

# Entrenamiento de los músculos ventilatorios

E. Servera, J. Marín, M.E. Pérez y M. Giménez\*

Servicio de Neumología. Hospital Clínico Universitario. Valencia.  
\*U-14 INSERM, Nancy, Francia.

En la mayoría de los pacientes con enfermedades pulmonares crónicas, la actuación terapéutica va dirigida a mejorar los síntomas y a intentar que las actividades cotidianas se acerquen a la normalidad.

Para ello, además de enseñarles a realizar algunas de estas actividades de la forma menos disneizante y ajustar el tratamiento con fármacos (si son necesarios), resulta racional plantearse la posibilidad de modificar las condiciones de funcionamiento de la "bomba ventilatoria" en los casos en que, por alteraciones primarias de la pared torácica (enfermedades neuromusculares, cifoescoliosis, etc.) o por efecto del aumento mantenido en las cargas ventilatorias, de la insuflación y de otros posibles problemas añadidos<sup>1-3</sup>, los músculos respiratorios tengan disminuida su fuerza o su *endurance* y/o hayan perdido la coordinación que optimiza su efectividad, favoreciendo la aparición de disnea<sup>1</sup>.

Si bien se acepta que para mejorar la función de los músculos ventilatorios (MV) es importante corregir las anomalías nutritivas y gasométricas<sup>1, 4, 5</sup>, resultan controvertidos otros posibles puntos de actuación: el empleo de fármacos para mejorar la contractilidad y el aporte sanguíneo<sup>6, 7</sup>, las técnicas orientadas a cambiar el patrón ventilatorio y a recuperar la coordinación<sup>8, 9</sup> y el entrenamiento general o específico<sup>10-12</sup>.

## Tipos de entrenamiento

El fin primordial del entrenamiento de los MV es mejorar su función, deteriorada en el transcurso de la enfermedad. Por ello, se busca "su adaptación" a determinados estímulos de intensidad, duración, frecuencia y patrón determinados, respetando los principios de sobrecarga, especificidad y sensibilidad<sup>13-16</sup> como se explica en otro artículo de esta monografía.

Los efectos obtenidos con el entrenamiento (cambios en los músculos y en las respuestas fisiológicas que acompañan al esfuerzo -estrés- que el ejercicio muscular supone para el organismo) dependen del tipo de carga a la que el músculo se somete<sup>17</sup>. Cuando se busca mejorar la fuerza de los MV, debe seguirse un programa de entrenamiento con estímulos de alta intensidad y baja frecuencia: contracciones enérgicas mantenidas durante breves períodos y repetidas pocas veces<sup>18</sup>. Si el entrenamiento resulta insuficiente, no producirá modificaciones beneficiosas; si es excesivo, puede provocar lesiones en las fibras y conducir a cambios degenerativos<sup>14</sup>.

Si lo que se pretende es mejorar la *endurance* (que permite aumentar/mantener la posibilidad de realizar ejercicios habituales), deben aplicarse estímulos de baja intensidad y elevada frecuencia: actividad repetitiva suave, ejercida durante períodos largos<sup>18</sup>. Algunos de los cambios fisiológicos que resultan del entrenamiento en *endurance* (sobre todo los cardiovascularres), tienen un beneficio general; pero los escasos cambios estructurales musculares producidos por este entrenamiento sólo afectan a los grupos incluidos en los programas. La hipertrofia que origina el entrenamiento de fuerza no aparece tras el entrenamiento de *endurance*<sup>11</sup>.

## Formas de entrenamiento

Para tener éxito, un programa debe, ante todo, ser seguro y acomodarse a los intereses del paciente y su entorno. Las técnicas variarán según la finalidad y los medios disponibles, pero de una u otra forma casi todos los pacientes se ven beneficiados. Incluso la simple marcha<sup>19</sup> o la subida de escaleras<sup>20, 21</sup> pueden resultar eficaces, aunque los cambios fisiológicos observados tras estas actividades correspondan, *sensu strictum*, a una "rehabilitación" más que a un "entrenamiento"<sup>12</sup>.

El entrenamiento de los MV puede llevarse a cabo integrado en un programa de entrenamiento general mediante ejercicio físico, de forma específica, o acompañando al entrenamiento de los miembros superiores.

Correspondencia: Dr. E. Servera Pieras.  
Servicio de Neumología. Hospital Clínico Universitario.  
Avda. Blasco Ibáñez, 17. 46010 Valencia.

(Arch Bronconeumol 1994; 30:94-100)



### Entrenamiento general por ejercicio

En 1950, las enseñanzas de A. Barach pusieron fin a una época en la que a los pacientes con enfermedad pulmonar se les recomendaba reposo y se les prohibía realizar esfuerzos físicos. Hoy, el entrenamiento mediante ejercicio se considera una parte importante de los programas de rehabilitación de los broncopatas crónicos<sup>5, 10</sup>, de los asmáticos<sup>22, 23</sup> y de los mucoviscidóticos<sup>24</sup>, aunque se conoce poco sobre su utilidad en pacientes con alteraciones de la pared torácica. En los broncopatas, aumenta la *endurance*, el consumo máximo de oxígeno ( $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ), la ventilación máxima y la habilidad para llevar a cabo las actividades cotidianas<sup>10, 25, 26</sup>. Sin embargo, no están claramente definidos los mecanismos y cambios fisiológicos por los que estos beneficios se producen y los métodos óptimos para entrenar. La evolución de los programas de entrenamiento con ejercicio muestra que, en la actualidad, la planificación del entrenamiento para atletas es cada vez más científica, mientras que los programas diseñados para los enfermos respiratorios son, en gran parte, empíricos. Hay que ser extremadamente cuidadoso al trasladar a los enfermos algunos principios de entrenamiento que provienen de sujetos normales, pero no parece correcta la actitud (inconsciente en ocasiones) de considerar, de forma sistemática, que los principios de fisiología del ejercicio aplicables a los sanos no son "exportables" a los enfermos pulmonares<sup>27, 28</sup>.

Dado que no pueden cambiarse las condiciones mecánicas de reposo ni la capacidad intercambiadora de los pulmones, los objetivos a perseguir para mejorar la capacidad de realizar actividades físicas son: o bien aumentar el nivel de la respuesta ventilatoria o bien disminuir los requerimientos ventilatorios necesarios para realizar una actividad.

El entrenamiento en *endurance* mejora la capacidad de realizar ejercicios máximos (aumenta el consumo máximo de oxígeno y, en ocasiones, la  $\dot{V}E$  máxima)<sup>29</sup> pero también, y esto es a veces más importante, la posibilidad de tolerar ejercicios submáximos<sup>29</sup>. Al retrasar el inicio del metabolismo anaeróbico (poco eficiente en cuanto a la utilización de los sustratos) se retrasa la producción de ácido láctico para ejercicios submáximos. De este modo, además de ser menor el  $\dot{V}O_2$  para un mismo nivel de trabajo, disminuye el  $CO_2$  que se produce cuando el bicarbonato sódico tampona al ácido láctico<sup>28</sup> y es también menor el estímulo directo de la acidosis metabólica sobre los cuerpos carotídeos<sup>30</sup>. Así, el  $\dot{V}CO_2$  y la  $VE$  disminuyen de forma significativa. La literatura muestra que durante el ejercicio se producen también otros cambios no relacionados, aparentemente, con la producción de lactato. Disminuyen, a veces de forma notable, los niveles de catecolaminas<sup>31</sup> y de algunas hormonas en sangre<sup>29</sup>, la temperatura aumenta menos<sup>32</sup> y la sensación de dureza del esfuerzo es menor, debido a la desensibilización a la disnea<sup>33</sup> y a la secreción de endorfinas<sup>34</sup>.

Los pacientes incluidos en un protocolo de entrenamiento deben llevar la medicación adecuada y estar

en situación de estabilidad clínica. Antes del inicio, deben valorarse en reposo y durante el ejercicio<sup>35</sup> el comportamiento ventilatorio (inspección de los movimientos toracoabdominales y patrón ventilatorio), el intercambio gaseoso, la concentración de lactato y el grado de disnea, así como la posible existencia de alteraciones gasométricas, electrocardiográficas o hipertensión arterial. Si no aparecen contraindicaciones tras esta evaluación, puede iniciarse el entrenamiento que, al menos durante los primeros días, debe estar dirigido por un neumólogo y vigilado por un fisioterapeuta respiratorio. En aquellos casos en los que aparece una hipoxemia, es conveniente el aporte suplementario de oxígeno<sup>29, 36</sup>.

A pesar de la abundancia de referencias que de este tipo de entrenamiento pueden encontrarse en la literatura, están todavía poco definidos los criterios de selección de los pacientes, el perfil de la carga de entrenamiento y sus modificaciones a lo largo de los programas, así como la valoración de los resultados.

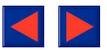
### Elección de los pacientes y del perfil de la carga

Para poder determinar la "efectividad posible" del entrenamiento es preciso clarificar de antemano cuáles pueden ser los pacientes más aptos, los que pueden obtener mayores beneficios. Si bien se sabe que el mayor efecto del entrenamiento (en términos de mejoría funcional) puede estar relacionado con la aparición previa a éste de una acidosis láctica durante el ejercicio<sup>37</sup>, no es, probablemente, correcto rechazar para un programa a los sujetos que no cumplan esta condición<sup>38</sup>. Dado que los broncopatas no son, ni mucho menos, un grupo de enfermos con características homogéneas, el aumento del lactato sería "un buen criterio"<sup>39</sup> pero no el único.

No debe ser la permeabilidad bronquial la otra referencia obligatoria para elegir los pacientes, aunque se ha recomendado incluir aquellos que tienen un  $FEV_1$  por debajo del 60 % del esperado<sup>40</sup>. No se ha valorado de forma concluyente la relación del grado de obstrucción con el tipo de entrenamiento y su eficacia, ni su posible efecto interactivo con otros parámetros clínicos y funcionales.

Entre las dudas teóricas, hay una certeza práctica: antes de comenzar un programa resulta imprescindible verificar que la cooperación de los pacientes va a ser excelente y las condiciones sociales adecuadas<sup>41</sup>. Además de los sujetos con antecedentes de mal cumplimiento de otros tratamientos, deben descartarse, por razones derivadas del riesgo/eficacia, los sujetos con cardiopatías inestables, enfermedades consumptivas o descompensaciones de su enfermedad pulmonar<sup>40</sup>.

Existe un relativo consenso<sup>12</sup> para programar la intensidad de la carga de entrenamiento (aproximadamente 50 % del  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ), la duración de las sesiones (30-60 minutos), la frecuencia (3-5 días por semana) y la duración del programa (de una u otra forma, toda la vida), pero no hay datos suficientes para elegir el perfil de la carga a lo largo del entrenamiento<sup>10, 11, 42</sup>.



No está suficientemente contrastada la utilidad de las sesiones con intensidad constante frente a sesiones con intensidad cambiante o de *interval training*. Dado que el entrenamiento debe realizarse por encima de una intensidad relativa predeterminada, al mejorar la capacidad de ejercicio es preciso aumentar la intensidad utilizada, para que ésta pueda seguir siendo efectiva<sup>29</sup>. Si se dispone de medios suficientes, nosotros proponemos un protocolo de 45 minutos de duración<sup>29, 43</sup> que ya ha mostrado su utilidad en broncopatas<sup>44-46</sup>. En una bicicleta ergométrica, a una "base" de entrenamiento aeróbico mantenida los primeros 4 de cada 5 minutos, se añaden "picos" de un minuto de entrenamiento anaeróbico (9 en total), con hiperventilación, a la potencia máxima que el sujeto ha tolerado en un ejercicio previo<sup>47</sup>. Tras 6 semanas de entrenamiento con 4 sesiones semanales, se ha observado una reducción de la disnea, del "índice de disnea" ( $\dot{V}E/MVV$  %), del ácido láctico y de la ventilación medidos durante un ejercicio de potencia constante a 40 W y un aumento del  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  y de la ventilación en dos ejercicios máximos<sup>44, 45</sup>. También mejoró de forma significativa la potencia utilizada para la base del entrenamiento aeróbico. No apareció ningún efecto indeseable<sup>44, 45</sup>.

Al igual que ocurre con el efecto de muchos buenos fármacos, los beneficios del entrenamiento desaparecen poco tiempo después de abandonarlo<sup>13</sup>. Antes de empezar un programa es imprescindible comprobar que a la buena disposición de los pacientes y su entorno se suma la certeza de que el protocolo, iniciado a veces en un hospital terciario, con aparatos sofisticados, tiempo y personal especializado, tiene asegurada la continuidad (o una alternativa eficaz como mantenimiento) en centros médicos o paramédicos. Las revisiones periódicas son imprescindibles para evaluar el cumplimiento, para persuadir a los pacientes de su interés o para dar por finalizado un protocolo si se comprueba que la cooperación es insuficiente para que sea efectivo.

### Valoración de los resultados

Los resultados de un programa de entrenamiento pueden ser muy diferentes según sea el procedimiento empleado para valorarlos, que a su vez dependerá de la finalidad del entrenamiento y su contexto. Hay que ser extremadamente cuidadosos para elegir unos parámetros funcionales, clínicos y psicosociales cuyos cambios permitan el conocimiento en profundidad de las modificaciones fisiológicas acaecidas y sus repercusiones en las actividades cotidianas. Los enfermos no suelen considerar útil un entrenamiento si no es capaz de actuar sobre estas últimas (que se olvidan con demasiada frecuencia en los laboratorios de fisiopatología).

La evaluación de la capacidad de ejercicio antes y después de un programa de entrenamiento puede requerir pruebas máximas<sup>35, 48, 49</sup>. Al realizarlas debe tenerse en cuenta que el aumento del consumo máximo de oxígeno ( $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ), medido tras un programa, puede

ser consecuencia de la mejor colaboración del paciente durante la segunda prueba y no de un aumento real de su capacidad de ejercicio. Si en sujetos normales los criterios de  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  son claros y su obtención fácil<sup>47-49</sup>, no sucede lo mismo con los enfermos: en ellos, la aparición de problemas metodológicos llega a ser frecuente e importante. Cuando la cooperación es buena, el  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  estudiado con diferentes protocolos, no varía<sup>50</sup>. Por el contrario, si los criterios esperados de  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  no están presentes y no existe certeza de la buena disposición durante la ergometría, es difícil saber hasta qué punto un enfermo no puede o no quiere proseguir un ejercicio. En estos casos, es útil realizar la prueba ergométrica máxima con dos protocolos diferentes: el resultado debe ser el mismo<sup>50</sup>.

La bicicleta parece ser más adecuada para las valoraciones que el tapiz rodante: la eficacia mecánica del pedaleo varía poco entre los diferentes sujetos y la potencia se mide y se reproduce fácilmente<sup>51</sup>. Por el contrario, en el "tapiz" el  $\dot{V}O_2$  requerido para una misma inclinación y velocidad varía según los individuos y la familiarización con el aparato también puede modificar la respuesta ventilatoria<sup>52</sup>. Los 12 o 6 minutos de marcha<sup>53, 54</sup>, aun midiendo los litros ventilados durante el recorrido<sup>55</sup> aportan una información limitada para valorar el entrenamiento.

En los sujetos que ofrecen buena colaboración, la información que da el  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  se complementa con la que proporcionan otro tipo de protocolos ergométricos más sensibles para valorar los cambios de la *endurance*<sup>29</sup>. Las pruebas de ejercicio submáximo que reproducen en el laboratorio la intensidad de algunas actividades cotidianas pueden ser de gran utilidad para evaluar los cambios en la disnea<sup>56-58</sup>, parámetros ventilatorios<sup>35</sup> y comportamiento gasométrico<sup>35</sup> tras el entrenamiento. Así mismo son necesarios seguimientos a corto y largo plazo que evalúen la calidad de vida<sup>59</sup> y la relación coste/beneficio.

### Entrenamiento específico de los músculos ventilatorios

Los protocolos dirigidos a aumentar la fuerza de los MV exigen al sujeto entrenado que realice esfuerzos máximos contra una vía respiratoria cerrada o que efectúe ejercicios que, en ocasiones, son muy semejantes a los empleados para entrenar los miembros superiores. En cualquier caso, la base del entrenamiento de fuerza es la contracción intensa, mantenida poco tiempo y repetida pocas veces.

La *endurance* de los MV puede mejorar tanto mediante ejercicios inespecíficos de entrenamiento, como con programas específicos. El entrenamiento específico en *endurance* puede realizarse mediante hiperventilaciones isocápnicas voluntarias (en las que los MV se contraen con una frecuencia elevada que requiere acortamientos rápidos) o mediante inspiraciones contra resistencias externas. Para entrenar mediante hiperventilación isocápnica voluntaria se precisa un aumento de la ventilación comparable a la utilizada durante ejercicios físicos de *endurance*: 70-90 % de la ventilación máxima voluntaria medida



antes del entrenamiento, en 2-3 sesiones al día de 15 minutos de duración<sup>17</sup>. Dado que la hiperventilación se realiza en reposo, para evitar la caída de la PaCO<sub>2</sub>, el sujeto respira a través de un circuito que actúa como espacio muerto o en aparatos más complejos que, manteniendo la PaCO<sub>2</sub> constante, pueden proporcionar oxígeno suplementario si es preciso.

La forma más simple de entrenamiento contra resistencias se lleva a cabo mediante un pequeño aparato (P. Flex) que, con la espiración libre, obliga a inspirar a través de un orificio. Modificando su calibre (existen 5 diferentes), puede disminuirse o aumentarse la resistencia, que se hace máxima con el de menor diámetro. Este aumento de resistencias inspiratorias supone, a veces, una sensación de dificultad respiratoria que puede llevar a los sujetos a buscar un patrón ventilatorio “más cómodo”, que genere una presión inspiratoria menor<sup>11, 60</sup> y que prive al P-Flex de sus efectos terapéuticos. Es, pues, necesario mantener una presión inspiratoria suficiente<sup>11, 60</sup> con un patrón ventilatorio constante, sin grandes cambios en la relación tiempo inspiratorio/tiempo total ( $T_i/T_{tot}$ ) ni en el cociente volumen corriente/tiempo inspiratorio ( $V_i/T_i$ ).

Las conclusiones de un reciente análisis<sup>61</sup> de los resultados de los estudios de entrenamiento específico aparecidos en la literatura confirman, desde el punto de vista estadístico, lo anteriormente expuesto a partir de razonamientos fisiopatológicos: sólo vale la pena trabajar en programas de entrenamiento con resistencias si se controla el patrón ventilatorio y los flujos generados.

Para evitar, en parte, los inconvenientes del P-Flex, otro aparato del mercado (Threshold) exige al sujeto entrenado superar un umbral de presión inspiratoria para poder iniciar la inspiración. Pese a esta mejora sustancial, el patrón ventilatorio sigue siendo muy importante en los Threshold, pues dado que el volumen corriente puede ser inspirado rápida o lentamente ( $V_t/t_i$ ), aunque la magnitud de la presión inspiratoria sea adecuada, su duración es más corta cuando el flujo inspiratorio es alto. De este modo, el índice presión/tiempo (punto muy importante del entrenamiento) varía de forma notable cuando, sin cambiar el volumen corriente, éste se inspira de forma lenta o rápida.

Al igual que la hiperventilación isocápnica voluntaria y los programas de ejercicio general, el entrenamiento contra resistencias inspiratorias debe planificarse y dirigirse marcando unos objetivos cuyo cumplimiento se comprueba mediante procedimientos de *feed back* visual o de otro tipo<sup>38</sup>.

### Condiciones prácticas y elección de los pacientes

Los protocolos de hiperventilación isocápnica en reposo son, salvo en un reducido número de centros y dentro de programas de investigación clínica, difíciles de llevar a la práctica. Es más sencillo conseguir que los pacientes hiperventilen en el marco de programas de ejercicio físico general.

También el entrenamiento de los MV contra resistencias, a pesar de la aparente sencillez que algunos quieren atribuirle, precisa de un sustento técnico (personas y aparatos) que hace imposible su uso fuera de servicios especializados. Se han propuesto como pautas razonables para programar un entrenamiento resistivo en *endurance*<sup>12</sup>: una frecuencia de 5-7 días por semana, una intensidad entre el 30-40 % de la  $P_{i\max}$  y una duración de 15 minutos por sesión, 2 veces al día. Estas condiciones son insuficientes como guía, puesto que no explican cómo mantener un patrón ventilatorio adecuado, que garantice que los pacientes generan en boca las presiones previamente impuestas.

Por todo ello, es preciso disponer de los medios necesarios para poder comprobar que los ejercicios cumplen los requisitos funcionales para ser efectivos y no suponen un perjuicio para los pacientes: disnea, fatiga muscular, sofocación, caídas de la SaO<sub>2</sub>, aumentos de la PaCO<sub>2</sub><sup>62</sup> y de la PAP (Giménez, resultados no publicados). Al inicio, es imprescindible que un neumólogo planifique las sesiones y un fisioterapeuta las vigile y corrija los defectos, si los hay. Con periodicidad, debe comprobarse que las indicaciones marcadas en el laboratorio se siguen en el domicilio y no aparecen problemas. Debe valorarse, en cada paciente, si la relación entre el tiempo dedicado, los posibles beneficios y los posibles efectos nocivos es o no satisfactoria.

No hay datos en la literatura que definan las características de los pacientes idóneos ni el mejor momento para iniciar el entrenamiento contra resistencias<sup>11, 17, 63-65</sup>. Desde el punto de vista clínico, parece muy interesante uno de los criterios de inclusión exigido por Guyatt et al<sup>66</sup>: existencia de disnea de ejercicio que limite actividades frecuentes e importantes de la vida cotidiana.

Está contraindicado en los casos de debilidad de los músculos inspiratorios, baja perfusión diafragmática, aumento de la relación  $T_i/T_{tot}$ ,  $V_i/T_i$  elevado, y asincronismos ventilatorios, datos que, en ocasiones, están anunciando un fracaso muscular inspiratorio<sup>67</sup>. Puede realizarse con éxito en pacientes con patología muscular estabilizada, pero es peligroso en aquellos que tienen una enfermedad evolutiva<sup>38</sup>.

Falta información que aclare cuántos de los pacientes que abandonan los protocolos y salen de vigilancia lo hacen con/por algún problema secundario al entrenamiento y en cuántos pacientes en condiciones próximas a la fatiga muscular, la asociación del entrenamiento con algunas incidencias clínicas (p. ej., infecciones bronquiales) ha precipitado episodios de agudización.

Algunos consideran aburrido el entrenamiento contra resistencias y otros lo abandonan temporalmente cuando tienen episodios de empeoramiento clínico o pasan por fases de inestabilidad emocional. Estas circunstancias no son raras en estos pacientes y, al reiniciar el tratamiento, plantean el problema de la “actualización” de la resistencia y de su incremento (algunos han deseado resistencias intermedias a las que dispone el P. Flex). Para estos casos, debe proporcionarse



les acceso fácil al personal tratante capacitado, pues otros escalones asistenciales son incapaces de resolver estas cuestiones.

Ninguno de nuestros pacientes, incluidos los que deciden dejar definitivamente el tratamiento, lo ha considerado perjudicial.

### Valoración de los resultados

No existen seguimientos largos que permitan valorar la repercusión del entrenamiento específico de los MV en la evolución de las enfermedades respiratorias crónicas. Los estudios más largos publicados tienen una duración de 12 meses. Nuestros resultados de un seguimiento aleatorizado de 24 meses (Marín et al, pendiente de publicación) muestran la permanencia de alguno de los efectos beneficiosos funcionales y subjetivos a los 2 años, pero éste es un tiempo todavía corto.

Para medir la respuesta de los MV al entrenamiento se emplean diferentes medidas según se trate de valorar la fuerza o la *endurance*. Para valorar los cambios en la primera, la presión inspiratoria máxima ( $P_{im\acute{a}x}$ ) es una exploración sencilla<sup>68</sup> en cuyo uso debe tenerse en cuenta su gran variabilidad. Si no forman parte de protocolos de investigación previamente conocidos y aceptados por los enfermos participantes, no están justificados métodos más molestos en las evaluaciones de tratamientos<sup>69</sup>.

Mientras que para Rochester<sup>70</sup> la MVV es un método adecuado para valorar los cambios en *endurance* (siempre que se tenga en cuenta que también depende de la permeabilidad bronquial), Grassino<sup>11</sup> la considera un ejercicio de tipo *sprint* (rápido, máximo y mantenido durante períodos cortos). La medida de la capacidad máxima ventilatoria sostenible<sup>17</sup> y los cambios en las resistencias toleradas *per se*<sup>17</sup>, son recogidos también como procedimientos para valorar la *endurance*.

Además de los efectos directos del entrenamiento sobre los músculos, como también ocurría con el ejercicio general, debe valorarse la repercusión sobre la capacidad de ejercicio<sup>64, 71, 72</sup>, la disnea<sup>66</sup>, las actividades de la vida cotidiana<sup>59, 73</sup> y la relación coste/beneficio. El cociente presión de oclusión/ $P_{im\acute{a}x}$  ( $PO_1/P_{im\acute{a}x}$ ) supone una sencilla e interesante aproximación mecánica a la disnea<sup>74</sup> que también puede ser de utilidad en la valoración del entrenamiento.

### Acondicionamiento ventilatorio: ejercicios de coordinación

Si la finalidad del entrenamiento de los MV es mejorar su *endurance* y/o su fuerza, la finalidad de los ejercicios de coordinación es conseguir mejorar el intercambio gaseoso, cambiando el patrón ventilatorio espontáneo<sup>8, 9</sup> para disminuir la frecuencia ventilatoria, aumentar el volumen corriente y optimizar la coordinación entre los músculos torácicos y abdominales, tanto en ventilación espontánea de reposo como durante las actividades de la vida cotidiana<sup>20</sup>.

Algunas referencias de la literatura atribuyeron a estos procedimientos (que no corresponde aquí desarrollar) alteraciones de la relación tórax/abdomen<sup>75</sup> y posible inducción a la fatiga<sup>76</sup>. En la actualidad hay datos suficientes<sup>9, 11, 17</sup> para pensar que esto no ocurre cuando se realizan de forma correcta. Incluso en pacientes con un compromiso mecánico inicial, como son los escolióticos, pueden actuar como un entrenamiento, mejorando, además de la gasometría, la fuerza ( $P_{im\acute{a}x}$  y  $P_{em\acute{a}x}$ ), la disnea, el cociente  $PO_1/P_{im\acute{a}x}$ <sup>77</sup> y la distancia recorrida en 12 minutos. Todo ello sin aumentar el  $VO_2$  ni en el  $T_i/T_{tot}$  medidos en ventilación espontánea de reposo<sup>78</sup>. También en un grupo de bronquíticos, las presiones máximas inspiratorias y espiratorias mantuvieron una mejoría frente al grupo control al año y a los 2 años de comenzar el protocolo sin cambios del  $T_i/T_{tot}$  (Marín et al, pendiente de publicación). En otro seguimiento de un año<sup>60</sup> se mostró muy eficaz la asociación de entrenamiento contra resistencias y "ventilación dirigida"<sup>78</sup>.

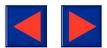
### Entrenamiento de los miembros superiores

Los entrenamientos generales inciden, sobre todo, en los músculos de las piernas (caminar, correr o pedalear). Sin embargo, muchos broncópatas crónicos refieren disnea incapacitante en algunas actividades cotidianas (levantar algunos objetos, asearse, etc.) que suponen un esfuerzo aparentemente poco importante de los músculos de los miembros superiores.

Junto al hecho de que el ejercicio de los brazos se acompaña de una mayor demanda de actividad ventilatoria que la necesaria para un mismo nivel de trabajo realizado con las piernas<sup>38</sup>, Celli et al<sup>79</sup> mostraron que, en los pacientes con una gran alteración obstructiva, el ejercicio con los brazos estaba limitado por la disnea y se acompañaba de asincronismos ventilatorios toracoabdominales, que atribuyeron a la sobrecarga añadida a unos músculos que también actúan como accesorios de la respiración.

Por todo ello, además de enseñar a los pacientes a realizar los movimientos de la forma más "económica", dado que el entrenamiento es específico de los músculos cuya actividad se ejercita<sup>14</sup>, la actuación sobre los brazos podría ser importante para mejorar algunas actividades cotidianas de los insuficientes respiratorios.

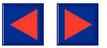
Existe todavía muy poca información en la literatura sobre la repercusión de este tipo de entrenamiento, que, si bien ha mostrado poder mejorar la actitud psíquica de los broncópatas, no ha modificado la funcionalidad de sus músculos respiratorios valorada a partir de los métodos clásicos<sup>38</sup>. Una silla de ruedas ergométrica, de localización estática y de calibración mecánica<sup>29</sup>, que para hacer girar sus ruedas exige la participación de varios de los músculos ventilatorios, podría ser un instrumento más útil que la manivela o las contracciones isométricas para valorar la respuesta fisiológica de los miembros superiores durante el ejercicio, a la vez que un medio eficaz para su entrenamiento<sup>29</sup>.



A pesar de la afectación de los músculos respiratorios presente en los pacientes tetrapléjicos, algunos de ellos mantienen un volumen de reserva espiratorio lo suficientemente grande como para poder ser medido, gracias a que la contracción de la porción clavicular del pectoral mayor (cuya inervación motora sale desde C5-C7) provoca una constricción de la parte superior de la parrilla costal<sup>80</sup>. Entrenando en fuerza los pectorales mayores, los pacientes tetrapléjicos pueden llegar a mejorar en un 55 % su fuerza y aumentan en un 47 % el volumen de reserva inspiratorio<sup>81</sup>. Este tipo de entrenamiento podría ser útil para mejorar los flujos espiratorios y la efectividad de la tos y completar los efectos conseguidos sobre los músculos inspiratorios mediante entrenamiento contra resistencias.

## BIBLIOGRAFÍA

- Killian K, Jones NL. Respiratory muscles and dyspnoea. *Clin Chest Med* 1988; 9:237-248.
- Rochester DF. Respiratory muscle failure and respiratory failure. *Seminars in Respiratory Medicine* 1992; 13:7-13.
- Juan G, Calverley P, Tálamo C et al. Effect of carbon dioxide on diaphragmatic function in human beings. *N Engl J Med* 1984; 310:874-879.
- Editorial. Nutritional support in chronic obstructive lung disease. *Thorax* 1992; 47:141-143.
- Rochester DF. Nutritional repletion. *Seminars in Respiratory Medicine* 1992; 13:44-52.
- Aubier M. Respiratory muscle pharmacotherapy. *Eur Respir J* 1989; 2 (supl. 7):592-594.
- Esau S, Reid M. Pharmacologic enhancement of respiratory muscle function. *Seminars in Respiratory Medicine*, 1992, 18:33-43.
- Giménez M, Kristufek P, Marín J. Techniques de kinésithérapie (broncopneumopathies chroniques obstructives). En: Lévi Valensi P. *Le traitement ambulatoire des handicapés respiratoires*. París: Ed. Masson, 1982; 73-81.
- Serysels A, Lachman A, Sanna P. Breathing retraining. *Eur Respir Rev* 1991; 1:498-502.
- Giménez M. Exercise training in patients with chronic airways obstruction. *Eur Respir J* 1989; 2 (supl. 7):611-617.
- Grassino A. Inspiratory muscle training in COPD patients. *Eur Respir J* 1989; 2 (supl. 7):581-586.
- Casaburi R. Principles of exercise training. *Chest* 1992; 101 (supl. 1):263-267.
- American College of Sports medicine position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 1990; 2:265-274.
- Faulkner JA. Structural and functional adaptations of skeletal muscle. En: Roussos Ch, Macklem PT, editores. *The thorax*, part B. [vol. 29]. Nueva York: Marcel Dekker, Inc., 1985; 1.329-1.353.
- Baldwin KM, Fitts RH, Booth FW et al. Depletion of muscle and liver glycogen during exercise: protective effect of training. *Pfluegers Arch* 1975; 354:203-221.
- Saltin B, Gollnick PD. Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. En: *Handbook of physiology: skeletal muscle*. Washington, DC: American Physiology Society, 1983; sect 10, chap 19:555-631.
- Pardy R, Rochester D. Respiratory muscle training. *Seminars in Respiratory Medicine* 1992; 13:53-62.
- Leith DE, Bradley M. Ventilatory muscle strength and endurance training. *J Appl Physiol* 1976; 41:508-516.
- McGavin CR, Gupta SP, Lloyd EL, McHardy JR. Physical rehabilitation on chronic bronchitis: Results of a controlled trial of exercises in the home. *Thorax* 1977; 32:307-311.
- Marín J, Vergara P, Servera E. Entrainement à l'exercice sous ventilation dirigée avec techniques de kinésithérapie. En: Giménez M, (editor). *Kinésithérapie et rééducation de l'insuffisant respiratoire*. Premier Colloque International Cambo les Bains, Octobre, 1977. Reims 1 vol.
- Sinclair DJM, Ingram CG. Controlled trial of supervised exercise training in chronic bronchitis. *Br Med J* 1980; 280:519-521.
- Clark CJ. The role of physical training in asthma. *Chest* 1992; 101 (supl.):293-298.
- Editorial. Asthma and exercise: a suitable case for rehabilitation? *Thorax* 1992; 47:765-767.
- Orenstein DH, Franklin BA, Doershuk CF et al. Exercise conditioning and cardiopulmonary fitness in cystic fibrosis: the effects of a three-month supervised running program. *Chest* 1981; 80:392-398.
- Shephard RJ. On the design and effectiveness of training regimens in chronic obstructive lung disease. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1977; 13:457-469.
- Hughes RL, Davison R. Limitations of exercise reconditioning in COPD. *Chest* 1983; 83:241-249.
- Brown HW, Wasserman K. Exercise performance in chronic obstructive pulmonary diseases. *Med Clin North Am* 1981; 65:525-547.
- Casaburi R, Wasserman K. Exercise training in pulmonary rehabilitation. *N Engl J Med* 1986; 314:1.509-1.511.
- Giménez M, Predine E, Marchand M et al. Implications of lower -and upper- limb training procedures in patients with chronic airway obstruction. *Chest* 1992; 105 (supl.):279-288.
- Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN et al. Effect of carotid body resection on ventilatory and acid-base control during exercise. *J Appl Physiol*, 1975; 39:354-358.
- Winder WW, Hickson RC, Hagberg JM et al. Training-induced changes in hormonal and metabolic responses to submaximal exercise. *J Appl Physiol* 1979; 46:766-771.
- Casaburi R, Storer TW, Ben-Dow I et al. Effect of endurance training on possible determinants of  $\dot{V}O_2$  during heavy exercise. *J Appl Physiol* 1987; 62:199-207.
- Hill DW, Cureton KJ, Grisham SC et al. Effect of training on the rating of perceived exertion at the ventilatory threshold. *Eur J Appl Physiol* 1987; 56:206-211.
- Santiago TV, Remolina C, Scoles V, Edelmar N. Endorphins and the control of breathing: ability of naloxane to restore flow resistive load compensation in COPD. *N Eng J Med* 1981; 304:1.190-1.195.
- Servera E, Giménez M. Les tests d'exercice musculaire dans l'évaluation et le contrôle de la réadaptation pulmonaire. *Medicina Torácica (Pavia)*, 1980; 2:119-130.
- Giménez M, Uffholtz H, Ferrara G et al. Exercise training with oxygen supply and directed breathing in patients with chronic airway obstruction. *Respiration*, 1979; 37:157-166.
- Wasserman K, Sue DY, Casaburi R et al. Selection criteria for exercise training in pulmonary rehabilitation. *Eur Respir J* 1989; 2 (supl.):604-610.
- Ries A. Pulmonary rehabilitation. En: *Foundations of respiratory care*. Pierson D, Kacmarek R. Nueva York: Churchill Livingstone Inc., 1992; 1.139-1.154.
- Patesio A, Carone M, Ioli F et al. Ventilatory and metabolic changes as a result of exercise training in COPD patients. *Chest* 1992; 101 (supl.): 274-278.
- Donner CF, Braghiroli A, Lusuardi M. Selection criteria for pulmonary rehabilitation. *Eur Respir Rev* 1991; 1:472-474.
- Medills RB, Evans D, Zimmerman B et al. Editorial. Patient Compliance. Are we wasting our time and Don't Know it? *Am Rev Respir Dis* 1992; 146:1.376-1.377.
- Belman MJ. Exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Chest Med* 1986; 7:585-597.
- Giménez M, Servera E, Salinas W. Square-wave endurance exercise test (SWEET) for training and assessment in trained and untrained subjects. I: Description and cardiorespiratory responses. *Eur J Appl Physiol* 1982; 49:359-368.
- Giménez M. Exercise training in patients with chronic airways obstruction. *Eur Respir J* 1989; 2 (supl.):611-617.
- Giménez M, Ponz JL, Rodríguez F et al. Effect of high and low intensity of endurance training in patients with chronic airway obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1987; 135:A362.
- Tardif C, Pasquis P, Fourneron V et al. Benefices d'un interval



- training chez des insuffisants respiratoires sévères. *Sci Sports* 1987; 2:31-32.
47. Giménez M, Salinas W, Servera E et al.  $VO_{2max}$  during progressive and constant bicycle exercise in sedentary men and women. *Eur J Appl Physiol* 1981; 46:237-248.
  48. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY et al. Principles of exercise testing and interpretation. Filadelfia: Lea & Febiger, 1987.
  49. Jones NL, Campbell EJM, Edwards RHT et al. Clinical exercise testing. Filadelfia: WB Saunders Cop, 1975.
  50. Servera E, Giménez M, Mohan-Kumar T et al. Oxygen uptake at maximal exercise in chronic airflow obstruction. *Bull Euz Physiopathol Respir* 1983; 19:553-556.
  51. Hansen JE, Casaburi R, Cooper DM et al. Oxygen uptake as related to work rate increment during cycle ergometer exercise. *Eur J Appl Physiol* 1988; 57:140-145.
  52. Nicholas JJ, Gilbert R, Gabe R et al. Evaluation of an exercise therapy program for chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1970; 102:1-9.
  53. McGavin CR, Gupta SP, McHardy GJ. Twelve-minute walking test for assessing disability in chronic bronchitis. *BMJ* 1976; 1:822-823.
  54. Marín J, Servera E, Pérez ME. Twelve-minute walking test in kyphoscoliotic patients. *Am Rev Respir Dis* 1979; 119:A-593.
  55. Pérez ME, Servera E, Marín J. The influence of the face mask in the twelve minute walking test on patients with chronic airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1979; 119:A 593.
  56. Borg G, Linderholm H. Perceived exertion and pulse rate during graded exercise in various age groups. *Acta Med Scand (supl.)* 1972; 194:206.
  57. Mahler D. The measurement of dyspnea during exercise in patients with lung disease. *Chest* 1992; 101:242S-247S.
  58. Altose M. Respiratory muscles and dyspnea. *Seminars in Respiratory Medicine* 1992; 13:1-6.
  59. Guyatt G, Berman LB, Townsend M et al. A measure of quality of life for clinical trials in chronic lung disease. *Thorax* 1987; 42:773-778.
  60. Pérez Gonzalvo ME. Comparación de los efectos clínico-funcionales tras la aplicación de la ventilación dirigida y el empleo del inspirómetro de cargas resistivas de forma individual y después de su asociación en el enfermo con OCFA. Tesis Doctoral. Valencia, 1990.
  61. Smith K, Cook D, Guyatt G et al. Respiratory muscle training in chronic airflow limitation: A Meta-analysis. *Am Rev Respir Dis* 1992; 145:533-539.
  62. Jederlinick P, Muspratt J, Miller M. Inspiratory muscles training in clinical practice. *Chest* 1984; 86:870-873.
  63. Celli B. Respiratory muscle function. *Clin Chest Med* 1986; 4:567-584.
  64. Pardy R, Reid WD, Belman MJ. Respiratory muscle training. *Clin Chest Med* 1988; 2:287-296.
  65. American Thoracic Society. Standards for the diagnosis and care of patients with chronic obstructive pulmonary disease and asthma. *Am Rev Respir Dis* 1987; 136:225-244.
  66. Guyatt G, Keller J, Singer J et al. Controlled trial of respiratory muscle training in chronic airflow limitation. *Thorax* 1992; 47:592-603.
  67. Grassino A. Determinants of respiratory muscle failure. *Am Rev Respir Dis* 1986; 134:1091-1093.
  68. Black LF, Hyatt E. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis* 1969; 99:696-702.
  69. Clark CJ. Strategies for the evaluation of rehabilitation treatment. *Eur Respir Rev* 1991; 1:475-481.
  70. Rochester DF. Test of respiratory muscle function. *Clin Chest Med* 1988; 2:249-261.
  71. Jones DT, Thomson RJ, Sears MR. Physical exercise and resistive breathing training in severe chronic airways obstruction – are they effective? *Eur J Respir Dis* 1985; 67:159-166.
  72. Madsen F, Secher NH, Kay L et al. Inspiratory resistance versus general physical training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Eur J Respir Dis* 1985; 67:167-176.
  73. Levine S, Weiser PH, Guillen J. Evaluation of a ventilatory muscle endurance training program in the rehabilitation of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1986; 133:400-406.
  74. Altose MD. Assessment and management of breathlessness. *Chest* 1985; 88:77S-83S.
  75. Saekner MA, González H, Jenouri G. Effects of abdominal and thoracic breathing on breathing pattern components in normal subjects and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1984; 130:584-587.
  76. Bellemare R, Grassino A. Force reserve of the diaphragm in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Appl Physiol Respirat Environ Exercise Physiol* 1983; 55:8-15.
  77. Marín J, Servera E, Vergara P et al. Conditioning programs and ventilatory muscle function in scoliotic patients. *Chest* 1992; 102 (Supl.):59.
  78. Marín J, Servera E, Castaño R et al. Tidal volume and oxygen consumption in scoliosis after ventilatory conditioning programs. *Chest* 1992; 102 (Supl.):185.
  79. Celli B, Rasullo J, Make BJ. Dyssynchronous breathing during arm but not leg exercise in patients with chronic airflow obstruction. *N Engl J Med* 1986; 314:1485-1490.
  80. DeTroyer A, Estenne M, Heilporn A. Mechanism of active expiration in tetraplegic subjects. *N Engl J Med* 1986; 314:740-744.
  81. Estenne M, Knoop C, Vanvaerenbergh J et al. The effect of pectoralis muscle training in tetraplegic subjects. *Am Rev Respir Dis* 1989; 139:1218-1222.