

# Sobre el problema de la capacidad de resistencia

Dr. WILDOR HOLMANN.

Instituto de Educación  
Física de Colonia.

(Traducido de la revista «Fortschritte der Medizin»,  
Núm. 17. Año 79, págs. 439-446. — 1961).

Tanto para los cardiópatas con insuficiencia como para los deportistas es de una particular importancia la máxima capacidad funcional y la resistencia. KNIPPING y col. se han

correspondientes utilizables en clínica. Antes de pasar al tema de este trabajo, exponemos en forma de tabla un breve resumen sobre los resultados obtenidos en nuestro trabajo concernientes a la *capacidad funcional máxima*. La tabla 1 da los valores medios para la máxima admisión de O<sub>2</sub>, la frecuencia del pulso y el pulso de O<sub>2</sub> en las personas normales de todas las edades, así como en los deportistas desde los veinte a los cuarenta años.

A la vista de estos valores resalta que la máxima capacidad de admisión de oxígeno, un equivalente bruto de la capacidad funcional cardíaca, es más elevado en el grupo de personas de dieciocho a diecinueve años. La misma confirmación fue hecha por REINDELL y col. El grupo que comprendía las edades de cincuenta hasta ochenta años pertenecía a personas que todavía practicaban el deporte. Por esta razón deben ser considerados muy elevados estos valores para el término medio de la población. Además, es digna de tenerse en cuenta la disminución continuada de la máxima frecuencia del pulso. Desciende por término medio de 198/min. en el grupo de doce y trece años

Edades	Número	Máxima admisión de O <sub>2</sub>		Frecuencia del pulso		Pulso de O <sub>2</sub>	
		ml	3 σ M	3 σ M	3 σ M		
<i>Personas normales</i>							
12 y 13	55	1810	±220	198	±39	9,1	±2,4
14 y 15	51	2390	±310	192	±33	12,4	±3,8
16 y 17	38	2730	±284	187	±24	14,6	±3,2
18 y 19	43	3100	±290	181	±18	17,1	±3,5
20 — 40	80	2970	±305	176	±24	16,8	±3,3
41 — 50	36	2680	±331	173	±27	15,6	±2,9
51 — 60	42	2220	±326	169	±17	13,0	±3,8
61 — 70	18	1790	±263	160	±21	11,0	±2,0
71 — 80	11	1520	±325	138	±21	11,0	±3,1
<i>Deportista</i>							
20 — 40	127	3848	±402	178	±18	21,6	±3,4
Total	501						

Tabla 1. — Valores medios para la máxima admisión de O<sub>2</sub>, frecuencia del pulso y del pulso de O<sub>2</sub> para las personas normales desde la infancia a la vejez, y en los deportistas de todas clases (trabajo de la curva giratoria en el ergómetro giratorio con una respiración de O<sub>2</sub>; comienzo de la sobrecarga con 30 vatios; aumento por minuto de 30 vatios).

esforzado, desde hace más de treinta años, en el desarrollo de los métodos de investigación

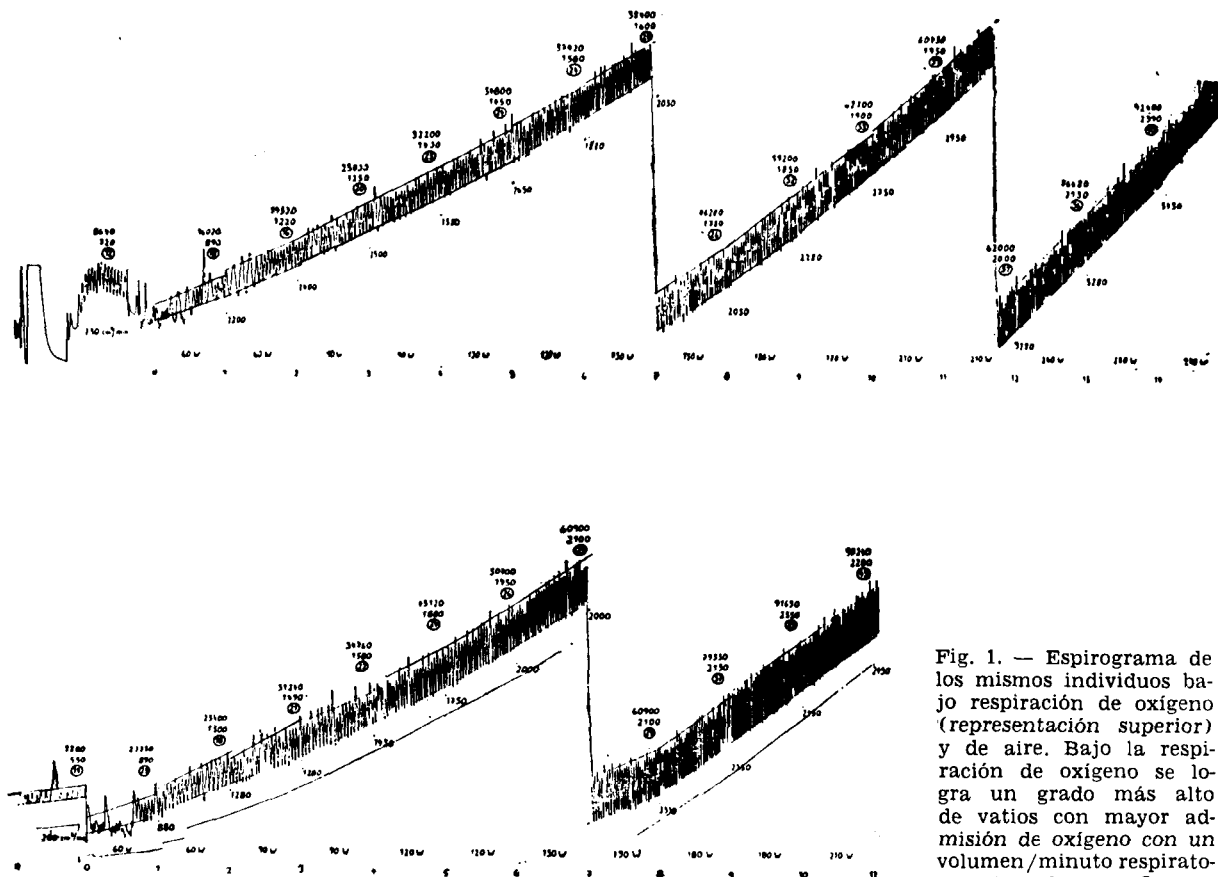


Fig. 1. — Espirograma de los mismos individuos bajo respiración de oxígeno (representación superior) y de aire. Bajo la respiración de oxígeno se logra un grado más alto de vatios con mayor admisión de oxígeno con un volumen/minuto respiratorio más pequeño.

a 138/min. en el de setenta y uno hasta ochenta años.

Como aparato para comprobar la admisión de  $O_2$  y la ventilación se utilizó aquí, como en los ensayos siguientes, el espirógrafo de KNIP-PING, tipo 210 D, en fabricación especial.

Durante mucho tiempo se discutió asimismo la influencia de la *respiración de oxígeno* sobre la capacidad funcional del organismo. La tabla 2 muestra los valores de 30 personas que una vez respiran aire y otra oxígeno.

La máxima capacidad funcional (en vatios) aumenta con la respiración de oxígeno aproximadamente del 10 al 15 por 100 comparada con la respiración de aire atmosférico. La máxima admisión de oxígeno, con una respiración de oxígeno, está por término medio un 19 por 100 más elevada; por el contrario, el volumen/minuto respiratorio (VMR) en el grado de vatios comparable más elevado, es un 6 por 100 más bajo (fig. 1). Una influencia de la respiración de oxígeno sobre la presión sanguínea puede demostrarse sólo dentro del límite de la capacidad funcional orgánica, pues la presión sistólica se encuentra aproximadamente 20 mm de

Hg más baja que con la respiración de aire atmosférico. Estas cifras corresponden solamente a los varones a partir de los treinta años. La frecuencia del pulso, con respiración de  $O_2$  y durante la máxima sobrecarga, es aproximadamente un 15 por 100 más baja.

En ensayos semejantes llegaron MÜNCHINGER y GRANDJEAN a las mismas conclusiones.

Tabla 2 a. — Valores medios de 30 estudiantes deportistas (entre los veinte y los treinta años) con una sobrecarga aumentada por minuto, bajo respiración de oxígeno, en el ergómetro giratorio.

Tiempo (min.)	Sobrecarga (vatios)	Admisión de $O_2$ (ml)	3 $\sigma$ M (ml)	V M R (l/r)	3 $\sigma$ M (l/r)	Equivalente respiratorio
Reposo	%	320		9,8		25
Trabajo						
1. Min.	30	810	$\pm 141$	20,0	$\pm 5,7$	20
2. Min.	60	1250	$\pm 144$	24,1	$\pm 5,3$	20
3. Min.	90	1600	$\pm 152$	28,2	$\pm 4,9$	18
4. Min.	120	1960	$\pm 156$	36,3	$\pm 4,9$	19
5. Min.	150	2230	$\pm 165$	43,5	$\pm 5,7$	19
6. Min.	180	2750	$\pm 171$	54,3	$\pm 5,9$	20
7. Min.	210	3230	$\pm 238$	61,6	$\pm 8,2$	20
8. Min.	240	3490	$\pm 312$	77,9	$\pm 11,2$	22
9. Min.	270	3800	$\pm 334$	86,7	$\pm 12,9$	23
10. Min.	300	4140	$\pm 358$	98,0	$\pm 13,7$	24

Tiempo min.	Sobrecarga mkg/seg.	Admisión de O <sub>2</sub> cc	V M R cc	Equivalente respiratorio	Valor de la presión sanguínea 3 σ M	Presión sanguínea media (pm)	Frecuencia del pulso	Pulso de O <sub>2</sub>
Reposo	Ninguna	340	6 320	18	118/80	96,3	68	5,0
Trabajo	6	650	13 860	21	128/81	±15/±10	101,2	88
	9	1040	19 480	19	137/82	±13/±8	105,6	100
	12	1380	25 690	19	143/82	±17/±12	108,2	109
	15	1630	33 620	21	156/82	±15/±10	113,8	120
	18	1900	41 320	22	167/81	±19/±14	117,9	131
	21	2040	49 520	24	184/82	±23/±18	125,8	142
	24	2350	58 450	25	197/82	±21/±15	131,4	153

Tabla 3 a.— Valores medios de 30 varones desde los treinta años. Sobrecarga aumentada por minuto en el ergómetro de bicicleta.

Tiempo min.	Sobrecarga mkg/seg.	Admisión de O <sub>2</sub> cc	V M R cc	Equivalente respiratorio	Valor de la presión sanguínea 3 σ M	Presión sanguínea media (pm)	Frecuencia del pulso	Pulso de O <sub>2</sub>
Reposo	Ninguna	240	5 670	24	114/85	97,4	78	3,1
Trabajo	6	590	11 110	18	128/86	±12/±8	104,0	100
	9	1080	17 960	17	140/85	±15/±12	108,6	115
	12	1320	25 680	20	150/88	±17/±10	114,6	125
	15	1570	33 220	22	159/89	±19/±10	119,1	145
	18	1800	44 070	24	170/89	±19/±12	123,8	160
	21	2110	56 770	27	179/92	±21/±16	129,4	176

Tabla 3 b.— Valores medios de 30 mujeres desde los treinta años. Sobrecarga aumentada por minuto en el ergómetro de bicicleta.

Dentro del margen de un esfuerzo físico ligero y mediano no se comprueba influencia alguna de la respiración de oxígeno sobre los mencionados factores. La influencia evidente de la máxima capacidad funcional es comprensible que aumente ya numéricamente. Mediante la multiplicidad de la presión parcial de O<sub>2</sub> en el aire alveolar aumenta la cantidad de O<sub>2</sub> de la sangre arterial disuelta físicamente en el plasma de cerca de 0,25 vol. por 100 a cerca de 1,0 vol. por 100. Sólo este factor influye en el

aumento del volumen/minuto cardíaco; por ejemplo, 5 litros en reposo a 30 litros/minuto, durante el máximo esfuerzo, da un aumento de la admisión de oxígeno de aproximadamente 300 ml/min. Además, el descenso que se observa sólo dentro del límite de la capacidad funcional del organismo, de la saturación arterial de O<sub>2</sub> por término medio de 96 por 100 a 94-91 por 100, con una respiración de oxígeno, puede no sólo evitarse, sino que puede observarse una saturación adicional de cerca del 98 por 100, como se confirma mediante la toma de sangre arterial durante la máxima sobrecarga.

Tabla 2 b.— Valores medios de las mismas personas con respiración de aire.

Tiempo (min)	Sobrecarga (Vatio)	Admisión de O <sub>2</sub> (ml)	3 σ M (ml)	V M R (litr)	3 σ M (litr)	Equivalente respiratorio
Reposo	%	330		9,1		23
Trabajo						
1. Min.	30	880	±139	21,6	±5,9	27
2. Min.	60	1340	±146	27,5	±5,7	20
3. Min.	90	1640	±152	32,4	±6,0	20
4. Min.	120	1920	±170	41,3	±7,7	22
5. Min.	150	2370	±198	51,4	±10,5	22
6. Min.	180	2490	±203	65,2	±10,1	23
7. Min.	210	2720	±225	73,2	±10,3	24
8. Min.	240	3080	±310	81,0	±12,8	25
9. Min.	270	3470	±348	92,4	±13,5	26

Las tablas 3 a y 3 b muestran el proceder de algunos factores cardio-pulmonares entre personas de ambos sexos de las mismas edades y con un entrenamiento semejante.

Con el mismo grado de sobrecarga es igual la admisión de O<sub>2</sub>. Con una mayor intensidad de trabajo asciende verticalmente el volumen/minuto respiratorio en la mujer, probablemente debido a su mayor contenido de ácido láctico en la sangre arterial. No se comprueban claras diferencias en la presión sanguínea. Como la máxima capacidad funcional de la mujer

es 1/3 inferior a la del hombre, de un modo correspondiente es también inferior su capacidad para el aumento de la presión sistólica (de 230 a 250 mm de Hg en el hombre y de 190 a 200 mm de Hg en la mujer). La frecuencia del pulso aumenta más en las mujeres con cualquier sobrecarga, y correspondiendo a esto desciende menos el pulso de oxígeno (fig. 2).

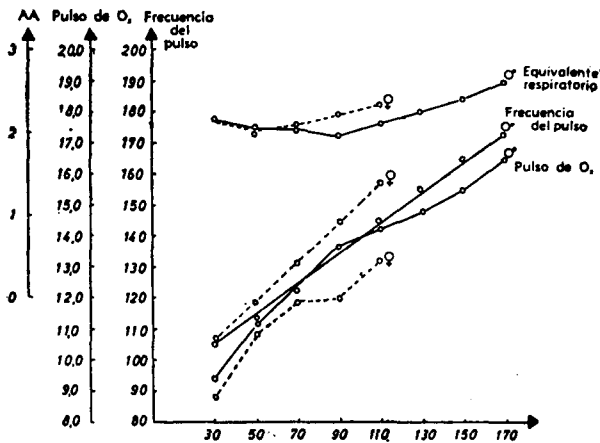


Fig. 2.—Representación comparativa del comportamiento del pulso de  $O_2$ , de la frecuencia del pulso y del equivalente respiratorio en hombres y mujeres con un mismo grado de sobrecarga. Se trata de trabajo en el ergómetro giratorio, que aumentó cada tres minutos en 20 vatios. Se tuvo en cuenta sólo el tercer minuto de trabajo en cada grado de sobrecarga.

Continuando las investigaciones sobre el comportamiento del organismo humano sano y enfermo en caso de sobrecarga física, nos hemos ocupado también, en los últimos años, del enjuiciamiento de la *capacidad funcional permanente*. Como el factor limitante para un trabajo físico pesado en el que participa un gran número de músculos está situado en el aparato circulatorio, se está próximo a utilizar como prueba cualquier forma de sobrecarga cardiovascular. Mediante las investigaciones de E. A. MÜLLER se sabe que dentro de un volumen de sobrecarga, individualmente diferente, el número de pulsaciones por minuto permanece constante, independientemente de la duración del trabajo. Por bajo de este volumen de sobrecarga tampoco se modifica la suma del pulso de recuperación, es decir, la suma de las pulsaciones que existían en la fase de recuperación sobre el valor inicial de reposo. La máxima intensidad de trabajo que es posible realizar durante varias horas sin que se produzca un aumento brusco de la frecuencia del pulso durante el mismo, ni tampoco un aumento de

la suma del pulso de recuperación, se denomina por E. A. MÜLLER «límite de la función permanente». Dentro de este límite se mantiene la balanza de los procesos de asimilación y desasimilación.

Para poder investigar otros criterios dentro de este campo se practicaron toda una serie de experimentos en colaboración con VENRATH. En las primeras investigaciones orientadoras nos hicimos las preguntas siguientes: ¿el déficit de oxígeno que se produce en la realización de un trabajo depende de la duración de la sobrecarga?; ¿si ocurre así, sirve para todos los grados de sobrecarga o sólo para los grandes esfuerzos?; ¿existe también un límite para la función permanente que se manifieste de acuerdo con la absorción de oxígeno? Para la contestación de estas preguntas se investigaron 8 hombres en el tercer decenio de su vida, según el esquema siguiente:

Ensayo	Sobrecarga en vatios	Minutos de duración
1.	130	5
2.	130	10
3.	130	20
4.	100	5
5.	100	10
6.	100	20
7.	70	5
8.	70	10
9.	70	20
10.	40	5
11.	40	10
12.	40	20

Cada persona hizo solamente un ensayo al día. A sabiendas, se eligieron primeramente los grados más elevados de sobrecarga, para evitar en lo posible un efecto de entrenamiento.

El resultado fue el siguiente: en las sobrecargas con 130 y con 100 vatios aumentó, sin excepción, el «déficit de oxígeno» con la prolongación del trabajo. Con 70 vatios presentaron 6 personas, en una duración de trabajo de cinco, diez y veinte minutos, un déficit de oxígeno estacionario; así continuaron durante todo el trabajo —aparte del comienzo del trabajo hasta lograr el *steady state*—, sin que se presentara mayor déficit de  $O_2$ . Con esta sobrecarga, 2 de las 8 personas mostraron también un «déficit de oxígeno» que aumentaba con la prolongación del trabajo. En los grados más bajos de trabajo, con 40 vatios no pudo demostrarse en ningún caso una dependencia del déficit de oxígeno con la duración del trabajo.

De los resultados obtenidos en estos ensayos

puede deducirse lo siguiente: no sólo la intensidad de la sobrecarga, sino también la duración del esfuerzo ejerce una influencia sobre la magnitud del déficit de oxígeno. Ello se pone de manifiesto, sin embargo, en las personas investigadas sólo en los grados de sobrecarga de 130 y de 100 vatios, así como —en 2 personas— con 70 vatios. En un trabajo de 40 vatios es igual si se realiza durante veinte minutos o solamente durante cinco, pues el déficit de  $O_2$  permanece estacionario. De este proceder del déficit de oxígeno puede sacarse la conclusión de que también existe un límite de trabajo permanente relacionado con la admisión de oxígeno, es decir, una magnitud de sobrecarga por bajo del «déficit de oxígeno» permanece estacionaria independientemente de la duración del trabajo. Este límite es diferente en cada individuo. En 6 de los estudiantes deportistas aquí mencionados oscila este límite entre 70 y 100 vatios; en 2 personas se encuentra situado escasamente por bajo de 70 vatios de sobrecarga en el ergómetro giratorio.

Así es posible, disponiendo de dos criterios distintos, averiguar un límite de trabajo permanente. Inmediatamente surge la cuestión de si ambos límites, que para diferenciarlos recibieron la denominación de «límite de pulsación y de trabajo permanente» y «límite de  $O_2$  y de trabajo permanente», concuerdan también en su altura. Por tanto, se averigua también, junto con el límite de  $O_2$  y de trabajo permanente, el límite de pulsación y de trabajo permanente. El resultado sorprendió por el hecho de que en cada una de las personas investigadas el límite de pulsación permanente se hallaba situado claramente bajo el límite de  $O_2$  y trabajo permanente. Con otras palabras, si se ejecuta un trabajo permanente dentro del límite de  $O_2$  y trabajo permanente, con el tiempo se llega a una subida lenta de la frecuencia del pulso. Según lo expuesto, parece tratarse con el límite de pulsación y trabajo permanente sólo de un límite genuino de la capacidad funcional, mientras que el límite de  $O_2$  y trabajo permanente representa ya una manifestación de *steady state* ficticia.

El verdadero límite de trabajo permanente, es decir, una intensidad de trabajo al que teóricamente puede imputársele una falta de limitación temporal, existe sólo por bajo del límite de pulsación y trabajo permanente, como ya fue expuesto por E. A. MÜLLER. La desasimilación y la asimilación, el cansancio y la recuperación se mantienen aquí equilibrados. La necesidad de oxígeno de los músculos en actividad se encuentra totalmente cubierta.

La diferenciación entre el límite del pulso y

el límite de  $O_2$  y trabajo permanente no puede atribuirse, por tanto, al «déficit de oxígeno», puesto que en ambos casos es igual.

En las investigaciones fisiológicas de trabajo llegó E. A. MÜLLER a los mismos resultados. Este autor se expresó de la siguiente manera: Por encima del pulso límite y trabajo permanente se acumulan las sustancias no oxidadas dentro y fuera de los músculos en actividad o bien son oxidadas o resintetizadas en otros músculos y en el hígado. Como en el límite de  $O_2$  y trabajo permanente se encuentra la admisión de oxígeno que cubre el déficit de esta sustancia de todo el organismo, evidentemente que utiliza el cuerpo esta segunda posibilidad, la de la «recuperación por trabajo muscular extraordinario». La prueba de ello es que, dentro de este límite, no aumenta el déficit de oxígeno con el tiempo de trabajo. Con el logro del *steady state* se establece también un valor constante del «déficit de oxígeno», que sólo con relación a la necesidad de oxígeno está más elevado que en el *steady state*, por bajo del límite del pulso y trabajo permanente. El fundamento de esto es que las sustancias anaerobias son transportadas desde la musculatura en actividad a la que se halla en reposo y al hígado, y en aquellos lugares son desintegradas y sintetizadas en la misma proporción en que se originan. La definición fisiológica para ambos límites es, según MÜLLER, como sigue: Un trabajo se encuentra por bajo del límite  $O_2$  y trabajo permanente si se admite tanto oxígeno con la respiración como es necesario para el desempeño del trabajo, mientras que la sobrecarga se encuentre por bajo del límite pulso y trabajo permanente, si los músculos en actividad admiten tanto oxígeno como necesitan para su trabajo.

Para tener una visión más clara de este proceso se practicaron, juntamente con VENRATH y VALENTIN nuevos ensayos experimentales. En 40 varones, a partir de los treinta años, se determinó la admisión de oxígeno, el valor del pH, la tensión de  $O_2$ , el contenido de  $O_2$ , así como la tensión y el contenido de  $CO_2$ , tanto en la sangre arterial como en la venosa y durante sobrecargas de 6, 12, 18 y 24 mkg/seg en el ergómetro de bicicleta, donde la duración del trabajo alcanzó a tres minutos en cada intensidad de sobrecarga. Sólo se tomaron en consideración los valores de cada tercer minuto, prácticamente el valor de *steady state*.

La determinación del contenido de ácido láctico tuvo lugar según el método enzimático. La medición del valor de pH se practicó con el patrón pH 22, según ASTRUP. Las tensiones de  $O_2$  y de  $CO_2$  las obtuvimos según el

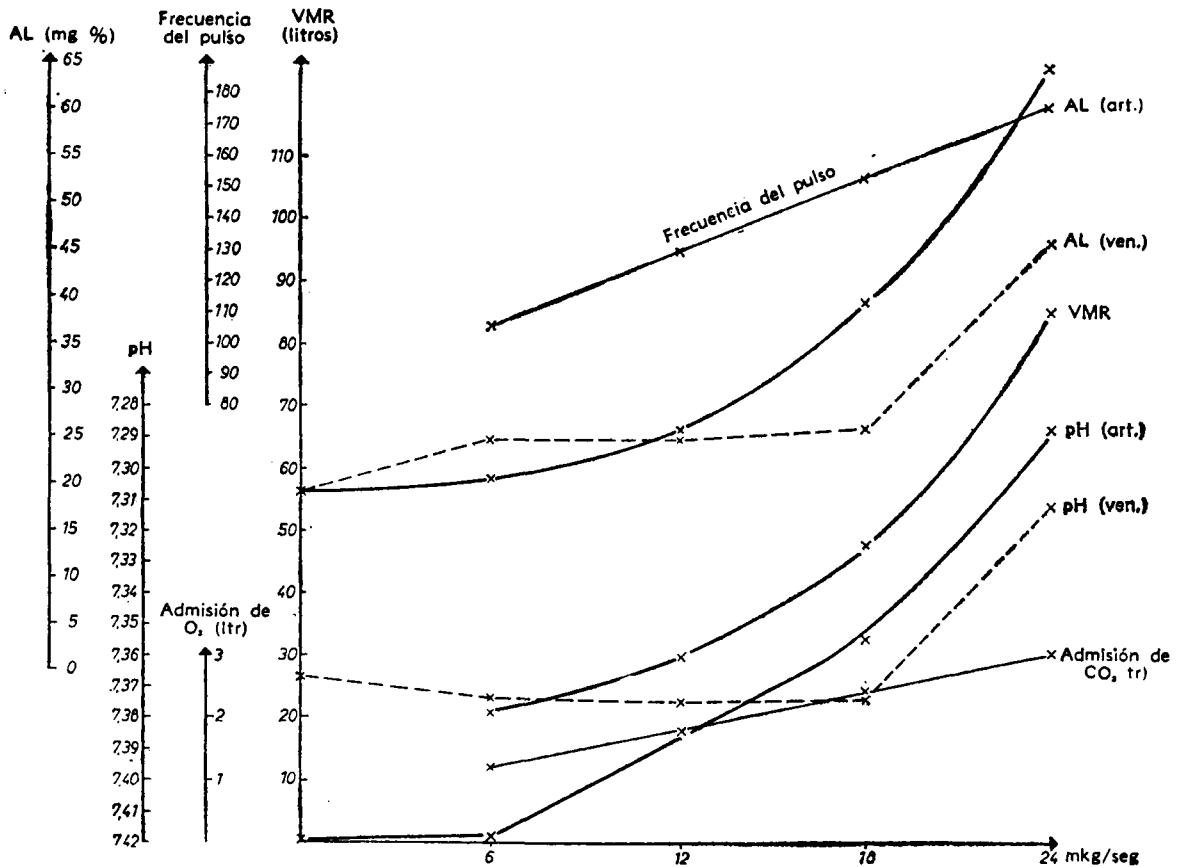


Fig. 3.— El comportamiento del nivel del ácido láctico (AL), de la frecuencia del pulso, del volumen/minuto respiratorio (VMR), del valor del pH y de la admisión de O<sub>2</sub> con una sobrecarga que aumenta 6 mkg/seg. cada tres minutos en el ergómetro de bicicleta. Valor medio en cada tercer minuto de trabajo con respiración de aire atmosférico (art.=en la sangre arterial; ven.=en la sangre venosa).

procedimiento de Franke-Proemmel-Riley, y el contenido de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub>, según el método de van Slyke.

Se observó una subida en forma de parábola del contenido de ácido láctico en la sangre arterial (arteria braquial) y un curso muy semejante del valor del pH. En la sangre venosa (vena cubital) se observaron imágenes completamente distintas con los mismos criterios. Hasta una intensidad de trabajo de 18 mkg/seg cursó la curva del nivel de ácido láctico casi en sentido horizontal, para después subir verticalmente. Un curso de curvas casi semejantes mostraron los valores del pH venoso (fig. 3). Es decir, que la sangre venosa es más alcalina durante el trabajo que la arterial, al contrario de lo que ocurre en estado de reposo. Como la sangre arterial y la venosa, en lo que se refiere a su campo circulatorio, se diferencia solamente en la dirección del recambio cuan-

do la musculatura no participa en el trabajo, hay que buscar en ello la causa de las diferencias. En la musculatura del brazo en reposo «desaparece» ácido láctico. Debido a ello mantiene su valor de reposo inicial el pH durante largo tiempo. Esto confirmaría la opinión de MÜLLER de que por encima del límite de pulso y trabajo permanente el organismo, ya durante el trabajo, fija musculatura de reposo en el proceso de recuperación. Más allá del límite O<sub>2</sub> y trabajo permanente no alcanza este mecanismo al parecer, lo que se manifiesta en un aumento del déficit de oxígeno con la duración del trabajo.

El comienzo de la subida del nivel del ácido láctico en la sangre arterial indica que ya mediante la altura de la intensidad de la sobrecarga no se garantiza una aportación suficiente de oxígeno para el trabajo muscular. Según los resultados de nuestras investigaciones, esto

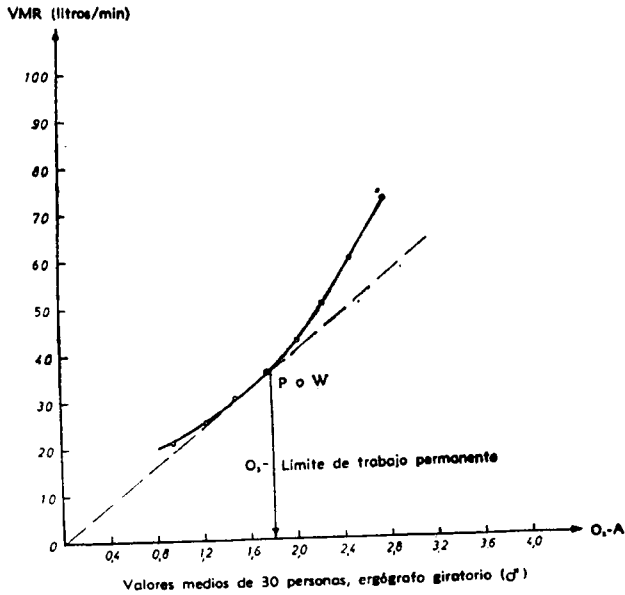


Fig. 4.— Determinación gráfica del punto de óptimo grado de acción de la respiración (P o W) y del límite de  $O_2$  y trabajo permanente de nuestros probandos masculinos.

alcanza una cifra entre 6 y 12 mkg/seg. El hallazgo se cubre bien con otros valores obtenidos de otras bases y discutidos más adelante.

A resultados semejantes llegó BALKE, que pudo confirmar un aumento manifiesto del contenido de ácido láctico en la sangre venosa, sólo por encima de una frecuencia del pulso de 120 a 130/min. BAINBRIDGE describe una subida vertical del ácido láctico si el consumo de  $O_2$  sobrepasa a 1,5 litros/min. Estas relaciones, como pudimos observar en su tiempo en nuestras investigaciones, dependen en alto grado del estado de entrenamiento de las personas que ensayan.

Según estas consideraciones teóricas y experiencias experimentales, nuestra meta era la de encontrar un método de investigación practicable para determinar el límite del trabajo permanente. Según las manifestaciones anteriores es posible una separación entre el *steady state* verdadero y el *steady state* ficticio por vía incruenta, sólo con ayuda de la medición de la frecuencia del pulso o bien hay que aumentar una sobrecarga constante en muchas investigaciones hasta que la frecuencia del pulso en el campo del *steady state* ficticio aumente con el tiempo de trabajo o controlar la suma de recuperación del pulso hasta que aumente con el tiempo de trabajo. Ambos métodos son largos y dificultosos. Desde el final de una sobrecarga constante hasta el comienzo de la próxi-

ma tiene que estar el sujeto en reposo total, pues los estados de recuperación influyen sobre el resultado. Además debe explorar el clínico a los pacientes para comprobar si padecen de arritmias debidas a fibrilación auricular, extrasístoles masivas o bloqueo cardíaco, es decir, todos aquellos casos en los que falla el número de pulsaciones.

Independientemente de estos factores de perturbación se hace la determinación del límite de  $O_2$  y trabajo permanente, en la forma anteriormente mencionada. Pero este método no aporta ninguna ganancia de tiempo. Se sabe, a base de numerosas experiencias, que en el equilibrio respiratorio permanecen constantes las tensiones gaseosas en los tejidos, en la sangre y en el aire alveolar. Si con el aumento progresivo de la sobrecarga se llega al punto de que la musculatura en actividad no perciba en cantidad suficiente el oxígeno que necesita para el desempeño de su función, comienza entonces a subir fuertemente la curva del volumen/minuto respiratorio. Por el contrario, la toma de  $O_2$  mantiene continuamente una elevación paralela con el crecimiento de la intensidad de la sobrecarga. Aquí hay que mencionar un punto que consiste en que con un volumen/minuto respiratorio relativamente bajo se necesitará una cantidad de  $O_2$  lo mayor posible. Dentro de esta sobrecarga habría que buscar el límite de  $O_2$  y trabajo permanente, pues el gran aumento del volumen/minuto respiratorio para la admisión de  $O_2$  coincide con una subida vertical del nivel de ácido láctico en la sangre arterial, como expresión de la hipoxia y de una disminución de curso semejante al valor del pH. La tensión del  $CO_2$  disminuye en la sangre arterial en caso de mayores sobrecargas, como consecuencia de la hiperventilación por bajo del valor inicial de reposo.

A base de estas consideraciones y experiencias publicamos ahora los siguientes métodos de investigación: el trabajo comenzará en el ergómetro de bicicleta con 3 mkg/seg. Si se desean valores máximos vitales, podrá aplicarse la sobrecarga hasta el punto de agotamiento, de otro modo nos detendremos cuando se logre una frecuencia de pulso de 160/min. Deben registrarse la ventilación, la admisión de  $O_2$ , la frecuencia del pulso y la presión sanguínea. Los dos factores últimamente mencionados los obtenemos mediante un aparato especial construido por nuestro colaborador técnico G. SANDER. Todo el ensayo se efectúa con respiración de aire atmosférico. En un sistema de coordenadas se inscriben en las abscisas la admisión de oxígeno y en las ordenadas el volumen/minuto respiratorio. Los valores de la

admisión de oxígeno y del VMR obtenidos cada tres minutos de trabajo producen una curva en forma de parábola. Desde el punto cero del sistema de coordenadas tiramos una tangente a esta curva y denominamos al punto de contacto «punto del óptimo grado de acción de la respiración (P o W)». Si desde aquí cae la línea sobre las abscisas, entonces el volumen de la admisión de oxígeno que allí se lee es idéntico al límite de  $O_2$  y trabajo permanente. De tablas normales puede tomarse el grado de sobrecarga correspondiente. Como ya se ha dicho antes, tiene que estar dentro del límite de  $O_2$  y trabajo permanente, pues el grado de vatios inmediatamente más elevado conduce ya a un aumento desproporcionalmente más elevado del volumen/minuto respiratorio.

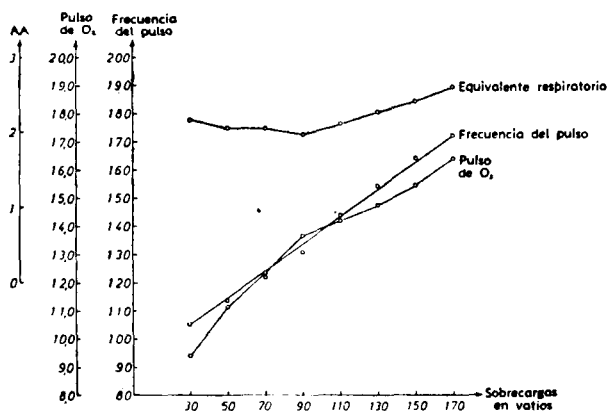


Fig. 5. — Valor medio del pulso  $O_2$ , frecuencia del pulso y equivalente respiratorio de 30 estudiantes deportivos. Aumento de la sobrecarga cada tres minutos en 20 vatios en el ergómetro giratorio.

Como resultado de estos métodos de investigación efectuados, comprobamos en 30 estudiantes deportistas el límite de  $O_2$  y trabajo permanente, con una admisión de  $O_2$ , por término medio, de 1.800 ml = aproximadamente 90 vatios de sobrecarga en el ergómetro giratorio (fig. 4). En individuos de la misma edad, sin entrenamiento, se determinó el grado de acción respiratoria en 1.200 - 1.400 ml, y en los muy entrenados, de 2.200 a 2.400 ml. Estos resultados se cubren bien con los obtenidos en nuestras investigaciones anteriores sobre el déficit espirográfico de  $O_2$ , que puede demostrarse igualmente en las personas sanas más allá de aproximadamente 2.000 ml de admisión de  $O_2$ . Puede admitirse que la hipoxia en la musculatura en actividad y el descenso del valor del

pH condicionan la medida del curso de las curvas del volumen/minuto respiratorio por encima del límite de  $O_2$  y trabajo permanente.

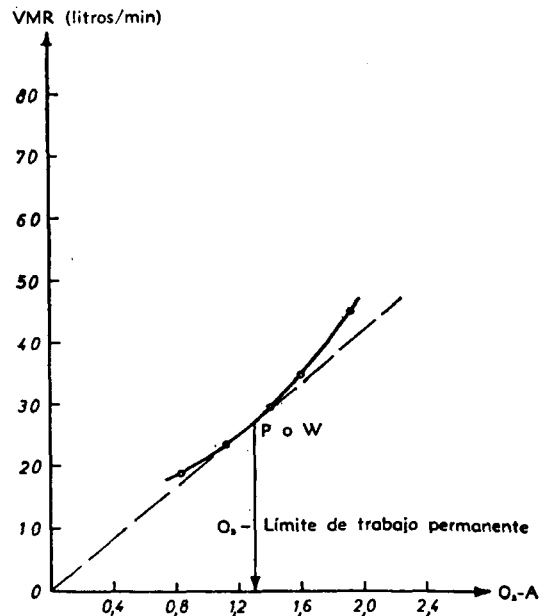


Fig. 6. — Punto del grado de acción óptimo (P o W), de la respiración y del límite de  $O_2$ , y trabajo permanente en 32 jóvenes estudiantes deportistas femeninos.

Por término medio, el volumen/minuto respiratorio cursó en el grado de acción de la respiración en las personas con las que efectuamos nuestros ensayos con la cifra de 36,5 litros. El equivalente respiratorio alcanzó 19,9; el número de pulsaciones fue de 130/min. Por el contrario, en el límite del pulso y trabajo permanente apenas sí sobrepasaron las cifras de pulsación 120/min. Para el pulso de oxígeno logramos en el grado de acción de la respiración 13,7 ml (fig. 5).

Los mismos ensayos, efectuados con los mismos individuos, con el ergómetro de bicicleta produjeron el límite de  $O_2$  y trabajo permanente con una admisión de  $O_2$  de igualmente unos 1.800 ml/min. Esto corresponde con un grado de sobrecarga que oscila entre 11 y 12 mkg/seg. La diferencia frente a los 90 vatios comprobados con el ergómetro giratorio se aplica porque el trabajo efectuado en el ergómetro de bicicleta se realiza con un grado de acción un 20 por 100 mejor. El volumen/minuto respiratorio se encuentra situado por término medio en 32 litros, igualmente un poco por debajo del valor registrado en el ergómetro girato-



rio. La frecuencia media de la pulsación dio 128/min, el pulso  $O_2$ , 13,6 ml.

En los estudiantes deportistas femeninos en el tercer decenio de su vida, el grado de acción de la respiración se hallaba situado por término medio en 60 vatios. Este valor es aproximadamente un tercio más bajo que el que corresponde a los estudiantes deportistas masculinos de la misma edad (fig. 6). Este resultado muestra que el límite de trabajo permanente en la mujer se halla situado alrededor de un tercio más bajo que en el hombre, con un estado de entrenamiento aproximadamente semejante. Estos resultados se cubren con los obtenidos en la investigación sobre la máxima capacidad funcional, que en la mujer es cerca de un tercio menor.

La admisión media de oxígeno en las jóvenes estudiantes alcanzó en los ensayos indicados aproximadamente a 1.300 ml/min. El volumen/minuto respiratorio fue de 25,7 litros, el pulso  $O_2$  de 10,4 ml (fig. 7).

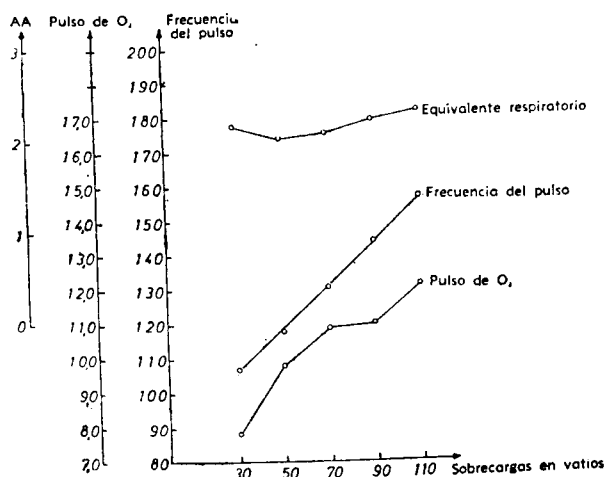


Fig. 7. — Pulso  $O_2$ , frecuencia del pulso y equivalente respiratorio de 32 estudiantes deportistas femeninos. Sobrecarga aumentada cada tres minutos en 20 vatios en el ergómetro giratorio.

Concluyendo, puede criticarse el método diciendo que los valores registrados representan todas las magnitudes funcionales. Como tales, se han observado grandes oscilaciones de día en día, consideradas como magnitudes estáticas. De un modo correspondiente, hay que tener en cuenta en todos nuestros ensayos funcionales, una medida de acomodación de  $\pm 10\%$ . Por consiguiente, si se tiene en cuenta no sólo el límite de  $O_2$  y trabajo permanente expuesto gráficamente, sino también el comportamien-

to de todos los otros criterios y cocientes, en las investigaciones repetidas periódicamente se tendrá un buen control de la economía y de las reservas cardíaco-circulatorio-respiratorias, y con ello la confirmación del estado funcional, que tiene la misma gran importancia para el médico de deportes y para la clínica, en la vigilancia de los defectos congénitos o adquiridos, así como en las insuficiencias coronarias.

## RESUMEN

Tanto para el médico como para el deportista es igualmente importante el conocimiento de la máxima capacidad funcional y del trabajo permanente momentáneos, del aparato circulatorio y de la respiración. En las investigaciones efectuadas se comprobó, entre otras cosas, lo siguiente:

I. La máxima capacidad funcional en esfuerzos de corta duración, es alcanzada por los varones que ya han cumplido dieciocho o diecinueve años de edad. Pasados los cincuenta años disminuye por término medio en un tercio tal capacidad.

II. Con una respiración de oxígeno aumentada la máxima capacidad funcional (en vatios) aproximadamente de un 10 a un 15 por 100 frente a la efectuada con respiración de aire atmosférico. La máxima admisión de  $O_2$  es un 19 por 100 más elevada con respiración de  $O_2$ ; el volumen/minuto respiratorio es un 6 por 100 más bajo por término medio en el número de vatios más alto.

III. La máxima capacidad funcional de la mujer alcanza sólo dos tercios de la del hombre. Correspondiendo con ello, son más bajas la disposición máxima de la admisión de  $O_2$  y la presión sistólica de la sangre.

IV. En lo que se refiere a la capacidad de trabajo permanente hay que distinguir entre el límite de pulso y trabajo permanente y el límite  $O_2$  y trabajo permanente. Para exponer la capacidad de trabajo permanente se desarrolló un nuevo procedimiento, de cuyos fundamentos y aplicación práctica nos ocuparemos. Los resultados más importantes son:

1. El límite de  $O_2$  y trabajo permanente se halla situado en los estudiantes deportistas por nosotros investigados, y en el tercer decenio de sus vidas, con una sobrecarga de 90 vatios en el ergómetro giratorio y 11 mkg/seg en el ergómetro de bicicleta. La mayor sobrecarga fi-

sica hasta lograr el límite de trabajo permanente en el ergómetro de bicicleta puede atribuirse al mejor grado funcional de esta forma de trabajo. La admisión de  $O_2$  es igual en ambas formas de sobrecarga (1.821 ó 1.826 ml/min.).

2. Las estudiantes deportistas en el tercer decenio de su vida presentan, por término medio, un límite de  $O_2$  y trabajo permanente de 60 vatios en el ergómetro giratorio. Es aproximadamente un tercio más bajo que en el hombre, así como la máxima capacidad funcional.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ASTRUP, P. — «J. Clin. Lab. Investigation». — 8 (1956), 33.
- ASTRUP, P. y SCHRÖDER, S. — «J. Clin. Lab. Investigation». — 8 (1956), 30.
- BAINBRIDGE, F. H. — «Musculatur Exercice». — London (1931).
- BALKE, B., WELLS, J. G., y v. FOSSAN, D. D. — «J. Appl. Physiol.». — 10 (1957), 51.
- HOLLMANN, W. — «Der Arbeits- und Trainingseinfluss auf Kreislauf und Atmung. Eine klinische und physiologische Betrachtung. — «Steinkopff-Verlag, Darmstadt» (1959).
- HOLLMANN, W., y VENRATH, H. — «Lavoro umano». — Vol. XI., N. 6 (1959).
- HOLLMANN, W., VALENTI, H. y VENRATH, H. — «Münch. med. Wschr». — 101 (1959), 1680.
- HOLLMANN, W. y VENRATH, H. — «Med. Klin». — 29 (1959), 1311.
- KNIPPING, H. W. — «Münch. med. Wschr». — 553 (1924). — «Zschr. exper. Med.». — 66 (1929), 517.
- MÜLLER, E. A. — «Int. Z. angew. Physiol. — 16 (195), 35. — 5. «Freiburger Symposion». — «Funktionsdiagnostik des Herzens». — (1957).
- MÜNCHINGER, R. y GRANDJEAN, E. — «Schweiz. Z. f. Sportmed. — 3 (1955), 43.
- REINDELL, H., KÖNIG, K., ROSKAMM, H. y KEUL, J. — «Arztl. Fortbild.kurse». — 4 (1959).
- RILEY, R. L., PROEMMEL, D. D. y FRANKE, R. E. — «J. biol. Chem. — 161 (1945), 621.
- VAN SLYKE, D. D. y SENDROY jr., J. — «J. biol. Chem. — 73 (1927), 127.
- VALENTI, H., VENRATH, H., VON MALLINCKRODT, H. y GÜRAKAR, M. — «Z. Altersforsch. — 9 (1955), 4.