



Original

## Evaluación de la musculatura respiratoria en la predicción del resultado de la extubación de pacientes con ictus<sup>☆</sup>

Antonio A.M. Castro<sup>a,b,\*</sup>, Felipe Cortopassi<sup>c</sup>, Russell Sabbag<sup>d</sup>, Luis Torre-Bouscoulet<sup>e</sup>,  
Claudia Kümpel<sup>a</sup> y Elías Ferreira Porto<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Respiratory Diseases Department, Federal University of São Paulo and Adventist University, São Paulo, Brasil

<sup>b</sup> Federal University of Pampa (Unipampa), Rio Grande do Sul, Brasil

<sup>c</sup> Yale New Haven Hospital, Yale University School of Medicine, New Haven, Connecticut, Estados Unidos

<sup>d</sup> New England Medical Center, Tufts University School of Medicine, Boston, Massachusetts, Estados Unidos

<sup>e</sup> Departamento de Fisiología, Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, México, D.F., México

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 25 de abril de 2012

Aceptado el 25 de abril de 2012

On-line el 18 de mayo de 2012

#### Palabras clave:

Ventilación mecánica

Extubación

Pdi/Pdimáx

Ictus

Músculos respiratorios

Mecánica respiratoria

### R E S U M E N

**Antecedentes:** Los pacientes con infarto cerebral presentan a menudo un deterioro del nivel de conciencia que hace que la extubación no sea satisfactoria. El objetivo de este estudio fue evaluar los componentes de la mecánica respiratoria que pudieran estar relacionados con el éxito de la extubación en pacientes con ictus.

**Métodos:** Se incluyó en el estudio a 20 pacientes consecutivos con ictus que necesitaron apoyo de ventilación mecánica. Se efectuaron determinaciones de la presión inspiratoria máxima, la presión gástrica y esofágica (Pdi/Pdimáx), el volumen-minuto, la frecuencia respiratoria, la elasticidad estática, la resistencia de las vías aéreas (RAW), el índice de respiración rápida y superficial (RSRI), la relación tiempo inspiratorio/tiempo de ciclo respiratorio total (Ti/Ttot) y la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>.

**Resultados:** El grupo de pacientes que pudieron ser extubados con éxito tenía un tiempo de permanencia en ventilación mecánica de 12,5 ± 2,2 días, en comparación con 13,1 ± 2 días en el grupo en el que fracasó el proceso de extubación. La media Ti/Ttot y de Pdi/Pdimáx en el grupo de fracaso de la extubación fue de 0,4 ± 0,08 (0,36 a 0,44) y de 0,5 ± 0,7 (0,43 a 0,56), respectivamente. La relación Ti/Ttot fue de 0,37 ± 0,05 (0,34 a 0,41; p = 0,0008) y la relación Pdi/Pdimáx fue de 0,25 ± 0,05 en el grupo de extubación satisfactoria (0,21 a 0,28; p < 0,0001). Se observó una correlación entre la relación Pdi/Pdimáx y el RSRI (r = 0,55; p = 0,009) y la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> (r = -0,59; p = 0,005). Los pacientes que tenían valores altos de RSRI (OR, 3,66; p = 0,004) y Pdi (OR, 7,3; p = 0,002) o valores bajos de PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> (OR, 4,09; p = 0,007), Pdi/Pdimáx (OR, 4,12; p = 0,002) y RAW (OR, 3,0; p = 0,02) presentaron un fracaso de la extubación de la ventilación mecánica.

**Conclusión:** El índice de fatiga muscular es una variable predictiva importante del proceso de extubación en pacientes con ictus en los que se ha utilizado una ventilación mecánica prolongada.

© 2012 SEPAR. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

### Respiratory Muscle Assessment in Predicting Extubation Outcome in Patients With Stroke

#### A B S T R A C T

**Background:** Patients with cerebral infarction often present impaired consciousness and unsatisfactory extubation. We aimed to assess the respiratory mechanics components that might be associated with the success of extubation in stroke patients.

**Methods:** Twenty consecutive patients with stroke who needed mechanical ventilation support were enrolled. The maximal inspiratory pressure, gastric and the esophageal pressure (Pdi/Pdimax), minute volume, respiratory rate, static compliance, airway resistance, rapid and superficial respiration index (RSRI), inspiratory time/total respiratory cycle (Ti/Ttot), and PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> were measured.

#### Keywords:

Mechanical ventilation

Extubation

Pdi/Pdimax

Stroke

Respiratory muscles

Respiratory mechanics

<sup>☆</sup> Este estudio se llevó a cabo en la Universidad Adventista de São Paulo y en el Hospital Itamaraty.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: antonioamcastro@yahoo.com.br (A.A.M. Castro).

**Results:** The group who presented success to the extubation process presented  $12.5 \pm 2.2$  = days in mechanical ventilation and the group who failed presented  $13.1 \pm 2$  = days. The mean  $Ti/Ttot$  and  $Pdi/Pdimax$  for the failure group was  $0.4 \pm 0.08$  (0.36-0.44) and  $0.5 \pm 0.7$  (0.43-0.56), respectively. The  $Ti/Ttot$  ratio was  $0.37 \pm 0.05$  (0.34-0.41;  $p=0.0008$ ) and the  $Pdi/Pdimax$  was  $0.25 \pm 0.05$  for the success group (0.21-0.28;  $p<0.0001$ ). A correlation was found between  $Pdi/Pdimax$  ratio and the RSRI ( $r=0.55$ ;  $p=0.009$ ) and  $PaO_2/FiO_2$  ( $r=-0.59$ ;  $p=0.005$ ). Patients who presented a high RSRI (OR, 3.66;  $p=0.004$ ) and  $Pdi$  (OR, 7.3;  $p=0.002$ ), and low  $PaO_2/FiO_2$  (OR, 4.09;  $p=0.007$ ),  $Pdi/Pdimax$  (OR, 4.12;  $p=0.002$ ) and RAW (OR, 3.0;  $p=0.02$ ) developed mechanical ventilation extubation failure.

**Conclusion:** Muscular fatigue index is an important predicting variable to the extubation process in prolonged mechanical ventilation of stroke patients.

© 2012 SEPAR. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

## Introducción

El retraso en la retirada o la interrupción prematura de la ventilación mecánica se han asociado a un aumento de la mortalidad en las unidades de cuidados intensivos (UCI)<sup>1,2</sup>. La decisión de si el paciente puede tolerar o no la extubación es importante, ya que se produce un fracaso del proceso de extubación en el 10-20% de los pacientes, y ello se asocia a un peor resultado clínico<sup>3,4</sup>. Durante este proceso no es infrecuente encontrar fallos en la predicción de la extubación cuando se emplean los métodos de evaluación regulares para medir la capacidad del paciente de respirar sin ayuda, como la gasometría, la determinación de la capacidad vital (VC) y la ventilación-minuto (VE). Sin embargo, la resistencia de las vías aéreas (RAW) y la elasticidad (estática) del sistema respiratorio son métodos sencillos, no invasivos y ampliamente utilizados para predecir el éxito de la extubación en pacientes con enfermedad respiratoria<sup>5-7</sup>.

Los pacientes con infarto cerebral, en especial los que presentan edema cerebral y una afectación extensa del tronco encefálico, presentan a menudo un deterioro del nivel de conciencia. Estos pacientes tienen generalmente un mal pronóstico, debido a la afectación de centros vitales o a las complicaciones respiratorias<sup>8-10</sup>. En las UCI se plantea con frecuencia en los pacientes con ictus la cuestión de cómo realizar la extubación con unos parámetros satisfactorios cuando existen tales preocupaciones acerca del nivel de conciencia del paciente y su capacidad de mantener una respiración espontánea. Es bien sabido que hay una incidencia elevada de neumonía en los pacientes con traumatismos craneales en los que se hace necesaria una intubación prolongada<sup>11</sup>.

El índice de respiración rápida y superficial (RSRI), que se refleja en la relación de la frecuencia respiratoria (RR) respecto al volumen circulante ( $f/Vt$ ) constituye un dato sencillo de obtener para predecir el resultado de la extubación de manera más exacta que los parámetros aislados<sup>12</sup>. Chatila et al.<sup>13</sup> observaron que la relación  $f/Vt$  era más exacta que otros instrumentos clínicos de uso frecuente en la predicción del resultado de la extubación de la ventilación mecánica. La exactitud predictiva y la simplicidad del parámetro de  $f/Vt$  justifican su uso en la asistencia de pacientes con ventilación mecánica. La presión transdiafragmática máxima ( $Pdi/Pdimax$ ) podría ser otro parámetro importante para predecir el éxito de la extubación<sup>14-16</sup>. Sin embargo, es poco lo que se sabe sobre la integración de la evaluación de la mecánica respiratoria, la presión transdiafragmática máxima y la relación  $PaO_2/FiO_2$ .

Aunque hay unos pocos estudios que establecen índices de predicción del éxito de la extubación en pacientes con ictus y no disponemos de guías al respecto, según nuestra experiencia en este trastorno, la evolución parece ser buena sin una vía aérea artificial. Nuestra hipótesis fue que la  $Pdi$  y la  $Pdi/Pdimax$  son indicadores indirectos importantes para predecir la extubación satisfactoria del respirador mecánico en los pacientes con ictus. El objetivo de este estudio es identificar componentes de la mecánica respiratoria que estén asociados al éxito de la extubación en los pacientes con ictus en los que se utiliza ventilación mecánica.

## Material y métodos

Llevamos a cabo un estudio prospectivo, de cohorte, observacional, en 20 pacientes con ictus consecutivos que fueron ingresados con ventilación mecánica y en los que se mantuvo este apoyo respiratorio durante más de 10 días en nuestra UCI. El protocolo se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre julio y octubre de 2008. El estudio fue aprobado por el consejo de revisión interno de nuestra universidad, y los familiares de todos los pacientes firmaron un documento de consentimiento informado.

### Inclusión

El ictus (infarto de tronco encefálico) debía estar confirmado (mediante técnicas de imagen) y el paciente debía estar intubado ( $\geq 10$  días), hemodinámicamente estable (sin alteración de valores circulatorios, presión arterial o ECG) y con una puntuación de la escala del coma de Glasgow (GCS)  $\geq 7$ . La infección del paciente debía estar bajo control según lo indicado por el recuento leucocitario ( $12.000\text{ mm}^3$ ), la temperatura ( $37^\circ\text{C}$ ), la presión arterial y la radiografía de tórax sin broncograma. Elegimos 4 criterios subjetivos para evaluar el nivel de conciencia de los pacientes, de la siguiente forma: a) parpadeo; b) sostener la mano del investigador; c) elevar al menos una de las extremidades inferiores, y d) confirmación de su nombre.

### Exclusión

Se excluyó a los pacientes que presentaban arritmia, valores de presión arterial altos (PAM  $> 150\text{ mmHg}$ ) o bajos (PAM  $< 60\text{ mmHg}$ ), ictus recurrente de cualquier tipo o cualquier otra enfermedad distinta del ictus.

### Protocolo

Se determinó el índice de masa corporal (IMC) y el balance de líquidos como medida del estado de hidratación del paciente. Los pacientes incluidos en nuestra UCI recibieron ventilación mecánica con un tubo endotraqueal. Antes de la extubación, se colocó un balón gastroesofágico, según lo descrito en otra publicación<sup>12</sup>. Se estableció que estos pacientes debían ser extubados en un plazo de 10 días tras la instauración de la ventilación mecánica si cumplían todos los criterios de inclusión en el estudio. Tras ello, se utilizaron todos los dispositivos (ventilación no invasiva, oxigenoterapia) y fármacos (diuréticos y adrenalina racémica) necesarios para mantener al paciente en respiración espontánea. Si esto fracasaba, se reintubaba al paciente.

Los pacientes fueron sedados con midazolam (Dormonid®) y el balón gastroesofágico permitió determinar las presiones gástrica y esofágica, que reflejan la presión abdominal y pleural, respectivamente. La suma de las presiones gástrica y esofágica nos proporcionó la forma de medir la presión transdiafragmática ( $Pdi$  = diferencia máxima entre presión abdominal y presión

pleural<sup>17</sup>. Se confirmó la colocación gastroesofágica exacta mediante una radiografía de tórax anteroposterior. Una vez colocado el balón gastroesofágico, se interrumpió la sedación con el empleo de flumazenilo (Lanexate®). Inmediatamente después de recuperada la conciencia, realizamos las 4 pruebas subjetivas para verificar que los pacientes no estuvieran sedados (parpadeo, sujetar la mano del investigador, elevación de al menos una de las extremidades inferiores y confirmación de su nombre). Si el paciente confirmaba que estaba despierto pasábamos a medir el valor más alto de la presión inspiratoria máxima (MIP) por medio de un manuvacuómetro conectado directamente al tubo endotraqueal. Para confirmar la ausencia de fugas, se colocó una pinza nasal y se verificó la presión en el interior del balón (manguito del tubo). Se tomó como esfuerzo máximo (MIP) la mejor de 3 maniobras, dejando un periodo de descanso de 30 s entre ellas.

Determinamos también el índice de fatiga de la musculatura respiratoria, que se define como  $Ti/Ttot/Pdi/Pdimáx$ , en donde  $Ti$  es el tiempo inspiratorio,  $Ttot$  es el tiempo de respiración total,  $Pdi$  es la media de presión transdiafragmática generada por la respiración y  $Pdimáx$  es la presión transdiafragmática máxima. El valor de  $Ti/Ttot/Pdi/Pdimáx$  refleja la función de la generación de contracción de los músculos intercostales y del diafragma. Cuando se realiza la respiración con alguna carga inspiratoria, el umbral del índice de fatiga muscular es de 0,35 a 0,40<sup>17,18</sup>.

Antes del uso de flumazenilo (Lanexate®) determinamos los valores máximo y de meseta de la presión de vías respiratorias, el flujo inspiratorio, el volumen corriente (VT), el volumen-minuto, la RR y la presión teleespiratoria positiva (PEEP), mientras el paciente continuaba estando conectado al respirador mecánico. Los parámetros de valoración se evaluaron respiración a respiración a lo largo de 1 min. El respirador utilizado fue un Rafael® (Hamilton Medical). Los parámetros registrados fueron los siguientes: elasticidad estática (ml/cmH<sub>2</sub>O), resistencia de vías aéreas (cmH<sub>2</sub>O/l/min), relación espacio muerto/volumen corriente (Vd/Vt), RSRI,  $Ti/Ttot$  y relación  $PaO_2/FiO_2$ . La elasticidad pulmonar estática total se determinó mediante: volumen corriente/presión de meseta inspiratoria - PEEP. La RAW se determinó mediante: máximo de presión inspiratoria - presión de meseta/flujo inspiratorio. La relación  $PaO_2/FiO_2$  se determinó mediante la gasometría con una concentración normal de O<sub>2</sub> para mantener una SpO<sub>2</sub> superior al 90%. Para la realización de los análisis estadísticos se tomaron los valores más altos de todas las determinaciones. Cuando el paciente presentaba un estado clínico de respiración espontánea, se determinó el RSRI mientras el paciente estaba conectado al respirador en modo de funcionamiento espontáneo, mientras se determinaba la RR espontánea dividida por el volumen corriente espontáneo en litros. El índice se obtuvo después del primero y el quinto minutos. Los parámetros de mecánica respiratoria y los parámetros de oxígeno se compararon con los valores normales<sup>18,19</sup>.

El paciente era extubado si presentaba un estado clínico de respiración espontánea con  $PaO_2/FiO_2 > 200$  y una SpO<sub>2</sub> > 92%. Durante el procedimiento de extubación y durante la hora siguiente se tomaron todas las medidas necesarias para preservar la seguridad del paciente (p.ej., ventilación no invasiva y oxígeno, aspiración, uso de diuréticos y adrenalina racémica). Se consideró que se había producido un fracaso del proceso de extubación si el paciente presentaba una disminución del nivel de conciencia, molestias respiratorias y/o hipoxemia a pesar del empleo de ventilación no invasiva y oxigenoterapia durante un periodo de hasta 30 min.

En caso de fracaso del proceso, el paciente era intubado de nuevo y después se proponía la traqueostomía. Si el paciente era capaz de permanecer extubado se le incluía en el protocolo. Antes de la extubación, a los 5 min y al cabo de 1 h, en los pacientes en los que el protocolo se aplicó con éxito se determinó la presión transdiafragmática máxima. La Pdi se determinó durante una respiración tranquila y también durante una maniobra de inspiración

máxima realizada por el paciente. Para ambas determinaciones la parte externa del balón gastroesofágico se conectó a un neumotacógrafo. La determinación de la posición adecuada y las mediciones precisas del balón gastroesofágico se realizaron con una prueba de oclusión y se confirmaron los valores alcanzados con los valores de referencia. En todos los pacientes se utilizó una pinza nasal durante ambas maniobras. No determinamos la Pdi en los pacientes que fueron intubados de nuevo en un plazo inferior a 1 h tras la extubación inicial.

### Análisis estadístico

Las variables continuas se presentan en forma de media, desviación estándar, cocientes y porcentajes. Las comparaciones simples de los grupos se realizaron con la prueba de t para datos no emparejados o con la prueba de  $\chi^2$ . Los factores asociados al fracaso de la extubación se exploraron con un modelo de regresión logística y la fuerza de la asociación se expresa mediante valores de *odds ratios* e intervalos de confianza del 95%. Las variables evaluadas fueron las siguientes:  $Ti/Ttot$ , relación  $Pdi/Pdimáx$ , relación  $PaO_2/FiO_2$ , MIP, RSRI y mecánica respiratoria. El nivel de significación estadística de cada prueba se estableció en  $p < 0,05$ . El tamaño muestral se calculó en función de la variabilidad de la presión transdiafragmática máxima con el empleo de la ecuación E/S que corresponde a la magnitud del efecto esperado dividida por la desviación estándar de la variable de valoración de resultado. Planteamos un error  $\alpha$  del 5% y un error  $\beta$  del 20%, basados en los resultados de estudios previos<sup>12</sup>. Eran necesarios 18 pacientes para cumplir con las exigencias de potencia estadística establecidas para la investigación. El análisis estadístico se llevó a cabo con un programa informático de estadística comercializado (InStat3®).

### Resultados

Los 20 pacientes incluidos en este estudio tenían una media de edad de  $56,4 \pm 4,7$  (48 a 67) años; el IMC era de  $20,1 \pm 3,4$  (14,3 a 27,1) kg/m<sup>2</sup>, la MIP era de  $43,8 \pm 9,1$  (30 a 64) cmH<sub>2</sub>O, la presión transdiafragmática (Pdi) era de  $15,1 \pm 5,5$  (9 a 26), la presión transdiafragmática máxima (Pdimáx) era de  $45 \pm 10$  (30 a 64) cmH<sub>2</sub>O, la relación presión transdiafragmática/presión transdiafragmática máxima (Pdi/ Pdimáx) era de  $0,34 \pm 0,1$  (0,17 a 0,65), la  $PaO_2/FiO_2$  era de  $199,8 \pm 35$  (122 a 281) y el RSRI - Tobin era de  $107 \pm 12$  (104 a 111). El tiempo inspiratorio efectivo ( $Ti/Ttot$ ) era de  $0,38 \pm 0,1$ , el tiempo de ventilación mecánica era de  $302 \pm 35$ , la elasticidad pulmonar era de  $43,4 \pm 8,8$  y la RAW era de  $7,9 \pm 2,4$  (tabla 1).

En el grupo en el que el proceso de extubación fue satisfactorio, la media de días de empleo de ventilación mecánica fue de  $12,5 \pm 2,2$ , frente a  $13,1 \pm 2$  en el grupo de fracaso de la extubación. En 12 pacientes (60%) no se utilizó traqueostomía (éxito de la extubación). Las características de los 2 grupos de pacientes se presentan en la tabla 2.

Consideramos que había habido un éxito de la extubación si el paciente permanecía extubado a las 48 h. Las primeras 4 h siguientes a la extubación fueron las peores para estos pacientes, dado que la mitad de los del grupo de fracaso del proceso necesitaron un apoyo de ventilación mecánica invasiva en ese periodo de tiempo. Los demás pacientes fueron intubados a lo largo de un periodo de 24 h ( $p = 0,0001$ ).

Se determinó el índice de fatiga muscular mediante las relaciones de  $Ti/Ttot$  y  $Pdi/ Pdimáx$ . Se consideró que se estaba en la zona de fatiga muscular respiratoria si cualquiera de esos valores era superior a 0,4. La media de  $Ti/Ttot$  y de  $Pdi/Pdimáx$  para el grupo de fracaso de la extubación fue de  $0,4 \pm 0,08$  (IC95%, 0,36 a 0,44) y de  $0,5 \pm 0,7$  (IC95%, 0,43 a 0,56) respectivamente. En el grupo de fracaso de la extubación solo hubo 2 pacientes con una relación  $Pdi/ Pdimáx$  inferior a 0,4 y 2 presentaron una relación  $Ti/Ttot$  igual

**Tabla 1**  
Evaluación clínica de los pacientes al ingreso y a los 10 días de permanencia en la UCI

| Variables   | Al ingreso   | A los 10 días | Valor de p |
|---|--------------|---------------|------------|
| Edad (años)   | 56,4 ± 4,9   | 56,4 ± 4,9    | –          |
| Sexo (M/F)  | 12/8         | 12/8          | –          |
| IMC (kg/m <sup>2</sup> )                                | 20,1 ± 3,5   | 19,6 ± 3,4    | 0,6        |
| Escala de Glasgow                                       | 10 ± 1       | 10 ± 2        | 0,4        |
| Presión arterial sistólica (mmHg)                       | 145 ± 15,7   | 145 ± 13,6    | 0,9        |
| Presión arterial diastólica (mmHg)                      | 93 ± 11,2    | 91 ± 8,8      | 0,5        |
| Frecuencia cardiaca (latidos/min)                       | 91,3 ± 23,6  | 89,1 ± 28,6   | 0,8        |
| Temperatura (°C)  | 37,7 ± 0,8   | 37,5 ± 0,7    | 0,3        |
| Presión inspiratoria (cmH <sub>2</sub> O)               | 43,8 ± 9,3   | 38,3 ± 6,7    | 0,03       |
| Presión transdiafragmática (cmH <sub>2</sub> O)         | 15,1 ± 5,6   | 17,2 ± 6      | 0,2        |
| Presión transdiafragmática máxima (cmH <sub>2</sub> O)  | 45 ± 10,3    | 41,2 ± 8,3    | 0,2        |
| Pdi/Pdimáx (cmH <sub>2</sub> O)                         | 0,3 ± 0,1    | 0,43 ± 0,2    | 0,09       |
| Ti/Ttot   | 0,38 ± 0,1   | 0,39 ± 0,1    | 0,9        |
| PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>                      | 199,8 ± 36,1 | 204,7 ± 40,1  | 0,7        |
| Índice de respiración rápida y superficial (RSRI) (L)   | 107 ± 12     | 85 ± 13       | 0,4        |
| Elasticidad pulmonar (ml/cmH <sub>2</sub> O)            | 40,7 ± 4,7   | 43,4 ± 8,8    | 0,2        |
| Resistencia de las vías aéreas (l/s/cmH <sub>2</sub> O) | 7,9 ± 2,4    | 8,2 ± 2,6     | 0,7        |
| Tiempo de ventilación mecánica (h)                      | 307 ± 34,5   | 302,8 ± 35,4  | 0,7        |

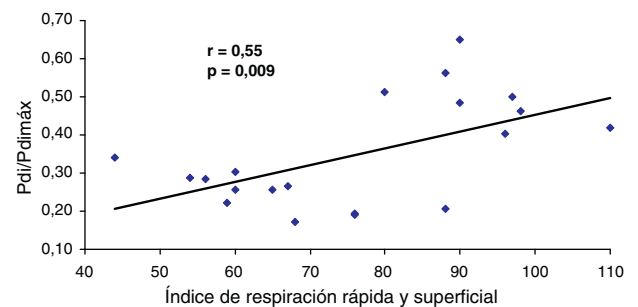
IMC: índice de masa corporal; Pdi/Pdimáx: relación presión transdiafragmática/presión transdiafragmática máxima; Ti/Ttot: relación tiempo inspiratorio/tiempo total de ciclo respiratorio; PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>: relación presión arterial de oxígeno/fracción inspiratoria de oxígeno.

a 0,4. Así pues, 6 pacientes se encontraban en la zona de fatiga y 2 en la zona de riesgo de desarrollar fatiga muscular respiratoria. La RAW fue significativamente mayor en este grupo ( $p = 0,0004$ ). La elasticidad estática pulmonar no presentó diferencias significativas entre los dos grupos ( $p = 0,34$ ) (tabla 2).

Ninguno de los pacientes del grupo de extubación satisfactoria se encontraba en la zona de fatiga muscular respiratoria, 6 estaban en la zona de riesgo de desarrollar fatiga y 3 estaban en la zona de ausencia de fatiga. La relación Ti/Ttot fue de  $0,37 \pm 0,05$  (IC 95%, 0,34 a 0,41) y la relación Pdi/Pdimáx fue de  $0,25 \pm 0,05$  (IC 95%, 0,21 a 0,28). El grupo de fracaso de la extubación presentó valores de la relación Ti/Ttot y de la relación Pdi/Pdimáx superiores a los del grupo de extubación satisfactoria ( $p < 0,0001$  y  $p = 0,0008$ , respectivamente) (tabla 2).

Observamos una correlación significativa entre la relación Pdi/Pdimáx y el RSRI ( $r = 0,55$ ;  $p = 0,009$ ) y la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ( $r = -0,59$ ;  $p = 0,005$ ) (figs. 1 y 2, respectivamente).

Todas las variables significativas se incluyeron en un modelo de regresión logística con objeto de determinar los factores predisponentes a la reintubación. Los pacientes en los que

**Figura 1.** Correlación entre la relación presión transdiafragmática/presión transdiafragmática máxima (Pdi/Pdimáx) y el índice de respiración rápida y superficial (RSRI - Tobin).

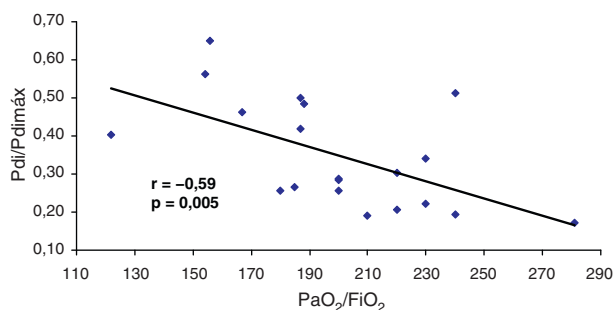
había un RSRI  $< 80$ , una relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>  $< 200$ , una relación Pdi/Pdimáx  $< 40$  cmH<sub>2</sub>O, una Pdi  $> 15$  y una RAW  $< 8$  presentaron fracaso de la extubación de la ventilación mecánica (tabla 3).

**Tabla 2**  
Características clínicas del grupo de extubación satisfactoria y el grupo de fracaso de la extubación

| Variables   | Éxito (n = 12) | Fracaso (n = 8) | Valor de p |
|---|----------------|-----------------|------------|
| Edad (años)   | 56 ± 5         | 58 ± 5          | 0,32       |
| Sexo (M/F)  | 8/4            | 5/3             | –          |
| IMC (kg/m <sup>2</sup> )                                | 22 ± 2,8       | 18 ± 3,1        | 0,01       |
| Escala de Glasgow                                       | 10 ± 2         | 9 ± 1           | 0,2        |
| Presión arterial sistólica (mmHg)                       | 147,5 ± 13     | 141,3 ± 15,9    | 0,4        |
| Presión arterial diastólica (mmHg)                      | 90,8 ± 8       | 96,3 ± 12,4     | 0,3        |
| Frecuencia cardiaca (latidos/min)                       | 89,2 ± 24,6    | 94,5 ± 16,9     | 0,6        |
| Temperatura (°C)  | 37,6 ± 0,7     | 38 ± 0,7        | 0,2        |
| Presión inspiratoria máxima (MIP) (cmH <sub>2</sub> O)  | 45,3 ± 10,3    | 41,6 ± 7,5      | 0,39       |
| Presión transdiafragmática (cmH <sub>2</sub> O)         | 12,1 ± 1,4     | 20,8 ± 3,8      | $< 0,0001$ |
| Presión transdiafragmática máxima (cmH <sub>2</sub> O)  | 46,8 ± 10,8    | 42,5 ± 9,4      | 0,37       |
| Pdi/Pdimáx (cmH <sub>2</sub> O)                         | 0,2 ± 0,05     | 0,5 ± 0,07      | $< 0,0001$ |
| Ti/Ttot   | 0,4 ± 0,05     | 0,4 ± 0,04      | 0,1        |
| PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>                      | 216 ± 27       | 175 ± 34        | 0,008      |
| Índice de respiración rápida y superficial (l)          | 96 ± 12        | 149 ± 28        | $< 0,0001$ |
| Elasticidad pulmonar (ml/cmH <sub>2</sub> O)            | 42 ± 5         | 39 ± 2          | 0,34       |
| Resistencia de las vías aéreas (l/s/cmH <sub>2</sub> O) | 6,6 ± 1,0      | 10 ± 2,4        | 0,0004     |
| Tiempo de ventilación mecánica (h)                      | 301 ± 34       | 317 ± 35        | 0,31       |

IMC: índice de masa corporal; Pdi/Pdimáx: relación presión transdiafragmática/presión transdiafragmática máxima; Ti/Ttot: relación tiempo inspiratorio/tiempo total de ciclo respiratorio; PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>: relación presión arterial de oxígeno/fracción inspiratoria de oxígeno.





**Figura 2.** Correlación entre la relación presión transdiafragmática/presión transdiafragmática máxima (Pdi/Pdimáx) y la presión arterial de oxígeno/fracción inspiratoria de oxígeno (PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>).

**Tabla 3**

Variables predisponentes que conducen al fracaso del proceso de extubación en pacientes de la UCI

| Variables                                | OR    | IC           | p      |
|--|-------|--------------|--------|
| RSRI > 80 (l)                            | 3,66  | 1,39 a 9,62  | 0,0045 |
| Pdi/Pdimáx > 0,4 (cmH <sub>2</sub> O)    | 4,12  | 1,20 a 14,17 | 0,0022 |
| IMC > 17 (kg/m <sup>2</sup> )            | 1,53  | 0,72 a 3,27  | 0,42   |
| Ti/Ttot > 40                             | 1,66  | 0,88 a 3,14  | 0,37   |
| RAW > 8 (l/s/cmH <sub>2</sub> O)         | 3,0   | 1,13 a 7,90  | 0,022  |
| Pdi ≤ 15 (cmH <sub>2</sub> O)            | 7,3   | 1,16 a 46,25 | 0,0021 |
| PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> > 199 | 4,091 | 1,18 a 14,09 | 0,0078 |

RSRI: índice de respiración rápida y superficial; Pdi/Pdimáx: relación presión transdiafragmática/presión transdiafragmática máxima; IMC: índice de masa corporal; Ti/Ttot: relación tiempo inspiratorio/tiempo total de ciclo respiratorio; RAW: resistencia de las vías aéreas; Pdi: presión transdiafragmática; PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>: relación presión arterial de oxígeno/fracción inspiratoria de oxígeno.

## Discusión

En nuestro estudio se han obtenido dos resultados principales:

- Los valores del índice de fatiga muscular (Ti/Ttot/Pdi/Pdimáx y relación Pdi/Pdimáx) superiores al 40% desempeñan un papel decisivo como factores predictivos de un fracaso del proceso de extubación en los pacientes con ictus.
- Las primeras 4 h siguientes a la extubación son determinantes en cuanto al éxito o el fracaso de este proceso.

Algunos datos de la mecánica respiratoria y la oxigenación son evaluados con frecuencia en el proceso de extubación de los pacientes en los que se ha utilizado una ventilación mecánica prolongada<sup>2,13</sup>. Factores como la edad, el sexo (mayoritariamente mujeres), la disfunción cardíaca y el bajo gasto cardíaco podrían requerir una ventilación mecánica así como su uso excesivo<sup>14,15</sup>. A pesar de que hay unos pocos estudios<sup>20,21</sup> sobre la evaluación de este proceso de extubación con el empleo de datos de mecánica respiratoria, ninguno de ellos se ha centrado en la evaluación de la fuerza de los músculos respiratorios como factor predictivo del éxito de la extubación de estos pacientes para retirar la ventilación mecánica. Sin embargo, en nuestro estudio observamos la importancia de la medición de la mecánica respiratoria, así como de la fuerza de la musculatura respiratoria (tabla 3). Podría considerarse que nuestros pacientes no tenían una fuerza muscular suficiente, puesto que su IMC estaba en el límite inferior de la normalidad (tabla 1)<sup>7</sup>. Sin embargo, esta situación es previsible en los pacientes de UCI mantenidos con ventilación mecánica durante un periodo de tiempo prolongado<sup>16</sup>.

Varios estudios han recomendado el uso de la elasticidad pulmonar estática como variable fiable para la predicción del éxito de la extubación en pacientes con enfermedad pulmonar (p. ej., EPOC,

neumonía, SDRA)<sup>2,16</sup>. Además, son datos fáciles de obtener con métodos no invasivos. Sin embargo, como han indicado ya otros estudios, nosotros observamos que la elasticidad pulmonar estática presenta valores inferiores a los normales<sup>22</sup>, y este dato no fue lo bastante sensible como para poder diferenciar el pronóstico de los pacientes en el proceso de extubación (p = 0,77). Una probable explicación de esta observación estaría relacionada con el tiempo pasado por el paciente en la UCI y el efecto de la presión positiva de la ventilación mecánica.

Observamos también que la RAW era mayor en el grupo de fracaso de la extubación que en el grupo de extubación satisfactoria (p = 0,003). La RAW elevada en este grupo de pacientes podría estar relacionada con un edema de los mismos, con la presencia de líquidos o secreciones en las paredes de las vías aéreas que reduce la capacidad residual funcional, y con espasmos bronquiales<sup>23</sup>. Oddo et al.<sup>24</sup> demostraron que la RAW elevada es uno de los factores más importantes que predicen la necesidad de ventilación mecánica, así como la dificultad de la extubación satisfactoria, y estas alteraciones aumentan el trabajo de respiración y podrían conducir a una fatiga de los músculos respiratorios y un riesgo elevado de mortalidad. El fracaso de la extubación es con frecuencia el resultado de una falta de protección de la vía aérea y, por tanto, está en función de la combinación de tos, secreciones y estado mental.

Hemos demostrado que el aumento del índice de fatiga muscular Ti/Ttot/Pdi/Pdimáx (3,1 [2,13 a 5,5]) y la relación Pdi/Pdimáx fueron los principales factores conducentes al fracaso de la extubación (OR, 4,7 [2,5 a 5,8]). Esto ocurría principalmente en presencia de una RAW elevada. Ni siquiera con el empleo de ventilación no invasiva se evitó la fatiga muscular en 8 pacientes en los que se tuvo que reinstaurar la ventilación mecánica.

La MIP continúa siendo ampliamente utilizada para la predicción del fracaso de la extubación y la detección precoz de la fatiga muscular, sobre todo cuando este valor es inferior a 20 cmH<sub>2</sub>O; sin embargo, Meade et al.<sup>25</sup> pusieron de relieve que la Pimáx es extremadamente inexacta y no debe usarse para predecir el resultado de desconexión del respirador o de extubación. Sin embargo, nuestros resultados indican que el índice de fatiga muscular y la relación Pdi/Pdimáx, como medida aislada de la efectividad diafragmática, tienen un valor predictivo superior al de la MIP, sobre todo en los pacientes con valores superiores a 20 cmH<sub>2</sub>O.

Se ha descrito que la fatiga de la musculatura esquelética respiratoria se da cuando el músculo genera más del 15% de su fuerza máxima durante una contracción sostenida. Es bien sabido que la fatiga se produce tan solo cuando el nivel de presión-tiempo generado supera ese nivel umbral. Además, el umbral de fatiga es más alto durante las contracciones intermitentes y depende de la duración relativa de la contracción y la relajación, sobre todo si los músculos inspiratorios de los individuos examinados están sometidos a una carga inspiratoria externa. Por esta razón, nosotros medimos el índice de fatiga muscular respiratoria, que se define como Ti/Ttot/Pdi/Pdimáx, en donde Ti es el tiempo inspiratorio, Ttot es el tiempo de respiración total, Pdi es la media de presión transdiafragmática generada por la respiración y Pdimáx es la presión transdiafragmática máxima. El valor de Ti/Ttot/Pdi/Pdimáx refleja la función de la generación de contracción de los músculos intercostales y del diafragma. Cuando la respiración se produce con alguna carga inspiratoria, el umbral del índice de fatiga muscular es de 0,35 a 0,40. Por debajo de este umbral, la respiración puede mantenerse durante más de 1 h sin que haya evidencia de fatiga. Por encima del umbral, se produce un fracaso de la tarea tras un límite de tiempo que está relacionado inversamente con el índice de fatiga muscular<sup>17,18</sup>.

Nuestros datos pusieron de manifiesto que en el 60% de nuestros pacientes del grupo de fracaso de la extubación se reinstauró la ventilación mecánica en las primeras 4 h siguientes a la extubación. Yang et al.<sup>12</sup> demostraron que las primeras 4 h siguientes

a la extubación son cruciales para determinar el éxito o el fracaso de dicho proceso. Esto está relacionado con la dificultad de adaptación del paciente a la respiración espontánea, la variabilidad del nivel de conciencia y la resistencia elevada de las vías aéreas. Varios autores<sup>12,17,21</sup> han indicado que el trabajo de la respiración es la suma del trabajo de resistencia y elástico, y que la elevación de los valores a lo largo de un periodo de tiempo elevado conduce a una fatiga de la musculatura respiratoria. Los autores sugieren también que el índice de fatiga muscular ( $Ti/Ttot/Pdi/Pdimáx$ ) estima el gasto de energía de los músculos respiratorios durante el trabajo mecánico, constituyendo una variable predictiva de la fatiga muscular<sup>25</sup>. Como hemos mostrado, los valores elevados de Pdi y de la relación Pdi/Pdimáx fueron la razón de que algunos pacientes presentaran un fracaso de la extubación durante las primeras 4 h antes de la respiración espontánea (tabla 2).

Nuestro estudio tiene ciertas limitaciones. No determinamos la presión intracraneal, aunque verificamos constantemente las presiones máximas respiratorias de nuestros pacientes para evitar toda hipertensión vascular indeseable<sup>26</sup>. Otra limitación es que no dispusimos de un grupo de control, sino que partimos del supuesto de que nuestros pacientes eran sus propios controles.

### Conclusión

El índice de fatiga muscular es un parámetro importante para predecir el éxito del proceso de extubación en pacientes con ictus en los que se ha utilizado una ventilación mecánica prolongada. El éxito de la extubación en los pacientes con ictus está en relación con una evaluación cuidadosa de índices de la musculatura respiratoria, como el Pdi y el Pdi/Pdimáx.

### Responsabilidades éticas

El protocolo fue presentado al comité ético de nuestra universidad y aprobado por dicho comité, y todos los pacientes firmaron el consentimiento por escrito.

### Financiación

Ninguna compañía tabaquera o de otro tipo ha financiado parte alguna de este artículo.

### Autoría

Este material no ha sido publicado de forma completa ni parcial y no está siendo considerado para publicación en ningún otro lugar. Se ha declarado todo efecto adverso inesperado o cambio de protocolo. Todos los autores han realizado contribuciones importantes al estudio y han leído y aprobado el manuscrito. Todos los autores están de acuerdo con las declaraciones indicadas y ceden los derechos editoriales de este artículo.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

### Bibliografía

- MacIntyre NR, Cook DJ, Ely Jr. EW, Epstein SK, Fink JB, Heffner JE, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support: a collective task force facilitated by the American College of Chest Physicians; the American Association for Respiratory Care; and the American College of Critical Care Medicine. *Chest*. 2001;120 Suppl 6:375S-95S.
- Epstein SK, Ciubotaru RL, Wong JB. Effect of failed extubation on the outcome of mechanical ventilation. *Chest*. 1997;112:186-92.
- Epstein SK. Extubation failure: an outcome to be avoided. *Crit Care*. 2004;8:310-2.
- Epstein SK. Decision to extubate. *Intensive Care Med*. 2002;28:535-46.
- Gluck EH. Predicting eventual success or failure to wean in patients receiving long-term mechanical ventilation. *Chest*. 1996;110:1018-24.
- Nava S, Rubini F, Zanotti E, Ambrosino N, Bruschi C, Vitacca M, et al. Survival and prediction of successful ventilator weaning in COPD patients requiring mechanical ventilation for more than 21 days. *Eur Respir J*. 1994;7:1645-52.
- Tobin MJ. 1999 Donald F Egan Scientific Lecture. Weaning from mechanical ventilation: what have we learned? *Respir Care*. 2000;45:417-31.
- de Falco FA, Mastroberto G, Mazzei G, Montariello A, Zaccaria F, Sepe Visconti O. Atrial fibrillation and infarct area extent in ischemic stroke. A clinical and neuroradiological study in 104 patients. *Acta Neurol (Napoli)*. 1991;13:249-54.
- Fogelhol R, Aho K. Characteristics and survival of patients with brain stem infarction. *Stroke*. 1975;6:328-33.
- Wijdicks EF. Management of massive hemispheric cerebral infarct: is there a ray of hope? *Mayo Clin Proc*. 2000;75:945-52.
- Hsieh AH, Bishop MJ, Kubilis PS, Newell DW, Pierson DJ. Pneumonia following closed head injury. *Am Rev Respir Dis*. 1992;146:290-4.
- Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med*. 1991;324:1445-50.
- Chatila W, Jacob B, Guaglianone D, Manthous CA. The unassisted respiratory rate-tidal volume ratio accurately predicts weaning outcome. *Am J Med*. 1996;101:61-7.
- Goodnough Hanneman SK. Multidimensional predictors of success or failure with early weaning from mechanical ventilation after cardiac surgery. *Nurs Res*. 1994;43:4-10.
- Isgro F, Schmidt C, Pohl P, Saggau W. A predictive parameter in patients with brain related complications after cardiac surgery? *Eur J Cardiothorac Surg*. 1997;11:640-4.
- Kurek CJ, Cohen IL, Lambrinos J, Minatoya K, Booth FV, Chalfin DB. Clinical and economic outcome of patients undergoing tracheostomy for prolonged mechanical ventilation in New York state during 1993: analysis of 6,353 cases under diagnosis-related group 483. *Crit Care Med*. 1997;25:983-8.
- Spahija J, Beck J, Lindstrom L, Begin P, de Marchie M, Sinderby C. Effect of increased diaphragm activation on diaphragm power spectrum center frequency. *Respir Physiol Neurobiol*. 2005;146:67-76.
- Kallet RH, Hemphill 3rd JC, Dicker RA, Alonso JA, Campbell AR, Mackersie RC, et al. The spontaneous breathing pattern and work of breathing of patients with acute respiratory distress syndrome and acute lung injury. *Respir Care*. 2007;52:989-95.
- Karbing DS, Kjaergaard S, Smith BW, Espersen K, Allerod C, Andreassen S, et al. Variation in the PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio with FiO<sub>2</sub>: mathematical and experimental description, and clinical relevance. *Crit Care*. 2007;11:R118.
- Vogiatzis I, Georgiadou O, Koskolou M, Athanasopoulos D, Kostikas K, Golemati S, et al. Effects of hypoxia on diaphragmatic fatigue in highly trained athletes. *J Physiol*. 2007;581 Pt 1:299-308.
- Radell PJ, Remahl S, Nichols DG, Eriksson LI. Effects of prolonged mechanical ventilation and inactivity on piglet diaphragm function. *Intensive Care Med*. 2002;28:358-64.
- Farias LL, Faffe DS, Xisto DG, Santana MC, Lassance R, Protá LF, et al. Positive end-expiratory pressure prevents lung mechanical stress caused by recruitment/derecruitment. *J Appl Physiol*. 2005;98:53-61.
- Mead J, Mc IM, Selverstone NJ, Kriete BC. Measurement of intraesophageal pressure. *J Appl Physiol*. 1955;7:491-5.
- Oddo M, Feihl F, Schaller MD, Perret C. Management of mechanical ventilation in acute severe asthma: practical aspects. *Intensive Care Med*. 2006;32:501-10.
- Meade M, Guyatt G, Cook D, Griffith L, Sinuff T, Kergl C, et al. Predicting success in weaning from mechanical ventilation. *Chest*. 2001;120 Suppl 6:400S-24S.
- Kim HK, Pinsky MR. Effect of tidal volume, sampling duration, and cardiac contractility on pulse pressure and stroke volume variation during positive-pressure ventilation. *Crit Care Med*. 2008;36:2858-62.