

Revision of Literature

# Un Seguimiento de 30 años del Estudio de Dallas sobre el Reposo y el Entrenamiento. II. Efectos del Envejecimiento sobre las Adaptaciones Cardiovasculares al Entrenamiento

Benjamin D Levine<sup>1,2</sup>, Darren K McGuire<sup>1</sup>, John W Williamson<sup>1</sup>, Peter G Snell<sup>1</sup>, C. Gunnar Blomqvist<sup>1</sup>, Bengt Saltin<sup>3</sup> y Jere H Mitchell<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pauline and Adolph Weinberger Laboratory for Cardiopulmonary Research, University of Texas Southwestern Medical Center, Dallas, Texas.

<sup>3</sup>Copenhagen Muscle Research Center, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark.

## RESUMEN

**Antecedentes:** La potencia aeróbica disminuye con la edad. El grado en el cual esta disminución es irreversible es aun incierto. En un estudio de seguimiento longitudinal de 30 años, se evaluaron las adaptaciones cardiovasculares al entrenamiento en 5 hombres de mediana edad previamente entrenados en 1966, para valorar el grado en el cual la disminución en la potencia aeróbica asociada con la edad es atribuible al desacondicionamiento y para proveer de una idea sobre los mecanismos específicos involucrados. **Métodos y Resultados:** La respuesta cardiovascular al ejercicio máximo y submáximo agudo fue evaluada antes y después de 6 meses de un programa de entrenamiento de resistencia. En promedio el VO<sub>2</sub> máx. se incremento en un 14% (2.9 versus 3.3 L/min), alcanzando el nivel observado en la evaluaciones iniciales 30 años antes. Del mismo modo el VO<sub>2</sub> máx. se incrementó en un 16% tanto en relación al peso corporal total (31 versus 36 ml/kg/min) como en relación a la masa libre de grasa (44 versus 51 ml/kg masa libre de grasa por minuto). La frecuencia cardiaca máxima disminuyó (181 versus 171 latidos/min) y el volumen latido máximo se incremento (121 versus 129 ml) luego del entrenamiento, sin ningún cambio en el gasto cardiaco máximo (21.4 versus 21.7 L/min); la frecuencia cardiaca máxima también disminuyó en un grado similar. La máxima diferencia arteriovenosa de oxígeno se incrementó en un 10% (13.8 versus 15.2 vol%) y explicó toda la mejora en la potencia aeróbica asociada con el entrenamiento. **Conclusiones:** La declinación del 100% en la potencia aeróbica entre estos 5 hombres de mediana edad ocurrida a lo largo de los 30 años fue revertida por un programa de 6 meses de entrenamiento de la resistencia. Sin embargo, ninguno de los sujetos alcanzo el mismo VO<sub>2</sub> máx. alcanzado luego del entrenamiento treinta años atrás. La mejora en la potencia aeróbica después del entrenamiento fue principalmente resultado de adaptaciones periféricas, sin una mejora efectiva en la distribución máxima de oxígeno.

**Palabras Clave:** envejecimiento, oxígeno, ejercicio, gasto cardiaco, frecuencia cardiaca

## INTRODUCCION

---

En 1966, 5 hombres saludables de 20 años de edad fueron extensivamente estudiados al inicio, luego de 3 semanas de reposo en cama, y luego de 8 semanas de entrenamiento dinámico intensivo. Los resultados de esta investigación original como también los datos de las evaluaciones iniciales de los 30 años de seguimiento en estos mismos 5 hombres han sido publicados (1, 2). El presente estudio fue diseñado para investigar las adaptaciones cardiovasculares al entrenamiento en estos 5 hombres de edad mediana. Esta investigación busca valorar el grado en el cual la disminución en la potencia aeróbica asociada a la edad, que fue documentada en las evaluaciones iniciales del seguimiento, es atribuible a la inactividad física y el desacondicionamiento y para dar una idea de los mecanismos específicos que contribuyen a cualquier observación de recuperación de la potencia aeróbica.

La disminución en la capacidad cardiovascular asociada con el envejecimiento ha sido bien documentada en reportes previos (3-9), incluyendo las evaluaciones previas de los sujetos que participaron en el presente estudio (1, 2). Sin embargo, dentro de esta literatura, hay pocas evaluaciones longitudinales a lo largo de extensos intervalos; el mecanismo responsable por la disminución en la potencia aeróbica continúa siendo pobremente entendido; y el grado en el cual los cambios relacionados con la edad son reversibles es aun incierto (2, 6, 10-12). El presente estudio representa uno de las más largas evaluaciones longitudinales reportadas hasta el momento y es única en la descripción de los efectos de dos programas de entrenamiento de la resistencia separados por un gran período de tiempo. El propósito de este estudio fue valorar el efecto del entrenamiento de resistencia en estos hombres saludables de mediana edad, comparar la respuesta al entrenamiento con la observada 30 años atrás, luego de un régimen comparable de entrenamiento de la resistencia; y comparar los mecanismos de la adaptación cardiovascular observados durante estas evaluaciones separadas por un intervalo de 30 años.

## METODOS

---

Los sujetos fueron 5 hombres saludables, de 50 a 51 años de edad, quienes originalmente fueron estudiados por 3 de los actuales investigadores (B. Saltin, C.G. Blomqvist, J.H. Mitchell) en 1966. Todos los sujetos informaron de su consentimiento al protocolo aprobado por el Comité de Revisión Institucional del Centro Médico de la University of Texas Southwestern. Estos sujetos han sido caracterizados en detalle previamente, así como también los métodos iniciales de evaluación y prevención (2).

### Entrenamiento

Luego de las evaluaciones iniciales de la capacidad cardiopulmonar en reposo y en respuesta a un test de ejercicio progresivo, los sujetos realizaron un programa de entrenamiento de la resistencia estructurado. Utilizando los datos del estudio original de 1966, se determinaron los objetivos de entrenamiento para cada sujeto en un esfuerzo para reproducir la misma "dosis" (frecuencia, duración, e intensidad) del entrenamiento de resistencia alcanzadas en el estudio original y para mantener este nivel de entrenamiento por al menos 1 semana antes de las evaluaciones finales. El objetivo de la prescripción del ejercicio fue empezar moderadamente, con una progresiva valoración de la dosis de ejercicio a lo largo del período planeado de 6 meses. Dado el riesgo de lesión y sus consecuencias en este pequeño grupo de sujetos de mediana edad, no hemos reproducido la porción de entrenamiento fraccionado de alta intensidad del programa de entrenamiento de 1966. Los sujetos utilizaron monitores de frecuencia cardiaca (Polar Vantage XL) con su respectivo reloj ajustando la intensidad de ejercicio para alcanzar la frecuencia cardiaca objetivo y para registrar electrónicamente cada sesión de entrenamiento. Los archivos de los monitores de frecuencia cardiaca fueron descargados semanalmente; y en base a estos datos; la prescripción del ejercicio se valoró individualmente a través del período de entrenamiento con la intención de incrementar la duración neta semanal en un 5% a un 10% cada semana manteniendo una intensidad fija de ~75% de la frecuencia cardiaca máxima.

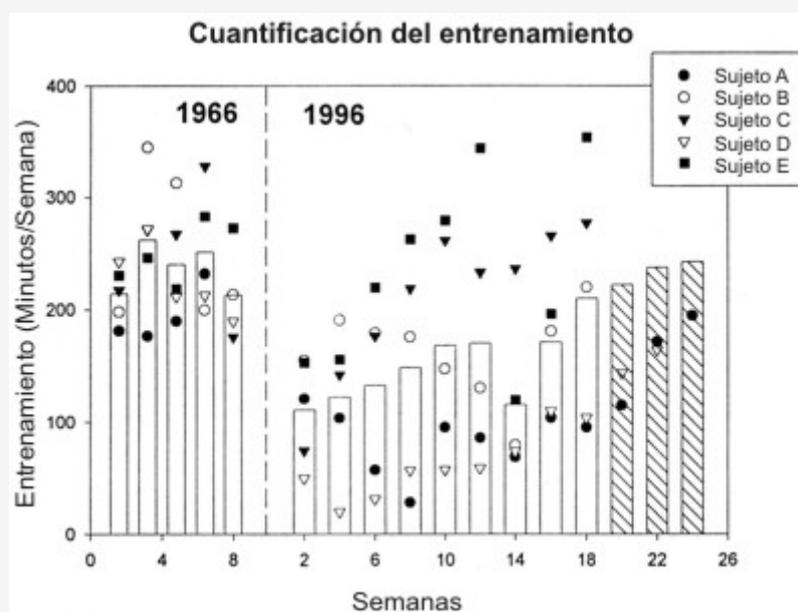
### Evaluaciones Post Entrenamiento

Luego de completar el período de entrenamiento, los sujetos experimentaron idénticas evaluaciones a las realizadas en el inicio con los métodos previamente descritos (2). Brevemente, se les realizaron evaluaciones de la capacidad cardiopulmonar en reposo y en dos niveles de ejercicio en estado estable a una intensidad de ~60% y 80% del máximo esfuerzo (determinado individualmente), utilizando la misma carga absoluta utilizada en las evaluaciones iniciales. Luego de un período de reposo, los sujetos realizaron un test progresivo máximo en cinta, realizándose las mismas evaluaciones. Esta estrategia reprodujo las evaluaciones realizadas en 1966 e incluyó las evaluaciones de frecuencia cardiaca (ECG),

presión sanguínea, consumo de oxígeno (técnica de bolsas de Douglas), gasto cardiaco (técnica de respiración única de acetileno), y lactato arterializado, todas realizadas bajo las condiciones previamente descritas (1, 2). En adición a las evaluaciones de 1966, a 3 de los 5 sujetos se les realizó una resonancia magnética nuclear del corazón antes y después del entrenamiento con el uso de técnicas estándar en nuestra institución (13).

## RESULTADOS

Los 5 sujetos completaron el programa de entrenamiento prescrito dentro del período planeado de 6 meses sin ningún tipo de lesión o complicación, y mantuvieron el nivel de ejercicio planeado por al menos 1 semana antes de las evaluaciones finales. En la Figura 1 se muestra un resumen de la dosis progresiva de ejercicio durante el programa de entrenamiento, junto con los datos comparativos del estudio de 1966. En promedio, la intensidad del ejercicio durante la semana final en el presente estudio fue del 77% de la frecuencia cardiaca máxima, comparado con el 88% de la frecuencia cardiaca máxima (FC máx.) de la semana final de entrenamiento en 1966. El período de entrenamiento requerido para alcanzar el objetivo estuvo en un rango de 18 a 24 semanas, con una media de 19.6 semanas.



**Figura 1.** Duración del ejercicio individual y grupal durante los programas de entrenamiento de 1966 y al momento del segundo seguimiento, con cada barra representando la media semanal de duración del entrenamiento. Debido a que los sujetos completaron el entrenamiento prescrito en diferentes tiempos, en el último estudio, a lo largo de las últimas 6 semanas, las barras rayadas reflejan la duración media del entrenamiento del grupo total, llevando a la última columna la duración de la semana final de entrenamiento para promediar los cálculos de aquellos que finalizaran previamente. De esta manera la última barra rayada representa la duración pico media de entrenamiento para todos los sujetos al tiempo de completar su entrenamiento, inmediatamente antes de las evaluaciones.

### Resultados Grupales Promedio

Las características basales promedio, tanto previas como posteriores al entrenamiento son presentadas en la Tabla 1, junto con los datos comparativos de 1966. Al comparar los valores pre-entrenamiento versus los valores post-entrenamiento, se halló poco cambio en el peso corporal (100 versus 96 kg), porcentaje de grasa corporal (28% versus 30%), o en la masa libre de grasa (MLG, 69.4 versus 64.8 kg). Hubo un 14% de disminución en la frecuencia cardiaca de reposo (90 versus 77 latidos/min), así como también disminuciones en la presión sanguínea sistólica (140 versus 132 mm Hg) y diastólica (88 versus 84 mm Hg). El volumen cardiaco total al final de la diástole en los 3 sujetos a los que se les realizó la resonancia magnética nuclear fue similar antes y después del entrenamiento (637 versus 646 mL) [ volúmenes y masas de los ventrículos derecho (VD) e izquierdo (VI), resultados que son comparables, pero más precisos que los volúmenes medidos radiográficamente en 1966).

|  | 1966              |                           | 1996              |                           |
|--|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|
|  | Condición Inicial | Después del Entrenamiento | Condición Inicial | Después del Entrenamiento |
| Talla (cm)   | 184 (3.3)         |                           | 185 (1.6)         |                           |
| Peso (kg)  | 77 (15)           | 77 (13)                   | 100 (37)          | 96 (37)                   |
| % de Grasa Corporal  | 14 (4.1)          | 13 (4.2)                  | 28 (3.0)          | 30 (8.6)                  |
| Presión Sanguínea Sistólica (mmHg)                         | 131 (23)          | 144 (9)                   | 140 (4)           | 132 (14)                  |
| Presión Sanguínea Diastólica (mmHg)                        | 75 (14)           | 78 (6)                    | 88 (7)            | 84 (6)                    |
| Presión Arterial Media (mmHg)                              | 94 (17)           | 100 (6)                   | 105 (6)           | 100 (6)                   |
| FC (latidos/min)   | 76 (27)           | 57 (10)                   | 90 (17)           | 77 (17)                   |
| VO <sub>2</sub> (l/min)                                    | 0.3 (0.04)        | 0.3 (0.05)                | 0.4 (0.13)        | 0.4 (0.14)                |
| VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)                                | 4.3 (0.7)         | 4.2 (0.5)                 | 3.7 (0.2)         | 3.7 (0.4)                 |
| VO <sub>2</sub> (ml/kg de masa libre de grasa/min)         | 5.0 (0.8)         | 4.9 (0.6)                 | 5.2 (0.3)         | 5.3 (0.6)                 |
| Gasto Cardíaco (l/min)                                     | 5.7 (1.3)         | 4.4 (0.8)                 | 5.9 (1.1)         | 5.5 (1.1)                 |
| Volumen Sistólico (ml/min)                                 | 79 (23)           | 77 849                    | 68 (18)           | 75 (19)                   |
| D a-v O <sub>2</sub> (ml O <sub>2</sub> /100 ml de sangre) | 5.8 (1.2)         | 7.9 (1.2)                 | 6.1 (1.2)         | 6.3 (1.2)                 |
| Hematócrito (%)  | 44                | 43                        | 47                | 48                        |
| Volumen Cardíaco*  | N/A               | N/A                       | 637 (111)         | 646 (122)                 |

**Tabla 1.** Características Basales: Promedio Grupal. Los valores son presentados como media (DS). El % de grasa corporal fue determinado con la técnica de pesaje subacuático. \* A tres de los sujetos (B, C, D) se les realizó resonancia magnética nuclear del corazón.

Todos los sujetos alcanzaron el máximo esfuerzo en la evaluación del ejercicio anterior como en la posterior al entrenamiento (Tabla 2). Los resultados promedio de los grupos de la evaluación de la capacidad cardiopulmonar post-entrenamiento están presentados en la Tabla 3.

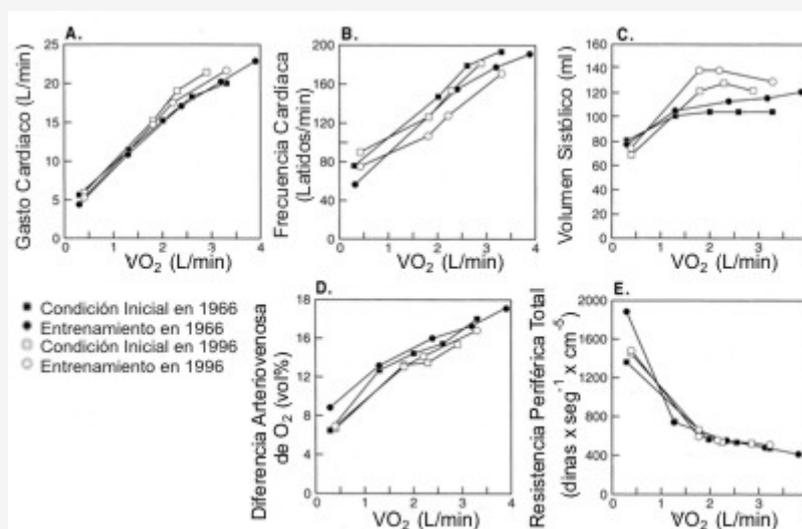
|                                       | Sujeto A |         | Sujeto B |         | Sujeto C |         | Sujeto D |         | Sujeto D |         |
|---------------------------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
|                                       | Antes    | Después |
| Índice de intercambio respiratorio, R | 1.21     | 1.01    | 1.17     | 1.08    | 1.18     | 1.14    | 1.14     | 1.11    | 1.10     | 1.07    |
| V <sub>E</sub> /VO <sub>2</sub>       | 45.0     | 47.8    | 34.9     | 32.3    | 46.7     | 49.6    | 36.5     | 34.4    | 41.2     | 42.5    |
| Lactato Arterializado                 | 10.6     | 9.0     | 7.0      | 8.2     | 10.0     | 9.6     | 8.6      | 6.4     | 8.2      | 6.7     |
| % de la FC máxima estimada            | 115      | 109     | 99       | 97      | 112      | 105     | 111      | 102     | 94       | 91      |

**Tabla 2.** Confirmación de evaluación máxima del ejercicio en las evaluaciones anteriores y posteriores al entrenamiento. VE/VO<sub>2</sub> indica tasa de volumen ventilatorio espirado/ tasa de consumo de oxígeno ventilatorio.

|  | 1966              |                           | 1996              |                           |
|--|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|
|  | Condición Inicial | Después del entrenamiento | Condición Inicial | Después del entrenamiento |
| <b>FC (latidos/min)</b>  |                   |                           |                   |                           |
| Submáxima 1  | 147               | 155                       | 126               | 108                       |
| Submáxima 2  | 178               | 177                       | 153               | 129                       |
| Máxima   | 193               | 190                       | 181               | 171                       |
| <b>Presión Sanguínea Sistólica (mmHg)</b>  |                   |                           |                   |                           |
| Submáxima 1  | 169               | 193                       | 183               | 156                       |
| Submáxima 2  | 199               | 194                       | 184               | 179                       |
| Máxima   | 204               | 201                       | 208               | 192                       |
| <b>Presión Sanguínea Diastólica (mmHg)</b>                                       |                   |                           |                   |                           |
| Submáxima 1  | 74                | 75                        | 87                | 87                        |
| Submáxima 2  | 85                | 78                        | 91                | 89                        |
| Máxima   | 81                | 74                        | 96                | 103                       |
| <b>Presión Arterial Media (mmHg)</b>   |                   |                           |                   |                           |
| Submáxima 1  | 106               | 115                       | 119               | 110                       |
| Submáxima 2  | 123               | 117                       | 122               | 119                       |
| Máxima   | 122               | 116                       | 134               | 133                       |
| <b>VO<sub>2</sub> (L/min)</b>  |                   |                           |                   |                           |
| Submáxima 1  | 2.0               | 2.4                       | 1.8               | 1.8                       |
| Submáxima 2  | 2.6               | 3.2                       | 2.3               | 2.2                       |
| Máxima   | 3.3               | 3.9                       | 2.9               | 2.3                       |
| <b>VO<sub>2</sub> (ml/kg masa libre de grasa/min)</b>                            |                   |                           |                   |                           |
| Submáxima 1  | 30.1              | 36.9                      | 26.8              | 28.2                      |
| Submáxima 2  | 38.8              | 47.4                      | 34.3              | 35.3                      |
| Máxima   | 49.7              | 59.7                      | 43.7              | 51.2                      |
| <b>VO<sub>2</sub> (ml/kg/min)</b>  |                   |                           |                   |                           |
| Submáxima 1  | 26.0              | 31.5                      | 19.0              | 19.9                      |
| Submáxima 2  | 33.6              | 40.8                      | 24.3              | 24.8                      |
| Máxima   | 43.0              | 51.1                      | 31.0              | 35.9                      |
| <b>Gasto Cardíaco (L/min)</b>  |                   |                           |                   |                           |
| Submáxima 1  | 15.2              | 17.1                      | 15.1              | 14.9                      |
| Submáxima 2  | 18.3              | 20.2                      | 19.0              | 17.6                      |
| Máxima   | 20.0              | 22.8                      | 21.4              | 21.7                      |
| <b>Volumen Latido (ml)</b>   |                   |                           |                   |                           |
| Submáxima 1  | 104               | 112                       | 121               | 138                       |
| Submáxima 2  | 104               | 115                       | 127               | 138                       |
| Máxima   | 104               | 120                       | 121               | 129                       |
| <b>Max DAVO<sub>2</sub> (ml O<sub>2</sub>/ 100 ml sangre)</b>                    |                   |                           |                   |                           |
| Submáxima 1  | 13.0              | 14.4                      | 11.9              | 11.8                      |
| Submáxima 2  | 13.9              | 15.5                      | 12.1              | 12.8                      |
| Máxima   | 16.2              | 17.1                      | 13.8              | 15.2                      |
| <b>Resistencia Periférica Total (dinas · min<sup>-1</sup> · cm<sup>-5</sup>)</b> |                   |                           |                   |                           |
| Submáxima 1  | 573               | 557                       | 665               | 604                       |
| Submáxima 2  | 543               | 483                       | 538               | 568                       |
| Máxima   | 484               | 417                       | 523               | 518                       |

**Tabla 3.** Resultados de las evaluaciones máximas y submáximas en cinta. Los valores son presentados como medias

Al comparar los datos pre-entrenamiento con los datos post-entrenamiento, se hacen evidentes algunas tendencias. A cada nivel de ejercicio submáximo, el consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) se mantuvo sin cambios; el gasto cardiaco fue ligeramente menor con una menor FC, equilibrada por un incrementado volumen sistólico; y la resistencia periférica total y la diferencia arteriovenosa de  $\text{O}_2$  ( $D_{a-v} \text{O}_2$ ) se mantuvieron sin cambios (Tabla 3). Las relaciones entre el  $\text{VO}_2$  y otros parámetros hemodinámicos a través del espectro desde el reposo al máximo esfuerzo a lo largo del período de 30 años están representadas en la Figura 2. Es importante señalar que la relación entre el gasto cardiaco y el  $\text{VO}_2$  a través del rango de esfuerzo no se alteró antes o después del entrenamiento a pesar del intervalo de 30 años (Figura 2A).



**Figura 2.** Relación de varios parámetros hemodinámicos con el consumo de oxígeno, a través del rango de ejercicio desde el reposo hasta el máximo esfuerzo al inicio y después del entrenamiento tanto para el estudio de 1966 como para el estudio actual, los datos son presentados como la media grupal. A; Gasto Cardiaco; B, Frecuencia Cardiaca; C, Volumen Sistólico; D, Diferencia Arteriovenosa de Oxígeno; E, Resistencia Periférica Total.

El  $\text{VO}_2$  máx. absoluto se incremento en un 14% (2.9 versus 3.3 L/min) (Figura 3), un cambio similar en la magnitud de incremento del 18% observado luego del entrenamiento en 1966. Del mismo modo, se observaron incrementos en el  $\text{VO}_2$  máx. tanto en relación a la masa corporal total (31.0 versus 35.9 ml/kg/min) como en relación a la masa libre de grasa (43.7 versus 51.2 ml/ kg MLG/min) (Figura 4). En promedio, no hubo cambios en el gasto cardiaco máximo (21.4 versus 21.7 L/min), con un 6% de reducción en la FC máx. (181 versus 171 latidos/min) equilibrado por un incremento del 7% en el volumen latido máximo (121 versus 129 ml) (Figuras 5 a la 7). De este modo, el 10% de mejora en la  $D_{a-v} \text{O}_2$  máx. (13.8 versus 15.2 vol%) explicó la mejora en la potencia aeróbica (Figura 8). No hubo cambios en la presión arterial media máxima (MAP máx.) (134 versus 133 mmHg) o en la resistencia periférica total (523 versus 518 dinas x  $\text{seg}^{-1}$  x  $\text{cm}^{-5}$ ) (Figura 9).

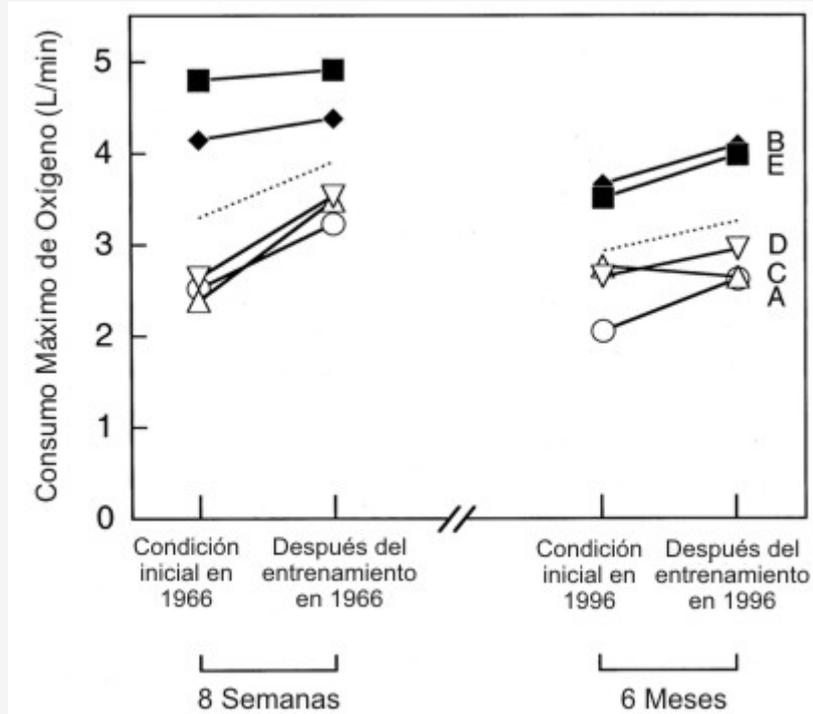


Figura 3. Consumo máximo de oxígeno en valores absolutos (L/min), antes y después del entrenamiento en 1966 y 1996.

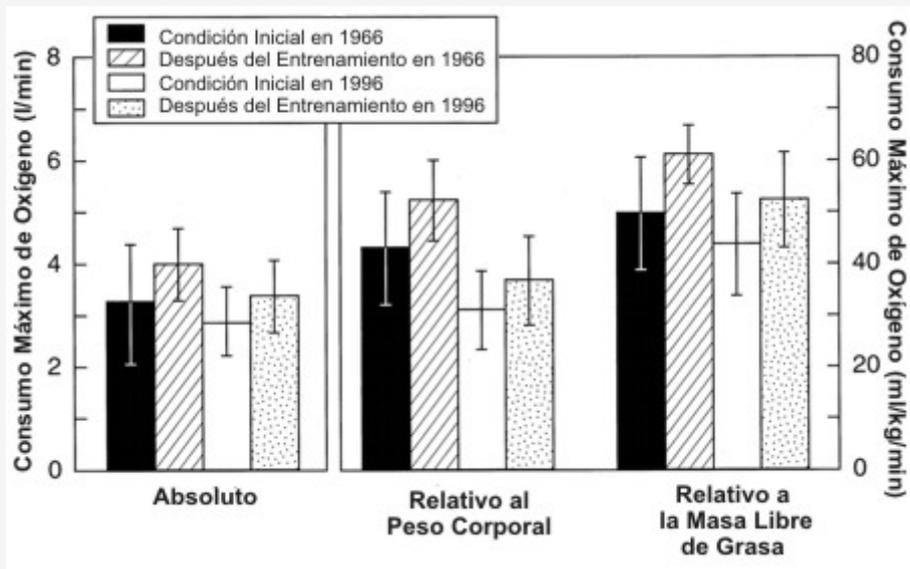
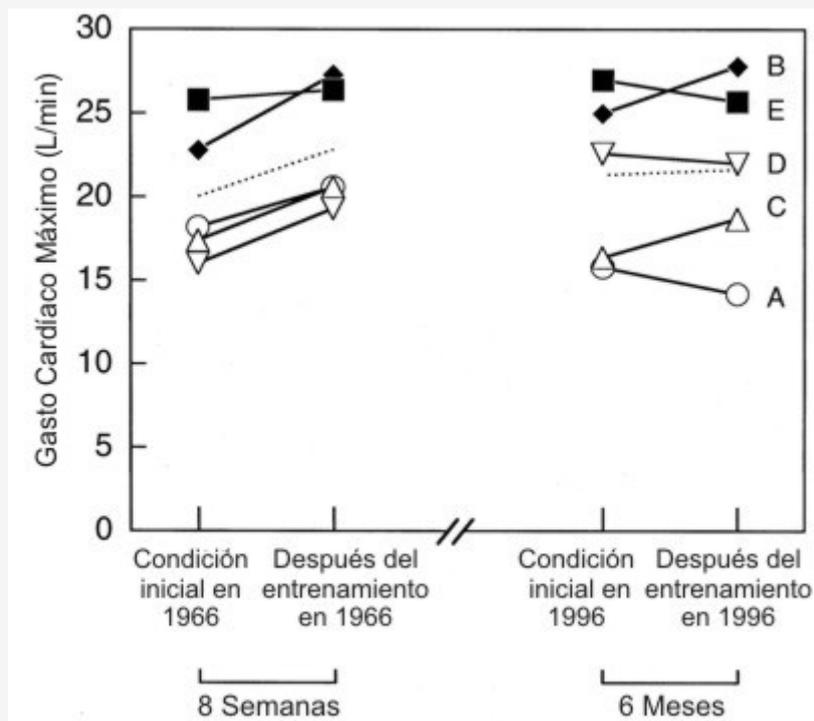
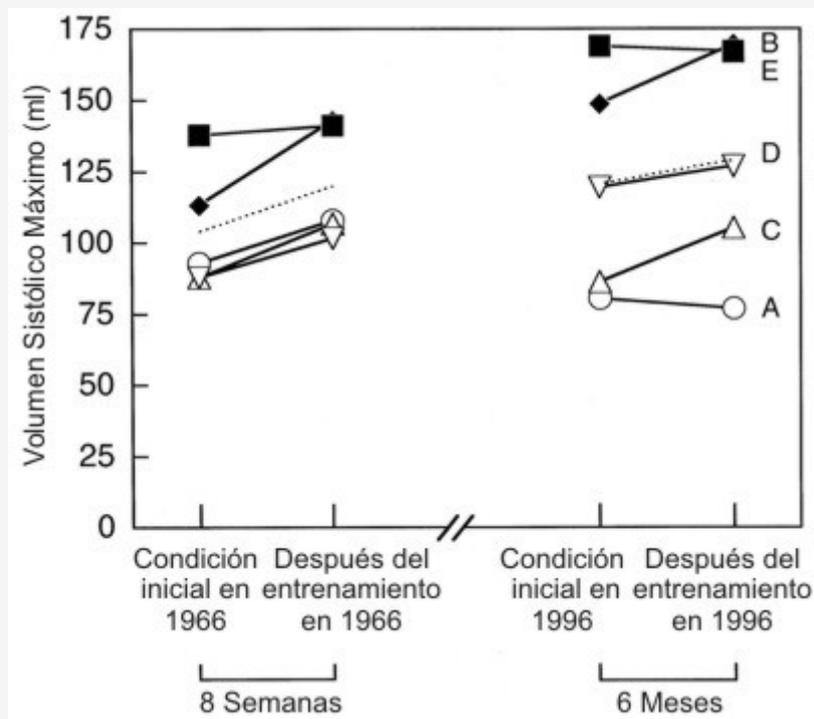


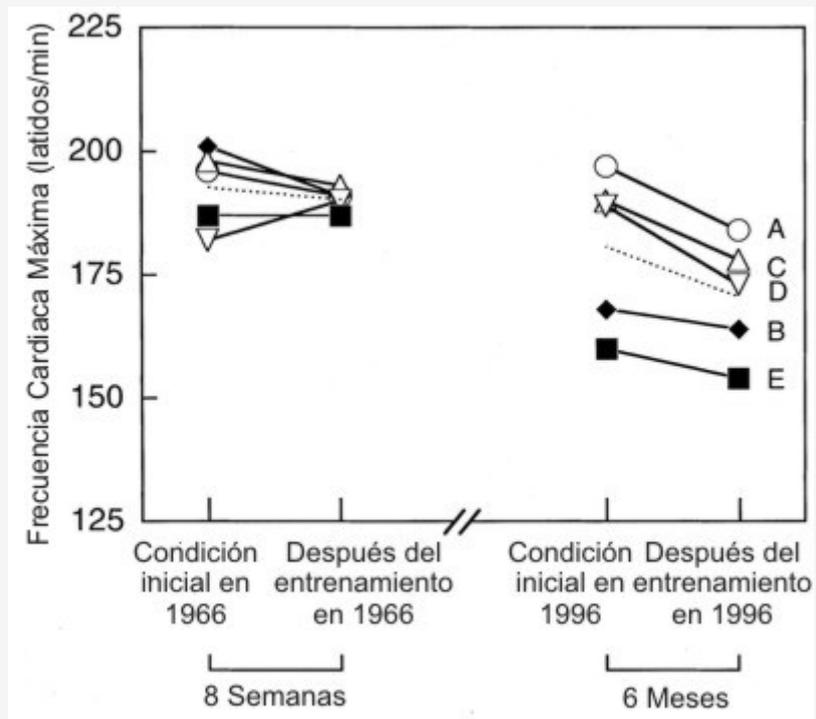
Figura 4. Consumo máximo de oxígeno (L/min) desde 1966 al presente estudio, reportado en valores absolutos, en relación al peso corporal, y en relación a la masa libre de grasa



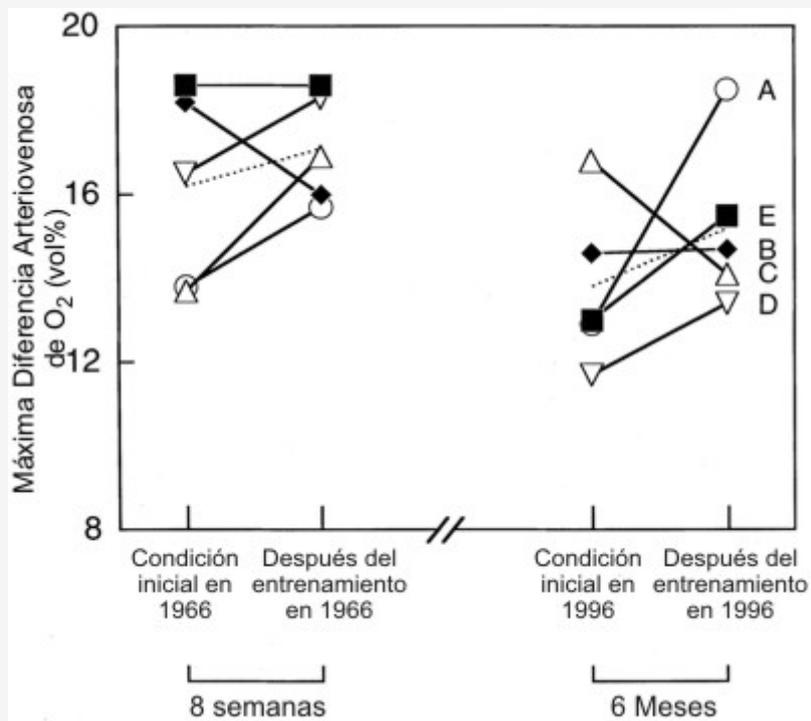
**Figura 5.** Gasto cardiaco máximo (L/min) antes y después del entrenamiento en 1966 y 1996



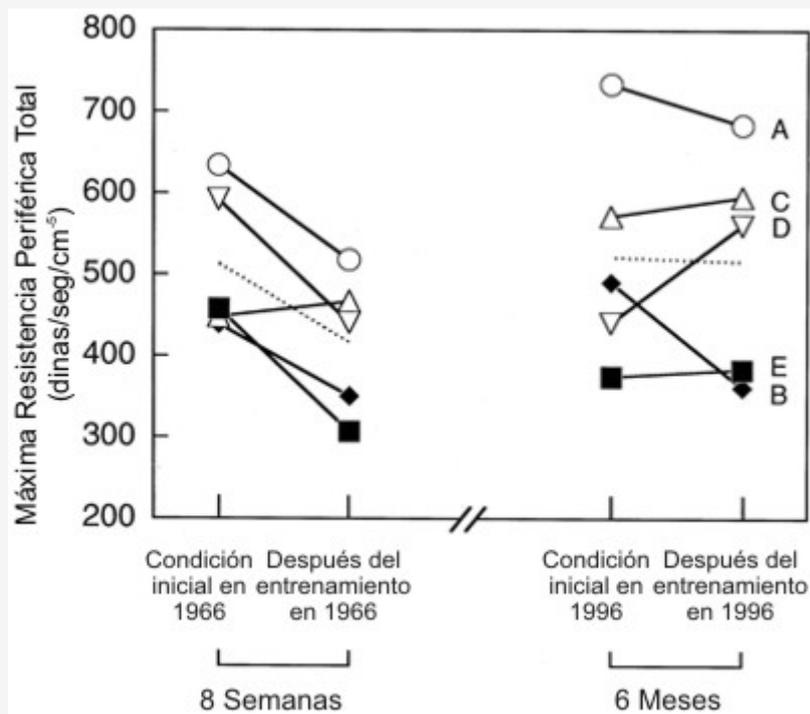
**Figura 6.** Volumen sistólico máximo (ml) antes y después del entrenamiento en 1966 y 1996.



**Figura 7.** Frecuencia cardiaca máxima (latidos/min), antes y después del entrenamiento en 1966 y 1996.



**Figura 8.** Máxima diferencia arteriovenosa de O<sub>2</sub> (vol%) antes y después del entrenamiento en 1966 y 1996.



**Figura 9.** Máxima resistencia periférica total (dinas  $\times$  seg<sup>-1</sup>  $\times$  cm<sup>-5</sup>) antes y después del entrenamiento en 1966 y 1996.

Al comparar los datos posteriores al entrenamiento de 1966 con los de 1996, se observó una disminución en el VO<sub>2</sub> máx. en valores absolutos del 15% a lo largo del intervalo de 30 años (3.9 versus 3.3 L/min). De la misma manera, se observaron disminuciones en el consumo máximo de oxígeno tanto en relación a la masa corporal total (51.1 versus 35.9 ml/kg/min), como en relación a la masa libre de grasa (59.7 versus 50.5 ml/kg de masa libre de grasa/min) (Figura 4). También se observaron disminuciones en el gasto cardiaco máximo (22.8 versus 21.7 L/min) y en la FC máx. (190 versus 171 latidos/min), con un incremento en el volumen latido máximo (120 versus 129 ml) (Figuras 5 a la 7). La máxima resistencia periférica total se incremento (417 versus 518 dinas  $\times$  seg<sup>-1</sup>  $\times$  cm<sup>-5</sup>) y la D a-v O<sub>2</sub> máx. disminuyó (17.1 versus 15.2 vol%) (Figuras 8 y 9).

### Resultados Individuales

Los datos demográficos, antropométricos y cardiovasculares completos para los individuos están publicados en Circulation Online como tablas A-E [Referencia], incluyendo los datos comparativos de 1966 en adición a los actuales resultados.

El sujeto A completo el programa prescrito de ejercicio en 24 semanas, camino 36 km en 276 minutos en la semana final y a un promedio del 72% del la máxima frecuencia cardiaca en 4 sesiones de ejercicio. Incrementó el VO<sub>2</sub> máx. absoluto en un 24% (2.1 versus 2.6 L/min) (Figura 3), como así también el VO<sub>2</sub> máx. relativo a la masa libre de grasa 36% (33.7 versus 45.7 ml/kg de masa libre de grasa/min). El 10% de disminución en el gasto cardiaco máximo (15.8 versus 14.2 L/min) (Figura 5) resultó de una disminución principalmente en la FC máx. (197 versus 181 latidos/min) (Figura 6), sin un cambio real en el volumen sistólico (80 versus 77 ml) (Figura 7) y una disminución en la resistencia periférica total máxima (734 versus 684 dinas  $\times$  seg<sup>-1</sup>  $\times$  cm<sup>-5</sup>) (Figura 9). La mejora completa en el rendimiento aeróbico resulto de un incremento del 43% en la D a-v O<sub>2</sub> máx. (12.9 versus 18.5 vol%) (Figura 8).

El sujeto B completo el programa prescrito de ejercicio en 18 semanas, trotó 40 km en 214 minutos en la semana final a un promedio del 77% de la frecuencia cardiaca máxima en 5 sesiones de ejercicio. Incrementó el VO<sub>2</sub> máx. absoluto en un 12% (3.7 versus 4.1 L/min) (Figura 3) y el VO<sub>2</sub> máx. relativo la masa libre de grasa en un 18% (55.8 versus 66.1 ml/kg de masa libre de grasa/min). Incremento el gasto cardiaco máximo en un 11% (25.0 versus 27.8 L/min), con un pequeño cambio en la FC máx. (168 versus 164 latidos/min), y un incremento del 14% en el volumen sistólico máximo (149 versus 170 ml) (Figuras 5 a la 7). No hubo cambios en la D a-v O<sub>2</sub> máx. (14.6 versus 14.7 vol%) y la máxima resistencia periférica total disminuyó en un 26% (491 versus 362 dinas/seg/cm<sup>-5</sup>) (Figuras 8 y 9).

El sujeto C completo el programa prescrito de ejercicios en 17 semanas, y fue el único sujeto que eligió entrenar en un ciclo ergómetro. Sin embargo, la evaluación fue en cinta, al igual que los otros sujetos. En la semana final, este sujeto

pedaleo por 285 minutos a un promedio del 80% de la frecuencia cardiaca máxima en 4 sesiones. El  $\text{VO}_2$  máx. absoluto (medido en cinta) disminuyó en un 7% (2.8 versus 2.6 L/min) (Figura 3), y el  $\text{VO}_2$  máx. relativo a la masa libre de grasa se mantuvo sin cambios (47.2 versus 47.8 ml/kg de masa libre de grasa/min). El gasto cardiaco máximo se incremento en un 14% (16.4 versus 18.7 L/min) (Figura 5) con un 6 % de disminución en la FC máx. (190 versus 178 latidos/min) y un incremento del 22% en el volumen sistólico máximo (86 versus 105 ml) (Figuras 6 y 7). En contraste con los otros sujetos, este fue el único individuo que tuvo una disminución en la D a-v  $\text{O}_2$  máx. (16 %; 16.8 versus 14.1 vol. %; Figura 8). La resistencia periférica total máxima se incrementó en un 4% (572 versus 596 dinas/seg/cm-5) (Figura 9).

El sujeto D completo el programa prescrito de ejercicios en 21 semanas, trotó 25,6 km en 164 minutos en la semana final a un promedio del 74% de la frecuencia cardiaca máxima en 4 sesiones de ejercicio. Incrementó el  $\text{VO}_2$  máx. absoluto en un 11% (2.7 versus 3.0 L/min) (Figura 3), así como también el  $\text{VO}_2$  máx. relativo a la masa libre de grasa (33.7 versus 45.7 ml/kg de masa libre de grasa/min). No hubo cambios en el gasto cardiaco máximo (22.6 versus 22.0 L/min), con una disminución del 8% en la FC máx. (189 versus 173 latidos/min) equilibrada por un incremento del 6% en le volumen sistólico máximo (120 versus 127 ml) (Figuras 5 a la 7). La completa mejora en el rendimiento aeróbico resulto de un incremento del 15% en la D a-v  $\text{O}_2$  máx. (11.7 versus 13.4 vol%) (Figura 8). La resistencia periférica total máxima se incremento en un 27% (441 versus 561 dinas x  $\text{seg}^{-1}$  x cm-5) (Figura 9).

El sujeto E completo el programa prescrito de ejercicios en 18 semanas, camino 32,5 km en 308 minutos en la semana final a un promedio del 84% de la frecuencia cardiaca máxima en 7 sesiones de ejercicio. Incrementó el  $\text{VO}_2$  máx. absoluto en un 14% (3.5 versus 4.0 L/min) y el  $\text{VO}_2$  máx. relativo a la masa libre de grasa se incremento en un 29% (33.2 versus 42.8 ml/kg de masa libre de grasa/min). El gasto cardiaco disminuyó en un 5% (27.0 versus 25.7 L/min), con una disminución del 4% en la FC máx. (160 versus 154 latidos/min) y sin cambios en el volumen sistólico máximo (169 versus 167 ml) (Figuras 5 a la 7). La entera mejora en el rendimiento aeróbico resultó de un incremento del 19% en la D a-v  $\text{O}_2$  máx. (13.0 versus 15.5 vol%) (Figura 8). La resistencia periférica total máxima se mantuvo sin cambios (375 versus 384 dinas/seg/cm-5) (Figura 9).

## DISCUSION

Los hallazgos más notables de este estudio incluyen: 1) 6 meses de entrenamiento de la resistencia restauraron el 100% de la disminución en la potencia aeróbica asociada con la edad, documentada previamente en estos mismos hombres a los largo del intervalo de 30 años (1, 2); 2) A pesar de este efecto del entrenamiento, ningún individuo alcanzó el nivel de potencia aeróbica alcanzada luego del entrenamiento 30 años atrás; 3) El mecanismo de recuperación de la potencia aeróbica involucró predominantemente adaptaciones periféricas al entrenamiento, evidenciadas por el incremento en la D a-v  $\text{O}_2$  máx., sin cambios en el gasto cardiaco máximo, y 4) la relación del gasto cardiaco con el  $\text{VO}_2$  se mantuvo sin cambios luego de 6 meses de entrenamiento de la resistencia y luego de 30 años de envejecimiento.

La potencia aeróbica declina con la edad (2, 9), pero hay poca información disponible sobre los mecanismos de esta declinación, especialmente la influencia de la progresiva inactividad física y el desacondicionamiento resultante. El estudio actual sobre entrenamiento, que abarcó 3 décadas, representa uno de los estudios longitudinales más largos, que evalúa el efecto del envejecimiento sobre la respuesta cardiovascular al entrenamiento de la resistencia en hombres saludables de mediana edad.

### Cumplimiento con el Entrenamiento

Todos los sujetos completaron el programa de entrenamiento prescrito dentro del intervalo planeado sin lesiones limitantes o complicaciones. El alto grado de cumplimiento sin que se produzcan lesiones probablemente es el resultado de múltiples aspectos de nuestra estrategia de entrenamiento que siguió las guías profesionales actuales con respecto a la prescripción de la actividad física (14, 15). Primero, se les permitió a los sujetos elegir el modo de ejercicio que ellos disfrutaran. Segundo, la dosis inicial de entrenamiento fue ligera, permitiéndole a los sujetos acostumbrarse al programa de entrenamiento antes de intentar un ejercicio más riguroso. Tercero, la utilización de monitores de frecuencia cardiaca le permitió a los sujetos ajustar la intensidad de sus sesiones de entrenamiento y probablemente prevenir la realización de ejercicios demasiado intensos que a menudo resulta en agotamiento, dolor, lesión y el no cumplimiento resultante. Además, esto nos permitió documentar la dosis de entrenamiento de cada sujeto para la comparación directa con los datos de 1966. Cuarto, el ajuste semanal individualizado en la prescripción del entrenamiento mantuvo un gradual, pero constante incremento en la dosis de entrenamiento y proveyó de una oportunidad para la retroalimentación positiva y la estimulación por parte de los investigadores. La mejora del 16% observada en la potencia aeróbica (relativa a la masa libre de grasa) demostró objetivamente la efectividad de nuestra estrategia de entrenamiento y es consistente con los resultados de otros estudios de entrenamiento de la resistencia en adultos sanos, no atletas, de mediana edad (16-19).

## Efectos del Entrenamiento sobre las Mediciones Antropométricas

A pesar de los 6 meses de entrenamiento de la resistencia, en promedio, solo se observó una disminución de 4 kg en el peso corporal (100 versus 96 kg) y de 1.1 kg/m<sup>2</sup> en el índice de masa corporal (29.1 versus 28.0 kg/m<sup>2</sup>) después del entrenamiento, sin registrarse cambios en el porcentaje de grasa corporal. Aunque modesta, la magnitud de los cambios antropométricos es consistente con la mayoría de los estudios previos en hombres adultos (20, 21). Estas observaciones sugieren que el gasto energético incrementado del entrenamiento estuvo acompañado por un incremento concomitante en la ingesta calórica, resaltando la importancia de la prescripción dietaria como un adjunto al ejercicio si la pérdida de peso es un resultado deseado.

## Comparaciones del Ejercicio Submáximo

Las comparaciones de los resultados de la evaluación del ejercicio submáximo demuestran algunos de los efectos cardiovasculares asociados al ejercicio de resistencia y son consistentes con estudios previos de entrenamiento en hombres adultos (12, 16, 17, 22). A cada nivel submáximo de la evaluación, realizado a la misma carga absoluta de trabajo antes y después del entrenamiento, el VO<sub>2</sub> se mantuvo sin cambios, sugiriendo que no hubo cambios significativos en la eficiencia del ejercicio asociada con el entrenamiento. Luego del entrenamiento, la prominente disminución en la FC, mayor a la observada durante el entrenamiento en la juventud, estuvo equilibrada por un incremento en el volumen latido en reposo y a ambos niveles de esfuerzo submáximo, lo que resultó en que no se hallaran cambios efectivos en el gasto cardiaco. Tampoco hubo cambios significativos en la D a-v O<sub>2</sub> o en la resistencia periférica total durante las evaluaciones submáximas, enfatizando que cuando el gasto cardiaco no está limitado, no se necesitaron ajustes periféricos para mantener los niveles normales de utilización de oxígeno. De esta manera, en el estudio de 1966 y en el estudio actual, hubo una alta correlación lineal entre el gasto cardiaco y el VO<sub>2</sub> que no se vio alterada por el entrenamiento. Estas observaciones son consistentes con estudios previos (1, 12, 17, 18), pero hay poca información longitudinal disponible con respecto a la estabilidad de la relación GC/VO<sub>2</sub> en intervalos extensos. Nosotros no observamos cambios significativos en esta relación lineal a lo largo del período de 30 años (Figura 2A). Estos hallazgos son contrarios a los de Stratton y cols. (12), quienes sugirieron una disminución en la pendiente de la relación GC/VO<sub>2</sub> asociada con el envejecimiento en un estudio transversal. La notable consistencia de la relación entre el VO<sub>2</sub> y el gasto cardiaco a lo largo de los 30 años de duración de este estudio confirma la fuerza de las vías regulatorias que igualan las demandas metabólicas (VO<sub>2</sub>) y el flujo sanguíneo sistémico (gasto cardiaco), así como también respalda la consistencia de las técnicas entre las evaluaciones.

## Comparaciones del Ejercicio Máximo, antes y después del Entrenamiento

La influencia de la actividad física sobre la disminución en la potencia aeróbica relacionada con la edad ha sido extensivamente discutida (10, 23). En el estudio actual, con un promedio del 17% de mejora en el VO<sub>2</sub> máx. relativo a la masa libre de grasa luego del entrenamiento, el grupo alcanzó un nivel de rendimiento aeróbico comparable a su nivel inicial de 1966 y recuperó ~40% de la disminución demostrada por la diferencia entre los valores post-entrenamiento en 1966 versus los valores iniciales de 1996 (1, 2). Esta observación es consistente con la influencia de la actividad física sobre la disminución en la potencia aeróbica asociada con la edad estimada por medio de las evaluaciones iniciales de estos 5 hombres en el intervalo de 30 años, en la cual se ha observado una correlación moderada ( $r^2=0.40$ ) entre la actividad física habitual reportada por los sujetos y el VO<sub>2</sub> máx. medido (2). Similarmente, en un estudio de Beere y cols. (16), sujetos ancianos recuperaron ~30% de la diferencia en el VO<sub>2</sub> máx. observada al inicio entre cohortes de jóvenes y ancianos, luego de un programa de entrenamiento de la resistencia. Estas observaciones son también consistentes con estudios longitudinales y transversales previos, sugiriendo que la actividad física continua a través de la adultez atenúa pero no elimina la tasa de disminución en la potencia aeróbica observada con el envejecimiento (6, 24, 25). A pesar de las mejoras en las medidas de la aptitud física cardiovascular, la potencia aeróbica de los sujetos en el estudio actual no alcanzó los niveles observados en atletas de igual edad quienes han participado en ejercicios de resistencia a través de su vida adulta (26) (Tabla 4). Es desconocido si esto representa simplemente una diferencia en la duración (6 meses versus varios años) o en la intensidad del entrenamiento, o más bien una alteración fundamental de la capacidad adaptativa del sistema cardiovascular con el envejecimiento y/o con el desacondicionamiento.

|                               | Dallas |               | Atleta de Resistencia ~50 años |
|-------------------------------|--------|---------------|--------------------------------|
|                               | Inicio | Entrenamiento |                                |
| VO <sub>2</sub> (L/min)       | 2.9    | 3.3           | 3.6                            |
| VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)   | 31     | 36            | 52                             |
| Gasto Cardíaco (L/min)        | 21.4   | 21.7          | 26.6                           |
| FC (latidos/min)              | 181    | 171           | 171                            |
| Volumen Latido (ml)           | 121    | 129           | 156                            |
| D a-v O <sub>2</sub> (vol%)   | 13.8   | 15.2          | 13.4                           |
| Presión Arterial Media (mmHg) | 134    | 133           | 135                            |

**Tabla 4.** Resultados de la evaluación máxima del ejercicio: Sujetos del estudio actual versus la literatura previa. La literatura previa es de la referencia 39.

Es interesante señalar que no se observaron mejoras en la potencia aeróbica, después del entrenamiento en el sujeto 3. Aunque este entrenó en bicicleta, realizó la evaluación de la capacidad cardiopulmonar en cinta. La discordancia en la modalidad de ejercicio entre el entrenamiento y la evaluación probablemente explica, porque no fuimos capaces de demostrar una mejora en la potencia aeróbica en este sujeto a pesar de la adherencia al régimen prescrito de entrenamiento. En retrospectiva, dicha respuesta a la especificidad del entrenamiento podría haber sido esperada debido a que la vasta mejoría en todos los otros sujetos parece ser causada por mecanismos periféricos más que centrales. Intrigantemente, este fue el único sujeto con un prominente incremento en el gasto cardíaco máximo luego del entrenamiento, confirmando un efecto de “entrenamiento cruzado” sobre la adaptación central versus la periférica. Sin embargo, se podría también sugerir que con el envejecimiento, la contribución de la extracción periférica de oxígeno a las limitaciones del máximo consumo de oxígeno pueden incrementar su magnitud.

#### Comparación del Ejercicio Máximo después del Entrenamiento: Resultados Actuales versus los de 1966

En comparación con los resultados de 1966, se evidencia de las actuales evaluaciones un diferente mecanismo de adaptación. Las evaluaciones de estos sujetos en 1966 demostraron que la mejora de la respuesta cardiovascular al ejercicio máximo luego de entrenamiento entre individuos jóvenes estuvo igualmente mediada a través de un incremento en el gasto cardíaco máximo y en la máxima D a-v O<sub>2</sub> (1). El aumento en el gasto cardíaco fue alcanzado por un mayor volumen sistólico en ajuste a una modesta disminución en la resistencia periférica total durante el esfuerzo máximo. Observaciones similares han sido reportadas en otros grupos (11, 18, 27). Los datos actuales, sin embargo, demuestran que la mejora en la potencia aeróbica asociada con el entrenamiento en estos ahora hombres de mediana edad fue resultado de una mejorada D a-v O<sub>2</sub> sin cambios en el gasto cardíaco máximo o en la resistencia periférica total.

#### Mecanismos de Adaptación

Los efectos fisiológicos del entrenamiento de la resistencia han sido extensivamente discutidos (10, 28, 29). En jóvenes y adultos jóvenes, el entrenamiento resulta en mejoras relativamente paralelas en el rendimiento central y periférico (1, 11, 18). Pocos estudios han evaluado los efectos específicos del entrenamiento en adultos de mediana edad y ancianos saludables con respecto a las adaptaciones centrales versus las periféricas. Nuestra observación de que el VO<sub>2</sub> máx. estuvo afectado principalmente por mejoras en la D a-v O<sub>2</sub> máx. sin cambios efectivos en el gasto cardíaco máximo ha sido observado en algunos (16, 22, 30), pero no en todos los estudios previos (12, 18, 19, 25). Existen un número de posibles explicaciones para las diferencias observadas en los mecanismos de adaptación asociados con la edad al entrenamiento de la resistencia. La falta de mejoría en el gasto cardíaco máximo es causada probablemente por numerosos mecanismos. El envejecimiento está asociado con una disminución en la FC máx. (3, 24, 31) y la mayoría de los estudios demostraron una disminución adicional en la FC máx. asociada con el entrenamiento (1, 18, 27, 29). En el presente estudio longitudinal, el envejecimiento parece magnificar la reducción en la FC máx. asociada con el entrenamiento de la resistencia, con una disminución de 10 latidos/min en hombres de mediana edad versus cambios no mensurables en jóvenes luego del entrenamiento. Esta prominente reducción fue observada en reposo y con cada nivel de ejercicio submáximo como también con el ejercicio máximo, se discutió si esta reducción fue causada por una falla en alcanzar la verdadera frecuencia cardíaca máxima después del entrenamiento. Nosotros especulamos de que el efecto de un incremento en el “tono vagal” asociado con el entrenamiento podría ser exagerado por una reducción en la respuesta de las catecolaminas, la cual ha

sido bien descrita con el envejecimiento (3, 6, 32, 33).

El gasto cardiaco máximo se mantuvo prácticamente sin cambios luego del entrenamiento, con una disminución de la frecuencia cardiaca contrarrestada por un incremento en el volumen latido, una observación que se ha realizado en algunos (29, 34), pero no en todos los estudios previos (19, 35). La capacidad para aumentar el volumen sistólico máximo para mantener el gasto cardiaco podría ser resultado de una dependencia incrementada en el mecanismo de Frank-Starling, en el incremento del efecto inotrópico o ambos (6, 33, 36, 37). También es posible que la disminución en la frecuencia cardiaca máxima por si misma permita una mejora en el llenado ventricular y permita incrementar el volumen sistólico a través del mecanismo de Starling. Nuestro estudio no se enfocó en estos mecanismos específicos, pero reportes previos sugieren que el envejecimiento esta asociado a una dependencia incrementada en el mecanismo de Frank-Starling para mantener el gasto cardiaco durante el ejercicio máximo (6, 33, 32, 35, 38). Sin embargo, no todos los reportes respaldan este concepto, y es aun incierto si la adaptación en el mecanismo de Frank-Starling puede ser sostenida a través de la edad adulta. Varios posibles mecanismos han sido descritos que pueden explicar las mejoras observadas en la D a-v O<sub>2</sub> máx. El entrenamiento ha sido asociado con la conversión del tipo de fibras musculares, desde el tipo 2X (glucolíticas) al tipo 2A (Oxidativas) (39, 40); incrementos en la densidad capilar muscular y mejoras en el reclutamiento de unidades motoras que incrementan el área de superficie capilar a través de la cual el oxígeno es intercambiado (39-41); e incrementos en la eficiencia de la distribución del gasto cardiaco a los tejidos en ejercicio, a través de una mejora en la vasorregulación y un mejora en el reclutamiento de unidades motoras (1, 28, 29, 39, 42). Nuestros datos no se enfocan en estos mecanismos específicos.

### **Limitaciones**

Aunque, durante el estudio actual, hemos intentado administrar una dosis de entrenamiento similar a la alcanzada en el estudio de 1966, este esfuerzo no fue perfecto. Por ejemplo, para reducir posibles riesgos de lesión, hemos eliminado la prescripción del componente de entrenamiento fraccionado de alta intensidad utilizado en 1966. Segundo, hemos realizado el entrenamiento a lo largo de un intervalo de 6 meses, comparado con las 8 semanas de 1966. Finalmente, en el presente estudio, los sujetos alcanzaron una intensidad de ejercicio ~10% menor a la que alcanzaron en 1966. Aunque la duración semanal fue ligeramente mayor, esta diferencia resulto en un impulso de entrenamiento ligeramente menor en el presente estudio comparado con el de 1966.

A pesar de estas diferencias, la mejora del 17% en el VO<sub>2</sub> máx. relativo a la masa libre de grasa en el estudio actual se compara favorablemente con el 20% de mejora alcanzada en el estudio de 1966. Además, numerosas líneas de evidencias sugieren que el efecto definitivo de las modificaciones realizadas al entrenamiento fue relativamente pequeño. Primero que nada, el entrenamiento fraccionado por si solo no afecta substancialmente la potencia aeróbica (43). Segundo, especialmente en los sujetos más desentrenados, la gran mejoría en la potencia aeróbica en 1966 fue alcanzada durante las etapas tempranas del programa de entrenamiento, antes de la utilización del entrenamiento fraccionado. Finalmente, aun si las diferencias entre el entrenamiento de 1966 y el de 1996 resultaron en alguna disminución en el efecto definitivo del entrenamiento, el resultado final fue que virtualmente toda la perdida de la potencia aeróbica a lo largo de los 30 años de envejecimiento fue recuperada luego de la dosis de entrenamiento alcanzada en este estudio. Es muy improbable que el incremento del 10% en la intensidad relativa o la adición de entrenamiento fraccionado pudiera haber incrementado dramáticamente el VO<sub>2</sub> máx. a un nivel comparado al alcanzado post-entrenamiento en 1966. De esta manera, es valida la conclusión de que un entrenamiento similar luego de 30 años revierte la perdida de potencia aeróbica inducida por el envejecimiento, pero no retorna el VO<sub>2</sub> máx. a los niveles post-entrenamiento en la juventud.

El estudio actual tiene otras limitaciones notables. La limitación del tamaño de la muestra perjudica la significación de los análisis estadísticos, y la validez de las observaciones deben ser confirmadas en poblaciones más grandes. La ausencia de un grupo de control limita la habilidad para diferenciar la influencia de factores de confusión, tales como, estilo de vida, nutrición, patologías subyacentes, diferencias biológicas o genéticas, y otros; sobre la respuesta cardiovascular al entrenamiento. Finalmente, el estudio examino el intervalo desde la juventud hasta la mediana edad en hombres solamente, y los resultados pueden no ser generalizables a poblaciones de mayor edad o a mujeres.

### **Conclusiones**

En resumen, la disminución en la potencia aeróbica relacionada con la edad entre estos 5 hombres de mediana edad ocurrida a lo largo de 30 años fue completamente revertida por un programa de entrenamiento de 6 meses. Sin embargo ningún sujeto alcanzó el mismo VO<sub>2</sub> máx. alcanzado luego del entrenamiento intensivo realizado en la juventud. La mejora en la potencia aeróbica luego del entrenamiento fue principalmente un resultado de adaptaciones periféricas, sin una mejora efectiva en la máxima distribución de oxígeno.

### **Agradecimientos**

Esta investigación esta dedicada al Dr. Carleton B. Chapman (1915- 2000), quien fue responsable por la iniciación de estos estudios hace 30 años y por el comienzo de una cercana relación científica y personal de los tres autores (B. Saltin, C.G. Blomqvist, y J.H. Mitchell).

Agradecemos especialmente a los 5 sujetos que voluntariamente cedieron su tiempo y esfuerzo para este estudio de seguimiento; a Matt Morrow, Stacy Blaker, y Julie Zukerman por su invaluable ayuda en la realización de las evaluaciones antropométricas y del ejercicio; y a Merja Perhonen por la ayuda con los datos de la resonancia magnética nuclear.

### Dirección para correspondencia

Darren K. McGuire, MD, MHSc, UT Southwestern Medical Center, 5323 Harry Hines Blvd, Dallas, TX 75390-9047. Correo electrónico: darren.mcguire@utsouthwestern.edu

## REFERENCIAS

1. Saltin B, Blomqvist G, Mitchell JH, et al (1968). Response to exercise after bed rest and after training: a longitudinal study of adaptive changes in oxygen transport and body composition. *Circulation*; 37/38 (suppl VII): VII-1-VII-78
2. McGuire DK, Levine BD, Williamson JW, et al (2001). A 30-year follow-up of the Dallas bed rest and training study: effect of age on the cardiovascular response to exercise. *Circulation*; 104: 1350-1357
3. Robinson S (1938). Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiologie*; 10: 251-323
4. Fleg JL (1994). Effects of aging on the cardiovascular response to exercise. In: Fletcher GF, ed. *Cardiovascular Response to Exercise*. Mount Kisco, NY: Futura Publishing Co, Inc; 387-404
5. Kasch FW, Boyer JL, Schmidt PK, et al (1999). Ageing of the cardiovascular system during 33 years of aerobic exercise. *Age Ageing*; 28: 531-536
6. Wilson TM, Tanaka H (2000). Meta-analysis of the age-associated decline in maximal aerobic power in men: relation to training status. *Am J Physiol*; 278: H829-H834
7. Blomqvist CG (1983). Cardiovascular adaptations to physical training. *Ann Rev Physiol*; 45: 169-189
8. Saltin B (1985). Hemodynamic adaptations to exercise. *Am J Cardiol*; 55: 42D-47D
9. Stratton JR, Levy WC, Cerqueira MD, et al (1994). Cardiovascular responses to exercise: effects of aging and exercise training in healthy men. *Circulation*; 89: 1648-1655
10. Keller AM, Peshock RM, Malloy CR, et al (1986). In vivo measurement of myocardial mass using nuclear magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*; 8: 113-117
11. NIH Consensus Development Panel on Physical Activity, and Cardiovascular Health (1996). Physical activity and cardiovascular health. *JAMA*; 276: 241-246
12. American College of Sports Medicine Position Stand (1998). The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 30; 975-991
13. Beere PA, Russell SD, Morey MC, et al (1999). Aerobic exercise training can reverse age-related peripheral circulatory changes in healthy older men. *Circulation*; 100: 1085-1094
14. Ehsani AA, Ogawa T, Miller TR, et al (1991). Exercise training improves left ventricular systolic function in older men. *Circulation*. 83: 96-103
15. Pollock ML, Miller HS Jr, Janeway R, et al (1971). Effects of walking on body composition and cardiovascular function of middle-aged men. *J Appl Physiol*; 30: 126-130
16. Kohrt WM, Malley MT, Coggan AR, et al (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
17. Seals DR, Hagberg JM, Hurley BF, et al (1984). Endurance training in older men and women, I: cardiovascular response to exercise. *J Appl Physiol*; 57: 1024-1029
18. Hodgson JL, Buskirk ER (1977). Physical fitness and age, with emphasis on cardiovascular function in the elderly. *J Am Geriatr Soc*; 25: 385-392
19. Heath GW, Hagberg JM, Ehsani AA, et al (1981). A physiological comparison of young and older endurance athletes. *J Appl Physiol*; 51: 634-640
20. Ogawa T, Spina RJ, Martin WH III, et al (1992). Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation*; 86: 494-503
21. Saltin B (1986). Physiological characteristics of the masters athlete. In: Sutton JR, Brock RM, eds. *Sports Medicine for the Mature Athlete*. Indianapolis, Ind: Benchmark Press, Inc; 59-80
22. Saltin B (1969). Physiological effects of physical conditioning. *Med Sci Sports*; 1: 50-56
23. Saltin B (1971). Central circulation after physical conditioning in young and middle-aged men. In: André-Larsen O, Malmberg O, eds. *Physical Fitness and Coronary Heart Disease*. Copenhagen, Denmark: Munksgaard; 21-26
24. Martin WH III, Ogawa T, Kohrt WM, et al (1991). Effects of aging, gender, and physical training on peripheral vascular function. *Circulation*; 84: 654-664
25. Londeree BR, Moeschberger ML (1982). Effect of age and other factors on maximal heart rate. *Res Q Exerc Sport*; 53: 97-104
26. Lakatta EG (1993). Cardiovascular regulatory mechanisms in advanced age. *Physiol Rev*; 73: 413-467

27. Schulman SP (1999). Cardiovascular consequences of the aging process. *Cardiol Clin*; 17: 35-49
28. Rodeheffer RJ, Gerstenblith G, Becker LC, et al (1984). Exercise cardiac output is maintained with advancing age in healthy human subjects: cardiac dilatation and increased stroke volume compensate for a diminished heart rate. *Circulation*; 69: 203-213
29. Spina RJ, Turner MJ, Ehsani AA (1998).  $\beta$ -adrenergic-mediated improvement in left ventricular function by exercise training in older men. *Am J Physiol*; 274: H397-H404
30. Spina RJ, Ogawa T, Coggan AR, et al (1992). Exercise training improves left ventricular contractile response to  $\beta$ -adrenergic agonist. *J Appl Physiol*; 72: 307-311
31. Mann DL, Denenberg BS, Gash AK, et al (1986). Effects of age on ventricular performance during graded supine exercise. *Am Heart J*; 111: 108-115
32. Saltin B, Gollnick PD (1983). Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In: Peachey LD, Adrian RH, Geiger SR, eds. *Handbook of Physiology: Skeletal Muscle. Vol 10. Baltimore, Md: Williams & Wilkins: 73-112*
33. Coggan A, Spina RJ, King DS, et al (1992). Skeletal muscle adaptations to endurance training in 60- to 70-yr-old men and women. *J Appl Physiol*; 72: 1780-1786
34. Saltin B, Henriksson J, Nygaard E, et al (1977). Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann N Y Acad Sci*; 301: 3-29
35. DeSouza CA, Shapiro LF, Clevenger CM, et al (2000). Regular aerobic exercise prevents and restores age-related declines in endothelium-dependent vasodilation in healthy men. *Circulation*; 102: 1351-1357
36. McConnell GK, Costill DL, Widrick JJ, et al (1993). Reduced training volume and intensity maintain aerobic capacity but not performance in distance runners. *Int J Sports Med*; 14: 33-F37

### Cita Original

Darren K. McGuire; Benjamin D. Levine; Jon W. Williamson; Peter G. Snell; C. Gunnar Blomqvist; Bengt Saltin; Jere H. Mitchell A 30-Year Follow-Up of the Dallas Bed Rest and Training Study. II Effect of Age on Cardiovascular Adaptation to Exercise Training. *Circulation*, 104:1358-1366, 2001