

## Coste de oxígeno de la respiración y predicción del éxito de la desconexión de la ventilación mecánica

J.M. RAURICH Y J. IBÁÑEZ

Hospital Son Dureta. Palma de Mallorca. Islas Baleares. España.

**Objetivo.** Determinar si el coste de oxígeno de la respiración ( $VO_2$  resp) puede ser útil para predecir el éxito de la desconexión de la ventilación mecánica.

**Diseño.** Estudio clínico prospectivo.

**Ámbito.** Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) polivalente de un hospital universitario.

**Pacientes.** Treinta pacientes no consecutivos que necesitaron ventilación mecánica y que cumplían los criterios estándar para hacer una prueba de desconexión. Se consideró como éxito de la desconexión si el paciente no requería reintubación en las 48 horas siguientes a la extubación.

**Intervenciones.** Prueba de respiración espontánea con tubo en T. El  $VO_2$  resp se midió mediante el análisis de los gases inspirados y espirados con el método de la bolsa de Douglas.

**Resultados.** El éxito de la desconexión ocurrió en 20 (67%) de los 30 pacientes. Ningún paciente extubado necesitó reintubación traqueal. Un valor del  $VO_2$  resp inferior o igual al 10% presentó el valor más alto del área bajo la curva ROC ( $0,96 \pm 0,03$ ) y de la razón de verosimilitud positiva (9,5; IC 95%: 1,5 - 61) y negativa (0,1; IC 95%: 0,01 - 0,4) para distinguir entre el éxito o fracaso de la desconexión. Hubo un error de clasificación del 7% en la predicción del éxito de la prueba de desconexión.

**Conclusión.** El coste de oxígeno de la respiración es de escasa utilidad clínica para predecir el éxito de la desconexión.

**PALABRAS CLAVE:** ventilación mecánica, desconexión, coste de oxígeno de la respiración.

### OXYGEN COST OF BREATHING IN THE PREDICTION OF SUCCESSFUL WEANING FROM MECHANICAL VENTILATION

**Objective.** To determine whether the oxygen cost of breathing ( $VO_2$  resp) may predict successful weaning from mechanical ventilation.

**Design.** A prospective clinical study.

**Setting.** A polyvalent intensive care unit of a teaching hospital.

**Patients.** Thirty non-consecutive mechanically ventilated patients ready to wean. Successful weaning was considered when reintubation was not needed for 48 h after extubation.

**Interventions.** Spontaneous breathing test with a t-tube.  $VO_2$  resp was measured with the Douglas bag method.

**Results.** Successful weaning was present in 20 (67%) of 30 patients. No patient with successful weaning needed tracheal reintubation. A cut-off value for  $VO_2$  resp  $\leq 10\%$  had the highest value for the ROC curve ( $0.96 \pm 0.03$ ) and +LR (9.5; 95% CI: 1.5 - 61) and -LR (0.1; 95% CI: 0.01 - 0.4) to distinguish between success or failure of weaning. A misclassification error of 7% was present to predict successful weaning.

**Conclusion.** The oxygen cost of breathing has no clinical utility in predicting weaning outcome.

**KEY WORDS:** mechanical ventilation, weaning, oxygen cost of breathing.

Financiado en parte por la Red GIRA (G 03/63) del Instituto de Salud Carlos III.

Correspondencia: Dr. J.M. Raurich.  
Servicio de Medicina Intensiva.  
Hospital Son Dureta.  
C/ Andrea Doría, 55.  
07014 Palma de Mallorca. España.  
Correo electrónico: jmraurich@hds.es

Manuscrito aceptado el 24-X-2006.

## INTRODUCCIÓN

La desconexión de la ventilación mecánica (VM) y la extubación se realizan con éxito en la mayoría de los pacientes críticos, aunque alrededor del 20% fracasan y requieren un tiempo prolongado de desconexión<sup>1-3</sup>. El fracaso de la extubación se ha asociado a un mayor riesgo de mortalidad<sup>4,5</sup>, por lo que sería útil disponer de un método sencillo y fiable para identificar a aquellos pacientes que se pueden desconectar de la VM y extubar sin riesgo. Lamentablemente, una revisión exhaustiva de la utilidad de los índices que predicen el éxito de la desconexión y de la extubación concluyó que ninguno demostraba una exactitud suficiente para tomar decisiones clínicas<sup>6</sup>.

En dicha revisión el coste en oxígeno de la respiración ( $\text{VO}_2$  resp) no fue evaluado como índice pronóstico del éxito de una prueba de respiración espontánea seguida de la extubación, debido a que los estudios existentes<sup>7-11</sup> no cumplían los criterios de selección que los autores habían establecido. Durante la desconexión de la VM, el  $\text{VO}_2$  resp suele estar elevado y a partir de valores menores del 15% puede ser útil para predecir el éxito de la desconexión<sup>10,12</sup>, aunque dichos resultados no se han confirmado por otros estudios<sup>7,9</sup>. Tampoco hay estudios que comparen el  $\text{VO}_2$  resp con los índices tradicionales de la desconexión de la VM. Por este motivo, hemos diseñado este estudio para determinar si el  $\text{VO}_2$  resp puede ser útil para predecir el éxito de la desconexión de la VM.

## PACIENTES Y MÉTODOS

Se estudiaron 30 pacientes con insuficiencia respiratoria aguda tratados con VM que estaban clínicamente estables. Ninguno padecía enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Antes de la prueba de desconexión, los pacientes fueron tratados con VM asistida/controlada utilizando un respirador Evita (Draeger, Madrid, España). Los pacientes estaban intubados con tubos orotraqueales de un diámetro interno de 8-8,5 mm. Los diagnósticos de ingreso en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) fueron: politraumatismo en 15 pacientes, peritonitis en 7, insuficiencia cardíaca en 5, y otros postoperatorios en 3. Se solicitó el consentimiento verbal a cada paciente antes de iniciar la desconexión.

La decisión de iniciar una prueba de respiración espontánea se tomó cuando el médico responsable consideró que el paciente estaba preparado para hacer la desconexión y cumplía los siguientes criterios: mejoría de la causa que provocó la insuficiencia respiratoria aguda, presión arterial de oxígeno ( $\text{PaO}_2$ ) superior a 60 mmHg con una fracción inspirada de oxígeno ( $\text{FiO}_2$ ) menor o igual a 0,4 y una presión positiva al final de la espiración (PEEP) menor o igual a 5 cm  $\text{H}_2\text{O}$ , temperatura axilar inferior a 38 °C, estabilidad hemodinámica y ausencia de fármacos vasoactivos, frecuencia cardíaca (FC) inferior a 130 latidos por minuto (lpm), hemoglobina superior a 9 g/dl, consciente y colaborador, y ausencia de

fármacos sedantes. Cuando se cumplían todos los criterios se realizaba la prueba de respiración espontánea con un tubo en T durante 2 horas. El estudio se realizó cuando el personal médico idóneo estaba disponible, motivo por el que los pacientes estudiados no fueron consecutivos. El período de estudio fue de dos años.

Una vez seleccionado el paciente, se ajustó la frecuencia del respirador para lograr una moderada hiperventilación y una relajación de los músculos respiratorios sin necesidad de sedación. La estabilidad de la  $\text{FiO}_2$  se consiguió conectando al respirador un mezclador de aire y de oxígeno (Bennett AO-1), desde el que se seleccionaba la  $\text{FiO}_2$ . El circuito del ventilador incluyó un filtro intercambiador de calor y humedad que incrementó 90 ml el espacio muerto. Durante la VM e inmediatamente antes de la prueba de desconexión se midieron los siguientes parámetros: la FC, la tensión arterial sistólica, la frecuencia respiratoria (FR), el volumen minuto, los gases en sangre arterial, el consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) y la producción de anhídrido carbónico ( $\text{VCO}_2$ ).

Después de haber realizado las mediciones descritas durante la VM, los pacientes fueron desconectados del respirador y se conectaron a un tubo en T con aporte de oxígeno. La prueba de respiración espontánea se realizó con una válvula unidireccional (Rudolph Valve, Kansas City, M.O., USA) conectada directamente al tubo orotraqueal para separar el gas inspirado del espirado. A los 15 minutos de haber iniciado la prueba de desconexión, se repitió la medición de las mismas variables respiratorias practicadas inmediatamente antes de la prueba de desconexión. El gas inspirado se suministraba desde una bolsa de meteorología de 60 litros de capacidad alimentada por el mezclador de aire y oxígeno (Bennett AO-1) con el que se seleccionaba la  $\text{FiO}_2$ . La FC, la tensión arterial, la FR y la pulsioximetría ( $\text{SpO}_2$ ) se monitorizaron continuamente para verificar la estabilidad cardiorrespiratoria. Durante la prueba de desconexión no se suspendió el aporte calórico.

Durante las 2 horas de respiración espontánea, el médico responsable del paciente valoró la tolerancia y la prueba se interrumpió si presentaba, al menos, uno de los siguientes criterios: FR superior a 35 respiraciones/minuto,  $\text{SpO}_2$  inferior a 90% respirando una  $\text{FiO}_2$  de 0,4, FC superior a 130 lpm, o aparición de arritmias, presión arterial sistólica superior a 180 mmHg o inferior a 90 mmHg, movimiento toracoabdominal descoordinado, empleo de los músculos accesorios, tos ineficaz, agitación o depresión de la conciencia.

Si el paciente presentaba una mala tolerancia clínica se reanudaba la ventilación mecánica. Si, por el contrario, permanecía estable al final de las 2 horas, el paciente era extubado. La prueba de desconexión se consideró un éxito si la respiración espontánea se mantuvo durante más de 48 horas después de la extubación. Se definió como fracaso cuando el paciente no toleraba la prueba de respiración espontánea y se volvía a conectar a la VM o necesitaba la reintubación dentro de las 48 horas. En los pacientes que

fracasaron en la prueba de respiración espontánea, se esperó 24 horas antes de repetir una nueva prueba con tubo en T.

### Medición del $VO_2$ y la $VCO_2$

Todas las mediciones se hicieron en una posición semiincorporada. Las mediciones del  $VO_2$  y la  $VCO_2$  se practicaron con el método de circuito abierto y aplicando las siguientes fórmulas:

$$VO_2 = V_E \times \left[ \frac{(1 - F_{E}O_2 - F_{E}CO_2)}{(1 - F_I O_2)} \times F_I O_2 - F_{E}O_2 \right]$$

$$VCO_2 = V_E \times F_{E}CO_2$$

Donde  $V_E$  es el volumen minuto espirado en ml/min y corregido a condiciones STPD,  $F_I O_2$  y  $F_{E}O_2$  son las fracciones inspirada y espirada de  $O_2$  y  $F_{E}CO_2$  es la fracción espirada de  $CO_2$ . El valor del  $VO_2$  y la  $VCO_2$  fue la media de dos mediciones.

Para medir el volumen minuto, la  $F_{E}O_2$  y la  $F_{E}CO_2$  se recogió el gas espirado en una bolsa de Douglas de 60 litros de capacidad durante 4-5 minutos. La bolsa de Douglas estaba conectada a la salida de la válvula espiratoria del ventilador o bien a la rama espiratoria de la válvula unidireccional durante la respiración espontánea en tubo en T. El volumen tidal se calculó dividiendo el volumen minuto y la frecuencia respiratoria medidos durante la recogida del gas espirado. El volumen minuto espirado se midió con un espirómetro Wright previamente calibrado, vaciando la bolsa de Douglas con un aspirador de vacío a un flujo constante de 20 l/min<sup>13</sup>. La  $F_I O_2$  se midió a partir del gas inspirado recogido en una bolsa de Douglas conectada al respirador, o bien desde la bolsa de meteorología usada en la prueba de la respiración espontánea. El análisis de los gases arteriales, la  $F_{E}O_2$ , la  $F_{E}CO_2$  y la  $F_I O_2$  se realizó con un analizador de gases IL-1312 (Izasa, Spain). El coeficiente de variación de la medición del  $VO_2$  con el método utilizado en este estudio es del 5,7 %<sup>14</sup>.

### Determinación del coste en oxígeno de la respiración

El  $VO_2$  resp se valoró como la diferencia entre el  $VO_2$  medido durante la respiración espontánea y durante la VM en modo asistido/controlada, que representa el  $VO_2$  con los músculos respiratorios en reposo. El  $VO_2$  resp se expresa en valor absoluto (ml/min), en valor relativo como porcentaje respecto al  $VO_2$  medido durante la respiración espontánea con tubo en T (%) y referido al volumen minuto (ml/l).

### Análisis estadístico

Las variables se expresan como su valor medio y la desviación estándar o mediana y rango interquar-

til. Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Goodness) para comprobar la distribución normal de las variables. Se utilizó la prueba de la «t» de Student para variables continuas y la prueba de ji cuadrado para variables discontinuas. Se consideró significativo un valor de  $p < 0,05$ .

Se definió como verdaderos positivos a los pacientes con éxito en la desconexión y en los que el resultado de la prueba predecía el éxito en la desconexión; verdaderos negativos a los pacientes que fracasaban en la desconexión y en los que el resultado de la prueba predecía el fracaso de la desconexión; falsos positivos a los pacientes que fracasaban en la desconexión y en los que el resultado de la prueba predecía el éxito en la desconexión y falsos negativos a los pacientes con éxito en la desconexión y en los que el resultado de la prueba predecía el fracaso de la desconexión.

El valor diagnóstico de cada índice se valoró mediante la curva ROC, de modo que el que presentaba una mayor área bajo la curva discriminaba mejor entre los dos grupos de pacientes. La curva ROC se calculó con el método no paramétrico de Hanley y McNeil. El valor seleccionado como valor umbral fue aquel que tenía la mayor exactitud (mínimo número de resultados falsos negativos y falsos positivos).

Se utilizaron las siguientes fórmulas para calcular la sensibilidad = verdaderos positivos/(verdaderos positivos + falsos negativos); especificidad = verdaderos negativos/(verdaderos negativos + falsos positivos) y exactitud diagnóstica = (verdaderos positivos + verdaderos negativos)/(verdaderos positivos + verdaderos negativos + falsos positivos + falsos negativos). Se calculó la razón de verosimilitud positiva: sensibilidad/(1-especificidad) y la razón de verosimilitud negativa: (1-sensibilidad)/especificidad. El error de clasificación que representa la proporción de pacientes que no son clasificados correctamente por una prueba se calculó como la siguiente relación: (falsos positivos + falsos negativos)/(verdaderos positivos + verdaderos negativos + falsos positivos + falsos negativos)  $\times 100$ .

## RESULTADOS

De los 30 pacientes en los que se realizó la prueba de tubo en T, 20 (67%) tuvieron éxito y fueron extubados al finalizar las 2 horas de respiración espontánea y 10 (34%) fracasaron y fueron reconectados a la ventilación mecánica. Ningún paciente con éxito en la prueba de tubo en T necesitó ser reintubado en las 48 horas siguientes.

En la tabla 1 se muestra que entre ambos grupos de pacientes no hubo diferencias estadísticamente significativas en la edad, los parámetros antropométricos, la duración de la VM hasta el inicio de la desconexión, la temperatura axilar, el aporte de calorías y el gasto energético del día de la prueba de desconexión. La mayoría de los pacientes (27 de 30) estaban hipermetabólicos (gasto energético en reposo superior al 115% respecto al valor teórico del gasto

**TABLA 1. Características antropométricas y clínicas de los pacientes con éxito y fracaso en la desconexión de la ventilación mecánica. Los valores se muestran como media y desviación estándar**

	Éxito (n=20)	Fracaso (n=10)	p
Hombres/mujeres	15/5	7/3	0,77
Edad (años)	52 ± 21	51 ± 18	0,86
Peso (kg)	68 ± 12	71 ± 12	0,53
Talla (cm)	166 ± 9	165 ± 8	0,8
Duración de la VM (días)	13 ± 14	15 ± 12	0,75
Temperatura axilar (°C)	37,3 ± 0,8	37,2 ± 0,8	0,64
Aporte calórico (kcal/kg/d)	26 ± 8	23 ± 9	0,47
GER-VM (kcal/kg/d)	28 ± 5	27 ± 6	0,6

VM: ventilación mecánica hasta el día de la prueba de desconexión; GER-VM: gasto energético en reposo durante la ventilación mecánica.

energético estimado con la ecuación de Harris-Benedict) antes de hacer la prueba de desconexión y no había diferencias significativas entre los que fueron desconectados con éxito ( $1.899 \pm 357$  kcal/día) y los que fracasaron ( $1.909 \pm 465$  kcal/día). Antes de iniciar la prueba de desconexión los valores de la frecuencia respiratoria y el volumen minuto fueron similares en los pacientes con éxito o fracaso de la desconexión, al igual que las diferentes variables cardiorrespiratorias (tabla 2). El tiempo de desconexión de la VM desde el fracaso de la prueba de tubo en T hasta que fueron extubados fue de una mediana de 4 días (rango intercuartil: 3-11).

Durante la prueba de respiración espontánea con tubo en T, los cambios significativos más importantes en los pacientes que tuvieron éxito en la desconexión se produjeron en el aumento de la FR y en el descenso del volumen minuto (tabla 2). En los pacientes que fracasaron el volumen minuto no se modificó y hubo incrementos notables de la FR y del  $VO_2$ . En ambos grupos la  $pCO_2$  arterial y la discreta alcalosis respiratoria se normalizaron durante la prueba de desconexión.

En todos los pacientes menos uno hubo un incremento del  $VO_2$  resp (fig. 1). El valor medio del  $VO_2$  resp (%) aumentó desde  $5,3 \pm 3,5$  % en los pacientes desconectados con éxito hasta  $15,7 \pm 5,6$  % ( $p < 0,001$ ) en los que fracasaron (tabla 3).

Los valores umbral obtenidos en este estudio que permiten distinguir entre éxito o fracaso de la desconexión se resumen en la tabla 4. Un valor de  $VO_2$  resp menor o igual a 10% presentó la mejor sensibilidad, especificidad, razón de verosimilitud positiva y negativa y el mayor valor del área bajo la curva ROC ( $0,96 \pm 0,03$ ) para predecir el éxito de la desconexión de la VM. El error de clasificación fue del 7% para el  $VO_2$  resp y mayor del 20% en todos los demás índices de predicción del éxito de la desconexión.

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio demuestran que un coste de oxígeno de la respiración menor o igual a 10% podría ser útil para predecir el éxito de la desconexión en los pacientes con insuficiencia respiratoria aguda tratados con VM. En nuestro estudio, los valores de la razón de verosimilitud y el valor del área bajo la curva ROC (utilizados para determinar el grado de exactitud de una prueba diagnóstica) identificaron al  $VO_2$  resp como capaz de predecir de forma moderada el éxito de la desconexión seguida de extubación.

El  $VO_2$  resp medido en pacientes críticos suele ser bastante elevado y es del orden de 3 a 5 veces mayor que el de sujetos sanos<sup>15,16</sup> y permanece eleva-

**TABLA 2. Variables clínicas medidas con ventilación mecánica y durante la prueba de respiración espontánea. Los valores se muestran como media y desviación estándar**

	Éxito (n = 20)		Fracaso (n = 10)	
	VM	TT	VM	TT
FC (lpm)	95 ± 20	100 ± 20*	92 ± 16	105 ± 24*
TAS (mmHg)	133 ± 24	141 ± 20*	129 ± 20	143 ± 20*
FR (rpm)	16 ± 2	26 ± 7*	17 ± 3	35 ± 12*
$V_T$ (ml)	637 ± 79	378 ± 71*	618 ± 66	374 ± 202*
$V_T$ (ml/kg)	9,6 ± 1,8	5,7 ± 1,5	9,0 ± 2,2	5,3 ± 2,7*
$V_E$ (l/min)	12,0 ± 2,0	9,6 ± 2,4*	12,5 ± 2,6	12,1 ± 4,6
$f/V_T$	-	73 ± 29	-	116 ± 67
$VCO_2$ (ml/min)	244 ± 41	246 ± 42	244 ± 62	260 ± 72
$VO_2$ (ml/min)	269 ± 53	284 ± 54*	271 ± 67	324 ± 85*
pH	7,47 ± 0,03	7,42 ± 0,03*	7,47 ± 0,04	7,40 ± 0,06*
$PaO_2/FiO_2$	354 ± 77	319 ± 59*	375 ± 120	285 ± 79*
$PaCO_2$ (mmHg)	33 ± 4	37 ± 5*	30 ± 5	38 ± 10*

VM: ventilación mecánica; TT: tubo en T;  $V_T$ : volumen tidal;  $V_E$ : volumen minuto;  $VCO_2$ : producción de  $CO_2$ ;  $VO_2$ : consumo de oxígeno; lpm: latidos por minuto; TAS: tensión arterial sistólica; FR: frecuencia respiratoria; rpm: respiraciones por minuto.

\* $p < 0,05$  entre VM respiraciones y tubo en T.

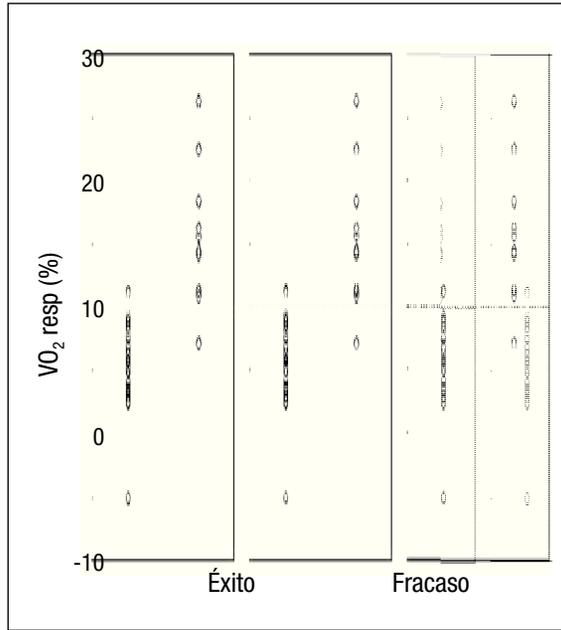


Figura 1. Valor del coste en oxígeno de la respiración ( $VO_2$  resp) de los pacientes con éxito y fracaso en la desconexión de la ventilación mecánica.

do después de 30 días de VM<sup>17</sup>. Varios estudios han valorado el valor del  $VO_2$  resp para predecir el éxito de la desconexión con resultados contradictorios que pueden explicarse entre otras razones porque el diseño de estos estudios es diferente en relación con la población estudiada, al método empleado de desconexión, al método y momento de medir el  $VO_2$ , la duración de la VM hasta el día de la prueba de desconexión y a los criterios de éxito de la prueba.

Basándose en los resultados discordantes y al bajo número de pacientes estudiados se ha desestimado el uso del  $VO_2$  resp como un índice útil para predecir el éxito de la desconexión<sup>18</sup>. Apoyan esta afirmación los resultados obtenidos por Kemper et al<sup>9</sup> en un estudio con 35 pacientes y Hubmayr et al<sup>7</sup> en 10 pacientes que demostraron que las diferencias en el  $VO_2$  resp entre los pacientes con éxito o fracaso en la desconexión no eran útiles para predecir el resultado. Oh et al<sup>8</sup> rechazaron también la utilidad del  $VO_2$  resp porque en un grupo de 20 pacientes hubo un error de clasificación del 29% en los 7 pacientes que fracasaron. Por el contrario, otros autores observaron diferencias significativas en el  $VO_2$  resp entre los pacientes con éxito o fracaso de la extubación<sup>10,12</sup>, al igual que en nuestro estudio. Valores umbral del  $VO_2$  resp menores del 15% permitían predecir el éxito de la desconexión<sup>10,11</sup>. Ninguno de estos estudios superó un tamaño muestral de 30 pacientes. El valor umbral del  $VO_2$  resp detectado por Lewis et al<sup>10</sup> fue distinto al de nuestro estudio, porque estos autores expresaron el  $VO_2$  resp en porcentaje respecto al  $VO_2$  medido durante la VM y no al medido durante la respiración espontánea con tubo en T, lo que también da valores superiores.

La explicación más probable del aumento del  $VO_2$  resp en los pacientes que fracasan en la desconexión es el mayor trabajo respiratorio, secundario a la resolución incompleta de la alteración pulmonar que suele cursar con una reducción de la compliancia y/o al aumento de las resistencias de la vía aérea<sup>19,20</sup>. Sin embargo, el elevado nivel de actividad metabólica que detectamos en la mayoría de nuestros pacientes antes de iniciar la prueba de respiración espontánea también podría explicar, en parte, el aumento del trabajo respiratorio<sup>21</sup>. El elevado valor del  $VO_2$  durante la respiración espontánea puede deberse, además de a la propia enfermedad, al incre-

TABLA 3. Consumo de oxígeno respiratorio ( $VO_2$  resp) de los pacientes con éxito y fracaso en la desconexión de la ventilación mecánica. Los valores se muestran como media y desviación estándar

	Éxito (n = 20)	Fracaso (n = 10)	p
$VO_2$ resp (ml/min)	15 ± 10	53 ± 28	0,002
$VO_2$ resp (%)	5,3 ± 3,5	15,7 ± 5,6	< 0,001
$VO_2$ resp (ml/l)	1,6 ± 1,2	4,5 ± 1,8	< 0,001

$VO_2$ : consumo de oxígeno.

TABLA 4. Exactitud de los índices utilizados para predecir el éxito de la retirada de la ventilación mecánica en 30 pacientes

	S	E	RV+	RV-	ABC
FR ≤ 35 r/min	0,95	0,5	1,9 (1,0 - 3,6)	0,1 (0,01 - 0,7)	0,73 ± 0,11
$V_E$ ≤ 12 l/min	0,85	0,5	1,7 (0,9 - 3,2)	0,3 (0,1 - 1,0)	0,70 ± 0,12
Vt ≥ 300 ml	0,95	0,3	1,4 (0,9 - 2,1)	0,2 (0,02 - 1,4)	0,36 ± 0,12
Vt ≥ 4 ml/kg	0,75	0,67	1,5 (0,9 - 2,5)	0,2 (0,06 - 1,1)	0,33 ± 0,11
f/Vt ≤ 120 rpm/l	0,95	0,4	1,6 (0,9 - 2,6)	0,1 (0,02 - 1,0)	0,70 ± 0,11
$VCO_2$ ≤ 165 ml/min/m <sup>2</sup>	0,95	0,4	1,6 (0,9 - 2,6)	0,1 (0,02 - 1,0)	0,53 ± 0,13
$VO_2$ ≤ 180 ml/min/m <sup>2</sup>	0,85	0,5	1,7 (0,9 - 3,2)	0,3 (0,1 - 1,0)	0,64 ± 0,12
$VO_2$ resp ≤ 10%	0,95	0,9	9,5 (1,5 - 61)	0,1 (0,01 - 0,4)	0,96 ± 0,03

S: sensibilidad; E: especificidad; RV: razón de verosimilitud; ABC: área bajo la curva ROC; FR: frecuencia respiratoria;  $VCO_2$ : producción de  $CO_2$ ;  $VO_2$ : consumo de oxígeno.

mento del metabolismo por un incremento de las hormonas de estrés<sup>8</sup>, el reclutamiento de músculos no respiratorios, el incremento del gasto cardíaco y la alteración del equilibrio ácido-base<sup>7,8,22</sup>.

Los otros índices evaluados en nuestro estudio para predecir el éxito de la desconexión presentaron valores de la razón de verosimilitud y del área bajo la curva ROC muy inferiores al obtenido con un valor del  $\text{VO}_2$  resp menor o igual al 10%. En un reciente estudio, en el que se enmascaró el resultado de las distintas pruebas al médico responsable del paciente, se obtuvieron resultados semejantes<sup>23</sup>. Sin embargo, nuestro estudio difiere de la mayoría de estos estudios en el hecho de medir estos índices después de 15 minutos de mantener la respiración espontánea y no dentro de los primeros 5 minutos. La explicación más probable por la que estas pruebas aportan tan poco a la capacidad de predecir el éxito de la desconexión es que la selección de los pacientes idóneos para realizar la prueba de desconexión condiciona la evaluación de dichas pruebas, ya que los pacientes que no cumplen los criterios de selección no son estudiados y, a pesar de no cumplir con estos criterios, algunos de ellos quizás podrían ser extubados con éxito. En nuestro estudio no seleccionamos a pacientes con EPOC, ya que los valores umbral de los índices de predicción del éxito de la desconexión pueden ser muy diferentes a los de los enfermos con insuficiencia respiratoria aguda<sup>24,25</sup>.

En un interesante estudio se demostró que la duración de los días de VM hasta el día de la prueba de desconexión era mayor en los pacientes que fracasaban ( $12 \pm 12$  días) que en los que tenían éxito ( $7 \pm 7$  días) y era la variable diagnóstica más importante<sup>24</sup>. Sin embargo, los autores no presentaron el valor umbral de los días de VM hasta el día de la prueba de desconexión que mejor permitía clasificar el éxito o fracaso de la desconexión. Otros autores han encontrado que la duración de la VM hasta el día de la prueba de respiración espontánea en enfermos con desconexión difícil es similar o más larga a la obtenida en nuestro estudio<sup>3</sup>.

La definición de fracaso de la prueba de desconexión puede inducir errores, ya que no sabemos cuántos enfermos que fracasaron en la prueba de desconexión hubieran sido extubados sin problemas, ya que según varios autores, la taquipnea también permite la extubación con éxito<sup>26</sup>. Las principales limitaciones de nuestro estudio se pueden atribuir al reducido número de pacientes estudiados, a la falta de un grupo de validación para confirmar la utilidad clínica del  $\text{VO}_2$  resp, al posible sesgo de selección de pacientes, ya que no fueron consecutivos, al hecho de que ningún paciente necesitó la reintubación y a que la duración de la VM hasta el día del estudio no es representativa del patrón habitual en una UCI española<sup>27</sup>. También queremos resaltar la limitación metodológica impuesta por la complejidad de medir el  $\text{VO}_2$  con una bolsa de Douglas y la amplia reproducibilidad de la medición del  $\text{VO}_2$  que es de 26 ml/min<sup>28</sup>, rango que incluye los valores normales del  $\text{VO}_2$  resp y que explica la presencia de valores nega-

tivos, y del hecho de que dicha medición daría probablemente valores cambiantes con el tiempo, si midiéramos el  $\text{VO}_2$  de manera continua como en una prueba de esfuerzo.

La información obtenida de la medición del  $\text{VO}_2$  resp como índice de desconexión, tal como se ha realizado en este estudio, aunque es interesante desde el punto de vista fisiológico, no aporta ninguna utilidad clínica, dado que al no existir pacientes que fracasaran en la extubación, muestra la misma información que la observación clínica durante la respiración espontánea con tubo en T. Tal como se ha afirmado en una interesante revisión existen importantes limitaciones para realizar correctamente este tipo de estudios<sup>6</sup>. Además, la facilidad y seguridad de realizar una prueba diagnóstica de respiración espontánea y el uso de protocolos clínicos estrictos es probablemente mucho más útil para el clínico que atiende a estos enfermos.

La conclusión preliminar de este estudio es que la determinación del coste en oxígeno de la respiración es de escasa utilidad clínica para predecir el éxito de la desconexión de la VM.

#### Declaración de conflicto de intereses

Los autores han declarado no tener ningún conflicto de intereses.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Esteban A, Alía I. Clinical management of weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 1998;24:999-1008.
2. Esteban A, Frutos F, Tobin MJ, Alía I, Solsona JF, Valverdu I, et al. A comparison of four methods of weaning patients from mechanical ventilation. *N Engl J Med.* 1995;332:345-50.
3. Brochard L, Rauss A, Benito S, Conti G, Mancebo J, Rekk N, et al. Comparison of three methods of gradual withdrawal from ventilatory support during weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.* 1994;150:896-903.
4. Esteban A, Alía I, Tobin MJ, Gil A, Gordo F, Vallverdu I, et al. Effect of spontaneous breathing trial duration on outcome of attempts to discontinue mechanical ventilation. Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999;159:512-8.
5. Epstein SK, Ciubotaru RL, Wong JB. Effect of failed extubation on the outcome of mechanical ventilation. *Chest.* 1997;112:186-92.
6. Meade M, Guyatt G, Cook D, Griffith L, Sinuff T, Kergl C, et al. Predicting success in weaning from mechanical ventilation. *Chest.* 2001;120:400S-24S.
7. Hubmayr RD, Loosbrock LM, Gillespie DJ, Rodarte JR. Oxygen uptake during weaning from mechanical ventilation. *Chest.* 1988;94:1148-55.
8. Oh TE, Bhatt S, Lin ES, Hutchinson RC, Low JM. Plasma catecholamines and oxygen consumption during weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 1991;17:199-203.
9. Kemper M, Weissman C, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. Metabolic and respiratory changes during weaning from mechanical ventilation. *Chest.* 1987;92:979-83.
10. Lewis WD, Chwals W, Benotti PN, Lakshman K, O'Donnell C, Blackburn GL, et al. Bedside assessment of the work of breathing. *Crit Care Med.* 1988;16:117-22.
11. Shikora SA, Bistran BR, Borlase BC, Blackburn GL, Stone MD, Benotti PN. Work of breathing: reliable predictor of weaning and extubation. *Crit Care Med.* 1990;18:157-62.

12. Nishimura M, Taenaka N, Takezawa J. Oxygen cost of breathing and inspiratory work of ventilator as weaning monitor in critically-ill. *Crit Care Med*. 1984;12:258.
13. Raurich JM, Ibáñez J. Calibración del espirómetro Wright para la medición exacta de volumen. *Med Intensiva*. 1991;15:114-7.
14. Raurich JM. Medición del consumo de oxígeno y de la producción de anhídrido carbónico durante la ventilación mecánica. 1990. Universidad Autónoma de Barcelona. Tesis doctoral.
15. Wilson RS, Sullivan SF, Malm JR, Bowman FO Jr. The oxygen cost of breathing following anesthesia and cardiac surgery. *Anesthesiology*. 1973;39:387-93.
16. Manthous CA, Hall JB, Kushner R, Schmidt GA, Russo G, Wood LD. The effect of mechanical ventilation on oxygen consumption in critically ill patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 1995;151:210-4.
17. Field S, Kelly MS, Macklem PT. The oxygen cost of breathing in patients with cardiorespiratory disease. *Am Rev Respir Dis*. 1982;126:9-13.
18. Sassoon CSH, Mahutte CK. Work of breathing during mechanical ventilation. En: Marini JJ, Slutsky AS, editors. Volume: 118 *Physiological basis of ventilatory support*. New York: Marcel Dekker, Inc.; 1998. p. 261-310.
19. Fleury B, Murciano D, Talamo C, Aubier M, Pariente R, Milic-Emili J. Work of breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease in acute respiratory failure. *Am Rev Respir Dis*. 1985;131:822-7.
20. Brochard L, Harf A, Lorino H, Lemaire F. Inspiratory pressure support prevents diaphragmatic fatigue during weaning from mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis*. 1989;139:513-21.
21. Bursztein S, Taitelman U, Myttenaere S, Michelson M, Dahan E, Gepstein R, et al. Reduced oxygen consumption in catabolic states with mechanical ventilation. *Crit Care Med*. 1978;6:162-4.
22. Karetzky MS, Cain SM. Effect of carbon dioxide on oxygen uptake during hyperventilation in normal man. *J Appl Physiol*. 1970;28:8-12.
23. Conti G, Montini L, Pennisi MA, Cavaliere F, Arcangeli A, Bocci MG, et al. A prospective, blinded evaluation of indexes proposed to predict weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med*. 2004;30:830-6.
24. Vallverdu I, Calaf N, Subirana M, Net A, Benito S, Mancebo J. Clinical characteristics, respiratory functional parameters, and outcome of a two-hour T-piece trial in patients weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998;158:1855-62.
25. Alvisi R, Volta CA, Righini ER, Capuzzo M, Ragazzi R, Verri M, et al. Predictors of weaning outcome in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Eur Respir J*. 2000;15:656-62.
26. DeHaven CB, Kirton OC, Morgan JP, Hart AM, Shatz DV, Civetta JM. Breathing measurement reduces false-negative classification of tachypneic preextubation trial failures. *Crit Care Med*. 1996;24:976-80.
27. Frutos F, Alía I, Vallverdu I, Revuelta P, Saura P, Besso GM, et al. Pronóstico de una cohorte de enfermos en ventilación mecánica en 72 unidades de cuidados intensivos en España. *Med Intensiva*. 2003;27:162-8.
28. Raurich JM, Ibáñez J, Marsé P. Validation of a new closed circuit indirect calorimetry method compared with the open Douglas bag method. *Intensive Care Med*. 1989;15:274-8.