



## ORIGINAL

# Valor de la fracción de espacio muerto (Vd/Vt) como predictor de éxito en la extubación

A. González-Castro<sup>a,\*</sup>, V. Suárez-Lopez<sup>a</sup>, V. Gómez-Marcos<sup>a</sup>, C. González-Fernandez<sup>a</sup>, D. Iglesias-Posadilla<sup>a</sup>, J. Burón-Mediavilla<sup>a</sup>, J.C. Rodríguez-Borregan<sup>a</sup>, E. Miñambres<sup>a</sup> y J. Llorca<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Servicio de Medicina Intensiva, Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, Santander, España

<sup>b</sup> División de Epidemiología y Biología Computacional, Universidad de Cantabria, Santander, España

Recibido el 21 de marzo de 2011; aceptado el 18 de mayo de 2011

Disponible en Internet el 22 de julio de 2011

### PALABRAS CLAVE

Destete;  
Ventilación  
mecánica;  
Espacio muerto;  
Pronóstico

### Resumen

**Objetivo:** Comprobar qué valor tiene la fracción de espacio muerto (Vd/Vt) como predictor del fracaso en la extubación de los enfermos que necesitaron ventilación mecánica (VM) ingresados en las unidades de cuidados intensivos.

**Diseño:** Estudio de cohortes, prospectivo, observacional. Desde el 1 de septiembre de 2010 hasta 1 de marzo de 2011.

**Ámbito:** Unidad de cuidados intensivos generales (UCIG), del complejo hospitalario de tercer nivel Hospital Universitario Marqués de Valdecilla.

**Pacientes o participantes:** Se han incluido en el estudio aquellos enfermos que recibían VM por un espacio de tiempo superior a las 12 horas; y quienes en el proceso de destete seguían un protocolo de presión soporte de bajo nivel. Han sido criterios de exclusión la edad inferior a 18 años, enfermos ventilados a través de traqueotomía y enfermos considerados no colaboradores por diversas causas.

Durante el periodo de estudio, ingresaron en UCIG 392 enfermos. De ellos 214 precisaron ventilación mecánica. En 154 se inició proceso de destete. Fueron excluidos del estudio 54 enfermos y no fueron extubados de VM 24. Finalmente 76 enfermos fueron extubados y analizados.

**Variables de interés principales:** Se calculó Vd/Vt como el cociente  $(PaCO_2 - PC CO_2) / PaCO_2$ ; con los parámetros registrados.

**Resultados:** El análisis de regresión logística mostró una asociación significativa entre la variable Vd/Vt y el fracaso en la extubación con una OR de 1,52 (IC 95%: 1,11-2,09;  $p=0,008$ ). El área bajo la curva ROC, con respecto a predecir el fracaso en la extubación mediante el valor de Vd/Vt fue de 0,94 (IC 95%: 0,86-0,98;  $p < 0,0001$ ).

**Conclusiones:** Consideramos Vd/Vt un potente predictor del fracaso en la extubación de la VM.

© 2011 Elsevier España, S.L. y SEMICYUC. Todos los derechos reservados.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [jandro120475@hotmail.com](mailto:jandro120475@hotmail.com) (A. González-Castro).

**KEYWORDS**

Weaning;  
Mechanical  
ventilation;  
Dead space;  
Prognosis

**Utility of the dead space fraction (Vd/Vt) as a predictor of extubation success****Abstract**

*Purpose:* To determine the value of Vd/Vt as a predictor of extubation failure in patients with mechanical ventilation admitted to the intensive care units.

*Design:* A prospective, observational cohort study conducted from 1 September 2010 to 1 March 2011.

*Setting:* General intensive care unit (G-ICU) of a third level university hospital.

*Patients or participants:* The study included patients on mechanical ventilation (MV) for over 12 hours, and who in the process of weaning were subjected to low-level pressure support. Exclusion criteria were age under 18 years, ventilation via tracheotomy and patients failing to cooperate for different reasons.

During the study, 392 patients were admitted to the G-ICU; of these, 214 required MV. The weaning process was started in 154 cases. Fifty-four patients were excluded from the study, and 24 were not extubated from MV. A total of 76 patients were finally extubated and analyzed. *Variables of interest:* Vd/Vt was calculated as the ratio  $(PaCO_2 - PC CO_2) / PaCO_2$ , with the recorded parameters.

*Results:* Logistic regression analysis showed a significant association between the Vd/Vt and extubation failure, with OR = 1.52 (95%CI 1.11 to 2.09,  $p = 0.008$ ).

The area under the ROC curve with respect to the prediction of extubation failure according to the Vd/Vt value was 0.94 (95%CI 0.86 to 0.98,  $p < 0.0001$ ).

*Conclusions:* Vd/Vt is a powerful predictor of extubation failure in patients on MV.

© 2011 Elsevier España, S.L. and SEMICYUC. All rights reserved.

**Introducción**

La extubación de los enfermos que han necesitado terapia con ventilación mecánica (VM) invasiva es un hecho común en las unidades de cuidados intensivos (UCI), pero no por usual está exento de problemas. Entre el 25 y el 40% de los pacientes desarrollan signos de dificultad respiratoria después de la extubación<sup>1-3</sup>. El fracaso en la extubación, definido como la necesidad de re-intubación dentro de las primeras 48 horas post-extubación, se produce en el 5-20% de los pacientes, dependiendo de la población estudiada<sup>4</sup>, siendo el riesgo mayor para los pacientes médicos y neurológicos.

Los pacientes re-intubados experimentan una mayor mortalidad hospitalaria, estancias hospitalarias e intra-UCI más prolongadas, mayor necesidad de traqueotomía y con frecuencia requieren cuidados médicos a largo plazo superiores<sup>5-8</sup>. Retrasos evitables en la extubación prolongan la estancia de UCI, aumentan el riesgo de neumonía, aumentan la mortalidad intrahospitalaria<sup>9</sup> y acaban desarrollando un coste hospitalario total y un coste diario del doble del valor que los enfermos que son extubados con éxito<sup>10</sup>.

Una revisión fundamentada en la medicina basada en la evidencia habría identificado más de 50 variables fisiológicas objetivas (predictores de destete) como herramientas para evaluar el grado de preparación para la respiración espontánea de un enfermo conectado a VM. De dichos predictores de destete estudiados, solo cinco (fuerza inspiratoria negativa, ventilación minuto (Vm), frecuencia respiratoria (Fr), volumen tidal (Vt), cociente Fr/Vt) se asociaron significativamente con la probabilidad de predecir el éxito o el fracaso en el destete. Sin embargo la capacidad predictiva de los mismos no fue muy alta<sup>11-13</sup>.

El espacio muerto es el componente de ventilación que se desperdicia debido a que no participa en el intercambio de gases<sup>14</sup>. La relación Vd/Vt ya ha sido utilizada en la identificación de tromboembolismo pulmonar<sup>15,16</sup>, en el manejo de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)<sup>17</sup>, en la determinación de disfunción pulmonar en adultos con sepsis<sup>18</sup> y como un factor discriminante en el destete de la VM en los niños<sup>19,20</sup>.

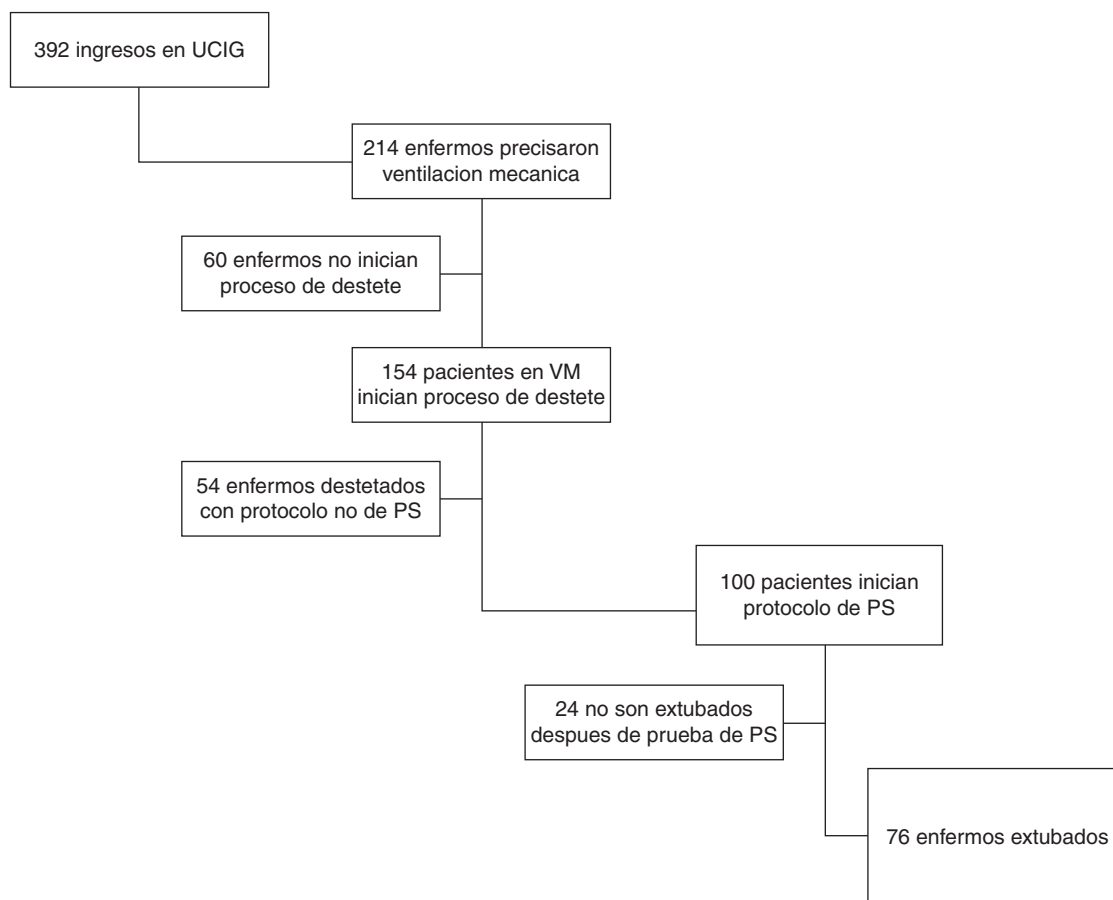
El principal objetivo del presente estudio fue analizar el valor de Vd/Vt como predictor del éxito en la extubación de los pacientes que recibieron VM en la UCI.

**Pacientes y métodos**

Estudio de cohortes, prospectivo, observacional.

**Población de estudio**

La población de estudio se encontraba admitida en una unidad de cuidados intensivos generales (UCIG), dentro del complejo hospitalario de tercer nivel Hospital Universitario Marqués de Valdecilla. Se han incluido en el estudio aquellos enfermos ingresados en la UCI de nuestro hospital que cumplían los siguientes criterios de inclusión: por un lado VM por un espacio de tiempo superior a las 12 horas; y por otro lado quienes en el proceso de destete seguían un protocolo de presión soporte de bajo nivel en modo *continuous positive airway pressure, assisted spontaneous* (CPAP+ASB) con ventilador Evita 4. Han sido criterios de exclusión la edad inferior a 18 años, enfermos ventilados a través de traqueotomía y enfermos considerados no colaboradores por diversas causas.



**Figura 1** Diagrama de flujo que muestra la distribución de los enfermos elegibles para el estudio.

Durante el periodo de estudio, ingresaron en la UCIG 392 enfermos. De ellos 214 precisaron VM y en 154 se inició proceso de destete. Fueron excluidos del estudio 54 enfermos, 14 de ellos porque no precisaron VM por un tiempo superior a las 12 horas y 40 porque no siguieron protocolo de destete de presión de bajo nivel. De los 100 enfermos que iniciaron el destete, no superaron la prueba 24 y no fueron extubados de la VM. Finalmente 76 enfermos fueron estudiados (fig. 1).

### Protocolo de destete

El protocolo de destete incluía primeramente la verificación de una serie de criterios: curación o mejoría evidente, de la eventualidad que ha producido el hecho de instaurar la VM; estabilidad hemodinámica, constantes vitales dentro de normalidad o dentro de unos márgenes de seguridad; presencia del reflejo de la tos espontáneo o al aspirar al paciente; no presencia de anemia; ausencia de necesidad de fármacos vaso-activos a dosis altas; no signos de sepsis incontrolados ni presencia de hipertermia; buen estado nutricional (IMC 18,5-24,9; albuminemia  $\geq 3,5$  g/dl); estabilidad en el estado de ánimo del paciente (no sintomatología depresiva, no irritabilidad, ni disminución del interés); equilibrio ácido-base y electrolítico, dentro de unos márgenes de seguridad adecuados (Ph: 7,34-7,43; sodio 135-145 meq/l; potasio 3,5-5,0 meq/l; calcio 8,1-10,4 mg/dl; magnesio 1,6-2,5 mg/dl; cloro

95-105 meq/l). En segundo lugar se dotaba al circuito de un sensor de  $\text{CO}_2$  *mainstream* de Dräger con medición continua del  $\text{etCO}_2$ . En tercer lugar se efectuaba una prueba basada en presión soporte de bajo nivel. El respirador utilizado en el estudio ha sido EVITA 4 edition (Dräger), en modo CPAP+ASB, en el cual se ajustó el valor de *positive end expiratory pressure* (PEEP) (nunca superior a 4), y el valor de *pressure assisted spontaneous* (PASB). En este caso el valor de PASB fue al menos de 4 mbar en los enfermos con un tubo endotraqueal de 9 mm, de 6 mbar en tubos del 8, y de 8 mbar para tubos del 7. La prueba se realizó con un *trigger* de 2 l/min. Con esta referencia se pretendía obtener volúmenes corrientes entre 6 y 10 ml/kg peso ideal. Si las necesidades de presión para conseguir dichos volúmenes sobrepasaban los 20 mbar en PASB, el enfermo era considerado no candidato al destete y extubación.

La duración de la prueba de CPAP+ASB fue de al menos 30 minutos, pudiendo aumentar el tiempo a criterio médico, pero nunca superando los 120 minutos. Se consideró que el enfermo no había tolerado la prueba (y por lo tanto no era candidato a la extubación) si:

- Mantén una frecuencia respiratoria mayor de 35 respiraciones por minuto durante 5 minutos.
- Se producía un descenso de la saturación arterial de oxígeno ( $\text{SaO}_2$ ) por debajo del 90% (comprobado por gasometría).

- c. Taquicardia mayor de 140 latidos por minuto mantenida durante 2 minutos.
- d. Hipertensión arterial con tensión arterial sistólica (TAS) mayor de 180 mmHg o hipotensión arterial con tensión arterial sistólica (TAD) menor de 90 mmHg.
- e. Aparecía o aumentaba la ansiedad del enfermo, diaforesis o respiración abdominal.

Si el enfermo superaba la prueba, se procedía a la extubación. Instantes antes de la extubación se realizaba al enfermo una determinación de gases arteriales. El posterior seguimiento del enfermo se realizaba durante 48 horas y en este periodo se describía si el enfermo fracasaba.

Se consideró fracaso de la extubación cuando:

- a. El enfermo necesitó de re-intubación y conexión a VM por insuficiencia respiratoria parcial o total.
- b. El enfermo era conectado de nuevo a VM por disminución del nivel de conciencia de causa respiratoria.
- c. Se necesitó de VM no invasiva por insuficiencia respiratoria parcial o total.
- d. Exitus en las primeras 48 horas de forma súbita y no esperada.
- e. Incapacidad para el manejo de secreciones, traducida en la necesidad de aspiración de las mismas por el personal de enfermería de manera repetida cada 15 minutos.

No se consideró fracaso en la desconexión de la VM cuando el enfermo tenía que ser re-conectado por obstrucción de la vía aérea superior.

### Variables registradas. Variables analizadas

Para cada paciente se señalaron datos de filiación y variables demográficas como la edad y el sexo. Se anotaba la enfermedad causante de la conexión a VM, la presencia de antecedentes personales de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y el *Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II* (APACHE II) del enfermo. Se registró la altura de los enfermos y se calculó el peso ideal por el método de Devine:

Peso ideal del varón =  $50 \text{ kg} + 0,91 (\text{altura [cm]} - 152,4)$

Peso ideal de la mujer =  $45,5 \text{ kg} + 0,91 (\text{altura [cm]} - 152,4)$

Previamente al inicio de la prueba CPAP+ASB se registraba la frecuencia cardiaca (Fc) del enfermo, la TAS y TAD, la SaO<sub>2</sub> (medida por pulsioximetría) y la Fr.

Se registraron los parámetros utilizados durante la prueba: fracción de oxígeno inspiratoria (FiO<sub>2</sub>), PEEP, PASB, así como la duración de la misma en minutos. Cuando la prueba era considerada exitosa se anotaban los valores de presión pico, Vm, Vt y el volumen de CO<sub>2</sub> expirado (VCO<sub>2</sub>), obtenidos de la pantalla del respirador EVITA 4.

Finalizada la prueba se registraban de nuevo la Fc del enfermo, la TAS y TAD, la SaO<sub>2</sub> (medida por pulsioximetría) y la Fr, así como la presión arterial de oxígeno (PaO<sub>2</sub>) y la presión arterial de carbónico (PaCO<sub>2</sub>).

Todas las variables eran introducidas en una hoja de cálculo, en la cual se calculaba Vd/Vt mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{VD}{VT} = \frac{PaCO_2 - P_{E}CO_2}{PaCO_2}$$

Donde la PaCO<sub>2</sub> se obtiene de la gasometría arterial y la PECO<sub>2</sub> (presión de carbónico en el aire expirado) se calcula de los datos obtenidos a través del sensor de CO<sub>2</sub> en respiradores Dräger.

De este modo:  $P_{E}CO_2 = F_{E}CO_2 \times Patm$

La FECO<sub>2</sub> (fracción de carbónico en el aire expirado) se calcula según la siguiente ecuación:

$$F_{E}CO_2 = \frac{VCO_2}{VM}$$

Los valores de VCO<sub>2</sub> y VM se obtienen directamente de la pantalla del respirador. El valor de la presión atmosférica (Patm) se suponía un valor fijo de la resta 760 mmHg - 47 mmHg (el valor de presión del vapor de agua): 713 mmHg. Con los datos obtenidos también se calculó el ratio entre la Fr y el Vt de cada enfermo, así como el cociente PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>.

Todas las variables registradas eran recogidas por personal médico que desconocía el valor obtenido de Vd/Vt tanto en el momento de decidir la extubación como la re-intubación, si el enfermo lo necesitaba.

### Análisis estadístico

Las variables continuas se expresaron como la media ± desviación estándar (DE) y las variables categóricas se expresaron como porcentajes con intervalo de confianza al 95% (IC 95%).

En el análisis univariante comparativo entre el grupo que fracasó en la extubación y el que tuvo éxito se han comparado los valores de las variables de tipo continuo empleando la t de Student. Las variables categóricas se compararon con las pruebas de la Chi<sup>2</sup> o con el test exacto de Fisher, según estuviera indicado.

Se valoró mediante regresión logística la asociación a fracaso en la extubación, expresada como *odds ratio* (OR) e IC 95%, para aquellos valores que mostraron significación o tendencia a la significación en el análisis univariante.

Mediante la curva de eficacia diagnóstica (*receiver operating characteristics* [ROC]), se desarrolló una representación gráfica en un eje cartesiano de la sensibilidad en el eje Y, y la proporción de falsos positivos (1-especificidad) en el eje X, se estableció el punto de corte de máxima discriminación diagnóstica de la escala, así como su valoración global, expresada por el área comprendida bajo la curva. Se estimaron sus características diagnósticas mediante el cálculo de la sensibilidad y especificidad, especificando el valor predictivo positivo y el valor predictivo negativo para el punto de corte óptimo. El análisis estadístico se realizó con el programa estadístico MedCalc® 11.4.2.0. El estudio fue autorizado por el Comité Ético de Investigación Clínica de Cantabria.

**Tabla 1** Principales características de los 100 enfermos que comprenden la cohorte a estudio, divididos en enfermos que fueron extubados y los que no lo fueron

	Enfermos extubados N = 76 Media (DE)		Enfermos no extubados N = 24 Media (DE)	
APACHE II	12,86 (6,82)		13,50 (6,90)	
Edad	64,39 (11,96)		66,25 (12,03)	
Peso ideal	64,62 (3,2)		66 (3,4)	
	N (%)	IC 95%	N(%)	IC95%
Sexo (hombres)	47 (69)	50-73	15 (62)	41-84
EPOC conocida	20 (26,31)	15,75-36,87	6 (25)	9,77-46,71
<i>Causa que motiva VM</i>				
Reagudización EPOC	17 (22,36)	12,34-32,39	6 (25)	9,77-46,71
Neumonía	12 (15,78)	6,93-24,64	4 (16,66)	4,73-37,38
Accidente cerebro-vascular	11 (14,47)	5,90-23,04	3 (12,5)	2,65-32,36
Hemorragia sub-aracnoidea	1 (1,31)	0,03-7,11	0 (-)	-
Status epiléptico	1 (1,31)	0,03-7,11	0 (-)	-
Insuficiencia cardiaca	4 (5,26)	1,45-12,93	2 (8,33)	1,02-26,99
Tromboembolismo pulmonar	1 (1,31)	0,03-7,11	0 (-)	-
Shock séptico	20 (26,31)	15,75-36,87	8 (33,33)	12,39-54,27
Shock hipovolémico por HDA	4 (5,26)	1,45-12,93	0 (-)	-
Parada cardio-respiratoria	3 (3,94)	0,82-11,10	1 (4,16)	0,10-21,12
Postoperatorio complicado	2 (2,63)	0,32-9,18	0 (-)	-

APACHE II: *Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II*; DE: desviación estándar de la media; EPOC: enfermedad pulmonar obstructiva crónica; HDA: hemorragia digestiva alta; IC 95%: intervalo de confianza del 95%; N: número de enfermos; VM: ventilación mecánica.

## Resultados

### Análisis descriptivo de la muestra

Las principales características demográficas de los 100 enfermos que inician el proceso de destete se detallan en la [tabla 1](#), dividiéndolos en virtud de la consecución de la extubación. La duración media de la CPAP+ASB fue de 52 minutos (DE 21,77). En la [tabla 2](#) se muestran las principales variables obtenidas al finalizar el protocolo de destete. Nuevamente se dividen los enfermos según se produjo la extubación.

El fracaso en la extubación se produjo en el 22% (17 de 76) de los enfermos. No hubo pacientes re-intubados por edema de glotis.

### Análisis univariante comparativo entre el grupo que fracasó en la extubación y el que fue exitoso

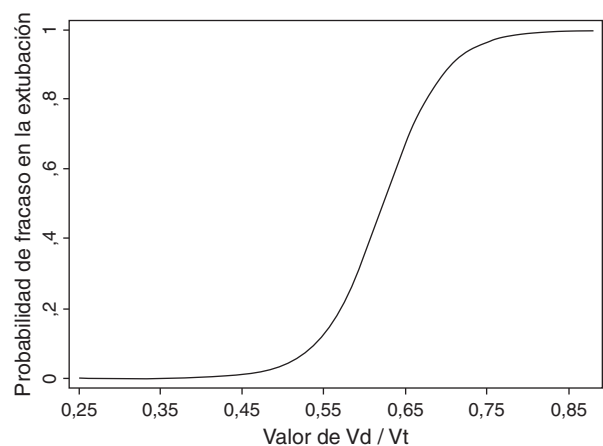
En la [tabla 3](#) se muestra el análisis comparativo de las características estudiadas atendiendo al éxito o al fracaso en la extubación. Del mismo modo en la [tabla 4](#) se exponen las diferencias entre las variables analizadas atendiendo al éxito o el fracaso en la extubación.

### Análisis de regresión logística

Se realizó análisis de regresión logística, tomando como variable dependiente el fracaso en la extubación de la VM, de las diferentes variables que en el análisis univariante

mostraron, al menos, una tendencia a la significación estadística, con un valor de  $p < 0,1$ . El análisis mostró una asociación significativa entre la variable Vd/Vt y el fracaso en la extubación con una OR de 1,53 (IC 95%: 1,12-2,09;  $p = 0,001$ ) ([tabla 5](#)), por cada 0,01 de Vd/Vt ([fig. 2](#)). En el mismo análisis, el valor de PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> se reveló como un valor protector frente al fracaso en la extubación, OR de 0,96 (IC 95%: 0,93-0,99;  $p = 0,04$ ).

El área bajo la curva ROC ([fig. 3](#)), con respecto a predecir el fracaso en la extubación mediante el valor de Vd/Vt, fue de 0,94 (IC 95%: 0,86-0,98;  $p < 0,0001$ ).



**Figura 2** Probabilidad de fracaso en el destete (de 0 a 1), en función del cociente Vd/Vt obtenida en los 76 enfermos analizados.

**Tabla 2** Variables obtenidas al finalizar el protocolo de destete divididas en enfermos que fueron extubados y los que no lo fueron

	Enfermos extubados N = 76 Media (DE)	Enfermos no extubados N = 24 Media (DE)
Horas en VM	106,25 (160,78)	130,80 (210,60)
f/Vt	41,95 (15,87)	46 (18,25)
Presión arterial sistólica, mmHg	137,44 (21,04)	138,65 (25,34)
Presión arterial diastólica, mmHg	72,53 (12,95)	72,67 (14,56)
SpO <sub>2</sub>	97,48 (2,27)	96,780 (4,45)
Frecuencia cardiaca	95,40 (20,83)	102,87 (42,54)
Frecuencia respiratoria	21,89 (5,26)	32,42 (6,45)
Vm, l/min	10,09 (2,57)	11,60 (3,42)
Vte, l	0,55 (0,12)	0,42 (0,14)
PASB	10,71 (3,73)	18,45 (6,56)
PaCO <sub>2</sub> , mmHg	40,48 (6,20)	41,89 (5,89)
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	281,66 (66,16)	270,88 (82,85)
Vd/Vt	0,52 (0,11)	0,56 (0,26)

APACHE II: *Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II*; DE: desviación estándar de la media; EPOC: enfermedad pulmonar obstructiva crónica; f/Vt: cociente frecuencia respiratoria/volumen tidal; HDA: hemorragia digestiva alta; N: número de enfermos; PASB: presión soporte; PaCO<sub>2</sub>: presión de monóxido de carbono en sangre arterial; PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>: ratio presión arterial de oxígeno, fracción inspiratoria de oxígeno; SpO<sub>2</sub>: saturación arterial de oxígeno medida por pulsioximetría; Vd/Vt: fracción de espacio muerto; VM: ventilación mecánica; Vm: volumen minuto; Vte: volumen tidal espirado.

El valor de Vd/Vt con mejor corte de sensibilidad y especificidad fue 0,58; con una sensibilidad del 88,24 (IC 95%: 63,6-98,5) y una especificidad del 84,75 (IC 95%: 73,0-92,8). El valor predictivo positivo fue del 62% y el valor predictivo negativo del 96%.

## Discusión

La conclusión más importante del presente estudio es la consideración del Vd/Vt como un potente predictor de éxito de la extubación de la VM.

**Tabla 3** Análisis comparativo univariante atendiendo al éxito o al fracaso en la extubación de las características de los enfermos de la cohorte estudiada

	Éxito extubación N = 59 Media (DE)	Fracaso extubación N = 17 Media (DE)	p		
APACHE II	12,78 (6,75)	13,17 (7,27)	0,837		
Edad	64,78 (11,52)	63,05 (13,65)	0,604		
	N (%)	IC 95%	N (%)	IC 95%	p
<b>Sexo</b>					
Hombre	35 (59)	46-73	12 (71)	44-89	0,576
Mujer	24 (41)	27-54	5 (29)	10-55	
<b>Causa que motiva VM</b>					0,213
Reagudización EPOC	14 (24)	12-35,45	3 (17)	3,8-43,43	
Neumonía	9 (15)	5,32-25,27	3 (17)	3,8-43,43	
Accidente cerebro-vascular	9 (15)	5,23-25,27	2 (12)	1,4-36,44	
Hemorragia sub-aracnoidea	1 (1,7)	0,04-9,9	0 (-)	-	
Status epiléptico	0	-	1 (6)	0,14-29	
Insuficiencia cardiaca	4 (6,78)	1,87-16,45	0	-	
Tromboembolismo pulmonar	0	-	1 (6)	0,14-29	
Shock séptico	13 (22)	10,61-33,4	7 (41)	18,44-67	
Shock hipovolémico por HDA	4 (7)	1,87-16,45	0	-	
Parada cardio-respiratoria	3 (5)	1-14,14	0	-	
Postoperatorio complicado	2 (3)	0,4-11,71	0	-	

APACHE II: *Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II*; DE: desviación estándar de la media; EPOC: enfermedad pulmonar obstructiva crónica; HDA: hemorragia digestiva alta; IC 95%: intervalo de confianza del 95%; N: número de enfermos; VM: ventilación mecánica.

**Tabla 4** Análisis comparativo univariante atendiendo al éxito o al fracaso en la extubación de las variables de los enfermos obtenidas previa a la extubación

	Éxito extubación N = 59 Media (DE)	Fracaso extubación N = 17 Media (DE)	p
Frecuencia cardiaca, lpm	93,22 (18,06)	103 (27,80)	0,082
Frecuencia respiratoria, rpm	20,96 (4,47)	25,11 (6,56)	0,003
Vm, l/min	9,80 (2,14)	11,10 (3,60)	0,064
Vte, l	0,55 (0,11)	0,55 (0,12)	0,952
P ASB	10,78 (3,87)	10,47 (3,28)	0,764
PaCO <sub>2</sub>	39,51 (6,14)	43,84 (5,29)	0,010
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	293 (63,75)	242,27 (60,49)	0,004
PEEP	2,59 (1,17)	2,94 (1,5)	0,311
P ASB	10,78 (3,87)	10,47 (3,28)	0,764
PAS, mmHg	137 (20,72)	139 (22,73)	0,732
PAD, mmHg	73,61 (12,40)	68,82 (14,46)	0,180
Vd/Vt	0,48 (0,09)	0,65 (0,08)	<0,0001

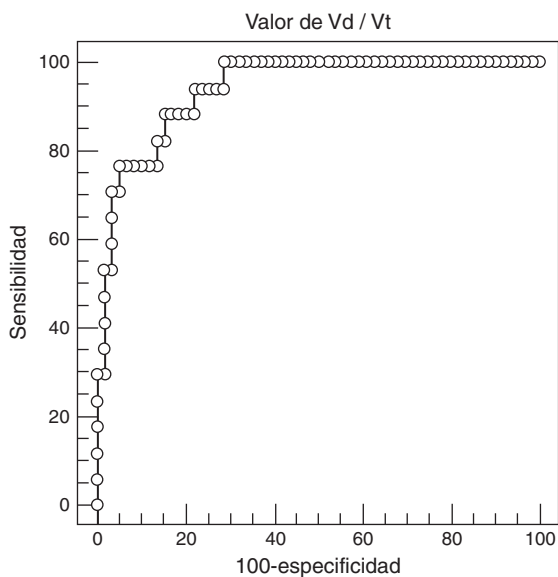
DE: desviación estándar de la media; l/min: cociente litros/minuto; lpm: latido por minuto; mmHg: milímetros de mercurio; N: número de enfermos; P ASB: presión soporte; PaCO<sub>2</sub>: presión arterial de carbónico; PAD: presión arterial diastólica; PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>: cociente presión arterial de oxígeno/fracción inspiratoria de oxígeno; PAS: presión arterial sistólica; PEEP: *positive end expiratory pressure*; rpm: respiraciones por minuto; Vd/Vt: fracción de espacio muerto; Vm: volumen minuto; Vte: volumen tidal espiratorio.

Sin embargo el análisis efectuado presenta una serie de limitaciones. De ellas, la principal limitación podría residir en la heterogeneidad de la muestra estudiada atendiendo a la enfermedad que propició la necesidad de VM de los enfermos. A pesar de este hecho, consideramos que una población no seleccionada de enfermos de una UCIG es la mejor manera de reflejar la actividad clínica diaria de muchas UCI de nuestro entorno.

Existen otros dos aspectos importantes a considerar en el presente estudio, por un lado el uso de un protocolo de presión soporte de bajo nivel. La elección se fundamentó en el hecho de que proporciona una respiración simple, un flujo ilimitado a demanda y permite controlar al paciente su tasa

inspiratoria. Del mismo modo facilitaba la labor de medición y recogida de datos, principalmente de las variables derivadas del sensor de capnografía. Consideramos que el modo de presión soporte es un método confortable para el enfermo, y facilita la sincronización paciente-ventilador. Además de ser reconocido como uno de los métodos de destete con mejores resultados tras su aplicación<sup>2-4</sup>.

Por otro lado, es importante comentar el porcentaje de fracaso en las extubaciones obtenido en nuestros pacientes. El 22% obtenido se puede considerar como un valor demasiado elevado. Sin embargo, como se cita en la introducción, son los enfermos médicos y neurológicos los que peores resultados desarrollan, siendo estas dos poblaciones las grandes representadas en nuestra cohorte. Además, hay que hacer constar que el fracaso en la extubación no solo fue considerado cuando era necesaria la re-intubación



**Figura 3** Área bajo la curva ROC (0,94), con respecto a predecir el fracaso en la extubación en función del valor de Vd/Vt de los enfermos de la cohorte.

**Tabla 5** Resultados del análisis de regresión logística, tomando como variable dependiente el fracaso en la extubación de la ventilación mecánica, de las diferentes variables que en el análisis univariante mostraron, al menos, una tendencia a la significación estadística, con un valor de p < 0,1

Variable	Odds ratio	IC 95%	p
Horas en VM	1,00	0,99 - 1,01	0,100
fr/Vt	0,89	0,73 - 1,08	0,264
Frecuencia cardiaca	1,01	0,95 - 1,08	0,690
Frecuencia respiratoria	1,26	0,75 - 2,09	0,369
Vm, l/min	0,81	0,49 - 1,36	0,446
PaCO <sub>2</sub>	1,05	0,83 - 1,33	0,652
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	0,96	0,93 - 0,99	0,041
Vd/Vt	1,52	1,11 - 2,09	0,008

fr/Vt: cociente frecuencia respiratoria/volumen tidal; IC 95%: intervalo de confianza del 95%; l/min: cociente litros/minuto; mmHg: milímetros de mercurio; PAD: presión arterial diastólica; PAS: presión arterial sistólica; Vd/Vt: fracción de espacio muerto; VM: ventilación mecánica; Vm: volumen minuto;.

de nuestros pacientes, sino que existían unas indicaciones claras y estrictas en este sentido que se cumplieron cuidadosamente. En un metaanálisis sobre 2.486 enfermos el porcentaje enfermos que presentan un destete fallido se sitúa en el 31,2%, con un 13% de re-intubaciones<sup>21</sup>.

El hecho de que el Vd/Vt se comporte como un buen predictor del fracaso de la retirada de la VM se podría explicar por su comportamiento como indicador del posible desequilibrio entre la demanda y la capacidad real de ventilación de los enfermos. La demanda de ventilación depende de los requerimientos de ventilación, pero también de las características mecánicas del sistema respiratorio de cada paciente. De este modo, cuando los requisitos de ventilación, es decir, cuando el Vm necesario para mantener una ventilación alveolar normal excede las capacidades del enfermo, el destete será insatisfactorio.

Estos requerimientos de ventilación están determinados por VCO<sub>2</sub>, por el espacio muerto y por el estímulo respiratorio a nivel del sistema nervioso central. Debido a que Vd/Vt engloba en un solo parámetro dos de los componentes que determinan los requerimientos de la ventilación se justifica su eficacia en la predicción del fracaso en la retirada de la VM.

Sin embargo, el trabajo de la musculatura respiratoria (WOB) como otro de los principales determinantes de la carga o demanda de la ventilación no es ponderado en la medida del Vd/Vt. Las características mecánicas del sistema respiratorio, las resistencias de las vías aéreas y la complianza toraco-pulmonar determinan el WOB a través de sus dos componentes: el trabajo resistivo y el elástico. Es decir, situaciones de broncoespasmo, obstrucción de las vías aéreas superiores, hipersecreción bronquial y determinadas características de los circuitos externos del ventilador que llevan consigo un aumento importante del trabajo resistivo al incrementar la resistencia de las vías aéreas, se escapan de la predicción del Vd/Vt. Al igual que, situaciones que cursan con aumento del componente elástico del WOB (pérdida de complianza, derrame pulmonar, neumotórax...)<sup>22</sup>.

En la literatura médica las primeras investigaciones en relación al Vd/Vt datan de 1965<sup>23</sup> estudiando su papel como marcador de lesión pulmonar aguda. Más reciente en el tiempo, en 1983, Pierson<sup>24</sup> identifica valores de Vd/Vt > 60 como indicadores de intubación. Sin embargo, a pesar de estos antiguos estudios, el Vd/Vt no ha sido incluido tradicionalmente en las guías clínicas como un parámetro a considerar en la extubación de los adultos conectados a VM. Esto hecho pudiese atribuirse a la compleja tarea de recoger las mediciones necesarias para su cálculo, antes de que la tecnología desarrollase y ensamblase los actuales métodos de medición y cálculo de los ventiladores y sensores existentes en estos momentos, simplificando este trabajo.

Recientemente<sup>25</sup>, se incide en el papel que desempeña la medida de Vd/Vt en la predicción de la extubación. Sobre una cohorte de 35 pacientes, se sugiere que los valores más altos de Vd/Vt medidos el primer día de hospitalización podrían ser un predictor precoz de fallo de extubación. En su caso, la sensibilidad, especificidad, el valor predictivo positivo, el valor predictivo negativo y con un punto de corte de Vd/Vt  $\geq 0,60$  para predecir el fracaso de la extubación de acuerdo a la curva ROC fueron 70, 72, 58%, 81% y 71%, respectivamente.

En el mismo sentido, pero con una filosofía de trabajo diferente encontramos el trabajo de Farah et al<sup>26</sup>, en el cual se intenta aclarar el efecto del Vd/Vt en el destete de la VM de enfermos EPOC. Analizando su registro de 49 enfermos, concluyen que la evaluación de Vd/Vt no proporciona un valor fiable en la estimación de la duración de la VM en los pacientes con insuficiencia respiratoria aguda debido a EPOC.

Los estudios con una metodología y una base fisiológica más similar al que se presenta en este artículo han sido realizados en población pediátrica. De este modo, Hubble et al<sup>20</sup> analizando sus datos en un estudio sobre 45 pacientes pediátricos identificaron que valores de Vd/Vt  $\leq 0,50$  calculado treinta minutos antes de proceder a la extubación estaba asociado con éxito, y cifras de Vd/Vt > 0,65 se identificaban con necesidad de soporte respiratorio adicional después de la extubación. Para un punto de corte de Vd/Vt = 0,50 el estudio mostró una sensibilidad de 0,75 y una especificidad de 0,92.

En el caso contrario nos encontramos los datos publicados por Bouso et al<sup>19</sup> en otro trabajo con población pediátrica. En este segundo trabajo el valor obtenido de Vd/Vt en el análisis de la curva ROC como predictor de fracaso en la extubación fue pobre (con un área bajo la curva de 0,62). Con un punto de corte de 0,65 no se encontraron diferencias significativas en la correlación de este punto y la incidencia de éxito o fracaso en la extubación en un análisis de regresión logística.

Sin embargo, existen diferencias importantes entre estos dos trabajos cuando se analizan las poblaciones estudiadas. La población en el estudio de Bouso et al es una población más joven (mayoría de neonatos), y con mayor lesión pulmonar previa a la extubación que la población del estudio de Hubble et al. De este modo cuanto más jóvenes sean los pacientes presentan menor resistencia a la fatiga muscular, su tos es menos efectiva, tienen menor capacidad para la excreción de las secreciones y tienen una vía aérea más estrecha. Todas estas características no son cuantificables en la medida de Vd/Vt.

Por último, Mohr et al<sup>27</sup> estudiaron Vd/Vt 24 horas antes y después de realizada traqueotomía a 45 pacientes adultos ingresados en una UCI quirúrgica; concluyeron que no se predecía el éxito o el fracaso en el destete de los enfermos sometidos a VM atendiendo al valor de Vd/Vt, puesto que no se variaba Vd/Vt tras realizada la traqueotomía. En relación con este estudio hay que mencionar que los enfermos eran ventilados en modo *intermittent mandatory ventilation* (IMV) PS desde que la traqueotomía era planeada, y que los valores para el cálculo del Vd/Vt eran registrados mientras los enfermos se encontraban ventilados con un Vt mínimo prefijado ajustado al peso del enfermo y una PS según necesidad del enfermo. Pensamos que el hecho de que el enfermo tuviese un apoyo ventilatorio, creemos que suficiente, para mantener una ventilación alveolar adecuada, enmascara de algún modo el valor del Vd/Vt obtenido en este estudio. No obstante nos parece un estudio a tener en cuenta en sus conclusiones opuestas a los datos obtenidos en el nuestro.

Cuando se comparan los resultados obtenidos del Vd/Vt con los múltiples predictores analizados en la literatura, podríamos situarlo en un nivel comparable al índice CROP (*compliance, respiratory rate, oxygenation and pressure*)



y al IWI (*integrative weaning index*). En este sentido el índice CROP desarrollado por Yang y Tobin en un estudio prospectivo, con un punto de corte de 13 ml/respiraciones/minuto, reveló un valor predictivo positivo y predictivo negativo de 0,71 y 0,70 respectivamente. Por su parte el índice IWI estudiado por Nemer et al, calculado como el producto de la complianza estática y la SaO<sub>2</sub> dividido por el ratio Fr/Vt, con un punto de corte de 25 ml/cmH<sub>2</sub>O/FiO<sub>2</sub>, mostró una sensibilidad de 0,97 y una especificidad de 0,94 como predictor de fracaso en la extubación<sup>28,29</sup>. Sin duda estos valores los sitúan en un nivel de éxito muy elevado, pero cuando se comparan predictores del fracaso de la extubación, no solo hay que considerar el valor numérico del análisis estadístico. En este campo es muy importante la complejidad de realización, la integración y la interpretación que hay que hacer de los valores que se obtienen. Por su parte, en el cálculo del Vd/Vt se puede considerar el uso de un sensor de CO<sub>2</sub>, así como la realización de una gasometría arterial una práctica ya estandarizada y habitual en una UCI de un hospital de tercer nivel. Sin embargo índices como el CROP o el IWI presentan la mayor complejidad en su cálculo, basada en la integración de varias fórmulas, así como la dificultad añadida de realizar la medición de la complianza estática de un sistema respiratorio en pacientes en respiración espontánea<sup>30</sup>.

Finalmente, nuestro análisis muestra como una mejor oxigenación de los pacientes, medida con la ratio PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, se comporta como un factor protector del fracaso en la extubación. Nuestro resultado está en consonancia con la literatura existente en la cual encontramos el estudio de Khamiees et al<sup>31</sup>, con mayoría de pacientes médicos (89%), en el cual una relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> entre 120-150 predijo el éxito en la extubación en cuatro de cada cinco pacientes. Del mismo modo, Krieger et al<sup>32</sup> encontraron que la relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> de 238 tenía un VPP del 90%.

Podemos concluir que el presente artículo es el primer estudio realizado en adultos metodológicamente diseñado para demostrar si el Vd/Vt es un buen predictor de fracaso en la extubación en enfermos sometidos al menos a 12 horas de VM en una UCI. Con los resultados obtenidos, podemos afirmar, que el valor de Vd/Vt es una herramienta válida en la cual apoyarse en la difícil tarea de decidir el momento idóneo para materializar la extubación de la VM.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Agradecimientos

Los autores quieren dejar constancia de su profundo agradecimiento tanto al personal médico como de enfermería y auxiliares de enfermería, de la UCI General del Hospital Universitario Marqués de Valdecilla.

## Bibliografía

- Esteban A, Frutos-Vivar F, Ferguson ND, Arabi Y, Apezteguía C, González M, et al. Noninvasive positive-pressure ventilation for respiratory failure after extubation. *N Engl J Med*. 2004;350:2452-60.
- Robriquet L, Georges H, Leroy O, Devos P, D'Escrivan T, Guery B. Predictors of extubation failure in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Crit Care*. 2006;21:185-90.
- Vargas F, Boyer A, Bui HN, Salmi LR, Guenard H, Gruson D, et al. Respiratory failure in chronic obstructive pulmonary disease after extubation: value of expiratory flow limitation and airway occlusion pressure after one 0.1 second (P0.1). *J Crit Care*. 2008;23:577-84.
- Epstein SK. Decision to extubate. *Inten Care Med*. 2002;28:535-46.
- Esteban A, Alía I, Gordo F, Fernández R, Solsona JF, Vallverdú I, et al. Extubation outcome after spontaneous breathing trials with T-tube or pressure support ventilation. The Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997;156:459-65.
- Esteban A, Alía I, Tobin MJ, Gil A, Gordo F, Vallverdú 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.
- Epstein SK, Ciubotaru RL. Independent effects of etiology of failure and time to reintubation on outcome for patients failing extubation. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998;158:489-93.
- Epstein SK, Ciubotaru RL, Wong JB. Effect of failed extubation on the outcome of mechanical ventilation. *Chest*. 1997;112:186-92.
- Coplin WM, Pierson DJ, Cooley KD, Newell DW, Rubenfeld GD. Implications of extubation delay in brain-injured patients meeting standard weaning criteria. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;161:1530-6.
- Seymour CW, Martinez A, Christie JD, Fuchs BD. The outcome of extubation failure in a community hospital intensive care unit: a cohort study. *Crit Care*. 2004;8:322-7.
- Epstein SK. Weaning parameters. *Respir Care Clin N Am*. 2000;6:253-301.
- 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;120:375S-95S.
- 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.
- Nuckton TJ, Alonso JA, Kallet RH, Daniel BM, Pittet JF, Eisner MD, et al. Pulmonary Dead-Space Fraction as a Risk Factor for Death in the Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med*. 2002;346:1281-6.
- Eriksson L, Wollmer P, Olsson CG, Albrechtsson U, Larusdottir H, Nilsson R, et al. Diagnostic of pulmonary embolism based upon alveolar dead space analysis. *Chest*. 1989;96:357-62.
- Kline JA, Kubin AK, Patel MM, Easton EJ, Seupal RA. Alveolar dead space as a predictor of severity of pulmonary embolism. *Acad Emerg Med*. 2000;7:611-7.
- Mantous CA, Goulding P. The effect of volume infusion on dead space in mechanically ventilated patients with severe asthma. *Chest*. 1997;112:843-6.
- Cala K, Pilas V, Vucic N. VD/VT test in the detection of pulmonary dysfunction in sepsis. *Crit Care*. 2004;8:20.
- Bouso A, Ejzenberg B, Ventura AM, Fernandes JC, Fernandes IC, Góes PF, et al. Evaluation of the dead space to tidal volume ratio as a predictor of extubation failure. *J Pediatr*. 2006;82:347-53.
- Hubble CL, Gentile MA, Tripp DS, Craig DM, Meliones JN, Cheifetz IM. Dead-space to tidal volume ratio predicts suc-

- cessful extubation in infants and children. *Crit Care Med*. 2000;28:2034–40.
21. Boles JM, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J*. 2007;29:1033–56.
  22. Vallverdú I, Benito S, Net A. Estrategias para la interrupción de la ventilación mecánica. En: Net A, Benito S, editores. *Ventilación mecánica*. Tercera edición Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 1998. p. 211–3.
  23. Pontoppidan H, Hedley-Whyte J, Bendizen Hh, Laver MB, Radford Jr EP. Ventilation and oxygen requirements during prolonged artificial ventilation in patients with respiratory failure. *N Engl J Med*. 1965;273:401–9.
  24. Pierson DJ. Weaning from mechanical ventilation in acute respiratory failure: Concepts, indications, and techniques. *Respir Care*. 1983;28:646–62.
  25. Ozyilmaz E, Aydoğdu M, Gürsel G. The role of physiologic dead space measurement in predicting extubation success. *Tuberk Toraks*. 2010;58:154–61.
  26. Farah R, Makhoul N. The effect of dead space fraction on weaning from mechanical ventilation in COPD patients. *Harefuah*. 2007;146:506–9.
  27. Mohr AM, Rutherford EJ, Cairns BA, Boysen PG. The role of dead space ventilation in predicting outcome of successful weaning from mechanical ventilation. *J Trauma*. 2001;5: 843–8.
  28. 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.
  29. Nemer SN, Barbas CS, Caldeira JB, Cárias TC, Santos RG, Almeida LC, et al. A new integrative weaning index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Care*. 2009;13: R152.
  30. Scott K, Epstein. Routine use of weaning predictors: not so fast. *Crit Care*. 2009;13:197.
  31. Khamiees M, Raju P, DeGirolamo A, Amoateng-Adjepong Y, Manthous CA. Predictors of extubation outcome in patients who have successfully completed a spontaneous breathing trial. *Chest*. 2001;120:1262–70.
  32. Krieger BP, Ershowsky PF, Becker DA, Gazeroglu HB. Evaluation of conventional criteria for predicting successful weaning from mechanical ventilatory support in elderly patients. *Crit Care Med*. 1989;17:858–61.