

ORIGINAL BREVE

Relación entre la movilidad diafragmática medida por ecografía y la presión parcial arterial de CO₂ en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda hipercápnica tras el inicio de la ventilación mecánica no invasiva en urgencias

José Andrés Sánchez-Nicolás¹, César Cinesi-Gómez¹, Tomás Villén-Villegas², Pascual Piñera-Salmerón¹, Bartolo García-Pérez³

Objetivo. Correlacionar la variación de la movilidad diafragmática (MD), medida a través de ecografía, con el cambio en la presión parcial arterial de CO₂ de (pCO₂) tras el inicio de la ventilación mecánica no invasiva (VMNI).

Método. Estudio descriptivo de una serie de casos prospectivo que incluyó por oportunidad a los pacientes de 18 o más años con insuficiencia respiratoria hipercápnica en los que se inició la VMNI en urgencias. Se recogieron variables clínicas, gasométricas y mediciones ecográficas de la MD directa (MDD) y MD portal (MDP).

Resultados. Se incluyeron 21 pacientes, con una edad media de 83 (DE 13) años, de ellos 11 mujeres (52,4%). Los valores de MDD y pCO₂ fueron: 1) basal: MDD 13,9 (DE 7,7) mm y pCO₂ 71,7 (DE: 11,4) mmHg; 2) 15 minutos: MDD 17,1 (DE 9,1) mm; 3) 1 hora: MDD 22,4 (DE 10,4) y pCO₂ 63,4 (DE: 16,0) mmHg; 4) 3 horas: MDD 26,6 (DE: 19,5) mm y pCO₂ 61,8 (DE :13,0) mmHg. Hubo correlación estadísticamente significativa entre la diferencia a los 15 minutos y basal de MDD y el descenso a la hora de pCO₂ ($r = -0,489$; $p = 0,035$).

Conclusión. El aumento de la MDD a los 15 minutos del inicio de la VMNI se relaciona con una disminución de la pCO₂ a la hora en los pacientes con insuficiencia respiratoria hipercápnica.

Palabras clave: Ecografía. Diafragma. Hipercapnia. Ventilación mecánica no invasiva.

Relation between ultrasound-measured diaphragm movement and partial pressure of carbon dioxide in blood from patients with acute hypercapnic respiratory failure after the start of noninvasive ventilation in an emergency department

Objective. To evaluate the correlation between variations in ultrasound-measured diaphragm movement and changes in the arterial partial pressure of carbon dioxide (PCO₂) after the start of noninvasive ventilation (NIV).

Methods. Descriptive study of a prospective case series comprised of nonconsecutive patients aged 18 years or older with hypercapnic respiratory failure who were placed on NIV in an emergency department. We recorded clinical data, blood gas measurements, and ultrasound measurements of diaphragm movement.

Results. Twenty-one patients with a mean (SD) age of 83 (13) years were studied; 11 (52.4%) were women. The mean (SD) range of diaphragm movement and PCO₂ values at 4 moments were as follows: 1) at baseline: diaphragm movement, 13.90 (7.7) mm and PCO₂, 71.75 (11.4) mm Hg; 2) after 15 minutes on NIV: diaphragm movement, 17.10 (9.1) mm; 3) at 1 hour: diaphragm movement, 22.40 (10.4) mm and PCO₂, 63.45 (16.0) mm Hg; and 4) at 3 hours: diaphragm movement, 26.60 (19.5) mm and PCO₂, 61.85 (13.0) mm Hg. We detected a statistically significant correlation between the difference in range of diaphragm movement at baseline and at 15 minutes and the decrease in PCO₂ after 1 hour of NIV ($r = -0.489$, $P = .035$).

Conclusion. In patients with hypercapnic respiratory failure, the increase in range of diaphragm movement 15 minutes after starting NIV is associated with a decrease in PCO₂ after 1 hour.

Keywords: Ultrasonography. Diaphragm. Hypercapnia. Noninvasive ventilation.

Introducción

La insuficiencia respiratoria aguda hipercápnica (IRAH) se origina por una hipoventilación, que está relacionada con una disminución de la movilidad diafragmática (MD)^{1,2}. Se han publicado en los últimos años estudios que indican una relación entre la disminución de la MD y la presencia de hipercapnia^{3,4}. Los métodos

utilizados para evaluar la MD son a través de la ecografía mediante la medición cráneo caudal de la vena porta^{3,5} y del hemidiafragma derecho⁶⁻⁸.

La ventilación mecánica no invasiva (VMNI) es la terapia ventilatoria de uso habitual en los servicios de urgencias (SU) en pacientes con IRAH⁹⁻¹¹. Según nuestro conocimiento, en la actualidad no existe información sobre la relación entre la MD y la presión parcial arterial

Filiación de los autores:

¹Servicio de Urgencias, Hospital General Universitario Reina Sofía, Murcia, España.

²Servicio de Urgencias, Hospital Ramón y Cajal, Madrid, España.

³Unidad de Corta Estancia, Hospital Virgen de la Arrixaca, Facultad de Medicina de la UCAM, Murcia, España.

Contribución de los autores:

Todos los autores han confirmado su autoría en el documento de responsabilidades del autor, acuerdo de publicación y cesión de derechos a EMERGENCIAS.

Autor para correspondencia:

José Andrés Sánchez Nicolás
Avda. Intendente Jorge Palacios, 1
30003 Murcia, España

Correo electrónico:

joanmixmix@hotmail.com

Información del artículo:

Recibido: 10-5-2016

Aceptado: 5-7-2016

Online: 26-8-2016

Editor responsable:

Francisco Javier Martín Sánchez,
MD, PhD.

de CO_2 (pCO_2) en los pacientes tratados con VMNI. La hipótesis planteada sería que si la hipercapnia es producida por una disminución de la MD y la VMNI mejora la hipercapnia, la VMNI debería conllevar un aumento en la MD. Por ello, el objetivo del estudio fue correlacionar la variación de la MD, medida a través de ecografía, con el cambio en la pCO_2 tras el inicio de la VMNI en los pacientes con IRAH atendidos en un SU.

Método

Se diseñó un estudio descriptivo de una serie de casos prospectivo que se llevó a cabo en el SU del Hospital General Universitario Reina Sofía (HGURS) de Murcia desde 1 de enero hasta 30 de marzo del 2016. El estudio siguió las leyes y regulaciones vigentes y fue aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica del HGURS.

Se incluyeron por oportunidad a los pacientes de ≥ 18 años de edad con IRAH ($\text{pO}_2/\text{FiO}_2 < 300$, $\text{pCO}_2 > 45$ mmHg y $\text{pH} < 7,35$) que iniciaron la VMNI en el SU y que consintieron a la participación en el estudio. Los criterios de exclusión fueron la necesidad de ventilación mecánica invasiva (VMI), compromiso de la vía aérea superior, traumatismo facial, neumotórax, alto riesgo de broncoaspiración, pacientes con traqueostomía e inestabilidad hemodinámica [presión arterial sistólica (PAS) < 100 mm Hg o TAM < 70 mmHg] o bajo nivel de consciencia (Escala Coma de Glasgow < 13).

A través de un formulario, se recogieron de la historia clínica datos demográficos (edad y sexo), antecedentes personales, diagnóstico principal, variables clínicas, analíticas y parámetros del respirador. Los ventiladores utilizados para la VMNI fueron la BiPAP modelo ST o Trilogy 202 (Respironics; Murrysville, PA, EE.UU.). El investigador no fue el médico responsable de la atención del proceso

urgente. Los pacientes tuvieron un seguimiento durante las primeras tres horas (basal, 15 minutos, 1 hora y 3 horas) tras el inicio de la VMNI, y SE registraron variables clínicas, gasométricas y ecográficas.

La MD se calculó mediante la realización de ecografía a pie de cama, la cual fue realizada por un médico de urgencias, único investigador, acreditado con nivel 1 básico por WINFOCUS. Para estimar la MD, se utilizaron dos métodos de medición ecográfica:

1) MD directa (MDD): la medición del desplazamiento de la cúpula del diafragma entre la inspiración y la espiración^{6,7,8,12,13} colocando la sonda convex de 5 MHz en la línea axilar media anterior y paralela al espacio intercostal. Se utilizó el modo B para la visualización del borde inferior del ángulo costofrénico y el polo inferior del riñón derecho localizándose la cúpula diafragmática⁶. Posteriormente se cambió a modo M para medir el desplazamiento entre la inspiración y la espiración en milímetros (Figura 1).

2) MD portal (MDP): la medición del desplazamiento de la rama izquierda de la vena porta entre la inspiración y la espiración^{3,5}, colocando la sonda convex de 5 MHz en la región subcostal derecha con un ángulo de incidencia perpendicular al eje craneocaudal en mm en modo B (Figura1). El ecógrafo empleado fue un General Electric Healthcare Logi (Jiangsu, China).

Las variables cualitativas se describieron por sus valores absolutos y porcentajes, y las variables continuas por su medias y desviación típica (distribución normal) o de mediana y rango intercuartílico (distribución no paramétrica), según la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Las diferencias entre variables cualitativas se establecieron mediante el test de ji al cuadrado o el test de Fisher y entre las variables cuantitativas se utilizó el test de ANOVA o el de Kruskal-Wallis. Para la valoración de los cambios de las variables principales (medidas diafrag-

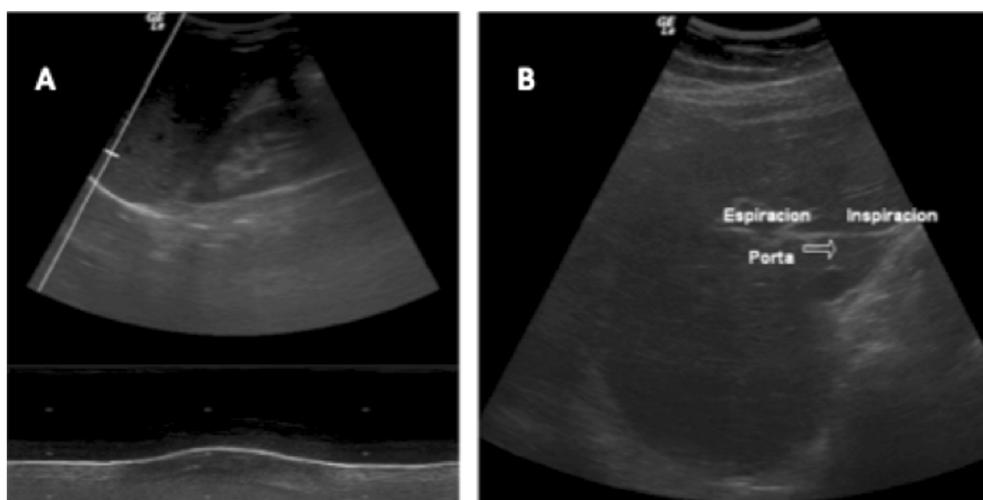


Figura 1. Imágenes ecográficas de los dos métodos de medición de la movilidad de diafragma. **A)** Movilidad del diafragma directa: desplazamiento de la cúpula diafragmática en línea axilar media anterior derecha paralela al espacio intercostal. Modo B y M. **B)** Movilidad del diafragma portal: desplazamiento de la rama izquierda de la vena porta entre la inspiración y la espiración en región subcostal derecha. Modo B.

máticas, constantes vitales y valores gasométricos) a lo largo del tiempo se utilizó el test de ANOVA de una vía de medidas repetidas independientemente de la distribución de la variable cuantitativa. La concordancia de las dos variables ecográficas fue evaluada por el coeficiente de concordancia de Lin y el método de Bland-Altman. Para la estimación de la correlación se utilizó la *r* de Pearson o la *rho* de Spearman según fuese necesario. El nivel de significación aceptado fue de $p < 0,05$. Para los cálculos estadísticos se empleó el programa IBM SPSS Statistics v-22 (IBM, Nueva York, NY, EE.UU.).

Resultados

Se seleccionaron 31 pacientes potencialmente elegibles, de los cuales se incluyeron finalmente 21. Se excluyeron 2 por precisar soporte ventilatorio inmediato, 1 por situación agónica y 7 por mala ventana ecográfica para ambas mediciones. De los 21 pacientes, 4 pacientes presentaron mala ventana ecográfica para la MDP. La media de edad de los pacientes fue de 83 (DE 13,5) años, de los cuales 11 (52,4%) fueron mujeres. En lo que respecta a los antecedentes personales y el tratamiento en domicilio, 18 pacientes (81,8%) tenían hipertensión arterial, 6 (27,3%) diabetes mellitus, 9 (40,9%) enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), 8 (36,4%) síndrome de hipoventilación, 10 (45,5%) oxigenoterapia crónica domiciliaria, 6 (27,3%) CPAP domiciliaria y 1 (4,5%) BiPAP domiciliaria. Referente al diagnóstico de ingreso, 9 casos (40,9%) tenían edema agudo de pulmón, 8 (38,1%) exacerbación de la EPOC, 2 (9,0%) síndrome hipoventilación-obesidad, 1 (4,6%) asma intrínseco y 1 (4,6%) neumonía.

Del total de pacientes incluidos, a 21 pacientes se les midió la MDD y a 17 la MDP. Las dos medidas diafrámicas presentaron una baja concordancia basal (0,293; IC 95%:-0,340-0,744), a los 15 minutos (0,607; IC 95%:0,082-0,869), a la 1ª hora (0,460; IC 95%:-0,125-0,808) y a la 3ª hora (0,431; IC: 95%:-0,160-0,794).

La Tabla 1, muestra los datos clínicos, las variables

gasométricas, los parámetros del respirador y las medidas diafrámicas en los diferentes momentos de la valoración. En los primeros 15 minutos tras el inicio de la VMNI, la MDD presentó un incremento medio de 3,1 (IC 95%: 0,9-2,2) mm y la MDP de 3,0 mm (IC 95%: 0,93-3,93). A la hora, se produjo un aumento medio de la MDD de 6,61 mm (IC 95%: 3,2-9,2), y de la MDP de 4,60 mm (IC 95%: 1,67-5,61). La pCO_2 descendió en la primera hora de VMNI una media de 8,34 mmHg (IC 95%: 2,16-14,4).

Entre la valoración basal y los 15 minutos se objetivó una correlación estadísticamente significativa entre la MDD y el descenso a la hora de la pCO_2 ($r = -0,489$; $p = 0,035$). La correlación entre la MDD basal y a la hora fue estadísticamente significativa ($r = -0,642$; $p = 0,010$).

Discusión

El presente estudio muestra que existe una correlación entre la MD y la pCO_2 tras iniciar la VMNI en los pacientes con IRAH. El cambio de la MDD entre la medición basal y a la primera hora fue la medición más relevante, pero la diferencia en la MDD entre la basal y los 15 minutos puede ser la más útil clínicamente, ya que nos permitió predecir a los 15 minutos de iniciar la VMNI cuál será el descenso de la pCO_2 a la hora. Por tanto, la MDD mediante ecografía a pie de cama podría ser un factor predictor de éxito o fracaso precoz de la ventilación en los pacientes con IRAH. El único estudio con cierta similitud es el realizado por Kim *et al.*⁸, que valora la MD con la probabilidad de destete de la VMI y documentan que una MD mayor de 10 mm se comporta como predictor de éxito para el destete. Sin embargo, en la actualidad no existe bibliografía que valore la MD como predictor de éxito o fracaso para la VMNI.

El presente trabajo tiene una serie de limitaciones, como son las inherentes al diseño del estudio, el limitado tamaño de la muestra y el hecho que englobó diferentes etiologías de la IRAH sin poder hacer un es-

Tabla 1. Resumen de las medidas ecográficas, valores gasométricos, constantes vitales y parámetros ventilatorios

	Basal		15 min		1 hora		3 horas	
	Media (DE)	Media (DE)	p	Media (DE)	p	Media (DE)	p	
MD portal (mm)	3,1 (4,1)	6,5 (3,3)	0,020	7,5 (4,4)	0,007	9,8 (8,9)	< 0,001	
MD directa (mm)	13,9 (7,7)	17,1 (9,5)	0,294	22,4 (10,4)	0,023	25,6 (19,5)	0,006	
Sat O ₂ (%)	96,0 (8,0)	95,4 (5,0)	0,999	95,0 (4,0)	0,999	96,0 (4,0)	0,999	
FiO ₂ (%)	33 (14,0)	21 (2,0)	0,044	25 (2,0)	0,011	25,0 (2,5)	0,007	
pH	7,279 (0,05)	-	NA	7,321 (0,06)	0,015	7,34 (0,1)	0,015	
pCO ₂ (mm Hg)	71,7 (11,4)	-	NA	63,45 (16,0)	0,032	61,8 (13,0)	0,009	
HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	33,34 (6,25)	-	NA	32,6 (6,0)	0,685	32,8 (6,2)	1,00	
Frecuencia respiratoria (min ⁻¹)	19 (7,0)	18 (6,0)	0,013	17 (3,0)	0,008	18,0 (4,0)	0,026	
Frecuencia cardiaca (min ⁻¹)	81,5 (11,8)	78,6 (11,2)	0,368	77,8 (11,9)	0,415	77,6 (12,3)	0,292	
Presión arterial media (mm Hg)	89,6 (16,3)	84,7 (15,1)	0,744	84,7 (12,8)	0,390	85,9 (11,3)	1,00	
IPAP (cm H ₂ O)	-	16,0 (1,5)	NA	17,0 (2,0)	0,031*	18,0 (2,0)	0,010*	
EPAP (cm H ₂ O)	-	6,0 (2,0)	NA	6,0 (3,0)	0,487*	6,0 (3,0)	0,249*	
Presión de soporte (cm H ₂ O)	-	10,0 (0,0)	NA	10,0 (1,5)	0,311*	10,0 (1,5)	0,357*	

NA: no aplicable; MD: movilidad diafragmática; DE: desviación estándar; Sat O₂: saturación de oxígeno; HCO₃⁻: bicarbonato; IPAP: presión en la vía aérea positiva a la inspiración; EPAP: presión en la vía aérea positiva a la espiración.

*Valores de *p* al compararse con el tiempo a los 15 minutos.

tudio individualizado por diagnósticos. A pesar de ello, se puede concluir que existe una asociación entre la MD y los valores arteriales de $p\text{CO}_2$ tras el inicio de la VMNI en los pacientes con IRAH. Futuros estudios mostrarán si el aumento de la MDD a los 15 minutos del inicio de la VMNI se relaciona con una disminución de $p\text{CO}_2$ a la hora, y por tanto si se puede considerar un factor predictivo de éxito o fracaso de la VMNI.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en relación al presente artículo.

Financiación

Los autores declaran la no existencia de financiación externa del presente artículo.

Responsabilidades éticas

El Comité de Ética e Investigación Clínica del Hospital Reina Sofía de Murcia aprobó la realización del estudio.

Se obtuvo consentimiento informado de los participantes.

Todos los autores han confirmado el mantenimiento de la confidencialidad y respeto de los derechos de los pacientes en el documento de responsabilidades del autor, acuerdo de publicación y cesión de derechos a EMERGENCIAS.

Artículo no encargado por el Comité Editorial y con revisión externa por pares

Bibliografía

- 1 Unal O, Arslan H, Uzun K, Ozbay B, Sakarya ME. Evaluation of diaphragmatic movement with MR fluoroscopy in chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Imaging*. 2000;24:347-50.
- 2 Dos Santos Yamaguti WP, Paulin E, Shibao S, Chammas MC, Salge JM, Ribeiro M, et al. Air trapping: The major factor limiting diaphragm mobility in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Respirol Carlton Vic*. 2008;13:138-44.
- 3 Kang HW, Kim TO, Lee BR, Yu JY, Chi SY, Ban HJ, et al. Influence of diaphragmatic mobility on hypercapnia in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Korean Med Sci*. 2011;26:1209-13.
- 4 Toledo NSG, Kodaira SK, Massarollo PCB, Pereira OI, Mies S. Right hemidiaphragmatic mobility: assessment with US measurement of craniocaudal displacement of left branches of portal vein. *Radiology*. 2003;228:389-94.
- 5 Toledo NSG, Kodaira SK, Massarollo PCB, Pereira OI, Dalmas JC, Cerri GG, et al. Left hemidiaphragmatic mobility: assessment with ultrasonographic measurement of the craniocaudal displacement of the splenic hilum and the inferior pole of the spleen. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med*. 2006;25:41-9.
- 6 Umbrello M, Formenti P. Ultrasonographic Assessment of Diaphragm Function in Critically Ill Subjects. *Respir Care*. 2016;61:542-55.
- 7 Testa A, Soldati G, Giannuzzi R, Berardi S, Portale G, Gentiloni Silveri N. Ultrasound M-mode assessment of diaphragmatic kinetics by anterior transverse scanning in healthy subjects. *Ultrasound Med Biol*. 2011;37:44-52.
- 8 Kim WY, Suh HJ, Hong S-B, Koh Y, Lim C-M. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med*. 2011;39:2627-30.
- 9 Ayuso Baptista, Jiménez Moral G, Fonseca del Pozo FJ. Manejo de la insuficiencia respiratoria aguda con ventilación mecánica no invasiva en urgencias y emergencias. *Emergencias*. 2009;21:189-202.
- 10 Hotchkiss JR, Marini JJ. Noninvasive ventilation: an emerging supportive technique for the emergency department. *Ann Emerg Med*. 1998;32:470-9.
- 11 Nava S. Behind a mask: tricks, pitfalls, and prejudices for noninvasive ventilation. *Respir Care*. 2013;58:1367-76.
- 12 Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest*. 2009;135:391-400.
- 13 Kantarci F, Mihmanli I, Demirel MK, Harmanci K, Akman C, Aydogan F, et al. Normal diaphragmatic motion and the effects of body composition: determination with M-mode sonography. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med*. 2004;23:255-60.