frecuencia cardiaca a una tasa de trabajo submáxima que demandó un consumo de oxígeno de 1.5 l/min no fue diferente cuando los datos obtenidos en 1949 se compararon con los obtenidos en 1982. En las mujeres los resultados fueron los mismos a una tasa de consumo de oxígeno de 2.0 l/min, pero en los hombres la frecuencia cardiaca fue significativamente mayor a este consumo de oxígeno como también cuando la demanda fue de 2.5 l/min. Posiblemente estos hallazgos pueden indicar que el volumen latido puede mantenerse al mismo nivel con el envejecimiento para el ejercicio submáximo y solo declinaría durante un esfuerzo más intenso. Rodeheffer y cols. (22) estudiaron 61 sujetos en un rango de edad desde 25 a 79 años. Estos autores concluyeron que durante el ejercicio vigoroso el gasto cardiaco se mantenía, debido a incrementos relacionados al envejecimiento en el volumen diastólico final y el volumen latido, lo cual compensa la disminución en la frecuencia cardiaca relacionada con el envejecimiento. Estos autores explicaron la disminución en la frecuencia cardiaca mediante la hipótesis que plantea que la efectividad de la modulación β-adrenérgica de la contractilidad miocárdica, la frecuencia cardiaca, y el tono vascular disminuyen con el avance de la edad adulta. Desafortunadamente, el consumo de oxígeno pico no fue medido. Además estos autores señalaron una reducción en la tasa de trabajo máxima alcanzada con la edad. Es sorprendente que en el grupo de sujetos de 25 años de edad la tasa máxima de trabajo fue en promedio de 150 W, con una demanda de oxígeno de 2.1 l/min, lo cual es una potencia aeróbica mucho mas baja que la media para esta edad.

Saltin (24) reportó un pulso de oxígeno de 0.17 ml. kg^{-1}.min. $^{-1}$.latido^{-1} en hombres sedentarios, pero de 0.34 ml. kg^{-1}.min. $^{-1}$.latido^{-1} en atletas de elite de la misma edad. Valores similares son reportados por Hagberg y cols. (11). En el presente estudio el valor medio es de 0.25 ml. kg^{-1}.min. $^{-1}$.latido^{-1} para los hombres (0.22 ml. kg^{-1}.min. $^{-1}$.latido^{-1} para las mujeres).

La función pulmonar fue bien mantenida. La ventilación pulmonar pico durante el ejercicio máximo no disminuyó significativamente (Figura 3), como tampoco el volumen corriente. Sin embargo, hubo una reducción significativa en la capacidad vital del 5% en mujeres y del 12% en hombres. El porcentaje de capacidad vital utilizado como volumen corriente se incrementó desde 48 a 55% en mujeres y desde 53 a 62% en hombres. En las mujeres hubo un incremento significativo del 6.5% en la capacidad pulmonar total, pero no se registraron cambios en los hombres. En un estudio de seguimiento de aproximadamente 40 años que incluyó a 6 mujeres y 19 hombres, todos estudiantes de educación física, al comienzo del estudio Asmussen y cols. (1) no observaron cambios en la CPT. En ambos estudios, el nuestro y el de Asmussen y cols., el volumen residual representó cerca del 20% de la CPT, cuando los sujetos tenían aproximadamente 20 años. En el presente estudio, el volumen residual alcanzó el 29% de la CPT en mujeres y el 30% en los hombres. Los primeros datos de Asmussen y cols., estaban a un nivel similar, pero 40 años después el VR de las mujeres era del 36% de la CPT y el VR de los hombres era del 33%.

En conclusión, los sujetos de este estudio tenían un nivel de aptitud física, si se lo relaciona con el consumo de oxígeno pico, que estaba por encima de los datos reportados para no atletas de la misma edad. Fue interesante destacar que a los largo del período de 12 años, hasta la edad promedio de 55.0 años para mujeres y de 58.5 años para hombres, no hubo una reducción significativa en el consumo de oxígeno pico medio, pero se observaron grandes variaciones individuales.

Agradecimientos

Los autores están muy agradecidos a C. Käll por la asistencia técnica y a U. Siltberg por su ayuda en la organización del estudio.

Nota al Pie

Uno de los autores, P.-O. Åstrand, tomo parte activa en la planeación y la conducción de los estudios, desde el principio, y Å Kilbom realizo las examinaciones médicas, los test de estrés en ciclo ergómetro, y las mediciones pulmonares estáticas y dinámicas tanto en 1970 como en 1982.

Este estudio fue respaldado por subsidios de la Sociedad Nacional Sueca para la Investigación en Envejecimiento, el Instituto Karolinska (Estocolmo Suecia) y el Consejo de Investigación de la Federación de Deportes Sueca.

Dirección para el pedido de reimpresiones

P.-O. Åstrand, Dept. of Physiology and Pharmacology, Karolinska Institute, Box 5626, S-114 86 Estocolmo, Suecia.

REFERENCIAS

1. Booth, F. W., S. H. Weeden, and B. S. Tseng (1994). Effect of aging on human skeletal muscle and motor function. *Med. Sci. Sports Exercise 26: 556-560*
2. 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*
3. Ekblom, B (1969). Effects of physical training on oxygen transport system in man. *Acta Physiol. Scand. Suppl. 328: 1-45*
4. Hagberg, J. M., W. K. Allen, D. R. Seals, B. F. Hurley, A. A. Ehsani, and J. O. Holloszy (1985). A hemodynamic comparison of young and older endurance athletes during exercise. *J. Appl. Physiol. 58: 2041-2046*
5. Hagberg, M., and C. Hogstedt (Editors) (1991). Stockholmsundersökningen 1. *Stockholm: Music Books*
6. 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*
7. Inbar, O., A. Oren, M. Scheinowitz, A. Rotstein, R. Dlin, and R. Casaburi (1994). Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20- to 70-yr-old men. *Med. Sci. Sports Exercise 26: 538-546*
8. 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 Exercise 27: 113-120*
9. Jackson, A. S., L. T. Wier, G. W. Ayers, E. F. Beard, J. E. Stuteville, and S. N. Blair (1996). Changes in aerobic power of women, ages 20-64 yr. *Med. Sci. Sports Exercise. 28: 884-891*
10. Kasch, F. W., J. L. Boyer, S. P. Vancamp, L. S. Verity, and J. Wallace (1990). The effect of physical activity and inactivity on aerobic power in older men (a longitudinal study). *Physician Sportsmed. 18: 73-81*
11. Kavanagh, T., and R. J. Shephard (1990). Can regular sports participation slow the aging process? Data on master athletes. *Physician Sportsmed 18: 94-104*
12. Kohrt, W. M., M. T. Malley, A. R. Coggan, R. J. Spina, T. Ogawa, A. A. Ehsani, E. Bourey, W. H. Martin III, and J. O. Holloszy (1991). Effects of gender, age, and fitness level on response of VO2 max to training in 60-71 yr olds. *J. Appl. Physiol. 71: 2004-2011*
13. Rivera, A. M., A. E. Pels III, 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*
14. Robinson, S (1938). Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiologie 10: 251-323*
15. Rodeheffer, R. J., G. Gerstenblith, L. C. Becker, J. L. Fleg, M. L. Weisfeldt, and E. G. Lakatta (1984). Exercise cardiac output is maintained with advancing age in healthy human subjects: cardiac dilatation and increase stroke volume compensate for a diminished heart rate. *Circulation 69: 203-213*
16. Rogers, M. A., J. M. Hagberg, W. H. Martin III, 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*
17. 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*
18. Shvartz, E., and R. C. Reibold (1990). Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: a review. *Aviat. Space Environ. Med. 61: 3-11*
19. Spina, R. J., T. Ogawa, W. M. Kohrt, W. H. Martin III, J. O. Holloszy, and A. A. Ehsani (1993). Differences in cardiovascular adaptations to endurance exercise training between older men and women. *J. Appl. Physiol. 75: 849-855*
20. Stenberg, J (1966). The significance of the central circulation for the aerobic work capacity under various conditions in young healthy persons. *Acta Physiol. Scand. 68, Suppl. 273: 1-26*

Cita Original

Per Olof Åstrand, Ulf Bergh, Åsa Kilbom. A 33-yr follow-up of peak oxygen uptake and related variables of former physical education students. J Appl Physiol; 82: 1844-1852, 1997.