

# Monitorización de la capacidad residual funcional en pacientes con síndrome de dificultad respiratoria aguda grave. Presentación de un caso y revisión de la literatura<sup>II</sup>

Manuel José Rivera Chávez,\* Julián Enrique Valero Rodríguez,† Maximiliano Valero Vidal§

## RESUMEN

Se presenta el caso de un paciente masculino en la quinta década de vida con diagnóstico de tumoración renal. Fue ingresado a cirugía para embolización selectiva de arteria renal ipsilateral al sitio de la lesión tumoral. Durante el periodo transoperatorio se presentó hemorragia masiva, por lo cual recibió múltiples transfusiones y se ingresó al área de terapia intensiva. Se documentó lesión renal aguda (AKIN III) y desarrollo de síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) grave de acuerdo con los Criterios de Berlín 2012. Se propusieron métodos no convencionales de ventilación entre los cuales la ventilación mecánica inversa, ventilación con liberación de presión (APRV)/bilateral y ventilación controlada a volumen y regulada a presión (PRVC) no mostraron mejoría. Se decidió cambio de estrategia a reclutamiento guiado por la capacidad residual funcional (CRF). Se observó una mejoría en los parámetros de ventilación y niveles de fracción de oxígeno inspirado ( $\text{FiO}_2$ ) y evolución grave con desarrollo de pancreatitis y sangrado que requirió intervención quirúrgica con posterior deceso del paciente. Se realiza presentación del caso así como de la revisión de la literatura para maniobras de reclutamiento guiado por CRF.

**Palabras clave:** Síndrome de dificultad respiratoria aguda, maniobras de reclutamiento, capacidad residual funcional.

## SUMMARY

We report the case of a male patient of the 5th decade of life with a diagnosis of renal tumor. Is entered surgery for selective embolization of renal artery ipsilateral to the site of the tumor lesion. During Trans operative, presented massive bleeding, receiving multiple transfusions, requiring admission to intensive care unit. Acute kidney injury (AKIN III) was documented, severe acute respiratory distress syndrome (ARDS) development according to criteria of Berlin 2012. Unconventional modes of ventilation among which were reverse ventilation, bi-level (APRV) and PRVC were used without improvement. It was decided to change recruitment strategy led by FRC in view, with improved ventilation parameters and levels of  $\text{FiO}_2$ . Poor outcome with subsequent development of pancreatitis and bleeding requiring reoperation with subsequent death of the patient. Case presentation and review of the literature for recruitment maneuvers guided by FRC in view is performed.

**Key words:** Acute respiratory distress syndrome, recruitment maneuvers, functional residual capacity.

## RESUMO

Apresenta-se o caso de um paciente do sexo masculino na quinta década de vida com um diagnóstico de tumor renal. É admitido a cirurgia para embolização seletiva da arteria renal ipsilateral no local da lesão tumoral. Durante o período transoperatorio, apresenta uma hemorragia profusa, pelo que recebeu múltiplas transfusões, e foi admitido na unidade de terapia intensiva. Documenta-se insuficiência renal aguda (AKI III) e o desenvolvimento de SDRA grave de acordo com critérios de Berlim 2012. Proporciona-se métodos não convencionais de ventilação, entre os quais estavam a ventilação mecânica inversa, ventilação com liberação de pressão (APRV)/bilateral e ventilação controlada a volume e regulada para pressão (PRVC) sem melhoria. Determina-se a mudança de estratégia de recrutamento guiado pela capacidade residual funcional (CRF). Apresenta uma melhoria nos parâmetros de ventilação e níveis da fração de oxigênio inspirado ( $\text{FiO}_2$ ). Evolução grave com subsequente desenvolvimento de pancreatite e sangrado, necessitou de intervenção cirúrgica, com posterior morte do paciente. É feita apresentação do caso, bem como a revisão da literatura para manobras de recrutamento guiado pelo CRF.

**Palavras-chave:** Síndrome de dificuldade respiratória aguda (SDRA), manobras de recrutamento, capacidade residual funcional (CRF).

## INTRODUCCIÓN

Se presenta el caso de un hombre de 45 años de edad quien inició padecimiento en octubre de 2014 con edema de miembros inferiores, astenia, adinamia, hiporexia y síndrome anémico, abordado en un hospital de segundo nivel de atención mediante estudios de imagen en los que se detectaron tumor renal y trombo en vena cava inferior.

Posteriormente se realizó una revisión de la literatura actual y se discutió el caso.

## PRESENTACIÓN DEL CASO

**Antecedentes:** casado, católico, albañil, escolaridad secundaria, originario de la Ciudad de México, residente de Acámbaro, Guanajuato.

**Antecedentes heredofamiliares:** madre con diabetes mellitus tipo 2 (DM2), sobrino finado por cáncer, ignora tipo.

**Antecedentes personales patológicos:** enfermedades crónico-degenerativas: negadas; tabaquismo y toxicomanías: negados; alergias: negadas.

**Quirúrgicos:** vasectomía hace ocho años.

**Valoración quirúrgica:** riesgo QX: ASA III/índice de Lee clase I/trombogénico alto.

Ingresó el día 12 de junio de 2015 para embolización selectiva de la arteria renal derecha, el procedimiento se realizó el 15 de junio de 2015 sin complicaciones. El 16 de junio de 2015 fue programado para nefrectomía, ingresó a quirófano con realización de resección de tumor derecho por tumoración que requirió empaquetamiento ante magnitud de sangrado  $4,500 \text{ cm}^3$  contabilizado por anestesiología, requirió asimismo fluidoterapia y hemotransfusión de cinco plasmas frescos congelados y cuatro unidades de paquete globular. Tiempo quirúrgico: tres horas; sangrado:  $4,500 \text{ cm}^3$ ; hallazgos transoperatorios: conglomerado ganglionar a nivel de hilio renal, por lo que se ingresó a terapia intensiva para manejo.

A su ingreso en la Unidad de Terapia Intensiva (UTI) el paciente se presentaba neurológicamente con efectos residuales de sedoanalgésia con tubo orotraqueal 9.5 armado, pupilas 2 mm reactivas, respiratorio con acidosis metabólica e hiperoxilosis, hemodinámico con uso de vasopresores (dopamina) con CVC, abdomen con datos de sangrado que requirió empaquetamiento.

<sup>II</sup> Ganador del Premio Académico «Mario Shapiro».

\* Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío, León, Guanajuato. México.

† Hospital General de Irapuato, Irapuato, Guanajuato. México.

§ Universidad del Valle de México, Campus Querétaro.

Durante su estancia en terapia intensiva: a las 12 horas de ingreso inició con datos de síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) moderado que avanzaba a severo, requirió ventilación no convencional por hipoxemia refractaria, se apoyó con redistribución de líquidos, se diagnosticó pancreatitis, se desempaquetó a las 48 horas sin mejoría pulmonar a pesar de manejo de SDRA basado en guías del ARDS net, por lo que se decidió cambio de estrategia con apoyo de ventilador *Engström Care Station* e inicio de monitoreo de capacidad residual funcional (CRF) PEEP, se realizaron dos mediciones con parámetros de presión positiva al final de la expiración (PEEP) inicial en 12 y finales de 18 (Anexo 1) en dos momentos con mejoría de parámetros de reclutamiento con ganancia de volumen pulmonar reclutado. Posteriormente y ya con volumen reclutado se logró descenso de los parámetros de ventilación mecánica (Anexo 2).

Cursó con derrame pleural bilateral de predominio derecho de aproximadamente 60%, por lo que se colocó SEP con gasto serohemático de 1,200 mL, cursó con choque hemorrágico y requirió múltiples transfusiones durante su estancia en UTI. Desarrolló deterioro progresivo de la función renal con lesión renal aguda AKIN III que ocasionó desequilibrio hidroelectrolítico importante (hiperkalemia moderada, hipernatremia hipervolémica moderada e hiperosfatemia), así como acidosis metabólica, con tendencia a la hipotermia desde su ingreso.

Posterior a estabilización inicial cursó con nuevo evento de hemorragia que ameritó una nueva exploración quirúrgica y posterior deceso.

### Revisión de la literatura

Se sabe que los pacientes en ventilación mecánica presentan disminución en la capacidad funcional residual, conocida de una manera más apropiada como volumen pulmonar ventilado al final de la expiración (EELV); factores como la sedación, la posición decúbito dorsal y patologías como la neumonía, edema pulmonar cardiogénico, distensión abdominal o SDRA la afectan de igual manera. El monitoreo de esta capacidad residual funcional (CRF) puede tener un valor diagnóstico y terapéutico muy importante porque es capaz de guiar maniobras para reclutamiento pulmonar mediado por PEEP que permitan restablecer el volumen pulmonar perdido por estas patologías.<sup>1</sup>

La capacidad residual funcional (CRF) es la medición de la reserva de aire que mantienen los pulmones oxigenados después de una exhalación normal.

En pacientes con ventilación mecánica, la CRF mide el volumen actual de los pulmones. Aunque la CRF es un indicador vital de la patología pulmonar, hasta hace poco este parámetro no podía ser medido directamente, sólo se estimaba mediante métodos indirectos.<sup>1,2</sup>

Los actuales avances tecnológicos que permiten la medición directa eliminan las barreras que anteriormente existían en el uso rutinario de este parámetro en la toma de decisiones clínicas importantes.<sup>3</sup>

Las mediciones de la CRF proporcionan información valiosa con respecto a la progresión/resolución de la enfermedad, optimización de la presión positiva al final de la expiración (PEEP) y la prevención de lesiones causadas por la inducción de ventilación mecánica.<sup>4</sup>

Los clínicos necesitan estar conscientes de que muchos factores junto con la patología de la enfermedad afectan la CRF, incluyendo la posición prona, maniobras de reclutamiento, succión y destete. La monitorización directa de la CRF es una herramienta subutilizada que puede ayudar al manejo de muchos pacientes con ventilación mecánica con enfermedades en desarrollo o resueltas.<sup>5</sup>

En la práctica habitual los pacientes con ventilación mecánica muestran una CRF decreciente debido a diferentes causas, entre ellas modo ventilatorio (volumen o presión), niveles de PEEP, sedación, posición decúbito dorsal, patologías pulmonares como neumonía, edema cardiogénico, distensión abdominal, daño pulmonar agudo, síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA). Así, monitorizar la CRF en estos pacientes tiene un valor potencial diagnóstico y terapéutico, mientras que la PEEP se aplica de manera rutinaria para restaurar la pérdida de volumen pulmonar. Por el contrario, la CRF evalúa los volúmenes fuera de los límites de lo normal, monitoriza los valores en el ajuste de la obstrucción grave de flujo de aire, la captura de gases y los tratamientos que se aplican con frecuencia para reducir la hiperinflación que esto ocasiona.<sup>6,7</sup>

Durante muchos años no era clínicamente factible monitorizar la CRF y sobre todo en el escenario de pacientes críticamente enfermos. Los métodos indirectos carecían de exactitud, enfrentaban dificultades técnicas, problemas de reproductibilidad o logísticas engorrosas que hacían a dichos métodos imprácticos para el uso clínico, especialmente cuando estas mediciones interferían con la terapéutica de los pacientes (Darling 1940).

### ¿POR QUÉ MONITORIZAR LA CRF?

Investigaciones diseñadas para monitorizar la CRF han evaluado y cuantificado el efecto de la PEEP en la CRF, verificando que el aumento de la PEEP invariablemente incremente la CRF de acuerdo con la relación presión-volumen (P-V) del sistema respiratorio. Reportes de valores de la CRF en pacientes con pulmones normales, enfermedad pulmonar primaria y enfermedad pulmonar secundaria con niveles de la PEEP de 5 y 10 cm de H<sub>2</sub>O respectivamente (Bikker 2008). Cada valor demostró un incremento de la CRF en proporción a la PEEP.

Por el contrario, en estudios de animales con SDRA se encontró una consistente reducción en la CRF, mientras que la PEEP disminuía (Lambertmont 2008).

Cuantificar la asociación entre la CRF y la PEEP nos ayuda a aclarar su relación presión-volumen, esta asociación es importante porque los cambios en la CRF por la incorporación de la PEEP resultan en cambios en el reclutamiento de unidades funcionales pulmonares, así como la expansión de las unidades pulmonares ya abiertas.

La monitorización de la CRF también debe considerarse junto con la oxigenación conforme a los estándares de organización de los datos. Estos estándares se relacionan inversamente con la rigidez de los pulmones y la pared torácica, pero no necesariamente con el volumen pulmonar. El incremento de la CRF causado por el ajuste de la PEEP puede ser beneficioso para el reclutamiento pulmonar que en paralelo incrementa los estándares de organización de los datos y la oxigenación.<sup>8,9</sup>

La monitorización de la CRF puede ayudar además a determinar el estrés pulmonar (presión transpulmonar) y ser integral para evaluar la tensión pulmonar: la CRF sería una medida esencial para mantener una presión transpulmonar positiva y para controlar la tensión. La reducción a manera de volumen es una táctica clínicamente controlable en la gestión del cuidado del paciente con ventilación mecánica, pero el denominador crucial de la CRF de la tensión global por lo regular permanece desconocido.<sup>8,9</sup>

### Factores que afectan la CRF

- La posición supina tiene un efecto considerable en la CRF, en promedio reduce la CRF en 25% en comparación con pacientes sentados en posición vertical. Las posiciones laterales tienen efectos perjudiciales intermedios en la CRF con respecto a las posiciones supinas o sentadas.
- Estudios en pacientes con SDRA evaluaron los efectos de la succión endotraqueal en la oxigenación y la CRF, la CRF fue restaurada por reclutamiento post-succión y no por cambios en la PEEP.
- La monitorización de la CRF es un método normalmente más confiable en pacientes sedados con ventilación mecánica que en pacientes con respiración espontánea. Esto alude al valor de la monitorización de la CRF durante el destete. Así, la monitorización durante el destete puede servir como guía hacia el proceso de extubación.

Colectivamente esto apunta hacia la utilidad de la monitorización de la CRF; sin embargo, existe una escasez de datos que examinan la potencia clínica de la monitorización de la CRF.<sup>10,11</sup>

### Desarrollo de la metodología actual para las pruebas de la CRF

Ha habido una evolución desde los estudios de 1800 con el método de dilución en el que se utilizaba hidrógeno para el cálculo de las CRF, posteriormente el uso de helio empleando la técnica de lavado intentó estandarizar la distribución de este gas para medir la CRF; no obstante, la complejidad de este método, así como la necesidad de desconexión y riesgo de desreclutamiento lo hicieron inviable.

En 1940 Darling generalizó un método con fracción fija inspirada de gas, utilizando hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), oxígeno y nitrógeno. En 1993 Fretschner midió la CRF empleando el método de lavado con nitrógeno en un modelo pulmonar en pacientes ventilados con cambios en la FiO<sub>2</sub> de 0.3, el método incluyó señales de sincronización con el flujo y el FiO<sub>2</sub> inspirado, las versiones más modernas utilizan sensores de concentración de gas del circuito de ventilación para calcular la CRF sin interrumpir el ciclo de ventilación, gracias a la respuesta más rápida de los sensores, de controles más precisos del solenoide y de las señales de sincronización del software durante el ciclo de ventilación se ha logrado la medición de la CRF.<sup>9-11</sup>

Nuestro hospital cuenta con la nueva tecnología del *Engström Care Station* de GE (Healthcare Madison WI) que mide directamente el volumen espiratorio final alterando la entrega de los niveles de FiO<sub>2</sub> por cortos períodos utilizando la medición de la capacidad volumétrica de oxígeno y CO<sub>2</sub>. Algunos autores han comparado este método con los estándares de TAC y han descubierto que se correlacionan de una manera fiable.<sup>12</sup>

### DISCUSIÓN

Las razones expuestas previamente son el motivo por el cual la monitorización de la CRF representa un manejo científico avanzado en los pacientes con ventilación mecánica que cursan con enfermedades respiratorias agudas y permite evaluar de forma directa el efecto de las terapéuticas empleadas.

En nuestro paciente se llevaron a cabo maniobras de reclutamiento convencionales, las cuales no lograron una mejoría clínica con recuperación de los índices de oxigenación y pletismográficos, desafortunadamente el paciente falleció por consecuencias inherentes a la patología tumoral y al procedimiento quirúrgico; sin embargo, mejoró su condición respiratoria. Consideramos que este tipo de estrategias de reclutamiento guiado por CRF permite que en otros pacientes con SDRA grave se vuelva una herramienta más para el tratamiento de estos pacientes con patologías graves.

## CONCLUSIÓN

Las aplicaciones de la monitorización de la CRF han sido propuestas con el objetivo principal de detectar la progresión de enfermedades y el efecto de la PEEP en pacientes con SDRA. Estudios recientes que complementan los índices tradicionales de oxigenación justifican la monitorización de la CRF durante los ajustes de la PEEP para optimizar el reclutamiento pulmonar. El uso de la monitorización de la CRF también abre la puerta para extender la estrategia de protección pulmonar a casos en los que se busque evaluar el daño por estrés y tensión pulmonar, monitorizar estrategias no convencionales como la posición prono, maniobras de reclutamiento, succión y destete de la ventilación mecánica, pues todas son maniobras que directa o indirectamente afectan la CRF.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Adams A. Monitoring FRC in ventilated patients. *Critical Decisions*. Tomado de: [www.critical-decisions.org](http://www.critical-decisions.org) el 20.07.15.
2. Rimensberger PC, Bryan AC. Measurement of functional residual capacity in the critically ill. Relevance for the assessment of respiratory mechanics during mechanical ventilation. *Intensive Care Med*. 1999;25:540-542.
3. Heinze H, Eichler W. Measurement of functional residual capacity during intensive care treatment: the technical aspects and its possible clinical applications. *Acta Anesthesiol Scand*. 2009;53 (9):1121-1130.
4. Lambermont B, Ghuysen, Janssen N, Morimont P, Hartstein G, Gerard P, et al. Comparison of functional residual capacity and static compliance of the respiratory system during a positive end expiratory Pressure (PEEP) ramp procedure in a experi-
5. Rylander C, Hogman M, Perchiazzi, Magnusson A, Hedenstierna G. Functional residual capacity and respiratory mechanics as indicators of aeration and collapse in experimental lung injury. *Anesth Analg*. 2004;98:782-789.
6. Bikker IG, van Bommel J, Reis Miranda D, Bakker J, Gommers D. End expiratory lung volume during mechanical ventilation: a comparison with reference value and the effect of positive end-expiratory pressure in intensive care unit patients with different lung conditions. *Crit Care*. 2008;12(6):R145.
7. Bikker IG, Leonhardt S, Bakker J, Gommers D. Lung volume calculated from electrical impedance tomography in ICU patients at different PEEP levels. *Intensive Care Med*. 2009;35:1362-1367.
8. Chiumello D, Carlesso E, Cadrinher P, Caironi P, Valenza F, Polli F, et al. Lung stress and strain during mechanical ventilation for acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2008;178(4):346-355.
9. Fretschn R, Deuchs H, Weitnauer A, Brunner JX. A simple method to estimate functional residual capacity in mechanical ventilated patients. *Intensive Care Med*. 1993;19(7):372-376.
10. Darling RC, Cournand A, Richards DW. Studies on the intrapulmonary mixture of gases- An open circuit method for measuring residual air. *J Clin Invest*. 1940;19:609-618.
11. Weissman D, Reissman H, Maisch S, Füllekrug B, Schulte J. Monitoring of functional residual capacity by an oxygen Washin/washout ;technical description and evaluation. *J Clin Monit Comput*. 2006;20:251-260.
12. Chiumello D, Cressoni M, Chierichetti M, Tallarini F, Botticelli M, Berto V, et al. Nitrogen washout/washin, helium dilution and computed tomography in the assessment of end expiratory lung volume. *Crit Care*. 2008;12(6):R150.

### Correspondencia:

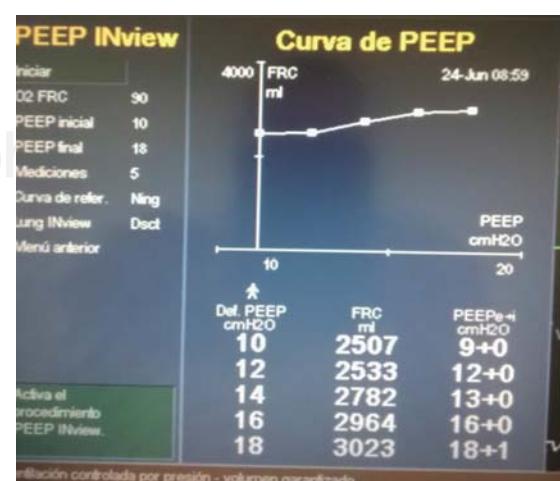
Dr. Manuel José Rivera Chávez  
Boulevard Milenio Núm. 130,  
Col. San Carlos la Roncha,  
León, Guanajuato, 37660, México.  
Tel: 4772662405  
E-mail: manrivlib@hotmail.com

## Anexo 1.

**Primera fase:** monitoreo de capacidad residual funcional (CRF) inicial con niveles de presión positiva al final de la expiración (PEEP) que fueron de 14 a 18 mostrando máximo reclutamiento obtenido con PEEP de 18: se alcanzaron 2,202 mL.



**Segunda fase:** monitoreo de CRF inicial con niveles de PEEP que fueron de 14 a 19 mostrando máximo reclutamiento obtenido con PEEP de 18: se alcanzaron 3,023 mL.



## Anexo 2.

**Tabla de gasometrías.**

GA inicial Modo volumen control	PRVC	APRV	Con CRF PEEP 18 Primera fase Modo presión control VG	Con CRF PEEP 18 Segunda fase Modo presión control VG
Ph 7.32	Ph 7.35	Ph 7.46	Ph 7.37	Ph 7.37
CO <sub>2</sub> 45	CO <sub>2</sub> 28	CO <sub>2</sub> 30	CO <sub>2</sub> 32	CO <sub>2</sub> 35
PO <sub>2</sub> 60	PO <sub>2</sub> 79	PO <sub>2</sub> 86	PO <sub>2</sub> 97	PO <sub>2</sub> 145
Kirby 60	Kirby 79	Kirby 86	Kirby 97	Kirby 145
FiO <sub>2</sub> 100%	FiO <sub>2</sub> 100%	FiO <sub>2</sub> 100%	FiO <sub>2</sub> 100%	FiO <sub>2</sub> 100%
P máx. 45	P máx. 38	P máx. 35	P máx. 32	P máx. 28
PEEP 16	PEEP 16	P mín 15 P media 32		

Abreviaturas: GA = Gasometría. PRVC = *Pressure realize ventilation control*. APRV = *Airway pressure realize ventilation control*. CRF = Capacidad funcional residual. VG = Volumen garantizado. PEEP = Presión positiva al final de la expiración.