

UNIVERSIDAD DE VALENCIA

Programa 3139 de Doctorado en Medicina



VNIVERSITAT  
E VALÈNCIA

**ESTUDIO OBSERVACIONAL PROSPECTIVO DE VALORACIÓN  
PERIOPERATORIA ECOGRÁFICA DEL DIAFRAGMA (D-  
POCUS) PARA LA DETECCIÓN DEL BLOQUEO FRÉNICO Y  
PREDICCIÓN DE FALLO VENTILATORIO POSTOPERATORIO  
EN PACIENTES QUE RECIBAN BLOQUEOS DEL PLEXO  
BRAQUIAL POR ENCIMA DE LA CLAVÍCULA**

**TESIS DOCTORAL**

Presentada por Pablo Kot Baixauli

Dirigida por  
José De Andrés Ibáñez  
Lucas Rovira Soriano

Valencia, Marzo 2023



**Tesis doctoral:**

Estudio observacional prospectivo de valoración perioperatoria ecográfica del diafragma (D-POCUS) para la detección del bloqueo frénico y predicción de fallo ventilatorio postoperatorio en pacientes que reciban bloqueos del plexo braquial por encima de la clavícula.

**Doctorando:**

Pablo Kot Baixauli

**Directores:**

Lucas Rovira Soriano

José De Andrés Ibáñez



*A mi Mujer y mis Hijos.  
Sois mi inspiración, mi motivación, mi vida.*



## **AGRADECIMIENTOS**





- Al Dr Lucas Rovira y el Dr José De Andrés, mis directores de Tesis por su tiempo y dedicación.
- A mi familia por su paciencia y su comprensión.
- A todos los miembros del Servicio de Anestesia, Reanimación y Tratamiento del Dolor del Consorcio Hospital General Universitario de Valencia por su colaboración en la realización del estudio.
- Al personal de enfermería y auxiliares de la Unidad de Recuperación Post Anestésica del Consorcio Hospital General Universitario de Valencia por su colaboración en la realización del estudio.



## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**



**AUC:** *Area under curve* (área bajo la curva)

**C:** Raíz cervical

**Col.:** Colaboradores

**CVF:** Capacidad Vital Forzada

**D.E.:** Desviación estándar

**ED:** Excursión diafragmática

**EMG:** Electromiografía

**EPOC:** Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica

**ERGE:** Enfermedad por Reflujo Gastroesofágico

**EVA:** Escala Visual Analógica del Dolor

**FA:** Fracción de acortamiento del diafragma

**FEV1:** *Forced Expiratory Volume*

(Volumen espirado forzado en el 1º segundo)

**FR:** Frecuencia respiratoria

**HTA:** Hipertensión Arterial

**IC:** Intervalo de confianza

**IMC:** índice de masa corporal

**IOT:** Intubación oro-traqueal

**N:** número

**OR:** *Odds Ratio*

**Pdi:** Presión Transdiafragmática

**PEF:** *Peak Expiratory Flow* (Flujo espiratorio máximo)

**POCUS:** *Point Of Care Ultrasound*

**ROC:** *Receiver Operating Characteristic*

**Rpm:** Respiraciones por minuto

**Vs:** *versus*

**SAOS:** Síndrome de la apnea

obstructiva del sueño

**SNC:** Sistema Nervioso Central

**TBC:** Tuberculosis

**UCI:** Unidad de Cuidados Intensivos

**URPA:** Unidad de recuperación post-

anestésica

**VATS:** *Video-Assisted Thoracic*

*Surgery* (cirugía asistida por

videotoracoscopia)

**VHC:** Virus de la hepatitis C

**VMNI:** Ventilación mecánica no

invasiva

**VPN:** Valor Predictivo Negativo

**VPP:** Valor Predictivo Positivo

# ÍNDICE





<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>XV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS</b> .....	<b>XXI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Diafragma</b> .....	<b>3</b>
1.1 Anatomía .....	3
1.2 Función.....	4
<b>2. Evaluación de la función diafragmática</b> .....	<b>5</b>
2.1 Espirometría .....	5
2.2 Radiografía .....	5
2.3 Fluoroscopia .....	6
2.4 Presión Transdiafragmática (Pdi).....	6
2.5 Electromiografía.....	7
2.6 Ecografía .....	7
<b>3. Disfunción del diafragma</b> .....	<b>10</b>
3.1 Disfunción diafragmática por afectación del Sistema Nervioso Central	10
3.2 Disfunción diafragmática por afectación de la médula espinal.....	11
3.3 Disfunción diafragmática por afectación del nervio frénico .....	11
3.4 Disfunción diafragmática por enfermedades neuromusculares.....	11
3.5 Disfunción diafragmática en enfermedades pulmonares .....	12
3.6 Disfunción diafragmática en el enfermo crítico .....	12

<b>4. Disfunción del diafragma en el perioperatorio</b> .....	<b>14</b>
4.1 Disfunción diafragmática secundaria a la técnica quirúrgica.....	14
4.2 Disfunción diafragmática secundaria a la técnica anestésica.....	18
4.3 Evaluación preoperatoria de la función diafragmática.....	25
<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b> .....	<b>27</b>
<b>1. Hipótesis</b> .....	<b>29</b>
<b>2. Objetivos</b> .....	<b>29</b>
2.1 Objetivo principal.....	29
2.2 Objetivos secundarios .....	29
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
<b>1. Diseño</b> .....	<b>33</b>
1.1 Tamaño muestral .....	33
1.2 Criterios .....	34
<b>2. Metodología</b> .....	<b>34</b>
<b>3. Recogida de datos</b> .....	<b>37</b>
3.1 Variable principal .....	37
3.2 Variables adicionales .....	38
<b>4. Análisis estadístico</b> .....	<b>39</b>
4.1 Estadística descriptiva .....	39
4.2 Inferencia estadística .....	39
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>41</b>
<b>1. Variables Epidemiológicas</b> .....	<b>43</b>
<b>2. Objetivo principal</b> .....	<b>46</b>

<b>3. Objetivos secundarios .....</b>	<b>47</b>
3.1 Valorar la tasa de bloqueo mediante la determinación de la FA y ED del hemidiafragma ipsilateral antes y después del bloqueo loco-regional por encima de la clavícula.....	47
3.2 Valorar el comportamiento perioperatorio de ambos hemidiafragmas (la relación existente entre la función ipsilateral y contralateral) durante una cirugía con riesgo de bloqueo agudo ipsilateral.....	47
3.3 Valorar la FA y ED global (suma de función ipsilateral + contralateral al bloqueo) antes y después del bloqueo loco-regional .....	49
3.4 Relacionar si existen diferencias en la función diafragmática (función ipsilateral, contralateral y global) entre los pacientes que sufren síntomas respiratorios en el postoperatorio y los que no.....	50
3.5 Incidencia de fallo ventilatorio postoperatorio por otras causas (bloqueo neuromuscular, fármacos opioides).....	54
3.6 Establecer un punto de corte de FA y ED con mayor sensibilidad y especificidad para predecir pacientes con fallo respiratorio postoperatorio.....	55
3.7 Valorar función respiratoria espirométrica en los pacientes con bloqueo regional por encima de la clavícula.....	56
3.8 Factores epidemiológicos asociados con riesgo incrementado de fallo ventilatorio (sexo, edad, factores de riesgo, radiografía preoperatoria).....	56
3.9 Analizar factores relacionados con la técnica (tipo de bloqueo, volumen y concentración de anestésico) y su relación con la disfunción diafragmática .....	57
<b>4. Caracterización según incremento de la función diafragmática .....</b>	<b>59</b>
4.1 Relación con variables antropométricas.....	59
4.2 Relación con disfunción ipsilateral .....	60

4.3 Relación con función previa .....	60
4.4 Modelización del incremento en la función contralateral .....	61
4.5 Relación con la aparición de complicaciones .....	61
<b>5. Grado de analgesia y satisfacción de los pacientes.....</b>	<b>61</b>
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>62</b>
<b>1. Evolución perioperatoria del diafragma .....</b>	<b>65</b>
<b>2. Técnicas de bloqueo “ahorradoras de diafragma” .....</b>	<b>67</b>
<b>3. Complicaciones respiratorias postoperatorias .....</b>	<b>68</b>
<b>4. POCUS .....</b>	<b>70</b>
<b>5. Predictores .....</b>	<b>71</b>
<b>6. Limitaciones .....</b>	<b>73</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>PUBLICACIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>83</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>105</b>

## **ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS**



**FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Anatomía del nervio frénico y su relación con el plexo braquial .....	3
<b>Figura 2.</b> Ecografía diafragmática en zona de aposición costal .....	8
<b>Figura 3.</b> Excursión diafragmática medida por ecografía en modo M.....	9
<b>Figura 4.</b> Posición para medición ecográfica de la FA.....	35
<b>Figura 5.</b> Posición para medición ecográfica de la ED .....	35
<b>Figura 6.</b> Ecografía modo M con mediciones del grosor del diafragma en inspiración y expiración para en cálculo de la FA.....	36
<b>Figura 7.</b> Medición de la excursión diafragmática por ecografía.....	36
<b>Figura 8.</b> Pacientes con factores de riesgo de complicaciones respiratorias .....	44
<b>Figura 9.</b> Variación de la función diafragmática medida por ecografía (FA) tras el bloqueo anestésico.....	48
<b>Figura 10.</b> Variación individual de la función diafragmática contralateral medida por ecografía (FA).....	48
<b>Figura 11.</b> Comparación de la función de ambos diafragmas entre el grupo de pacientes con complicaciones y sin complicaciones respiratorias postoperatorias.....	51
<b>Figura 12.</b> Diferencia de la función diafragmática ipsilateral y contralateral antes- después del bloqueo medida con FA por ecografía en pacientes con y sin complicaciones respiratorias postoperatorias .....	52
<b>Figura 13.</b> Comparación del grado de incremento contralateral según aparición de complicaciones .....	53
<b>Figura 14.</b> Relación de pacientes con o sin bloqueo neuromuscular (BNM) en función de la aparición de complicaciones respiratorias .....	54
<b>Figura 15.</b> Curva ROC de la FA global posoperatoria para la predicción de complicaciones respiratorias.....	56

**Figura 16.** Correlación de Pearson entre el volumen de anestésico local utilizado y la diferencia de FA ipsilateral antes y después del bloqueo ..... 57

**Figura 17.** Grado de satisfacción de los pacientes con la técnica analgésica ..... 62

## **TABLAS**

**Tabla 1.** Descripción variables de los pacientes ..... 43

**Tabla 2.** Ecografía diafragmática (FA) en el total de pacientes ..... 46

**Tabla 3.** Relación entre bloqueo frénico e incremento contralateral ..... 49

**Tabla 4.** Ecografía diafragmática (FA) en pacientes con y sin complicaciones ..... 51

**Tabla 5.** Relación del uso de fármacos y complicaciones respiratorias ..... 55

**Tabla 6.** Relación entre antropometría y el incremento de la función diafragmática contralateral ..... 58

**Tabla 7.** Relación de la FA previa con el incremento contralateral según grado de bloqueo ipsilateral ..... 61



# **INTRODUCCIÓN**

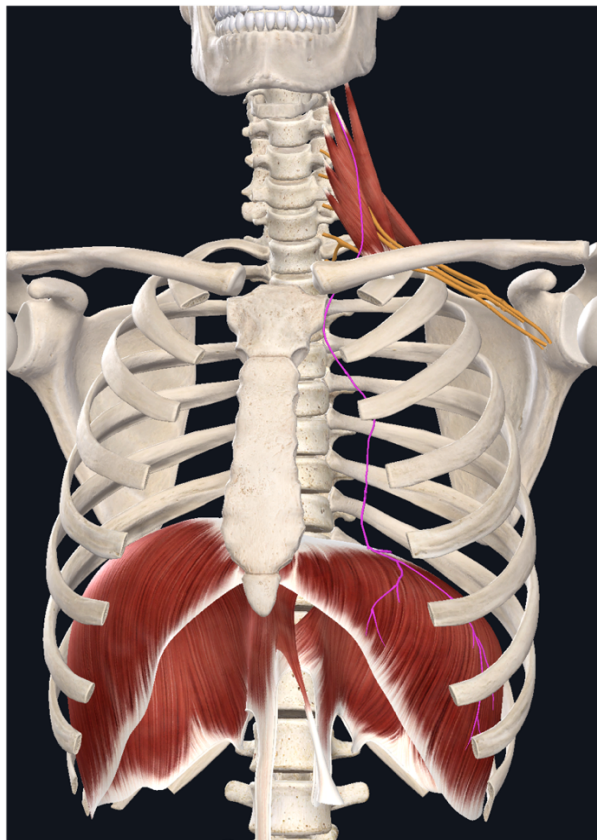


## 1. Diafragma

### 1.1 Anatomía

El diafragma es un músculo situado entre la caja torácica y el abdomen, separando ambas cavidades. Tiene forma de cúpula con su cara torácica convexa y se inserta en su parte anterior en la apófisis xifoides del esternón; en sus partes laterales en la zona de aposición costal; y en su parte posterior en los ligamentos arcuatos y las primeras vértebras lumbares mediante haces musculares conocidos como pilares(1).

El tendón central divide el músculo en dos hemidiafragmas (derecho e izquierdo). Ambos están inervados por los respectivos nervios frénicos. Estos tienen su origen en las raíces de C3 a C5. Discurren en el cuello sobre la fascia que cubre el músculo escaleno anterior en el triángulo supraclavicular(2), penetra en la cavidad torácica y desciende por su parte posterior y sobre el pericardio hasta inervar el músculo diafragma (figura 1).



**Figura 1.** Anatomía del nervio frénico y su relación con el plexo braquial.

Entre el 60 y el 75% de la población presenta un nervio frénico accesorio que emerge principalmente de la raíz C<sub>5</sub>(3).

### 1.2 Función

El diafragma es el músculo principal que interviene en la ventilación. Durante la inspiración el diafragma se contrae. Esta contracción genera un aumento de la presión transdiafragmática, que provoca un desbalance entre la presión intraabdominal y la presión pleural(4,5). El diafragma desciende hacia la cavidad abdominal y se produce una expansión de los pulmones con entrada de aire por presión negativa. Durante la espiración el diafragma se relaja y el proceso se invierte. A pesar de que en la ventilación también participa musculatura intercostal y musculatura accesorio, el diafragma es el responsable de alrededor del 80% del trabajo ventilatorio en condiciones normales(6,7).

Al margen de su función principal, el diafragma tiene un papel relevante en varios aspectos(5,6). Mediante la modulación de la presión abdominal contribuye al parto y la defecación. El sistema linfático diafragmático juega un papel importante en el drenaje de fluidos desde la cavidad peritoneal. Es determinante como barrera antirreflujo, en el mecanismo del vómito, al tragar, al expectorar y al estornudar. Además, el diafragma está envuelto en el control de la estabilidad postural, y tiene cierta importancia en la función cardíaca(5,6).

## 2. Evaluación de la función diafragmática

La evaluación de la función diafragmática puede realizarse de diferentes maneras. Mediante la exploración clínica podemos identificar la excursión diafragmática o el uso de musculatura accesoria. La espirometría puede indicarnos de forma indirecta la funcionalidad del diafragma. Las pruebas complementarias que valoran el diafragma de forma directa incluyen la radiografía de tórax, la fluoroscopia, la electromiografía, la medición de la presión transdiafragmática y la ecografía.

### 2.1 Espirometría

Las pruebas funcionales respiratorias evalúan diferentes volúmenes que se generan durante la ventilación. Estas pruebas pueden ayudar a diagnosticar debilidad diafragmática, pero su variabilidad, necesidad de colaboración del paciente e influencia de otros factores limitan su capacidad diagnóstica. Los pacientes con una disfunción diafragmática muestran un patrón restrictivo con una reducción en la CVF. En pacientes con parálisis unilateral existe una reducción de la CVF de hasta un 20-30% (70-80% del valor predicho), mientras que esta reducción alcanza valores de hasta un 50-70% (30-50% del valor predicho) en casos de afectación bilateral. Así mismo, la presión máxima inspiratoria y el *sniff test* también se ven reducidos un 60% y 30% de sus valores respectivamente(8).

### 2.2 Radiografía

La radiografía de tórax permite visualizar la forma y posición de ambas cúpulas diafragmáticas. Se puede realizar en posición posteroanterior, lateral o anteroposterior en caso de pacientes encamados. Generalmente el hemidiafragma derecho se encuentra en una posición discretamente más elevada que el contralateral, probablemente por la

presión que ejerce el hígado subyacente(6). Una elevación más acusada podría indicar una parálisis hemidiafragmática. La sensibilidad, especificidad, VPP y VPN de la radiografía de tórax para el diagnóstico de disfunción diafragmática son del 90%, 44%, 33% y 93% respectivamente(9). En el caso de afectación bilateral se observa elevación de ambos hemidiafragmas, compatible con otras condiciones como poca inspiración durante la técnica, obesidad o ascitis, lo cual limita la sensibilidad de la prueba(10).

### 2.3 Fluoroscopia

La fluoroscopia es una prueba de imagen funcional que permite observar el movimiento del diafragma en tiempo real. Durante la inspiración se objetiva un desplazamiento caudal de las cúpulas diafragmáticas. Este movimiento se conoce como excursión diafragmática. Una anomalía en la excursión diafragmática podría indicar disfunción diafragmática. Al igual que la radiografía, tiene una alta sensibilidad para detectar parálisis o debilidad unilateral, pero presenta una alta tasa de falsos positivos y falsos negativos en afectación bilateral(10).

### 2.4 Presión Transdiafragmática (Pdi)

La medición de la Pdi se realiza a través de un catéter nasogástrico con transductores en cavidad torácica y abdominal. Calcula la diferencia de presiones entre el esófago y el estómago. Se puede realizar durante la máxima inspiración o durante la estimulación del nervio frénico. Se considera normal una Pdi superior a 20cm H<sub>2</sub>O (10cm H<sub>2</sub>O si se examina de forma unilateral)(8). La sensibilidad, especificidad, VPP y VPN de la Pdi para el diagnóstico de disfunción diafragmática es del 95%, 87,5%, 95% y 87,5% respectivamente(11). Aunque se considera el *gold standard* en el diagnóstico de disfunción diafragmática, el valor obtenido depende del volumen ventilatorio generado y

además se trata de una prueba molesta, invasiva, y requiere mucho tiempo en su realización.

## 2.5 Electromiografía (EMG)

La EMG se realiza insertando una aguja en la zona de aposición del diafragma. Es una prueba que permite diferenciar entre causas miopáticas y neuropáticas de parálisis. Tiene una alta sensibilidad y especificidad. Sin embargo, se trata de una prueba invasiva, difícil de realizar y con riesgo de neumotórax(12).

Recientemente se ha descrito que el estudio de la conducción del nervio frénico de forma no invasiva tiene buena correlación con la Pdi alcanzando los mismos valores predictivos(11).

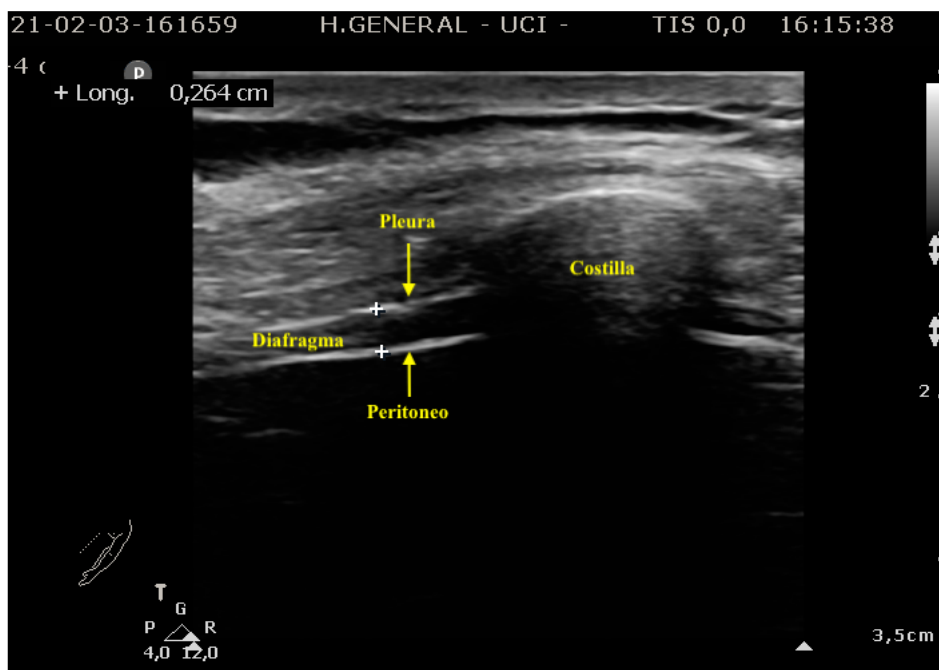
## 2.6 Ecografía

La ecografía es una técnica sencilla, barata y fácil de realizar. Además, el desarrollo de ecógrafos portátiles ha permitido que sea una exploración que se puede realizar a pie de cama, en el punto de atención del paciente. La valoración del diafragma mediante ecografía se puede realizar valorando el grosor del diafragma, su cambio de grosor o su desplazamiento, con métodos absolutos o relativos, las dos exploraciones mas frecuentemente utilizadas son la fracción de acortamiento del grosor diafragmático (FA), y la excursión diafragmática (ED).

### 2.6.1 Fracción de acortamiento del diafragma (FA)

La valoración se realiza en la zona de aposición del diafragma mediante una sonda lineal de alta frecuencia en la línea axilar anterior a nivel del 7º u 8º espacio intercostal. El músculo diafragma puede verse como una banda hipoecogénica que se sitúa entre 2 líneas

hiperecogénicas que corresponden a la pleura y el peritoneo (figura 2). La distancia entre ambas líneas es el grosor del diafragma. Este grosor cambia durante la ventilación, aumentando durante la inspiración al contraerse el musculo y disminuyendo durante la espiración al relajarse. En condiciones normales el grosor se sitúa en un rango entre 0,21 – 0,31 cm en inspiración; y 0,14 – 0,22 cm en espiración(13). Boon y col. estudiaron 150 sujetos sanos determinando como límite inferior de la normalidad un grosor de 0,15 cm (14). Para evaluar la función del diafragma se debe medir la diferencia de grosor entre ambos estados (contraído y relajado) para determinar en qué proporción se engrosa. Esto se conoce como fracción de acortamiento del diafragma y su cálculo se realiza mediante la fórmula  $FA = (\text{Grosor en inspiración} - \text{Grosor en espiración}) / \text{Grosor en espiración} \times 100$ . En condiciones normales la FA se sitúa en un rango entre 28-96%, siendo sugestivo de parálisis diafragmática una FA menor del 20%(12,14). La sensibilidad y especificidad de la ecografía diafragmática para el diagnóstico de disfunción diafragmática neuromuscular es del 93% y 100% respectivamente(15).

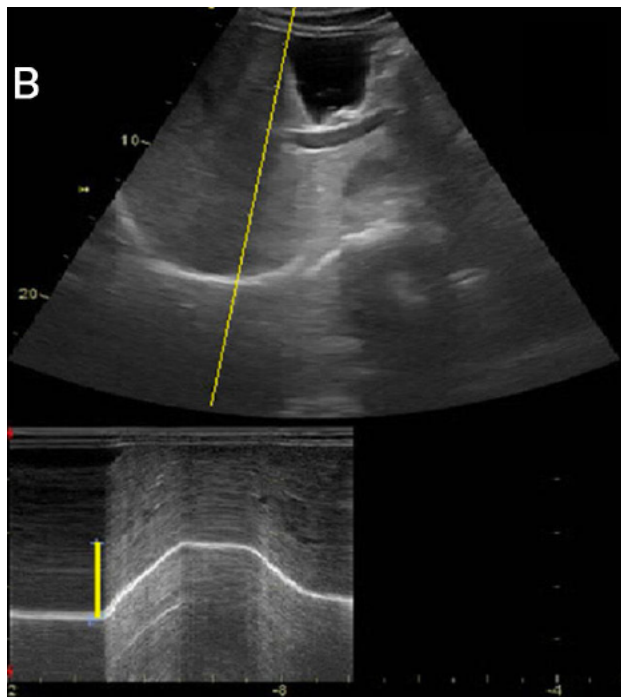


**Figura 2.** Ecografía diafragmática en zona de aposición costal.



### 2.6.2 Excursión diafragmática (ED)

La valoración se realiza mediante una sonda convexa de baja frecuencia en la zona subcostal anterior, en la línea medio-clavicular. La orientación es posterior y cefálica para identificar la parte posterior de la cúpula diafragmática. El hemidiafragma derecho se visualiza a través de la ventana hepática. El hemidiafragma izquierdo es más difícil de visualizar por el menor tamaño del bazo y la interposición de aire en las asas intestinales y estómago. La exploración del diafragma se realiza en modo M, que permite valorar el movimiento durante el tiempo (figura 3). De este modo nos permite medir la excursión diafragmática como la distancia cráneo-caudal que se desplaza el diafragma durante la máxima inspiración, además de poder medir la velocidad en tiempo. En condiciones normales la ED se sitúa en un rango entre 4,46 cm -7,34 (13). La ausencia de movimiento o un desplazamiento paradójico son sugestivos de parálisis diafragmática. Se ha propuesto una ED mínima de 2,5 cm como el punto de corte para excluir parálisis(12).



**Figura 3.** Excursión diafragmática medida por ecografía en modo M.

### **3. Disfunción del diafragma**

La disfunción del diafragma es una pérdida en la capacidad de contracción del músculo. Esta pérdida de función puede ser parcial o total, temporal o definitiva, y puede afectar a uno o ambos hemidiafragmas en función de la causa. Los pacientes con parálisis unilateral generalmente son asintomáticos en condiciones normales de reposo(8). Esto es debido a que el lado contralateral y la musculatura accesoria son capaces de generar volúmenes adecuados. Pero en ocasiones pueden presentar sintomatología si coexisten condiciones como obesidad, debilidad de otros grupos musculares o enfermedades cardíacas y pulmonares(8). En estos casos se pueden presentar complicaciones respiratorias como disnea, neumonía o fallo ventilatorio con necesidad de ventilación mecánica(12).

Las causas de disfunción diafragmática son múltiples y pueden producirse a distintos niveles. La disfunción puede ser debida a la presencia de patología a nivel cerebral, medular, en el nervio frénico, a enfermedades neuromusculares o enfermedades respiratorias. Otras causas de disfunción incluyen la polineuropatía del enfermo crítico y el perioperatorio de determinadas cirugías.

#### **3.1 Disfunción diafragmática por afectación del Sistema Nervioso Central**

La función del diafragma puede verse afectada por enfermedades relacionadas con el SNC a nivel cerebral. Pacientes con esclerosis múltiple tienen una FA significativamente menor que sujetos sanos(16). En el 88% de pacientes con hemiparesia residual tras accidente cerebrovascular isquémico se ha objetivado una disfunción del hemidiafragma ipsilateral(17).

### 3.2 Disfunción diafragmática por afectación de la médula espinal

Una afectación de la médula espinal a nivel cervical puede provocar una disfunción diafragmática. Pacientes con esclerosis lateral amiotrófica tienen una reducción significativa de la FA y de la CVF en comparación con sujetos sanos(18). Un elevado porcentaje de pacientes con atrofia muscular espinal (74%) presentan un patrón de dismotilidad de la contracción del diafragma medida por ecografía(19). Otras causas de debilidad o parálisis diafragmática incluyen poliomielitis,iringomielia o lesiones traumáticas causantes de tetraplejia(8,10).

### 3.3 Disfunción diafragmática por afectación del nervio frénico

La compresión del nervio frénico a lo largo de su trayecto puede causar afectación de la función del diafragma. Se han descrito casos de parálisis por compresión de la raíz por hernia discal(20), compresión vascular en el síndrome *Red Cross*(21) y en aneurisma de Aorta(7), o por tumores como el cáncer de pulmón(7,22). Otras etiologías que afectan al nervio frénico incluyen el síndrome Guillain-Barré(23,24), la enfermedad de Charcot-Marie-Tooth(25) y otras neuropatías de causa infecciosa, farmacológica o idiopática(26).

### 3.4 Disfunción diafragmática en enfermedades neuromusculares

La fuerza de contracción del diafragma puede verse afectada en enfermedades musculares o de la unión neuromuscular. En ocasiones, estos pacientes pueden requerir soporte ventilatorio en el domicilio o en una UCI. La Miastenia Gravis y el Síndrome de Lambert-Eaton son enfermedades que presentan debilidad muscular por anomalías en la unión neuromuscular. La afectación del diafragma está descrita en estos casos(24,27) y puede generar disnea e insuficiencia respiratoria aguda. Distrofias musculares congénitas o

adquiridas también son causas descritas de insuficiencia ventilatoria por debilidad diafragmática(26).

### 3.5 Disfunción diafragmática en enfermedades pulmonares

Tradicionalmente se han relacionado enfermedades pulmonares obstructivas como el asma o EPOC, que generan hiperinflación pulmonar, con la debilidad diafragmática(10). Sin embargo, no se han encontrado diferencias significativas en la FA entre sujetos sanos y pacientes con EPOC(28). Por lo tanto, en estos casos, la alteración de la función diafragmática parece ser consecuencia al desplazamiento insuficiente del diafragma, que a pesar de mantener una fuerza adecuada, no se traduce a una Pdi efectiva.

### 3.6 Disfunción diafragmática en el enfermo crítico

La disfunción diafragmática en pacientes sometidos a ventilación mecánica en UCI es muy frecuente. Entre el 60 y 80% de estos pacientes presentan una debilidad diafragmática significativa(29). La fuerza del diafragma es un factor determinante de destete de ventilación mecánica y de mortalidad en UCI(29–31). La etiología de esta debilidad es multifactorial, pero se definen dos causas principales. La disfunción diafragmática inducida por la ventilación mecánica se considera la causa principal, se debe a una atrofia muscular que se desarrolla en pacientes con ventilación mecánica prolongada. La segunda causa que contribuye a la debilidad diafragmática es la infección. A diferencia de la que es producida por ventilación mecánica, la disfunción diafragmática inducida por sepsis no sólo afecta a nivel muscular, sino que existe una afectación neuropática(32). Los mecanismos fisiopatológicos incluyen la activación de vías proteolíticas, producción de citokinas y generación de estrés oxidativo.

La ecografía diafragmática ha demostrado ser una buena herramienta para predecir el éxito en el destete de la ventilación mecánica de los pacientes en UCI(33–35). Hay que tener en cuenta que la evaluación mediante esta prueba debe realizarse en modos en los que no implique un control absoluto del ventilador, es decir, debe realizarse en modos de ventilación espontánea o con presión de soporte. Varios investigadores han establecido diferentes puntos de corte para el éxito del destete de la ventilación mecánica con alta sensibilidad y especificidad. DiNino y col establecieron como punto de corte una FA  $\geq 30\%$  con una sensibilidad y especificidad del 88% y 71%, El VPP y VPN fueron 91% y 63%(35). Farghaly y col. asociaron con el éxito de la extubación una ED  $\geq 10.5$  mm, y una FA  $\geq 34.2\%$  con una sensibilidad de 87.5% y 90%, y especificidad del 71,5% y 64,3% respectivamente(33). Ferrari et al reportó que un valor de corte de FA  $> 36\%$  se asoció con el éxito en el destete del respirador con una sensibilidad del 82%, una especificidad del 88%, un VPP de 92% y un VPN de 75%(34). Otros estudios muestran que la FA se correlaciona con la Pdi, siendo buen indicador de la función diafragmática en pacientes con ventilación mecánica(36,37); mientras que la ED no se correlaciona y, por tanto, no debe usarse para la evaluación del diafragma en estos pacientes(37).

## **4. Disfunción del diafragma en el perioperatorio**

La incidencia de complicaciones respiratorias postoperatorias es del 2,8%(38), y supone un riesgo importante que siempre debe tenerse presente. Supone un aumento significativo en la morbilidad y mortalidad de los pacientes, así como los costes sanitarios(39). Dentro de los factores que pueden contribuir a su desarrollo, la disfunción diafragmática en el perioperatorio es un factor determinante(40–42).

La disfunción del diafragma en el perioperatorio puede ser debida a causas derivadas de la cirugía o derivadas de la técnica anestésica. Cualquier anomalía en la función puede conllevar la aparición de disnea, aumento del trabajo respiratorio, hipoventilación, hipoxemia, atelectasias, neumonía, necesidad de ventilación mecánica o dificultad en el destete de ésta. Las causas que generan disfunción diafragmática son múltiples. Pueden estar relacionadas con el dolor postoperatorio, lesión del nervio frénico o del músculo diafragma, efecto residual de fármacos sistémicos o de la anestesia regional. Las causas de disfunción en el perioperatorio pueden dividirse en función de la técnica quirúrgica y la técnica anestésica.

### **4.1 Disfunción diafragmática secundaria a la técnica quirúrgica**

Cualquier cirugía que presente el riesgo de una lesión en el nervio frénico o el músculo diafragma puede causar una disfunción diafragmática, siendo la lesión del nervio frénico durante la cirugía cardio-torácica la causa más frecuente de parálisis diafragmática(7).

#### **4.1.1 Cirugía en región cervical**

El nervio frénico tiene un trayecto en el cuello desde su origen en las raíces C3-C5 hasta que penetra en el tórax. Durante una cirugía realizada en la región cervical puede lesionarse el nervio a lo largo de este trayecto. La parálisis del nervio frénico tras estas

cirugías es más frecuente en pacientes con fibrosis, edema, o infiltración tumoral en el nervio frénico o su proximidad, o en pacientes con sangrado difuso o ligadura de los vasos sanguíneos cerca del nervio(43). Se ha reportado una incidencia de parálisis diafragmática tras cirugía de disección de cuello del 7-8%(43,44), habiendo recuperación de la función medida por ecografía 1 mes después en un tercio de los pacientes(44). La monitorización neurofisiológica intraoperatoria ha sido estudiada en cirugía de columna cervical, concluyendo que es una técnica recomendable en cirugías de columna cervical o de región supraclavicular, sobre todo si las estructuras neurales responsables de la función diafragmática están en riesgo(45).

### 4.1.2 Cirugía torácica

La disfunción diafragmática tras cirugía torácica es un hecho bien documentado(7,40,41,46,47). Las causas incluyen la lesión directa sobre el nervio frénico o debilidad selectiva del diafragma por disfunción miofibrilar(48). La ecografía diafragmática es una herramienta diagnóstica que ha sido utilizada para evaluar la disfunción, confirmar o descartar lesión del nervio frénico(49). Spadaro y col. reportaron en su estudio una incidencia de disfunción hemidiafragmática del lado intervenido medida por ED en el 68% de sus pacientes(40). Este hecho se asoció significativamente con el desarrollo de complicaciones pulmonares postoperatorias (OR 5,5). El mayor factor de riesgo para la aparición de disfunción diafragmática fue el acceso por toracotomía vs VATS (OR 3,95). Blichfeldt-Eckhardt y col. realizaron un ensayo infiltrando en nervio frénico con anestésico local concluyendo que se trata de una técnica eficaz para reducir la incidencia de dolor de hombro ipsilateral después de una cirugía torácica(50). Sin embargo, esta técnica podría impedir la adecuada reexpansión pulmonar

por disfunción del diafragma y aumentar la incidencia de complicaciones postoperatorias(51).

#### 4.1.3 Cirugía cardíaca

Existen diferentes mecanismos bien reconocidos que son causa de lesión frénica durante la cirugía cardíaca. Durante algunos procedimientos se realizan maniobras de cardioplejia que incluyen la aplicación de suero salino congelado en la cavidad pericárdica. La íntima relación de los nervios frénicos con el pericardio los hace vulnerables a una lesión desmielinizante por congelación(52–54). Se ha descrito mayor frecuencia de lesión en el nervio frénico izquierdo. Tras este tipo de lesión, hay un alto porcentaje de recuperación de la función diafragmática meses después. La lesión directa del nervio frénico durante la cirugía, o de forma indirecta por el uso de retractores puede ser causa de parálisis diafragmática(52,55). El tercer mecanismo más descrito es la lesión isquémica del nervio frénico. Durante la cirugía de bypass coronario, la resección de la arteria mamaria interna conlleva el sacrificio de la arteria pericardiofrénica. Esta arteria proporciona más de la mitad del aporte de sangre al nervio frénico. En muchas ocasiones resulta difícil distinguir el mecanismo causante, o incluso la conjunción de varios de ellos. La monitorización de los potenciales de acción durante el intraoperatorio es una técnica que ha demostrado su eficacia en la detección de daño neuronal durante la intervención(56). Sin embargo es una técnica infrautilizada, y la mayoría de casos de disfunción diafragmática se detectan durante el postoperatorio. La ecografía diafragmática ha sido utilizada para valorar la disfunción diafragmática en el postoperatorio de cirugía cardíaca. Pasero y col. reportaron una disminución significativa de la FA una semana post intervención(57). Tralhão y col reportaron en su estudio una reducción el primer día postoperatorio tanto en la ED 1,5 cm derecha e izquierda, como en las FA 20 y 24% derecha e izquierda, seguido de un retorno



a los valores preoperatorios en el quinto día postoperatorio(58). Cavayas y col. también describen en su estudio una disminución significativa de la FA de -17% tras la cirugía(41). Todos estos hallazgos sugieren que existe una debilidad diafragmática generalizada en los primeros días de postoperatorio de cirugía cardíaca al margen de la posible lesión del nervio frénico intraoperatoria.

### 4.1.4 Cirugía abdominal

La disminución de la función pulmonar tras un cirugía abdominal mayor ha sido bien documentada(42,59–62). La etiología parece ser multifactorial, pudiendo influir el neumoperitoneo, la inflamación, la incisión, el dolor o la posición del paciente. Se ha visto que la disfunción pulmonar postoperatoria es mayor en pacientes con procedimientos de hemiabdomen superior(59) y en cirugías abiertas frente a laparoscópicas(60). Kim y col llevaron a cabo un estudio para valorar la función diafragmática medida por ecografía y espirometría en pacientes sometidos a una lobectomía hepática(42). Los valores de ED mostraron una reducción significativa respecto a los basales en los días 1 y 2 del postoperatorio, habiendo una recuperación parcial el séptimo día postoperatorio. Su estudio también mostró una correlación entre los valores ecográficos y espirométricos. En un estudio similar, Ayoub y col reportaron una disminución significativa de la ED tras colecistectomía y una correlación significativa entre la ED y la capacidad inspiratoria(63). Beaussier y col evaluaron la función pulmonar mediante la presión nasal inspiratoria *sniff test* en pacientes sometidos a cirugía colorrectal(61). Ellos demostraron el papel del dolor en el desarrollo de disfunción respiratoria reportando menor incidencia en el grupo que recibió analgesia parietal frente al grupo control.

## 4.2 Disfunción diafragmática secundaria a la técnica anestésica

La disfunción del diafragma secundaria al manejo anestésico puede ser multifactorial. Las causas principales son el uso de ventilación mecánica de forma prolongada(64–66), el empleo de fármacos sistémicos o la anestesia regional.

### 4.2.1 Fármacos sistémicos

Un numeroso grupo de fármacos sistémicos que se emplean durante la anestesia pueden contribuir a la disfunción diafragmática. Agentes empleados como hipnóticos o anestésicos como el propofol, agentes halogenados, benzodiazepinas y barbitúricos generan una disfunción de la musculatura respiratoria, incluyendo el diafragma(39,67–69). De todos los anestésicos estudiados, parece que el propofol tiene el mayor efecto debilitante sobre la musculatura respiratoria(39). La ketamina, a diferencia de otros anestésicos, conserva un alto nivel de actividad de la función respiratoria durante la anestesia, y por tanto puede resultar una opción farmacológica segura para pacientes con comorbilidades de las vías respiratorias superiores sometidos a sedación quirúrgica(39). Se ha visto que asociando el uso de epidural intraoperatoria en cirugía abdominal atenúa la disfunción diafragmática por disminución de requerimientos de fármacos anestésicos sistémicos(69). Los fármacos pertenecientes al grupo de bloqueantes neuromusculares son de uso frecuente durante una anestesia general. Su acción provoca la parálisis de los músculos, lo cual proporciona condiciones ideales para la intubación orotraqueal, evita los movimientos, disminuye la presión intraabdominal, mejora la ventilación mecánica y favorece la actuación de los cirujanos sobre la musculatura. Sin embargo, la recuperación completa de la transmisión neuromuscular en el diafragma es un requisito previo para la extubación con el fin de garantizar una función diafragmática protectora y respiratoria suficiente inmediatamente después de la extubación(70).

Por otro lado, el dolor postoperatorio contribuye a la disfunción diafragmática(71), por lo que el uso de fármacos analgésicos sistémicos podría disminuir el grado de disfunción en la musculatura respiratoria en el postoperatorio.

### 4.2.2 Anestesia regional

La anestesia regional juega un papel fundamental en el manejo analgésico y/o anestésico intraoperatorio y postoperatorio de los pacientes en un porcentaje elevado de intervenciones. En cirugías de hombro y brazo la técnica más empleada es el bloqueo del plexo braquial a nivel interescalénico. La técnica, originalmente descrita por Winnie(72), se realiza administrando una cantidad variable de anestésico local (pudiendo asociarse medicación coadyuvante) entre los músculos escaleno anterior y escaleno medio. Sin embargo, esta técnica produce bloqueo del nervio frénico hasta en el 100% de los casos según algunas series(73). El bloqueo anestésico del nervio frénico provoca disfunción diafragmática en grado variable desde un grado leve-moderado hasta la parálisis completa. La duración de la disfunción está determinada por la duración del efecto del anestésico local. Dada la limitación que presenta este efecto asociado en pacientes con alto riesgo de sufrir complicaciones se han propuesto diferentes alternativas que reduzcan o minimicen el impacto de la parálisis frénica. El objetivo principal es evitar la propagación del anestésico local al nervio frénico. Las estrategias para conseguir este objetivo incluyen modificaciones en el abordaje del plexo, en dosis y tipo de anestésico local o el empleo de bloqueos alternativos al interescalénico.

#### 4.2.2.1 Modificaciones en el abordaje

Bergmann y col. estudiaron las diferencias entre dos grupos de pacientes que recibieron el bloqueo interescalénico por abordaje anterior y posterior sin encontrar diferencias en

la incidencia de parálisis hemidiafragmática entre ambos grupos(74). Palhais y col. realizaron un ensayo comparando la inyección convencional intrafascial con la inyección extrafascial (4mm lateral al plexo)(75). La incidencia de parálisis hemidiafragmática (definida como una reducción mayor al 75% en la ED) fue del 90% en el grupo de inyección intrafascial frente al 21% en el grupo de inyección extrafascial ( $p<0,0001$ ). Recientemente Ayyanagouda y col. realizaron un ensayo clínico comparando la incidencia de parálisis hemidiafragmática entre 2 grupos que recibieron un bloqueo interescalénico con 20 ml de bupivacaína 0,5% a nivel intrafascial y a nivel extrafascial en cirugías de miembro superior proximal(76). En su estudio describieron una incidencia de parálisis hemidiafragmática (definida como una reducción mayor al 75% en la ED) del 46% en el grupo de inyección intrafascial frente al 17% en el grupo de inyección extrafascial ( $p<0,0001$ ).

#### 4.2.2.2 Modificaciones en dosis y tipo de anestésico local

Las modificaciones en el uso de anestésicos locales para disminuir la incidencia de disfunción diafragmática incluyen disminución del volumen, disminución de concentración y comparación entre diferentes anestésicos. Urmeý realizó uno de los primeros estudios comparativos en reducción de volumen comparando la incidencia de parálisis diafragmática entre dos grupos que recibieron 45 ml y 20 ml de mepivacaína 1,5%(77). A pesar de que la reducción en la CVF fue mayor en el grupo de 45 ml respecto al grupo de 20 ml (40,9% vs 32%), los autores concluyen que no existen diferencias en la incidencia de parálisis diafragmática. Con el paso de los años, el volumen de anestésico local se ha ido reduciendo en la realización del bloqueo. Gautier y col describieron que se puede lograr una anestesia adecuada para la cirugía artroscópica del hombro con 5 ml de ropivacaína al 0,75%, o aproximadamente 1,7 ml por cada uno de los 3 troncos del

plexo braquial(78). En un estudio más reciente, Mittal y col determinaron que el volumen mínimo efectivo de ropivacaína 0,5% para anestesia en cirugía de hombro era de 8,64 ml, con una tasa de parálisis frénica del 20%(79). Con volúmenes tan bajos, Riazi y col demostraron una reducción de la parálisis diafragmática del 100% al 45% en pacientes que recibieron bloqueo interescalénico con 20 ml y 5 ml de ropivacaína 0,5% respectivamente, sin diferencias significativas en las escalas de dolor entre ambos grupos(80). Sin embargo, estudios posteriores han mostrado resultados controvertidos. Taha y col describen una incidencia de parálisis frénica del 88,9% de los pacientes que recibieron bloqueo interescalénico con 5 ml de ropivacaína 0,5%(81). Hartrick y col compararon en un ensayo 3 grupos que recibieron 5 ml, 10 ml y 20 ml de ropivacaína 0,75% respectivamente(82). En el no encontraron diferencias significativas en la reducción porcentual de la función diafragmática, siendo 65, 60 y 66% respectivamente. Zhai y col compararon el efecto de emplear la misma dosis a diferentes volúmenes y concentraciones(83). Realizaron un ensayo con 3 grupos que recibieron ropivacaína 6,7 ml al 0,75%, 10 ml al 0,5% y 20 ml al 0,25%. Tras el bloqueo observaron movimientos diafragmáticos ausentes o paradójicos en el 58% del grupo 0,75, el 69% del grupo 0,5 y el 70% del grupo 0,25 ( $p = 0,516$ ), respectivamente. Otros estudios se han llevado a cabo comparando el mismo volumen de anestésico local a diferentes concentraciones. Thackeray y col compararon la función diafragmática en pacientes que recibieron un bloqueo interescalénico con 20 ml de bupivacaína 0,25% y 0,125%(84). La parálisis completa del hemidiafragma se produjo en el 70% y 21% respectivamente, sin diferencias significativas en las escalas de dolor entre ambos grupos. Wong y col realizaron un estudio similar comparando 2 grupos que recibieron 20 ml de ropivacaína 0,2% y 0,1%(85). La caída en los valores espirométricos fue significativamente mayor en el grupo que recibió mayor concentración, sin encontrarse diferencias significativas en la

función medida por ecografía ni en las escalas de dolor. Choromanski y col compararon 2 grupos que recibieron el bloqueo con bupivacaína 0,125% frente a ropivacaína 0,2%(86). En su estudio concluyen que no hay diferencias en la disfunción respiratoria ni calidad analgésica entre ambos grupos. Otros estudios concluyen hallazgos similares(87) que indican que no existen diferencias significativas entre anestésicos locales de vida media larga; sin embargo, Altintas y col. reportaron que la función diafragmática disminuye más tras un bloqueo interescalénico con bupivacaína 0,33% que con ropivacaína 0,33%(88).

#### 4.2.2.3 Bloqueos alternativos

Otra estrategia para evitar o disminuir la incidencia de bloqueo frénico y sus consecuencias por disfunción diafragmática es la realización de bloqueos alternativos al interescalénico. Por este motivo, a este grupo de técnicas que se incluyen en esta estrategia se les conoce como “bloqueos ahorradores del diafragma” (*diaphragm sparing blocks*), ya que persiguen el objetivo de preservar su función(89–91). El nervio frénico se separa 3 mm del plexo braquial cada cm que desciende en el cuello(92). Por lo tanto, los bloqueos distales reducen la incidencia de parálisis frénica.

Burckett-St.Laurent y col describieron por primera vez el bloqueo del troco superior(93). Este procedimiento se dirige a las raíces C5 y C6 del plexo braquial a nivel más distal, después de su unión en el tronco superior, pero antes de que se ramifique el nervio supraescapular. Kim y col llevaron a cabo un ensayo comparando 2 grupos que recibieron bloqueo del tronco superior frente a bloqueo interescalénico en pacientes sometidos a artroscopia de hombro(94). El grupo de tronco superior tuvo una incidencia significativamente menor de parálisis hemidiafragmática completa en comparación con el grupo interescalénico (4,8% frente a 71,4%;  $P < 0,001$ ) con una analgesia equivalente.

En un estudio similar, Kang y col reportaron una incidencia de disfunción hemidiafragmática del 97,5% del grupo de bloqueo interescalénico frente al 76,3% del grupo de bloqueo del tronco superior ( $p = 0,006$ ); la parálisis fue completa en el 72,5% frente al 5,3% de los pacientes, respectivamente(95).

Otro abordaje más distal (pero aún por encima de la clavícula) es el bloqueo supraclavicular. Fue descrito por primera vez por Kulenkampf en 1913, sin embargo, la técnica estaba asociada con una alta incidencia de neumotórax(96). Con la aparición de la ecografía, la diferenciación de las estructuras anatómicas disminuyó la incidencia de efectos adversos relacionados con la técnica. La incidencia de parálisis diafragmática con este bloqueo es variable. Mak y col. reportaron una incidencia de parálisis completa del 50% inyectando 0,5 ml/kg de bupivacaína 0,375%(97). Con una reducción en el volumen de 30 a 20 ml de ropivacaína 0,375% en el bloqueo supraclavicular, Bao y col demostraron una disminución en la incidencia de parálisis hemidiafragmática medida por EMG del 68% al 41%  $p=0,03$ (98). Otros estudios comparan la incidencia de bloqueo frénico y potencia analgésica entre los bloqueos interescalénico y supraclavicular. El estudio de Wiesmann y col mostró una tasa de parálisis diafragmática completa del 43% en el grupo interescalénico frente al 24% en el grupo supraclavicular con una capacidad analgésica equiparable(99). Kang y col mostraron una reducción en la parálisis hemidiafragmática (27.8% vs 66.7%,  $P = 0.019$ ) con la técnica “*corner pocket*” frente a la técnica convencional en el bloqueo supraclavicular(100).

Más distal se realiza el bloqueo infraclavicular, que tiene una tasa de parálisis diafragmática completa prácticamente anecdótica(101), no obstante se ha descrito en varias ocasiones(102–104). Petrar y col compararon la tasa de parálisis hemidiafragmática entre bloqueo supraclavicular e infraclavicular siendo 34% y 3% respectivamente. Taha y col realizaron un estudio comparando el bloqueo interescalénico

con bajo volumen frente al bloqueo infraclavicular(81). El nervio frénico se bloqueó en el 88,9% y 5,6% respectivamente ( $P < 0,001$ ) sin diferencias significativas entre los dos grupos con respecto a la duración de la analgesia.

El bloqueo supraescapular puede abordarse vía posterior (fosa supraescapular) o vía anterior (tras ramificarse del tronco superior). Hussain y col realizaron una revisión y metaanálisis comparando los bloqueos supraescapular e interescalénico en cirugía de hombro(105). Sus resultados muestran en comparación que el bloqueo interescalénico reduce el dolor postoperatorio, mientras que el bloqueo supraescapular reduce la tasa de complicaciones respiratorias postoperatorias. Posteriormente se ha creado controversia respecto al poder analgésico de este bloqueo gracias a los estudios publicados recientemente(91,106–110). Este hecho probablemente se deba a que el abordaje por vía anterior proporcione mejor analgesia (equiparable al bloqueo interescalénico) que el abordaje por vía posterior por difusión retrógrada del anestésico local a los troncos superior y medio del plexo. Ferré y col compararon la incidencia de parálisis hemidiafragmática entre ambos abordajes(111). La incidencia de parálisis hemidiafragmática fue del 40% frente al 2% en los grupos anterior y posterior, respectivamente ( $p < 0,001$ ), siendo el consumo de morfina significativamente mayor en el abordaje posterior.

Otros bloqueos para proporcionar analgesia regional en cirugía de hombro incluyen los bloqueos combinados(112) o el bloqueo del plano erector espinal(113). A pesar de que puedan suponer una buena alternativa como analgesia regional que evite la disfunción diafragmática en cirugía de hombro, se necesitan más estudios que avalen su uso.

Numerosas estrategias ha mostrado disminuir en mayor o menor grado la tasa de parálisis frénica tal y como se ha descrito; no obstante, ninguna de estas técnicas evita por



completo la aparición de este evento adverso. Por lo tanto, es importante por un lado conocer el comportamiento de ambos diafragmas tras un bloqueo regional por encima de la clavícula; y por otro lado saber identificar pacientes con un riesgo incrementado de sufrir complicaciones respiratorias postoperatorias.

### 4.3 Evaluación preoperatoria de la función diafragmática

Tradicionalmente las pruebas preoperatorias que se han empleado para valorar la función respiratoria han sido la radiografía de tórax y las pruebas funcionales respiratorias. La evaluación ecográfica del diafragma en el preoperatorio es un enfoque novedoso que ha sido poco descrito hasta la fecha. Cavayas y col realizaron una valoración ecográfica preoperatoria del diafragma en 115 pacientes que se sometieron a una cirugía cardíaca de forma electiva(41). Los pacientes con complicaciones respiratorias postoperatorias tuvieron una FA media preoperatoria significativamente menor en comparación con los pacientes sin complicaciones (37% [IC 31-45%] frente a 44% [IC 33-58%]). En su análisis establecieron un punto de corte de FA preoperatoria de 38,1% para determinar el riesgo de complicaciones postoperatorias en cirugía cardíaca con una sensibilidad, especificidad, VPP y VPN de 65, 67, 45 y 82% respectivamente. Kim y col realizaron una evaluación ecográfica del diafragma antes y después de cirugía de resección hepática(42). En su estudio reportaron una ED < 2,41 cm en el preoperatorio para detectar una disminución del 50% de la capacidad vital respecto al valor basal, con una sensibilidad del 81%, una especificidad del 91% y un VPN del 91% (área bajo la curva ROC 0,91; IC 0,85-0,95; P 0,0001). Y una ED < 3,61 cm en el preoperatorio para detectar una disminución del 30% de la capacidad vital respecto al valor basal, con una sensibilidad del 94%, una especificidad del 76% y un VPN del 89% (área bajo la curva ROC 0,92 ; IC 95% 0,86-0,96; P 0,0001). Rovira y col realizaron una valoración

ecográfica preoperatoria de ambos hemidiafragmas como herramienta de predicción de fallo respiratorio postoperatorio en pacientes de alto riesgo sometidos a cirugía de hombro con bloqueo interescalénico(114).

La mayoría de técnicas regionales anestésicas y/o analgésicas que se realizan actualmente para cirugía de hombro son por encima de la clavícula. Como hemos comentado a lo largo de la introducción la incidencia de bloqueo frénico es variable, pero todas implican un porcentaje en menor o mayor medida de disfunción hemidiafragmática que puede conllevar a la aparición de complicaciones en el postoperatorio. Conocer con exactitud el comportamiento de ambos diafragmas (en especial el contralateral al bloqueo) es clave para determinar cuando y por qué se producen estas complicaciones. En este estudio se pone el foco en la función del hemidiafragma contralateral al bloqueo como posible causa del desarrollo de complicaciones, asumiendo la aparición de un bloqueo del hemidiafragma ipsilateral.

## **HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**



## **1. Hipótesis**

Planteamos la hipótesis de que a pesar de la parálisis del hemidiafragma ipsilateral es frecuente después de un bloqueo regional por encima de la clavícula, el paciente no desarrolla complicaciones respiratorias postoperatorias de manera frecuente porque la función del hemidiafragma contralateral aumenta minimizando el impacto sobre la pérdida de preservando la función diafragmática global.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo principal**

1.- Valorar el incremento la función diafragmática contralateral perioperatorio, mediante la determinación de la FA y ED del hemidiafragma contralateral antes y después del bloqueo por encima de la clavícula.

### **2.2 Objetivos secundarios**

1.- Valorar la tasa de bloqueo mediante la determinación de la FA y ED del hemidiafragma ipsilateral antes y después del bloqueo loco-regional por encima de la clavícula.

2.- Valorar el comportamiento perioperatorio de ambos hemidiafragmas (la relación existente entre la función ipsilateral y contralateral) durante una cirugía con riesgo de bloqueo agudo ipsilateral.

3.- Valorar la FA y ED global (suma de función ipsilateral + contralateral al bloqueo) antes y después del bloqueo loco-regional.

- 4.- Relacionar si existen diferencias en la función diafragmática (función ipsilateral, contralateral y global) entre los pacientes que sufren síntomas respiratorios en el postoperatorio y los que no.
- 5.- Incidencia de fallo ventilatorio postoperatorio por otras causas (bloqueo neuromuscular, fármacos opioides).
- 6.- Establecer un punto de corte de FA y ED con mayor sensibilidad y especificidad para predecir pacientes con fallo respiratorio postoperatorio.
- 7.- Valorar función respiratoria espirométrica en los pacientes con bloqueo regional por encima de la clavícula.
- 8.- Factores epidemiológicos asociados con riesgo incrementado de fallo ventilatorio (sexo, edad, factores de riesgo, radiografía preoperatoria).
- 9.- Analizar factores relacionados con la técnica locorregional (tipo de bloqueo, volumen y concentración de anestésico) y su relación con la disfunción diafragmática.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**





## 1. Diseño

Se trata de un estudio observacional prospectivo. La elaboración del diseño se llevó a cabo siguiendo las directrices STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology)(115) para la comunicación de estudios observacionales (anexo 1). El estudio fue aprobado por el comité de ética del Consorcio Hospital General Universitario de Valencia (Approval Number: ROV-DPOCUS-2018-01) (anexo 2). Fue registrado en ClinicalTrials.gov Protocol Registration and Results System (PRS) con el número NCT03688724.

### 1.1 Tamaño muestral

El tamaño de la muestra se calculó utilizando Gpower 3.1(116). Calculamos el tamaño del efecto de 0.48 en función de la diferencia entre dos medias dependientes (pareadas) obtenidas a partir de datos de un estudio piloto anterior(114). En este estudio la variación de FA contralateral antes y después del bloqueo regional fue de  $12\% \pm 30\%$ . Se calculó que sería necesario un tamaño de muestra de 59 pacientes para detectar un 20% de variación de FA contralateral con una potencia del 95% y un alfa bilateral de 0,05. Se estimó una tasa de pérdidas de seguimiento del 10%.

Se incluyeron en el estudio 65 pacientes de forma consecutiva del 15 de Octubre de 2018 al 5 de Marzo de 2020.

## 1.2 Criterios

Criterios de inclusión:

- Pacientes mayores de 18 años.
- Pacientes programados para someterse a cirugía que incluyera la realización de un bloqueo regional interescalénico o supraclavicular.

Criterios de exclusión:

- Pacientes que no cumplieran criterios de inclusión.
- Contraindicación al bloqueo (parálisis frénica previa, alergia).
- Rechazo del paciente a entrar en el estudio.

## 2. Metodología

A todos los sujetos incluidos en el estudio se les proporcionó la información completa de forma verbal y por escrito (anexo 3) y se obtuvo el consentimiento de participación firmado (anexo 4). A todos los pacientes se les realizó una ecografía diafragmática antes del bloqueo y al finalizar la cirugía. Todas las exploraciones se realizaron con el ecógrafo General Electric Healthcare Vivid T8®. Las mediciones realizadas fueron:

- La Fracción de Acortamiento del diafragma (FA) con sonda lineal colocada en sentido longitudinal en la zona de aposición del diafragma, en la línea axilar anterior a nivel del 7º espacio intercostal (figura 4).
- La Excursión Diafragmática (ED) con sonda convexa colocada en sentido transversal en zona subcostal anterior con orientación medial, posterior y cefálica (figura 5).



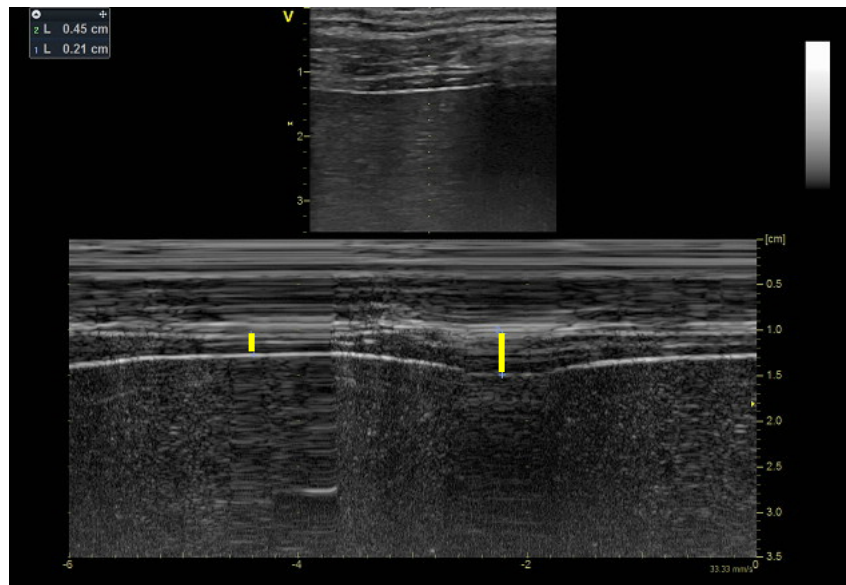
**Figura 4.** Posición para medición ecográfica de la FA.



**Figura 5.** Posición para medición ecográfica de la ED.

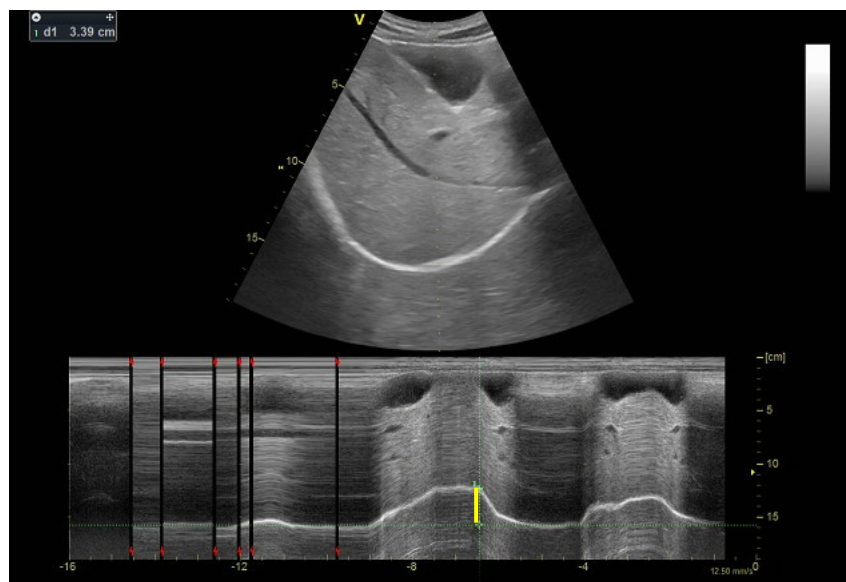
La FA se calculó midiendo la diferencia del grosor del diafragma entre máxima inspiración y máxima espiración, dividiendo el resultado entre la máxima espiración (figura 6):

$$FA = \frac{Grosor\ Ins - Grosor\ Esp}{Grosor\ Esp} \times 100$$



**Figura 6.** Ecografía modo M con mediciones del grosor del diafragma en inspiración y espiración para en cálculo de la FA.

La ED se midió en milímetros visualizando la diferencia de distancia entre máxima inspiración y máxima espiración mediante modo M (figura 7).



**Figura 7.** Medición de la excursión diafragmática por ecografía.

Se realizaron 3 mediciones de FA y de ED en cada hemidiafragma obteniéndose la óptima de las 3 como resultado final. Estas mediciones se realizaron en el preoperatorio 15min. antes de realizar el bloqueo y nuevamente en el postoperatorio a la llegada del paciente a la URPA (al menos una hora después del bloqueo del plexo braquial).

Participaron en el estudio realizando mediciones 2 anestesiólogos, siendo las mediciones de cada paciente llevadas a cabo por el mismo anestesiólogo.

El estudio fue cegado para el investigador que realizaba las mediciones ecográficas, este anestesiólogo no tuvo conocimiento del lado del bloqueo, solo se limitó a recoger las variables ecográficas de ambos lados. Otro anestesiólogo diferente, fue el responsable durante el intraoperatorio de recoger las variables del lado donde practicaba el bloqueo, como el volumen de anestésico local y la concentración utilizada.

### **3. Recogida de datos**

La recogida de datos de cada paciente se realizó mediante el cuaderno de recogida de datos (Anexo 5) de forma individualizada. Cada una de las variables recogidas se incluyeron en una base de datos en formato Microsoft Excel® y formato para el programa IBM SPSS Statistics® 25.0 2017.

#### **3.1 Variable principal**

La variable principal fue la medición ecográfica del diafragma.

-Valor de FA y ED del hemidiafragma izquierdo y derecho:

(1) Pre-procedimiento

(2) Post-procedimiento

### 3.2 Variables adicionales

- Datos demográficos del paciente (edad, peso, talla, IMC, sexo, antecedentes personales de enfermedades o hábitos tóxicos).

- Datos preoperatorios: SaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> basal, FR basal, valoración de parálisis frénica previa con radiografía de tórax preoperatoria (ascenso diafragmático: no, 0-2cm, >2cm), espirometría basal (incluyendo CVF, FEV<sub>1</sub> y PEF en valores absolutos y porcentuales predichos), valor de escala ARISCAT (Anexo 6).

- Datos intraoperatorios: Tipo de cirugía, lado del bloqueo realizado, anestesiólogo implicado, investigador implicado, tipo de anestesia empleada durante el procedimiento, uso de relajante neuromuscular y reversión, tipo y dosis empleada en el bloqueo locorregional, cantidad de mórnicos, y resto de fármacos empleados.

- Datos postoperatorios: FR, SaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, sensación de disnea, necesidad de VMNI, IOT, complicaciones respiratorias postoperatorias\*, dolor medido mediante escala visual analógica de dolor (EVA) en URPA, espirometría postoperatoria (incluyendo CVF, FEV<sub>1</sub> y PEF en valores absolutos y porcentuales predichos), grado de satisfacción del paciente.

\*Las complicaciones respiratorias postoperatorias incluyen (al menos uno):

- caída de SaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> <300
- SaO<sub>2</sub> <92% (mantenida >1min)
- FR >30 rpm
- Signos de trabajo respiratorio (tiraje, uso musculatura accesoria, sensación de disnea)

- Necesidad de VMNI, IOT, o intervención por parte del facultativo especialista para mejorar ventilación-oxigenación.

Se empleo un sistema para caracterizar el grado de reducción de la función hemidiafragmatica. El grado de reducción se obtuvo con la diferencia porcentual de la FA postoperatoria respecto de la preoperatoria. Se categorizó el grado de reducción en severa ( $>75\%$ ), moderada (25-75%) y leve( $<25\%$ ).

#### **4. Análisis estadístico**

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante los programas informáticos Microsoft Excel® e IBM SPSS Statistics® 25.0 2017.

##### **4.1 Estadística descriptiva**

Se realizó estadística descriptiva de las variables clínico epidemiológicas. Para las variables cualitativas, se calcularon las frecuencias absolutas en número y relativas en porcentaje sobre el total de casos y para las variables cuantitativas se describió sus valores medios y desviaciones estándar.

##### **4.2 Inferencia estadística**

El estudio de asociación entre variables se realizó con los test estadísticos Chi-cuadrado, T de Student, Wilcoxon y U de Mann-Whitney según fuera necesario (para muestras independientes y distribución normal, sin distribución normal, o para muestras relacionadas). Se consideró significativo un valor  $p<0,05$ .





## **RESULTADOS**



## 1. Variables Epidemiológicas

Se analizaron las variables de 65 pacientes. La tabla 1 muestra la descripción de las principales variables epidemiológicas.

### 1.1 Variables relacionadas con los pacientes

La media de edad fue de 57 años IC95% [54-60]. El 40% eran varones (26 pacientes) mientras que el 60% era mujeres (39 pacientes). Solo uno de los pacientes renunció a continuar en el estudio.

El peso medio de la muestra de pacientes fue de 76,2 Kg IC95% [72,7-79,8]. La altura media fue de 163,6 cm IC95% [161,2-166,1]. El IMC medio de los pacientes fue de 28,5 IC95% [27,1-29,9].

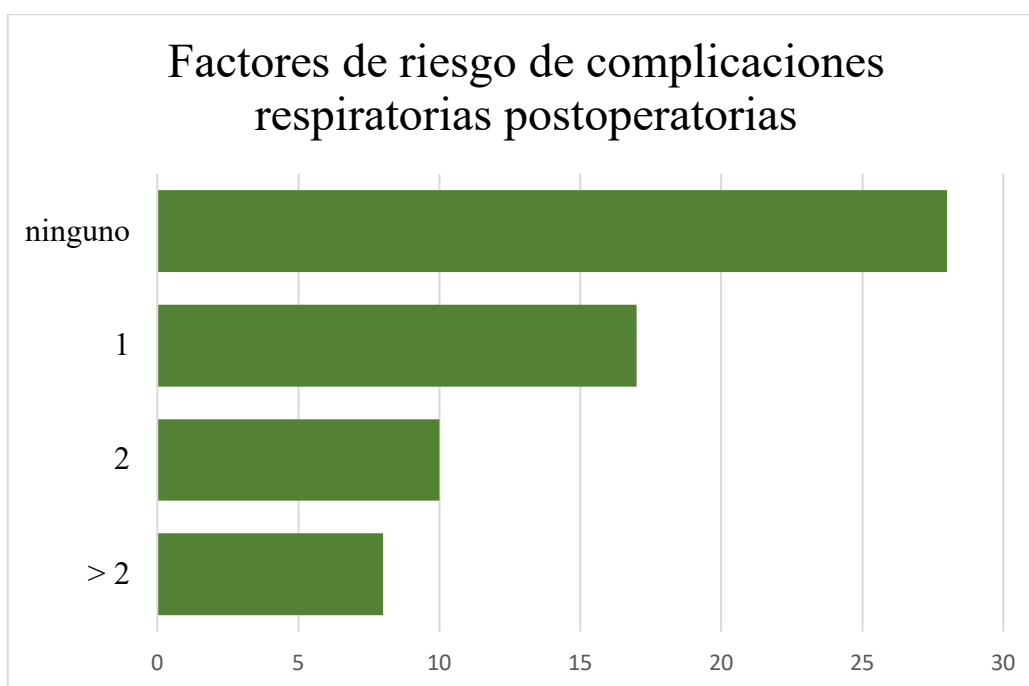
A todos los pacientes se les calculó el riesgo de sufrir complicaciones postoperatorias mediante la escala ARISCAT(38), el valor fue bajo (< 26 puntos) en 63 pacientes, y valor intermedio (26-44 puntos) en 1 paciente. Ningún paciente tuvo valor de alto riesgo (>44 puntos) .

**Tabla 1.** Descripción variables de los pacientes.  
Frecuencias absolutas, medias , porcentajes, IC95%

N	65
Edad	57 [54-60]
Sexo (Hombres/Mujeres)	26/39
Peso	76,2 [72,7-79,8]
Altura	163,68 [161,2-166,1]
IMC	28,58 [27,2-29,9]
ARISCAT (bajo/medio/alto)	63/1/0
Tipo bloqueo	
• Interescalénico	50 (78,1%)
• Supraclavicular	5 (7,1%)
• Combinado	8 (12,5%)
• Cervical Superficial	1 (1,5%)

De todas las patologías previas registradas (anexo 7) se consideraron antecedentes de riesgo para sufrir complicaciones respiratorias postoperatorias los siguientes: Fumador, HTA, Diabetes Mellitus, EPOC, SAOS, Fibromialgia, Asma, Fibrilación auricular, cardiopatía isquémica, escoliosis, TBC pulmonar, Enfermedad de Párkinson.

Dentro de nuestra muestra de pacientes el 44,44% (28 pacientes) no presentaba ningún factor de riesgo para sufrir complicaciones respiratorias postoperatorias. El 26,98% (17 pacientes) presentó 1 factor de riesgo, el 15,87% (10 pacientes) presentó 2 factores de riesgo y el 12,69% (8 pacientes) presentó más de 2 factores de riesgo (figura 8).



**Figura 8.** Pacientes con factores de riesgo de complicaciones respiratorias.

Todos los pacientes excepto uno se realizaron una radiografía postero-anterior de tórax. Tras revisarlas se categorizó la muestra según grado de elevación del hemidiafragma. 33 pacientes no presentaban elevación hemidiafragmática. 22 pacientes presentaron una elevación inferior a 2 cm y 8 pacientes presentaron una elevación superior a 2 cm.

## 1.2 Variables relacionadas con el acto anestésico-quirúrgico

Se realizó bloqueo interescalénico en 50 pacientes (78,12%), supraclavicular en 5 pacientes (7,81%), bloqueo combinado (interescalénico + supraclavicular) en 8 pacientes (12,5%) y cervical superficial en 1 paciente (1,56%).

La intervención quirúrgica realizada fue artroscopia de hombro en 50 pacientes (78,12%); osteosíntesis de húmero por fractura en 11 pacientes (17,18%); osteosíntesis de clavícula por fractura en 2 pacientes (3,12%); y artroplastia total de hombro en 1 paciente (1,56%).

El anestésico local empleado en la realización del bloqueo fue de vida media larga en 19 casos y una combinación de 2 anestésicos (vida media larga y corta) en los otros 45 casos.

En ningún caso se utilizó un anestésico local de vida media corta en monoterapia. En el 95,31% de los casos se empleó levobupivacaína, en el 3,12% ropivacaína y en el 1,56% bupivacaína.

Se registraron como variables la administración de otros fármacos, considerándose de especial relevancia la analgesia con opioides y el bloqueo neuromuscular durante la cirugía. 6 pacientes recibieron tratamiento con opioides frente a 58 pacientes que no lo hicieron. El bloqueo neuromuscular fue utilizado 15 pacientes frente a 49 pacientes que no lo recibieron. De los 15 se revirtieron farmacológicamente 11 pacientes ( 73,3%).

## 2. Objetivo principal

2.1 Valorar el incremento la función diafragmática contralateral perioperatorio, mediante la determinación de la FA y ED del hemidiafragma contralateral antes y después del bloqueo por encima de la clavícula.

El diafragma contralateral incrementó su función de forma significativa después del bloqueo. El valor de la FA del hemidiafragma contralateral aumentó en el postoperatorio de forma significativa una media de 12,51% [20,30-4,72] (Tabla2).

<b>Tabla 2 .Ecografía diafragmática (FA y ED) en el total de pacientes</b>			
FA			
<b>N</b>	<b>Medición</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Valor P</b>
64	PRE Ipsilateral	59,56	< 0,001
	POST Ipsilateral	24,19	
64	PRE Contralateral	57,11	0,015
	POST Contralateral	69,63	
ED			
<b>N</b>	<b>Medición</b>	<b>Media (mm)</b>	<b>Valor P</b>
56	PRE Ipsilateral	49,05 ± 4,21	0,013
	POST Ipsilateral	17,14 ± 3,91	
56	PRE Contralateral	46,1 ± 4,2	0,013
	POST Contralateral	52,2 ± 3,9	

La ED media del hemidiafragma contralateral se incrementó después del bloqueo un 13% pasando de una excursión diafragmática de 46 mm a 52 mm. La mediana del lado contralateral sufre una variación significativa aumentando de 41,8 mm a 51,0 mm (p=0,013 signos wilcoxon).

### **3. Objetivos secundarios**

*3.1 Valorar la tasa de bloqueo mediante la determinación de la FA y ED del hemidiafragma ipsilateral antes y después del bloqueo loco-regional por encima de la clavícula.*

La FA del hemidiafragma ipsilateral se redujo después del bloqueo en el 86% de los pacientes. La reducción fue severa en el 52%, moderada en el 28% y leve en el 6% de los pacientes.

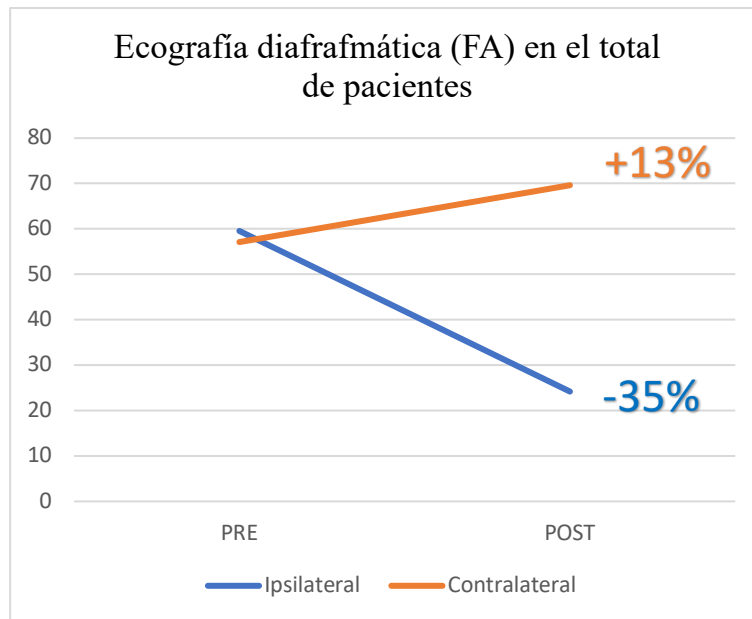
El diafragma ipsilateral redujo su función de forma significativa después del bloqueo una media de 35,4 % [45,1-25,6] en todos los pacientes (Tabla2).

La ED media del hemidiafragma ipsilateral se redujo después del bloqueo de  $49,05 \pm 4,21$  mm a  $17,14 \pm 3,91$  mm. La mediana del lado ipsilateral sufre una variación significativa disminuyendo de 47,65 mm a 13,60 mm ( $p=0,0001$  signos wilcoxon).

*3.2 Valorar el comportamiento perioperatorio de ambos hemidiafragmas (la relación existente entre la función ipsilateral y contralateral) durante una cirugía con riesgo de bloqueo agudo ipsilateral.*

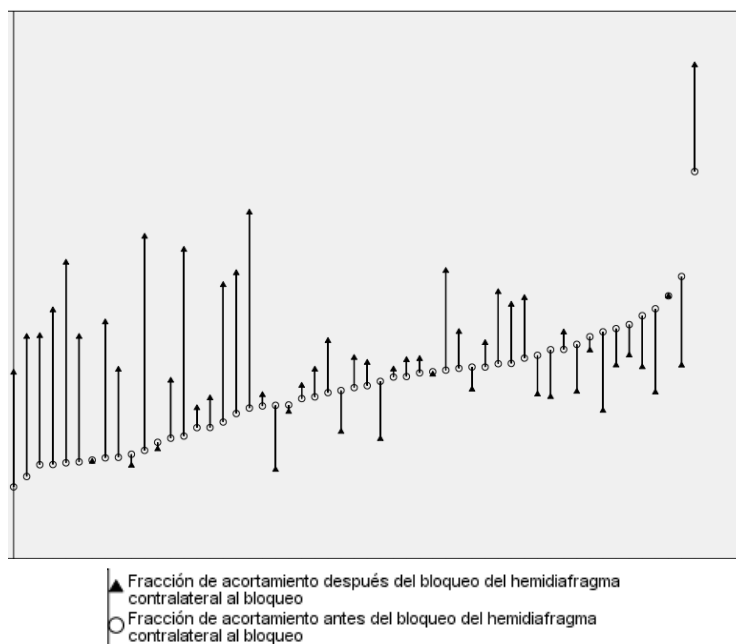
El diafragma ipsilateral redujo su función después del bloqueo una media de 35,4% mientras que el diafragma contralateral incrementó su función una media de 12,51%.

Los cambios en la función diafragmática de ambos lados se representan en la Figura 9.



**Figura 9.** Variación de la función diafragmática medida por ecografía (FA) tras el bloqueo anestésico.

Estos cambios expresados como media no fueron constantes en todos los pacientes de la muestra. La variación individual de la función diafragmática contralateral al bloqueo se muestra en la figura 10.



**Figura 10.** Variación individual de la función diafragmática contralateral medida por ecografía (FA).



Respecto a la relación entre bloqueo ipsilateral completo y el incremento de la función hemidiafragmática contralateral, hubo el mismo porcentaje de pacientes con bloqueo ipsilateral completo entre aquellos que incrementaron el contralateral y en aquellos que no (70% vs 78%); pvalor =0,786.

El incremento de la función del hemidiafragma contralateral no depende del grado de bloqueo frénico ipsilateral ya que no se observan diferencias significativas entre los grupos (tabla 3).

<b>Tabla 3. Relación entre bloqueo frénico e incremento contralateral</b>			
	<b>Incremento contralateral</b>	<b>No incremento contralateral</b>	<b>Valor P</b>
<b>Bloqueo frénico completo</b>	55%	45%	0,786
<b>Bloqueo frénico parcial</b>	62%	38%	
<b>Sin bloqueo frénico</b>	67%	33%	

*3.3 Valorar la FA global (suma de función ipsilateral + contralateral al bloqueo) antes y después del bloqueo loco-regional.*

La función global del diafragma se define como la suma de la función del hemidiafragma ipsilateral y contralateral. La función global posoperatoria del diafragma tras un bloqueo anestésico regional por encima de la clavícula se reduce de forma aguda en comparación con la preoperatoria; La FA global preoperatoria vs posoperatoria fue  $118\% \pm 37$  vs  $94\% \pm 42$  respectivamente  $p = 0,00032$ . La reducción de la función del diafragma después del bloqueo anestésico se produce principalmente debido a la reducción de la función del hemidiafragma ipsilateral.

Relación de la función diafrágica global con el empleo de fármacos sistémicos:

No hay diferencias en la FA global postoperatoria entre los pacientes que recibieron bloqueo neuromuscular y los que no lo recibieron. La FA global preoperatoria fue de  $121 \pm 41$  en los pacientes que recibieron BNM frente a  $117 \pm 36$  en los que no recibieron BNM ( $p = 0,695$ ). La FA global postoperatoria fue de  $103 \pm 51$  en los pacientes que recibieron BNM frente a  $90 \pm 38$  en los que no recibieron BNM ( $p = 0,307$ ).

No hay mas caída de la FA global por el uso de opioides. La FA global postoperatoria fue de  $127,5 \pm 64$  en los pacientes que recibieron opioides frente a  $92,6 \pm 38,6$  en los que no recibieron opioides ( $p = 0,53$ ).

*3.4 Relacionar si existen diferencias en la función diafrágica (función ipsilateral, contralateral y global) entre los pacientes que sufren síntomas respiratorios en el postoperatorio y los que no.*

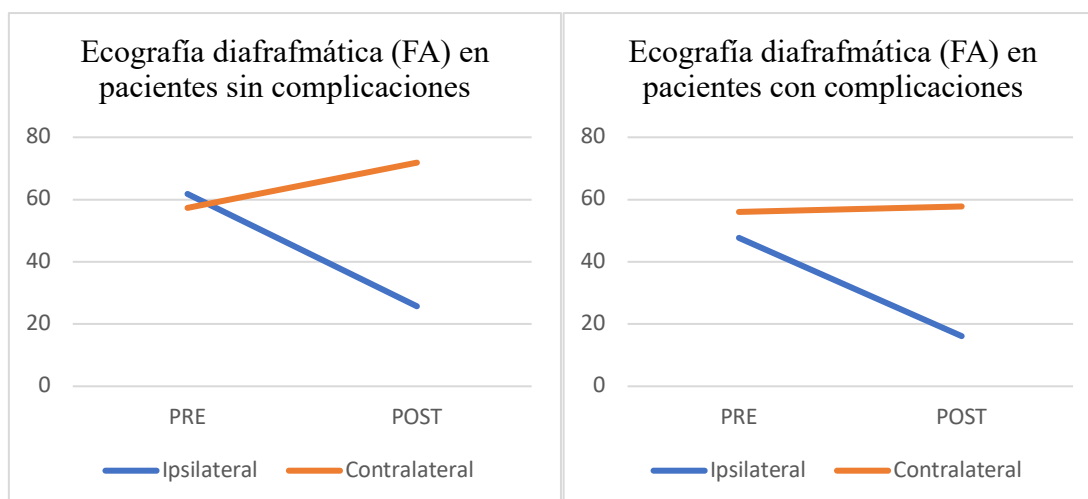
El 17% de los pacientes generaron complicaciones respiratorias. En su mayoría disnea, taquipnea y desaturación. Cuando analizamos este grupo de pacientes observamos diferencias en el comportamiento perioperatorio del diafragma.

En los 53 pacientes sin complicaciones hay una caída de la función hemidiafragmatica ipsilateral significativa; pero también ocurre un incremento significativo de la función hemidiafragmatica contralateral de forma compensatoria (Tabla 4).

En los 11 pacientes con complicaciones se observa una caída de la función hemidiafragmatica ipsilateral significativa; pero no ocurre un incremento significativo de la función hemidiafragmatica contralateral de forma compensatoria (Tabla 4).

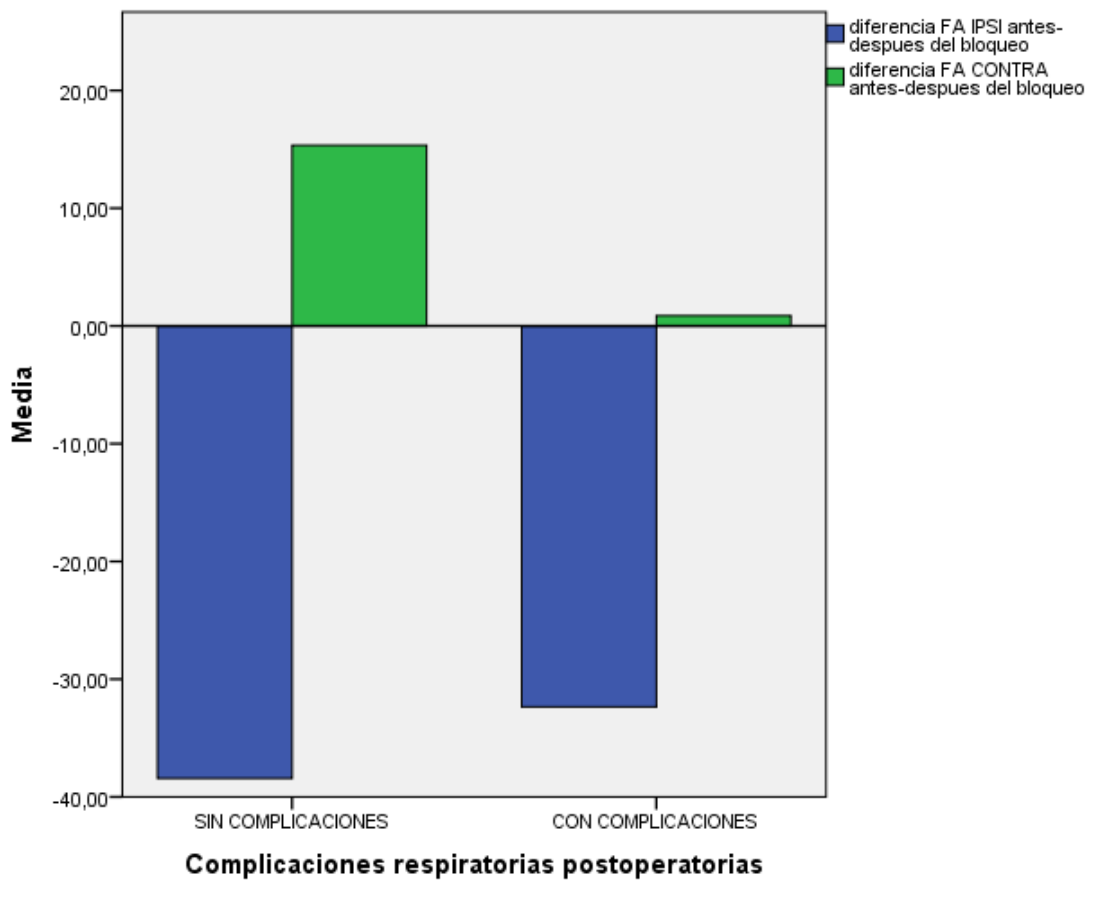
<b>Tabla 4.</b> Ecografía diafragmática (FA) en pacientes con y sin complicaciones			
Pacientes sin complicaciones			
<b>N</b>	<b>Medición</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Valor P</b>
53	PRE Ipsilateral	61,80	< 0,001
	POST Ipsilateral	25,71	
53	PRE Contralateral	57,32	0,01
	POST Contralateral	71,86	
Pacientes con complicaciones			
<b>N</b>	<b>Medición</b>	<b>Media (%)</b>	<b>Valor P</b>
11	PRE Ipsilateral	47,69	0,005
	POST Ipsilateral	16,12	
11	PRE Contralateral	56,02	0,959
	POST Contralateral	57,78	

Por tanto, la diferencia principal del comportamiento hemidiafragmático en los pacientes con complicaciones respecto de los pacientes sin complicaciones es que no hay un incremento significativo de la FA contralateral en el postoperatorio cuando ocurre la misma caída de la función hemidiafragmática ipsilateral debida al bloqueo (figura 11).



**Figura 11.** Comparación de la función de ambos diafragmas entre el grupo de pacientes con complicaciones y sin complicaciones respiratorias postoperatorias.

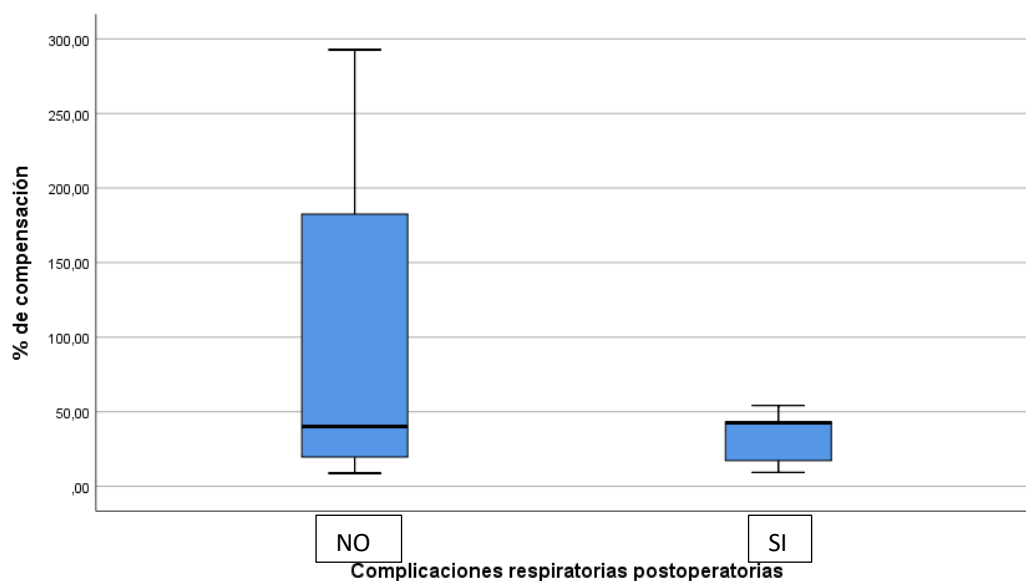
Por tanto hemos observado que la FA contralateral media aumentó en el grupo de pacientes que no sufrieron complicaciones, mientras que en el grupo de pacientes que sufrieron complicaciones, la FA contralateral media no aumentó (figura 12).



**Figura 12.** Diferencia de la función diafragmática ipsilateral y contralateral antes-después del bloqueo medida con FA por ecografía en pacientes con y sin complicaciones respiratorias postoperatorias.

Si comparamos los grupos de pacientes que presentan incremento del diafragma contralateral frente a los que no incrementan, el porcentaje de aparición de complicaciones respiratorias postoperatorias es diferente entre ambos grupos pero no es estadísticamente significativa (14% vs 22%). Sin embargo, dentro del grupo de pacientes

que incrementó el diafragma contralateral se observa mucha discrepancia en el grado de incremento (expresado en porcentaje) entre los pacientes que tuvieron complicaciones y los que no. En el grupo de pacientes que no presenta complicaciones se alcanzan valores por encima de 150%, frente al grupo que sí presenta complicaciones donde los porcentajes no alcanzan a penas el 50% (figura 13). La media del porcentajes de compensación en pacientes sin complicaciones es de  $95,98\% \pm 32,6$  frente a los pacientes con complicaciones cuya media es de  $33,32\% \pm 16,65$ . Es decir, cuando aparecen complicaciones respiratorias el paciente no ha presentado incremento del diafragma contralateral, o el grado de incremento es mucho menor que cuando no aparecen complicaciones.



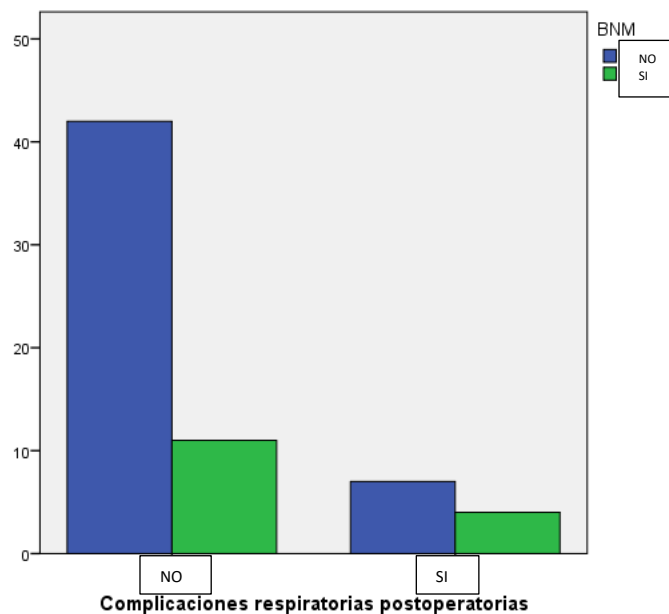
**Figura 13.** Comparación del grado de incremento contralateral según aparición de complicaciones.

La función diafragmática global (suma de ambas FA hemidiafragmáticas en el postoperatorio) muestra una tendencia a ser menor en los pacientes con complicaciones respecto de los que no la sufren ( $97\pm 43$  Vs  $74\pm 29$ )  $P=0,054$ .

El porcentaje relativo de complicaciones mostró una tendencia a ser mayor en los pacientes con bloqueo completo vs bloqueo incompleto 20% (5/25) vs 13,1% (5/38).

### 3.5 Incidencia de fallo ventilatorio postoperatorio por otras causas (bloqueo neuromuscular, fármacos opioides).

No se encontró relación entre la aparición de complicaciones y recibir bloqueo neuromuscular durante la cirugía con anestesia general (figura 14).



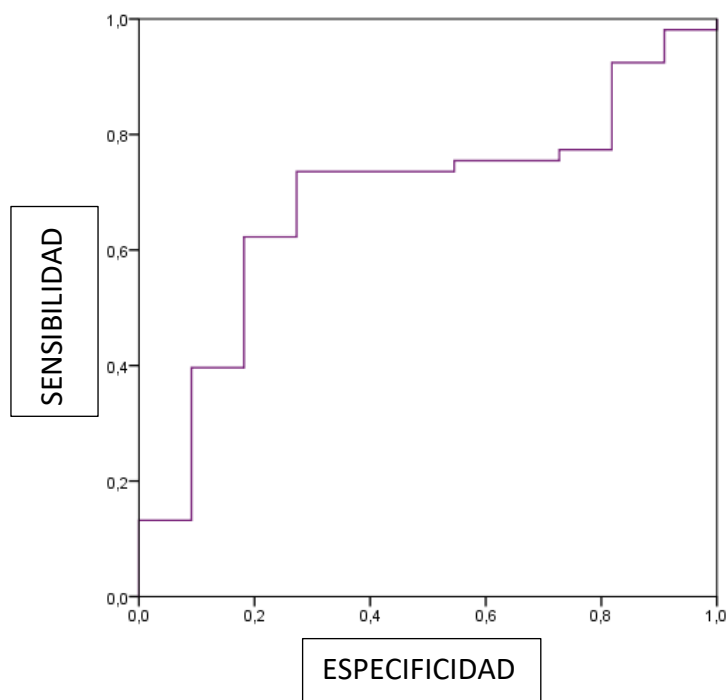
**Figura 14.** Relación de pacientes con o sin bloqueo neuromuscular (BNM) en función de la aparición de complicaciones respiratorias.

Tampoco se encontraron diferencias en el porcentaje de pacientes que reciben opioides ni con la asociación de ambos fármacos entre los pacientes que padecen y los que no padecen complicaciones respiratorias postoperatorias (tabla 5).

<b>Tabla 5. Relación fármacos y complicaciones respiratorias</b>			
	Complicaciones	NO complicaciones	P valor
BNM	6/14 (42%)	9/50 (18%)	0,52
OPIOIDES	3/14 (21%)	3/50 (6%)	0,80
AMBOS	2/14 (14%)	2/50 (4%)	0,16

*3.6 Establecer un punto de corte de FA y ED con mayor sensibilidad y especificidad para predecir pacientes con fallo respiratorio postoperatorio.*

El análisis de la curva ROC no permitió utilizar la FA global posoperatoria para la predicción de complicaciones respiratorias como método aislado ( $p=0,054$ ). siendo el estadístico J de Youden no ponderado de FA global del 77,5%. La precisión predictiva de la FA global posoperatoria menor del 77,5% para la aparición de complicaciones respiratorias fue relativamente baja, con una sensibilidad del 73%, una especificidad del 73%, un valor predictivo positivo del 36% y un valor predictivo negativo del 93%; AUC(0.68)  $p=0,05$  (figura 15).



**Figura 15.** Curva ROC de la FA global posoperatoria para la predicción de complicaciones respiratorias.

*3.7 Valorar función respiratoria espirométrica en los pacientes con bloqueo regional por encima de la clavícula.*

Respecto a los valores de la espirometría, la CVF se redujo de una media de 3,0 L [2,4-4,5] en el preoperatorio a una media de 1,8 L [1,3-2,8] en el postoperatorio ( $p < 0,001$ ).

*3.8 Factores epidemiológicos asociados con riesgo incrementado de fallo ventilatorio (sexo, edad, factores de riesgo, radiografía preoperatoria).*

No hay diferencias en el porcentaje de factores de riesgo y la aparición de complicaciones, el 46% de los pacientes sin complicaciones no tenían ningún factor de riesgo, el 42,9% de los pacientes con complicaciones tampoco tenía ningún factor de riesgo.



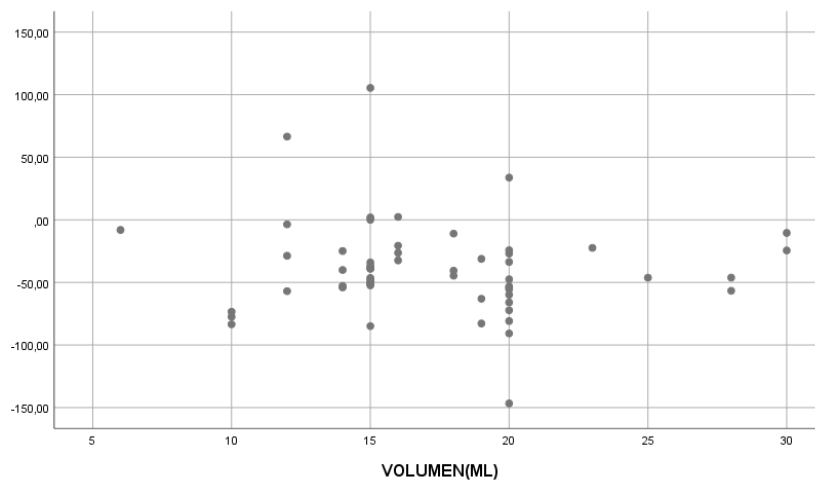
En el otro extremo, aquellos pacientes con 3 o más factores de riesgo fueron el 12% vs el 14% entre los grupos con complicaciones y sin complicaciones.

No se encontraron diferencias respecto la edad y el género en los pacientes que sufrieron complicaciones respiratorias y los que no. La edad media en el grupo de pacientes que sufrió complicaciones fue de 57,5 años, mientras que en el grupo sin complicaciones la media fue de 57,41 años.

Respecto a la radiografía de tórax preoperatoria, presentaron complicaciones postoperatorias el 18,18% de los pacientes sin elevación hemidiafragmática, el 27,27% de los pacientes con una elevación inferior a 2 cm y el 25% de los pacientes con una elevación superior a 2 cm.

*3.9 Analizar factores relacionados con la técnica (tipo de bloqueo, volumen y concentración de anestésico) y su relación con la disfunción diafragmática.*

En nuestro estudio no se encontraron diferencias significativas entre el volumen administrado y la tasa de bloqueo (figura 16).



**Figura 16.** Correlación de Pearson entre el volumen de anestésico local utilizado y la diferencia de FA ipsilateral antes y después del bloqueo.

La mayoría de los pacientes (78,12%) recibió bloqueo interescalénico, siendo minoritarios los bloqueos supraclavicular (7,81%) y combinado de ambos (12,5%). No encontramos diferencias significativas entre la tasa de bloqueo y la técnica utilizada, aunque el escaso número de pacientes en los grupos de bloqueos alternativos al interescalénico provoca una falta de potencia estadística para sacar conclusiones al respecto.

## 4. Caracterización según incremento de la función diafragmática contralateral

### 4.1 Relación con variables antropométricas

El incremento del hemidiafragma contralateral no se produjo en todos los pacientes. No se encontraron diferencias estadísticas en relación con el género entre los pacientes que compensaron la función diafragmática incrementando la función contralateral (62,2% mujeres y 37,8% hombres) y los que no (59,3% mujeres y 40,7% hombres)  $\chi^2 p=0,814$ . Tampoco se encontraron diferencias significativas respecto a la edad, peso, altura e IMC entre los pacientes que si y los que no incrementaron el contralateral (Tabla 6).

<b>Tabla 6. Relación antropometría e incremento de la función diafragmática contralateral</b>					
		<b>Total</b>	<b>No incremento contralateral (variación &lt;5%)</b>	<b>Incremento contralateral (variación <math>\geq</math>5%)</b>	<b>Valor P</b>
<b>EDAD</b>	N	64	27	37	0.391
	Media	57,69	56,67	58,43	
	D estándar	10,93	10,16	11,55	
	Mediana	59,00	58,00	60,00	
<b>PESO</b>	N	63	27	36	0.393
	Media	76,27	77,89	75,06	
	D estándar	14,32	13,74	14,81	
	Mediana	75,00	75,00	74,00	
<b>TALLA</b>	N	63	27	36	0.808
	Media	163,68	163,74	163,64	
	D estándar	10,02	10,46	9,83	
	Mediana	162,00	162,00	163,50	
<b>IMC</b>	N	63	27	36	0.523
	Media	28,58	29,41	27,95	
	D estándar	5,61	6,79	4,55	
	Mediana	27,94	27,94	27,89	

## 4.2 Relación con disfunción ipsilateral

La relación entre bloqueo ipsilateral y el incremento la función hemidiafragmática contralateral se describe en los resultados del objetivo secundario 2. No se observan diferencias significativas en la asociación entre bloqueo ipsilateral e incremento contralateral.

## 4.3 Relación con función previa

Los pacientes que no incrementaron la función tenían la FA contralateral previa significativamente mayor (el diafragma contralateral suficientemente fuerte) comparado con los pacientes que si necesitaron compensar  $66,77\% \pm 7,9$  vs  $51,33\% \pm 7,32$  (U de Mann Whitney  $p=0.001$ ).

Las relaciones de la función previa con el incremento del contralateral en función del grado de bloqueo ipsilateral se resumen en la tabla 7. En los pacientes que sufren un bloqueo ipsilateral completo y no compensan la función, la FA contralateral media previa al bloqueo es de 66.32%, valor estadísticamente superior a la FA contralateral media de (50.85%) de los pacientes con bloqueo ipsilateral completo y sí que compensan la función ( $p=0.007$ ). Es decir, los bloqueos completos que no compensan parten de un FA contralateral superior que los que sí compensan. Si juntamos los bloqueos completos y los parciales: nuevamente, para los bloqueos, la FA contralateral previa es estadísticamente superior si no compensa ( $p=0.002$ ). Si juntamos los bloqueos parciales con los no bloqueados sucede lo mismo: nuevamente, para los bloqueos completos, la FA contralateral previa es estadísticamente superior si no compensa ( $p=0.007$ ).

**Tabla 7.** Relación de la FA previa con el incremento contralateral según grado de bloqueo ipsilateral

	No hay bloqueo (variación <10%)		Bloqueo parcial (variación 10-60%)		Bloqueo completo (variación >60%)	
	No compensa	Compensa	No compensa	Compensa	No compensa	Compensa
Media	58,32	47,70	78,34	58,17	66,32	50,85
D.E.	24,49	14,23	8,23	15,39	21,71	25,55
Mediana	64,76	46,06	82,27	58,30	70,27	52,35

#### 4.4 Modelización del incremento en la función contralateral

Para determinar cómo incrementa el lado contralateral en función de determinadas variables se realizó una modelización con una regresión logística.

Para los pacientes que incrementan la función contralateral:

El modelo logit que analiza el sexo, edad, talla, FA pre ipsilateral, FA post ipsilateral, variación ipsilateral, FA pre contralateral como potenciales factores de riesgo de compensar sólo incluye una variable y es el FA pre contralateral, de manera que por cada unidad que aumenta el FA pre contralateral, se reduce la probabilidad de compensar un 3.5% (Sensibilidad: 81%; Especificidad: 59%; VPP: 73%; VPN:70%; AUC:0.742).

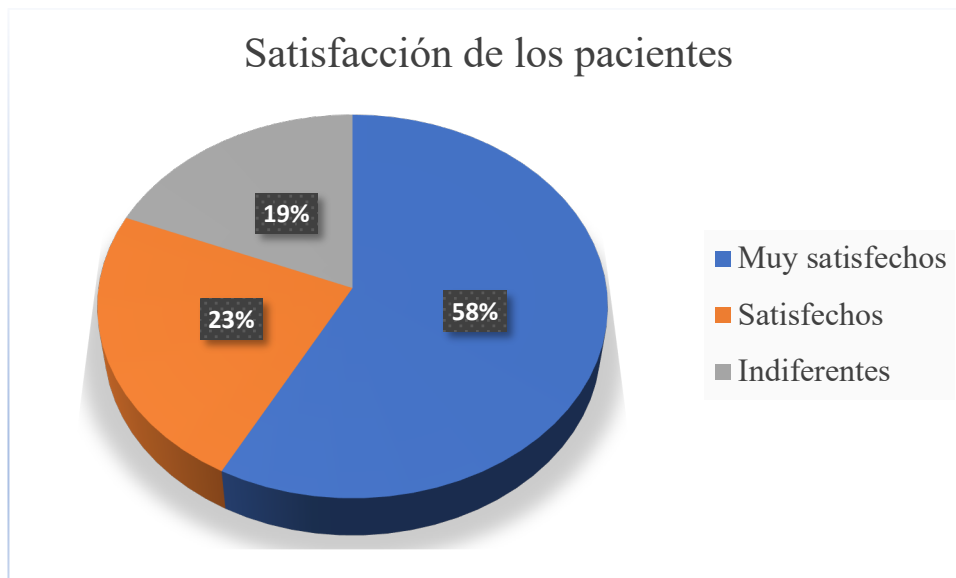
#### 4.5 Relación con la aparición de complicaciones

El incremento del diafragma contralateral respecto a la aparición o no de sintomatología respiratoria está descrito en el objetivo secundario 4. Se puede resumir afirmando que en nuestro estudio hemos observado que cuando aparecen complicaciones respiratorias el paciente no ha presentado incremento del diafragma contralateral, o el grado de incremento contralateral es mucho menor que cuando no aparecen complicaciones.

## 5. Grado de analgesia y satisfacción de los pacientes

Respecto al dolor agudo postoperatorio, la mayoría de los pacientes (71,87%) no presentaron dolor. Un 12,5% refirieron dolor leve, el 7,81% dolor moderado y el 7,81% dolor importante. Ningún paciente clasificó su dolor postoperatorio como insoportable. El EVA medio de los pacientes fue 1,15 [0,62-1,67].

El 57,81% (37 pacientes) se mostraron muy satisfechos con la técnica analgésica, el 23,43% (15 pacientes) afirmaron estar satisfechos, mientras que el 18,75% (12 pacientes) se mostraron indiferentes (figura 17). Ningún paciente refirió insatisfacción.



**Figura 17.** Grado de satisfacción de los pacientes con la técnica analgésica.

## **DISCUSIÓN**





La parálisis frénica secundaria a la anestesia del plexo braquial es un hecho que ha sido bien documentado(3,73,117–122). Normalmente los estudios se han centrado en hemidiafragma ipsilateral al bloqueo(76,84,94,123) o en la descripción de complicaciones respiratorias postoperatorias(75,124,125) relacionando como causa directa bloqueo frénico con complicación respiratoria postoperatoria. Sin embargo la mayoría de pacientes que sufren un bloqueo frénico no desarrollan complicaciones, y esto es debido a que la función muscular remanente es suficiente. Pocos estudios se ha centrado en analizar como es esta función remanente, donde el lado contralateral cobra un protagonismo que hasta ahora nadie le había dado. Este estudio observa la evolución de ambos hemidiafragmas durante el período perioperatorio antes y después de la realización de un bloqueo del plexo braquial por encima de la clavícula en pacientes programados para cirugía de hombro poniendo el foco en el diafragma contralateral y en la función global que forman ambos hemidiafragmas: el ipsilateral y el contralateral al bloqueo.

### **1. Evolución perioperatoria del diafragma**

El comportamiento de los hemidiafragmas durante el perioperatorio es variable. En la mayoría de los casos la función del diafragma ipsilateral al bloqueo regional se reduce, mientras que el diafragma contralateral se mantiene o incluso incrementa su función en un intento compensatorio.

Si analizamos globalmente la función del diafragma como la suma de ambos hemidiafragmas observamos una caída global postoperatoria, este hecho se debe a que la reducción de la función ipsilateral es mayor que el aumento que se produce en el hemidiafragma contralateral. La función ipsilateral se reduce en el 86% de los pacientes, siendo esta reducción severa en el 52% de los pacientes.

Este estudio demuestra por primera vez que después de un bloqueo del plexo braquial por encima de la clavícula se produce un aumento significativo en la FA del hemidiafragma contralateral del 40% del preoperatorio al postoperatorio ( $p = 0,0001$ ). Este aumento de la función contralateral reduce la pérdida de función diafragmática global que ocurre en el postoperatorio cuando se produce una parálisis hemidiafragmática ipsilateral de forma aguda tras bloqueo del plexo braquial.

Este aumento de la FA contralateral no ocurre de manera constante en todos los pacientes, solo ocurrió en el 59% de los pacientes, tampoco es proporcional a la reducción de la FA ipsilateral tras un bloqueo. Además hemos observado que el incremento de la función del hemidiafragma contralateral no depende del grado de bloqueo frénico ipsilateral.

La FA contralateral podría no aumentar en todos los pacientes porque en algunos de ellos posiblemente que no necesiten este incremento ya que la función global se mantiene suficientemente preservada (pudiendo deberse a que el paciente ya tiene previamente un hemidiafragma contralateral muy potente (FA contralateral elevada) o debido a que no se reduce la función ipsilateral (una reducción leve o nula de la FA ipsilateral después del bloqueo regional) lo que no requiere de un aporte extra del diafragma.

Si el hemidiafragma contralateral es fuerte, no requiere incrementar su capacidad contráctil para compensar durante el postoperatorio la pérdida de función derivado del bloqueo ipsilateral. Probablemente este hecho es debido a que ya genera suficiente volumen ventilatorio él solo sin necesidad de incremento y todavía más si le queda algo de función al hemidiafragma ipsilateral. Esta teoría se justificaría por el hecho de que los pacientes que no compensaron (incremento contralateral) tenían una FA contralateral previa significativamente mayor que los que necesitaron incrementar su FA contralateral para compensar (67% de FA previa no compensan vs 51% de FA previa si compensan.  $P=0.001$ ).

Además el único parámetro que hemos encontrado significativo en predecir la probabilidad de que la FA contralateral incremente en el postoperatorio para compensar el bloqueo es el propio valor de FA contralateral durante el preoperatorio de manera que por cada unidad que aumenta la FA preoperatoria contralateral, se reduce la probabilidad de que incremente su función para compensar un 3.5%.

En otro grupo de pacientes, la FA contralateral podría no aumentar por imposibilidad, ya sea por un diafragma patológico previo, por acción farmacológica (bloqueo neuromuscular, anestésicos inhalatorios, sedantes), o por el propio dolor postoperatorio. Esta situación crítica con un hemidiafragma reducido por un bloqueo del plexo braquial y el contralateral incapaz de aumentar la función podría generar insuficiencia respiratoria postoperatoria y complicaciones derivadas de ella, porque las demandas superan los aportes(126).

## **2. Técnicas de bloqueo “ahorradoras de diafragma”**

Existe un gran interés en la descripción y el uso de técnicas de preservación del diafragma tras bloqueos regionales, al mismo tiempo que existe una preocupación constante por el manejo y la prevención de las complicaciones respiratorias postoperatorias. Sin embargo, la mayoría de los estudios que evalúan la disfunción del diafragma tras una técnica regional se centran en describir la tasa de parálisis frénica relacionando las complicaciones con esta (3,74,75,80,94,95), aunque la realidad es que a pesar de la parálisis frénica, la mayoría de los pacientes no desarrollan complicaciones respiratorias (en parte porque suelen ser pacientes de bajo riesgo).

Una de las estrategias más utilizadas para reducir la tasa de bloqueo frénico es la reducción de volumen de anestésico local. A pesar de que esta estrategia inicialmente se

describió efectiva para reducir en grado variable la tasa de disfunción diafragmática(77,80), estudios posteriores han mostrado controversia al respecto(82). En nuestro estudio no se encontraron diferencias significativas entre el volumen administrado y la tasa de bloqueo.

Otra de las estrategias que se han descrito para reducir la tasa de bloqueo frénico son los bloqueos alternativos al bloqueo interescalénico. En nuestro estudio se describen bloqueos del plexo braquial por encima de la clavícula. A pesar de que se ha demostrado cierta reducción en la tasa de parálisis frénica comparando en diversos estudios el bloqueo interescalénico frente al bloqueo supraclavicular, no se ha podido reducir esta tasa más allá del 20%(97,99). En nuestro caso en la mayoría de los pacientes (78,12%) se realizó bloqueo interescalénico, siendo minoritarios los bloqueos supraclavicular (7,81%) y combinado de ambos (12,5%). No encontramos diferencias significativas entre la tasa de bloqueo y la técnica utilizada, aunque este no fué el objetivo de nuestro estudio, y no se diseñó para esta finalidad.

### **3. Complicaciones respiratorias postoperatorias**

Como objetivo secundario, nos propusimos relacionar el comportamiento del diafragma con la aparición de complicaciones respiratorias postoperatorias. En este estudio se observó una aparición de complicaciones respiratorias leves del 17%, siendo la mayoría de los pacientes de bajo riesgo perioperatorio según la escala ARISCAT (<26). Este porcentaje de pacientes con complicaciones fue superior al 10,3% esperado para la cirugía de traumatismo periférico(38). Los pacientes que aumentaron la función contralateral del diafragma después de la cirugía con un bloqueo del plexo braquial obtuvieron una función diafragmática global postoperatoria mayor (97% vs 67%;  $p = 0,00025$ ) y además, en este grupo de pacientes observamos una tendencia a desarrollar menos complicaciones

respiratorias (13% vs 23 %;  $p = 0,054$ ) aunque no encontramos esta diferencia significativa.

Un hecho clave es que la FA contralateral media aumentó en el grupo de pacientes que no sufrieron complicaciones, mientras que en el grupo de pacientes que sufrieron complicaciones, la FA contralateral media no aumentó (este hecho se ilustra de forma evidente en la figura 12). Como resultado, el aumento perioperatorio de la función hemidiafragmática contralateral después de un bloqueo del plexo braquial por encima de la clavícula podría servir para mitigar la reducción de la función diafragmática general en el postoperatorio, y esto no ocurrió en pacientes que desarrollaron complicaciones.

Por tanto, observamos que el aumento de la función del diafragma contralateral juega un papel clave en el desarrollo de complicaciones respiratorias postoperatorias.

Por otro lado, los fármacos empleados en la anestesia general en el perioperatorio podrían generar disfunción diafragmática y complicaciones respiratorias(39,67-69). Sin embargo, en nuestro estudio no se encontró relación entre la aparición de complicaciones y recibir bloqueo neuromuscular durante la cirugía con anestesia general o recibir tratamiento con opioides. En el caso del uso de bloqueo neuromuscular este hecho seguramente se deba a que la mayoría de pacientes recibieron un fármaco reversor específico del bloqueo neuromuscular hasta obtener un TOF > del 90%. En el caso de los pacientes que necesitaron tratamiento con opioides, no hay más caída de la FA global por su uso, sino todo lo contrario, probablemente consecuencia de que el dolor impediría una ventilación adecuada a causa de un bloqueo regional subóptimo, la administración de opioides reduciendo el dolor permitiría mejorar la ventilación (hecho que contribuiría a preservar la función diafragmática global).

#### 4. POCUS

La ecografía permite el diagnóstico preciso e inmediato en el punto de atención. Este examen se conoce como POCUS por sus siglas en inglés *Point Of Care Untrasound*. El campo de aplicación de POCUS es muy amplio, permite guiar nuestras decisiones en tiempo real y actualmente se usa de forma frecuente en medicina de urgencias, cardiología, medicina intensiva y anestesiología entre otras especialidades. Dentro de sus aplicaciones cabe destacar el papel en el perioperatorio. Los anestelistas se han servido de la ecografía desde el inicio de su desarrollo en el perioperatorio para la canalización de vías y realización de bloqueos nerviosos. Con el paso de los años, su capacidad diagnóstica ha hecho que su utilización se multiplique, siendo una herramienta básica para el manejo del paciente quirúrgico. Los principales usos en estos casos se centran en determinar la función cardíaca y la función pulmonar(127). Pero además tiene cada vez más indicaciones, empleándose para estimar el contenido gástrico(128), valorar la vía aérea(129–131), estimar la presión intracraneal(132) o determinar la función del diafragma.

La ecografía diafragmática en el punto de atención (D-POCUS) se ha utilizado principalmente en el destete del paciente crítico(30,37,133–136). En el perioperatorio se emplea para el diagnóstico de función diafragmática tras un bloqueo regional o tras una cirugía con alto riesgo de lesión, permitiendo valorar indirectamente si ha existido afectación del nervio frénico al no observar movimiento o contracción del diafragma(137,138). Sin embargo, la mayoría de los estudios se centra en valorar sólo el hemidiafragma ipsilateral, olvidándose del comportamiento de la función contralateral que, como observamos en este estudio, es una parte clave de la función diafragmática general. Además, el uso de D-POCUS suele realizarse en el postoperatorio, pero si se realiza en el preoperatorio puede ayudarnos a identificar pacientes con una capacidad

funcional global baja (ya sea a expensas del hemidiafragma ipsilateral o sobretodo identificar que sea a expensas del contralateral). Como hemos visto, esta valoración en el preoperatorio de cirugías en las que se realice un bloqueo regional del plexo braquial por encima de la clavícula podría ayudar a identificar pacientes de riesgo y prevenir complicaciones postoperatorias.

Para identificar estos pacientes de riesgo clásicamente se ha centrado la atención en los antecedentes y las pruebas preoperatorias. En nuestro estudio, el papel que ha demostrado tener el D-POCUS en esta identificación así como el análisis del resto de factores se discute a continuación.

## **5. Predictores de complicaciones**

El riesgo de padecer complicaciones respiratorias postoperatorias está relacionado con la presencia de una serie de factores (modificables y no modificables) relacionados con el paciente y con el procedimiento(139). En nuestro estudio, además de estratificar el riesgo de los pacientes mediante la escala ARISCAT, registramos todos los antecedentes, edad y género y lo relacionamos con la probabilidad de sufrir complicaciones. A pesar de ser factores de riesgo bien documentados, en nuestro estudio no encontramos asociación significativa en función del número de antecedentes de riesgo, la edad o el género de los pacientes para sufrir complicaciones.

La radiografía de tórax preoperatoria en cirugías en las que se va a realizar un bloqueo del plexo braquial ha sido usada clásicamente para detectar pacientes con una elevación significativa de un hemidiafragma. De este modo podrían detectarse pacientes en los que la realización del bloqueo suponga un riesgo elevado de padecer complicaciones. Sin embargo, hace décadas que se cuestiona la utilidad de esta prueba preoperatoria(140,141). La relación entre los hallazgos en la radiografía y la morbilidad postoperatoria es

desconocida. En nuestro estudio no hubo una relación clara entre la elevación hemidiafragmática en la radiografía preoperatoria con el porcentaje de pacientes que padecieron complicaciones respiratorias postoperatorias. Además, ningún hallazgo modificó la actitud anestésica en ningún caso. Por lo tanto, una vez más cuestionamos la utilidad de solicitar de forma rutinaria a todos los pacientes una prueba que supone irradiación a los pacientes, además de gasto sanitario, cuyo poder predictivo para modificar nuestra actuación en el perioperatorio parece muy limitado. Además, debemos tener en cuenta que disponemos de otras herramientas a nuestro alcance que podrían ayudarnos a identificar pacientes en riesgo con mayor sensibilidad como la ecografía en el punto de atención (sobretudo en nuestro caso, ya que su empleo es necesario en la realización del bloqueo).

El uso de D-POCUS para predecir la aparición de complicaciones respiratorias postoperatorias ha sido descrito en otro estudio donde se caracterizó la función global como la FA media (suma de ambos / 2). En él establecieron un punto de corte de FA media preoperatoria de 38,1% para determinar el riesgo de complicaciones postoperatorias en cirugía cardíaca con una sensibilidad, especificidad, VPP y VPN de 65, 67, 45 y 82% respectivamente(41). En nuestro estudio se describen valores similares (punto de corte el valor de FA global superior al 77% para descartar la aparición de complicaciones con un S73% E73% VPP 36% y VPN 93% AUC 0,68). Sin embargo no hemos sido capaces de encontrar el valor significativo, seguramente por la alta variabilidad al ser un estudio observacional. No obstante, en nuestro caso específico donde un hemidiafragma se puede anular completamente después del bloqueo, utilizando el valor absoluto en lugar de la media genera datos más claros, ya que no importa el valor medio de cada diafragma sino el conjunto de ambos. En otras palabras, mientras el



paciente mantenga un hemidiafragma contralateral sano y muy fuerte, el bloqueo ipsilateral severo a menudo será irrelevante, dejando al paciente asintomático.

Además, no podemos olvidar que la reducción de la función diafragmática postoperatoria probablemente no tenga como único factor la parálisis hemidiafragmática por bloqueo del nervio frénico. Existen otras causas que pueden reducirlo, como la quirúrgica por daño directo al diafragma o al nervio frénico(52,57), fármacos anestésicos (hipnóticos, bloqueo neuromuscular)(39,67,142) o causas intrínsecas del proceso como la presencia de dolor(71), o del paciente (IMC, comorbilidades cardiorrespiratorias). Todas estas causas podrían interferir con el comportamiento del diafragma y la predicción de la aparición de complicaciones respiratorias postoperatorias. Por tanto, es más complejo que la valoración aislada de la función diafragmática, lo que dificulta encontrar una prueba que excluya por completo la aparición de complicaciones.

## **6. Limitaciones**

Nuestro estudio presenta ciertas limitaciones que es necesario mencionar. En primer lugar la derivada de no poder sacar conclusiones de un estudio observacional. Los procedimientos intraoperatorios no han sido homogeneizados, ni durante el procedimiento ni durante la realización de la técnica locorregional. No se realizó el bloqueo regional por encima de la clavícula de la misma forma en todos los pacientes (con variaciones en el volumen y concentración del anestésico local, y en la localización exacta donde se depositó el mismo) esto provocó variabilidad en la tasa y la intensidad de bloqueo frénico, y por tanto dificulta el conocimiento preciso y analítico del hemidiafragma contralateral y de la función global en función de lo que ocurra en el hemidiafragma ipsilateral.

A pesar de que esto nos da una visión más cercana a la realidad, donde continúa ocurriendo una alta tasa de bloqueo frénico, derivado del uso del bloqueo interescalénico y volúmenes altos. Pocos estudios han analizado el hemidiafragma contralateral después de un bloqueo del plexo braquial por encima de la clavícula, por lo que este es el primer paso lógico. A partir de este estudio, el siguiente paso será diseñar ensayos clínicos que puedan proporcionar mayor evidencia a los numerosos hallazgos e hipótesis que se han generado en la presente tesis doctoral.

Otro hecho importantes que cabe destacar es que no se ha calculado el tamaño muestral para el objetivo secundario, que consistía en relacionar el comportamiento del diafragma con la aparición de complicaciones respiratorias postoperatorias. Por lo tanto, cualquiera de estos hallazgos debe tomarse con cautela. Es necesario un tamaño muestral mayor especialmente en el grupo con complicaciones para evitar cometer un error de tipo II, la potencia calculada *post-hoc* para este propósito es solo del 41%; aunque los valores de FA global encontrados son similares a otros estudios, no son significativos y no podemos descartar que pudieran deberse al azar.

Las mediciones diafragmáticas fueron tomadas por solo dos investigadores, y siempre por un solo examinador en cada paciente, las mediciones no fueron comparadas entre ellos, aumentando el sesgo de medición. Además, las mediciones de excursión diafragmática fueron difíciles o imposibles de obtener en algunos pacientes debido a una mala ventana acústica o una excursión excesiva fuera del rango de visualización. Usamos la medición de fracción de acortamiento porque varios estudios reportan la superioridad de la FA sobre la ED como un marcador de la función del diafragma(37,143).

## **CONCLUSIONES**



- En este estudio hemos podido observar que ocurre un incremento de la fracción de acortamiento del hemidiafragma contralateral postoperatorio después de haber realizado un bloqueo del plexo braquial por encima de la clavícula en la mayoría de pacientes.
- El incremento de la función hemidiafragmática contralateral media es del 40% en el postoperatorio respecto del preoperatorio, aunque este incremento no ocurre en todos los pacientes de forma constante, ni es proporcional al grado de bloqueo ipsilateral.
- Actualmente, la tasa de bloqueo frénico en nuestro medio tras la realización de la anestesia del plexo braquial por encima de la clavícula sigue siendo alta (la parálisis hemidiafragmática ipsilateral completa apareció en el 40%).
- Se ha demostrado que la función diafragmática global (formada por ambos hemidiafragmas) se encuentra reducida postoperatoriamente por la parálisis frénica ipsilateral.
- Esta reducción de la función global resultó ser menor de la esperada gracias al aumento de la función del lado contralateral al bloqueo.
- La función del hemidiafragma contralateral, como parte de la función global del diafragma, podría jugar un papel relevante en la aparición de complicaciones respiratorias postoperatorias después de un bloqueo del plexo braquial por encima de la clavícula y debe ser revisada.



**PUBLICACIONES DERIVADAS  
DE LA TESIS DOCTORAL**





- Rovira L, Kot P, Pozo S, Cano B, de Andres J. Ecografía diafragmática perioperatoria en el punto de atención como herramienta de predicción de fallo respiratorio postoperatorio en pacientes de alto riesgo: estudio de viabilidad y serie de casos. Rev Esp Anesthesiol Reanim. 2020;68:137–42.
- Kot Pablo, Estudio D-POCUS (diaphragm point of care ultrasound). Comportamiento del diafragma tras bloqueo regional por encima de la clavícula. En: J. De Andrés (editor). Puesta al día en Anestesia Regional y Tratamiento del Dolor. Anexo: Posters y comunicaciones libres. Vol. XXIII. ISSN 1578-5580. Barcelona. MRA ediciones, 2020, p. 1143 –1146. Premio a la mejor comunicación oral en la 26º reunión anual ESRA España 2020.
- L. Rovira Soriano, P. Kot, I. Leon, J. Hernandez, S. Pozo , J. De Andres. Diaphragm ultrasound as a predictor of patients at risk of pulmonary postoperative complications after phrenic nerve compromise. Euroanesthesia 2018 abstract presentation 1185



## **ANEXOS**



## ANEXO 1

## Declaración STROBE: lista de ítems

	<i>Item number</i>	<i>Recommendation</i>
<b>TITLE and ABSTRACT</b>	1	(a) Indicate the study's design with a commonly used term in the title or the abstract (b) Provide in the abstract an informative and balanced summary of what was done and what was found
<b>INTRODUCTION</b>		
<i>Background/ rationale</i>	2	Explain the scientific background and rationale for the investigation being reported
<i>Objectives</i>	3	State specific objectives, including any prespecified hypotheses
<b>METHODS</b>		
<i>Study design</i>	4	Present key elements of study design early in the paper
<i>Setting</i>	5	Describe the setting, locations, and relevant dates, including periods of recruitment, exposure, follow-up, and data collection
<i>Participants</i>	6	(a) <i>Cohort study</i> —Give the eligibility criteria, and the sources and methods of selection of participants. Describe methods of follow-up <i>Case-control study</i> —Give the eligibility criteria, and the sources and methods of case ascertainment and control selection. Give the rationale for the choice of cases and controls <i>Cross-sectional study</i> —Give the eligibility criteria, and the sources and methods of selection of participants (b) <i>Cohort study</i> —For matched studies, give matching criteria and number of exposed and unexposed <i>Case-control study</i> —For matched studies, give matching criteria and the number of controls per case
<i>Variables</i>	7	Clearly define all outcomes, exposures, predictors, potential confounders, and effect modifiers. Give diagnostic criteria, if applicable
<i>Data sources/ measurement</i>	8*	For each variable of interest, give sources of data and details of methods of assessment (measurement). Describe comparability of assessment methods if there is more than one group
<i>Bias</i>	9	Describe any efforts to address potential sources of bias
<i>Study size</i>	10	Explain how the study size was arrived at
<i>Quantitative variables</i>	11	Explain how quantitative variables were handled in the analyses. If applicable, describe which groupings were chosen, and why
<i>Statistical methods</i>	12	(a) Describe all statistical methods, including those used to control for confounding (b) Describe any methods used to examine subgroups and interactions (c) Explain how missing data were addressed (d) <i>Cohort study</i> —If applicable, explain how loss to follow-up was addressed <i>Case-control study</i> —If applicable, explain how matching of cases and controls was addressed <i>Cross-sectional study</i> —If applicable, describe analytical methods taking account of sampling strategy (e) Describe any sensitivity analyses
<b>RESULTS</b>		
<i>Participants</i>	13*	(a) Report the numbers of individuals at each stage of the study—e.g., numbers potentially eligible, examined for eligibility, confirmed eligible, included in the study, completing follow-up, and analysed (b) Give reasons for non-participation at each stage (c) Consider use of a flow diagram
<i>Descriptive data</i>	14*	(a) Give characteristics of study participants (e.g., demographic, clinical, social) and information on exposures and potential confounders (b) Indicate the number of participants with missing data for each variable of interest (c) <i>Cohort study</i> —Summarise follow-up time (e.g., average and total amount)
<i>Outcome data</i>	15*	<i>Cohort study</i> —Report numbers of outcome events or summary measures over time <i>Case-control study</i> —Report numbers in each exposure category, or summary measures of exposure <i>Cross-sectional study</i> —Report numbers of outcome events or summary measures
<i>Main results</i>	16	(a) Give unadjusted estimates and, if applicable, confounder-adjusted estimates and their precision (e.g., 95% confidence interval). Make clear which confounders were adjusted for and why they were included (b) Report category boundaries when continuous variables were categorized (c) If relevant, consider translating estimates of relative risk into absolute risk for a meaningful time period
<i>Other analyses</i>	17	Report other analyses done—e.g., analyses of subgroups and interactions, and sensitivity analyses
<b>DISCUSSION</b>		
<i>Key results</i>	18	Summarise key results with reference to study objectives
<i>Limitations</i>	19	Discuss limitations of the study, taking into account sources of potential bias or imprecision. Discuss both direction and magnitude of any potential bias
<i>Interpretation</i>	20	Give a cautious overall interpretation of results considering objectives, limitations, multiplicity of analyses, results from similar studies, and other relevant evidence
<i>Generalisability</i>	21	Discuss the generalisability (external validity) of the study results
<b>OTHER INFORMATION</b>		
<i>Funding</i>	22	Give the source of funding and the role of the funders for the present study and, if applicable, for the original study on which the present article is based



## ANEXO 2

## Dictamen CEIC del Consorcio Hospital General Universitario de Valencia



Consorcio Hospital General Universitario de Valencia

Comité Ético de Investigación

## APROBACIÓN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

- ANEXO 11 -

Este CEI tras evaluar en su reunión de 12 de julio de 2018 el Proyecto de Investigación:

Título:	Estudio Observacional prospectivo de valoración perioperatoria ecográfica del diafragma (D-POCUS) para la detección del bloqueo frénico y predicción del fallo ventilatorio postoperatorio en paciente que reciban bloqueos del plexo branquial por encima de la clavícula.		
I.P.:	Lucas Rovira Soriano	Servicio/Unidad	SARTD

Acuerda respecto a esta documentación:

Que se cumplen los requisitos éticos y metodológicos y la Hoja de Información al Paciente y Consentimiento Informado presentado reúnen las condiciones exigidas por este CEI, por tanto se decide su APROBACIÓN. A falta de la Clasificación de la AEMPS solicitada previamente.

## COMPOSICIÓN DEL CEI

**Presidente:** Dra. Elena Rubio Gomis (Unidad de Farmacología Clínica)**Vocales:**

- Dr. Francisco Antón García (Atl primaria)
- Dra. Pilar Blasco Segura (Servicio de Farmacia)
- Dr. Ernesto Bataller Alonso (Director Económico del CHGUV)
- Dña. Pepa Balaguer Cusi (Miembro independiente de la organización asistencial)
- Dr. Enrique Ortega Gonzalez (Gerente Chguv)
- Dra. Dolores Ocete Mochón (Servicio de Microbiología)
- Dr. Miguel Garcia del Toro (Unidad de Infecciosos)
- D. Fráncico Javier Gracia Pérez (Servicio de Reanimación)
- Dr. Julio Cortijo Gimeno (Unidad de Docencia e Investigación)
- Dña. María Teresa Jareño (Unidad de Reanimación Cardíaca)
- D. Alejandro Moner González (Gerencia CHGUV – Asesoría Jurídica)
- Dr. Alberto Berenguer Jofresa (Servicio de Cardiología)
- Dra. Ana Blasco Cordellat (Servicio de Oncología)



Consorcio Hospital General Universitario de Valencia

Comité Ético de Investigación



- Dr. Antonio Martorell Aragonés (Unidad de Alergología)
- Dr. Aurelio Quesada Dorador (Servicio de Cardiología)
- Dra. M<sup>a</sup> José Safont Aguilera (Servicio de Oncología)
- Dr. Javier Milara Payá (Servicio de Farmacia)
- Dra. Goitzane Marcaida Benito (Servicio de Análisis Clínicos)
- Dr. Pedro Polo Martín (Servicio de Pediatra- Atención Primaria)
- Dña. Carmen Sarmiento Cabañes (Miembro independiente de la organización asistencial)
- Dr. Enrique Zapater Latorre (Servicio de Otorrino)

**Secretario:** Dr. Elias Ruiz Rojo (Farmacéutico Att Primaria)

El CEI del Consorcio Hospital General Universitario de Valencia, cumple con las normas de BPC (CPMP/ICH/135/95) tanto en su composición como en sus procedimientos y con la legislación vigente que regula su funcionamiento, y que la composición del CEI es la indicada en el anexo I, teniendo en cuenta que en el caso de que algún miembro participe en el estudio o declare algún conflicto de interés no habrá participado en la evaluación ni en el dictamen de la solicitud de autorización del estudio

Lo que comunico a efectos oportunos:

Valencia 13 de Julio de 2018

Fdo. Dr. Elias Ruiz Rojo (Secretario CEI CHGUV)	
	 CONSORCIO HOSPITAL GENERAL UNIVERSITARI VALENCIA <hr/> COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA



## ANEXO 3

## Hoja de información para los participantes



## MODELO DE HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE

HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE Y CONSENTIMIENTO INFORMADO		
Código de Protocolo:		Promotor: FIHGUV
Versión de la HIP: 1	Fecha de la versión: 20/04/2018	Investigador Principal: Lucas Rovira Soriano Anestesiología CHGUV Tel .659276476
CENTRO: Hospital General Universitario de Valencia		

Título del estudio: "Estudio observacional prospectivo de valoración perioperatoria ecográfica del diafragma (D-POCUS) para la detección del bloqueo frénico y predicción de fallo ventilatorio postoperatorio en pacientes que reciban bloqueos del plexo braquial por encima de la clavícula"

## 1. INTRODUCCIÓN:

Nos dirigimos a usted para informarle sobre un estudio en el que se le invita a participar. El estudio ha sido aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica correspondiente de acuerdo a la legislación vigente.

Nuestra intención es tan sólo que usted reciba la información correcta y suficiente para que pueda evaluar y juzgar si quiere o no participar en este estudio. Para ello lea esta hoja informativa con atención y nosotros le aclararemos las dudas que le puedan surgir después de la explicación. Además, puede consultar con las personas que considere oportuno.

## 2. PARTICIPACIÓN VOLUNTARIA:

Debe saber que su participación en este estudio es voluntaria y que puede decidir dejarlo cuando quiera, sin que exista ningún problema, y sin reducir lo más mínimo la atención y cuidados que habitualmente se le dan.



### 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO OBSERVACIONAL:

su cirujano le ha dicho que necesita una operación quirúrgica en el miembro superior (hombro, brazo,...) que requiere analgesia para que no sufra dolor ni durante ni después del procedimiento. La mejor forma de conseguir que no le duela es realizarle anestesia locoregional y por eso su anestesiólogo le ha recomendado la realización de una técnica de anestesia locoregional (bloqueo interescalénico o supraclavicular) realizándole un pinchazo en la zona del cuello que le dormirá los nervios del brazo quitándole total o parcialmente el dolor.

Estamos elaborando un estudio para saber si al quitarle el dolor anestesiando los nervios del hombro o brazo, también le anestesiaremos el nervio que contrae el diafragma (n. frénico), se sabe que esto ocurre muchas veces, pero al tener dos nervios frénicos, el hecho de que uno quede anulado por la anestesia no suele producir ningún problema. en los pocos casos que genere algún problema suele ser sensación de falta de aire, aumento de la frecuencia respiratoria y fatiga. suele mejorar en pocas horas, y en el peor de los casos (3%) siempre tiene solución, usando una máquina para que le ayude a respirar hasta que acaben los efectos sobre el nervio frénico.

nosotros queremos usar un ecógrafo, máquina que emite ultrasonidos y permite ver estructuras internas sin producir ningún cambio ni alteración sobre el organismo como la que se usa en las embarazadas para ver los bebés, pero esta vez para medir como funciona su diafragma el musculo que permite que entre el aire en los pulmones, antes y después de que le realicen la técnica de anestesia locoregional.

Para obtener los datos que necesitamos del estudio, primero necesitamos que acepte entrar en el estudio y nos autorice a utilizar el ecógrafo sobre su diafragma tanto antes como después de la cirugía, queremos recoger muchos datos clínicos durante el perioperatorio (desde antes hasta el día después de la cirugía), Los datos más importantes que vamos a recoger son básicamente, los valores del diafragma al tomar el máximo aire posible y al vaciar los pulmones al máximo, y posteriormente veremos si guarda alguna relación los valores con la posibilidad que le aparezca aumento de la frecuencia respiratoria, valor bajo de saturación, o sensación de falta de aire entre otros ( lo que se conoce como signos de fallo ventilatorio).

### 4. BENEFICIOS Y RIESGOS DERIVADOS DE SU PARTICIPACIÓN EN EL ESTUDIO:

El uso del ecógrafo es la única diferencia respecto de los pacientes que no entren en este estudio, este dispositivo no es lesivo, no produce radiación y es completamente seguro, por tanto no se espera ninguna complicación derivada de su uso. El beneficio a priori es claro, ya que conocer como funciona su diafragma tanto antes como después del procedimiento nos ayudará a conocer mejor como está usted en términos concretos de salud diafragmática, si presenta un bloqueo previo o si se ha producido bloqueo tras la cirugía. No existen riesgos añadidos por entrar en este estudio prospectivo.



Los riesgos son los mismos que cualquier paciente que se opere de los mismo que usted como le habrán explicado en la visita pre-anestésica respecto a la anestesia general y locorregional (y que figuran en el documento estándar de Consentimiento Informado de la Conselleria de Sanitat y que puede consultar en una copia que se adjunta si lo desea, aunque pasamos a relatarlos literalmente:

*“Aparte del riesgo de la intervención quirúrgica, del que me informará el médico cirujano, la administración de la anestesia, como sucede en todo procedimiento médico, conlleva una serie de riesgos, que son aceptados de acuerdo con la experiencia y el estado actual de la ciencia médica y que pasamos a enumerar:*

*Punción accidental de la arteria. Pinchazos repetidos por dificultad en la introducción del catéter venoso, que pudiera condicionar salida de la vena de los diferentes fármacos empleados en la anestesia y provocar desde un simple enrojecimiento hasta problemas circulatorios locales.*

*En algunas ocasiones, la introducción del tubo traqueal o cualquier otro dispositivo en la tráquea o en la faringe, puede entrañar gran dificultad, dando lugar a rotura de piezas dentales y a lesiones en las mucosas de la zona.*

*Durante la colocación del tubo traqueal (o cualquier otro dispositivo) puede pasar al pulmón parte del contenido del estómago, ocasionando problemas respiratorios que pueden llegar a ser importantes. Es una complicación grave pero poco frecuente. Una forma de prevenir esta complicación es guardar ayuno absoluto desde al menos 6 horas antes de la intervención.*

*La administración de sueros que sean imprescindibles durante la anestesia, puede producir, excepcionalmente, reacciones alérgicas que pueden llegar a ser graves. Está desaconsejada la práctica sistemática de pruebas alérgicas a los fármacos que pueden emplearse durante la anestesia. Estas pruebas no están libres de riesgos y además, aun siendo su resultado negativo, no significa que no pudieran producir reacciones adversas cuando las empleamos durante la anestesia.*

*Después de la anestesia general, pueden aparecer diferentes síntomas, como descenso de la tensión arterial, aumento de las pulsaciones, tos, depresión o dificultad respiratoria, agitación, retraso en la recuperación de la conciencia, mareo, náuseas, vómitos, ronquera, temblores, que en general son consideradas como molestias llegando, en muy pocos casos, a ser complicaciones.*

*Riesgos en función de la situación clínica del paciente*

*Todo acto quirúrgico lleva implícitas una serie de complicaciones comunes y potencialmente serias que podrían requerir tratamientos complementarios, tanto médicos como quirúrgicos. Dependiendo de la situación vital del paciente, (existencia de situaciones como diabetes, cardiopatía, hipertensión, anemia, edad avanzada, obesidad) el riesgo anestésico puede ser mayor”*

Tanto si decide participar en el estudio como si no, el tratamiento médico administrado será idéntico. Los riesgos serán los mismos en ambos casos, aquellos derivados de realizarle una técnica específica locorregional por encima de la clavícula incluyen parálisis parcial o total del hemidiafragma del mismo lado que la mayoría de veces es transitoria. En un porcentaje mucho más bajo otras complicaciones consideradas como raras o muy poco frecuentes serían daño neural transitorio o definitivo de los nervios bloqueados, punción hemática, neumotórax, infección del sitio de punción.

Sin embargo, los anestesiólogos son médicos especialistas en las técnicas de bloqueo nervioso, y al realizarlos de forma ecoguiada, reducen la incidencia de estas



complicaciones. Si decide participar en el estudio está ayudando a mejorar la asistencia a futuros pacientes como usted. Queremos observar si es útil realizar una ecografía diafragmática antes y después de la cirugía, para predecir ciertas complicaciones durante el proceso quirúrgico.

#### **5. TRATAMIENTOS ALTERNATIVOS:**

Cada anestesiólogo puede utilizar la técnica o dispositivo que crea mejor para conseguir el objetivo de analgesia quirúrgica y postoperatoria, en el hospital disponemos de varios métodos diferentes. aunque la anestesia locorreional es el método mejor, más efectivo y con menos complicaciones, también se puede usar, otros bloqueos nerviosos que han demostrado menor eficacia, pero sin riesgo de anestesiar el nervio frénico o incrementar la medicación analgésica usándola de forma única.

#### **6. Nº DE URGENCIA PARA PROBLEMAS DEL ENSAYO:**

En caso de que desee formular preguntas acerca del estudio o daños relacionados con el mismo, contactar con el médico del estudio Dr. ROVIRA en el número de teléfono 659276476

#### **CONFIDENCIALIDAD:**

El tratamiento, la comunicación y la cesión de los datos de carácter personal de todos los sujetos participantes, se ajustará a lo dispuesto en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre de protección de datos de carácter personal. De acuerdo a lo que establece la legislación mencionada, usted puede ejercer los derechos de acceso, modificación, oposición y cancelación de datos, para lo cual deberá dirigirse a su médico del estudio. Los datos recogidos para el estudio estarán identificados mediante un código y sólo su médico del estudio o colaboradores podrán relacionar dichos datos con usted y con su historia clínica. Por lo tanto, su identidad no será revelada a persona alguna salvo excepciones, en caso de urgencia médica o requerimiento legal.

Sólo se tramitarán a terceros y a otros países los datos recogidos para el estudio, que en ningún caso contendrán información que le pueda identificar directamente, como nombre y apellidos, iniciales, dirección, nº de la seguridad social, etc... En el caso de que se produzca esta cesión, será para los mismos fines del estudio descrito y garantizando la confidencialidad como mínimo con el nivel de protección de la legislación vigente en nuestro país.

El acceso a su información personal quedará restringido al médico del estudio, colaboradores, autoridades sanitarias (Agencia Española del Medicamento y Productos Sanitarios), al Comité Ético de Investigación Clínica y personal autorizado por el promotor, cuando lo precisen para comprobar los datos y procedimientos del estudio,



pero siempre manteniendo la confidencialidad de los mismos de acuerdo a la legislación vigente. El acceso a su historia clínica ha de ser sólo en lo relativo al estudio. El responsable del Registro de los datos en la Agencia Española de Protección de Datos es la Consellería de Sanitat de la Comunidad Valenciana.

#### **7. COMPENSACIÓN ECONÓMICA:**

El promotor del estudio es el responsable de gestionar la financiación del mismo, por lo que su participación en éste no le supondrá ningún gasto. Usted no tendrá que pagar por los medicamento o dispositivos médicos que le suministren o se utilicen en el estudio.

#### **8. OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE:**

Cualquier nueva información referente a los dispositivos utilizados en el estudio que se descubra durante su participación y que pueda afectar a su disposición para participar en el estudio, le será comunicada por su médico lo antes posible.

Si usted decide retirar el consentimiento para participar en este estudio, no se añadirá ningún dato nuevo a la base de datos y, puede exigir la destrucción de todas las muestras identificables previamente obtenidas para evitar la realización de nuevos análisis.

También debe saber que puede ser excluido del estudio si el promotor o los investigadores del mismo lo consideran oportuno, ya sea por motivos de seguridad, por cualquier acontecimiento adverso que se produzca por la mediación o producto medico en estudio o porque consideren que usted no está cumpliendo con los procedimientos establecidos. En cualquiera de los casos, usted recibirá una explicación adecuada del motivo por el que se ha decidido su retirada del estudio.

El promotor podrá suspender el estudio siempre y cuando sea por alguno de los supuestos contemplados en la legislación vigente.

Al firmar la hoja de consentimiento adjunta, se compromete a cumplir con los procedimientos del estudio que se le han expuesto. Cuando acabe su participación recibirá el mejor tratamiento disponible y que su médico considere el más adecuado para su enfermedad, pero es posible que no se le pueda seguir administrando/utilizando la medicación/producto sanitario objeto del presente estudio. Por lo tanto, ni el investigador, ni el promotor, adquieren compromiso alguno de mantener dicho tratamiento fuera de este estudio.

El promotor podrá suspender el estudio siempre y cuando sea por alguno de los supuestos contemplados en la legislación vigente.

Al firmar la hoja de consentimiento adjunta, nos autoriza a utilizar cualquiera de los dispositivos utilizados en el estudio, lo que no excluye el uso de otros dispositivos o técnicas en caso de necesidad como realizamos en nuestra práctica clínica habitual.



## ANEXO 4

### Modelo de consentimiento informado



#### MODELO DE CONSENTIMIENTO POR ESCRITO

Título del estudio:

**“Estudio observacional prospectivo de valoración perioperatoria ecográfica del diafragma (D-POCUS) para la detección del bloqueo frénico y predicción de fallo ventilatorio postoperatorio en pacientes que reciban bloqueos del plexo braquial por encima de la clavícula”**

Yo, \_\_\_\_\_ (nombre y apellidos).

He leído la hoja de información que se me ha entregado.

He podido hacer preguntas sobre el estudio.

He recibido suficiente información sobre el estudio.

He hablado con: \_\_\_\_\_ (nombre del Investigador)

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

1º Cuando quiera

2º Sin tener que dar explicaciones.

3º Sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

Firma del Participante

Firma del Investigador

Nombre:  
Fecha

Nombre:  
Fecha





## ANEXO 5

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:**

**“Estudio observacional prospectivo de valoración perioperatoria ecográfica del diafragma (D-POCUS) para la detección del bloqueo frénico y predicción de fallo ventilatorio postoperatorio en pacientes que reciban bloqueos del plexo braquial por encima de la clavícula”**

**CUADERNO DE RECOGIDA DE DATOS (CRD)**

Fecha entrega CI \_\_\_\_\_ Número del sujeto: \_\_\_\_\_

SE INFORMA, ACEPTA Y FIRMA CI:      SI                  NO

FECHA y HORA inclusión \_\_\_\_\_

<b>CRITERIOS DE INCLUSIÓN</b>	SI	NO
Edad $\geq$ 18 años		
Cirugía planificada para bloqueo nervioso por encima de clavícula		

<b>CRITERIOS DE EXCLUSIÓN</b>	SI	NO
Edad < 18 años		
Contraindicación de anestesia LRG		
Parálisis frénica previa		

**CARACTERÍSTICAS DE LOS PACIENTES:**

Fecha Nacimiento (edad): \_\_\_\_\_ Sexo: Varón\_\_Mujer\_\_

Peso: \_\_\_\_\_ kg Talla: \_\_\_\_\_ cm imc \_\_\_\_\_

FR basal \_\_\_\_\_ rpm SaO2 basal \_\_\_\_\_ SaO2/Fio2 basal \_\_\_\_\_

Rx torax preop

(diafragma sin ascenso       ascenso <2cm       ascenso > 2cm )

Anestesiólogo intraoperatorio:

Anestesiologo realiza DPOCUS

Tipo Cirugía: \_\_\_\_\_

CRD PROYECTO OBSERV. D-POCUS

ID PACIENTE \_\_\_\_\_

**INTRAOPERATORIO**
**Bloqueo realizado:**                    **LADO DERECHO**      **LADO IZQUIERDO**

   **INTERESCALENICO**\_\_\_\_\_ **SUPRACLAVICULAR**\_\_\_\_\_

**Volumen**\_\_\_\_\_ **ML ALOCAL:** **BUPI** **L-BUPI** **ROPI** **LIDO** **MEPI**  
**CONCENTRACION**
**Se ha usado relajante neuromuscular durante la inducción**      **SI**    **NO**  
**fármaco/dosis**\_\_\_\_\_ **dosis repetida**\_\_\_\_\_

**Se ha realizado reversión neuromuscular**      **si**      **no**    **neostigmina**    **Bridion**  
**TOF RATIO en educación**
**Fármacos analgésicos usados:** \_\_\_\_\_
**VALOR ECOGRAFIA DIAFRAGMATICA**

		Lado derecho				Lado Izquierdo			
Preprocedimiento									
medidas		1	2	3	Media	1	2	3	Media
grosor	Insp Max								
	Esp Max								
FA									
E									
Post procedimiento (requiere colaboración paciente)									
medidas		1	2	3	Media	1	2	3	Media
grosor	Insp Max								
	Esp Max								
FA									
E									

CRD PROYECTO OBSERV. D-POCUS

ID PACIENTE\_\_\_\_\_

### VALORACIÓN ESPIROMÉTRICA

PREOPERATORIO				
	1	2	3	Media
CVF				
FEV1				
PEF				
POSTOPERATORIO				
	1	2	3	Media
CVF				
FEV1				
PEF				

### ARISCAT:

#### ARISCAT – Using the Model

Predictor	Multivariate Analysis OR	Risk score
Age 51-80	1.4	3
Age >80	5.1	16
Preop SpO2 91-95	2.2	8
Preop SpO2 <= 90	10.7	24
Resp infection w/in 1 mo	5.5	17
Preop hemoglobin <=10	3.0	11
Upper abdominal incision	4.4	15
Intrathoracic incision	11.4	24
Surgery >2-3 hrs	4.9	16
Surgery >3 hrs	9.7	23
Emergency procedure	2.2	8

Risk category	PPC rate
Low risk <26 points	1.6%
Intermediate risk 26-44 points	13.3%
High risk >= 45 points	42.1%

[Back](#)

**EN URPA****Diagnóstico de fallo ventilatorio:**

FR \_\_\_\_\_ rpm      SaO2 \_\_\_\_\_      SaO2/FiO2 \_\_\_\_\_

Sensación de falta de aire /disnea      si      No

**Aumento del trabajo respiratorio (tiraje, taquipnea, )**

necesidad de VMNI o IOT en urpa:      SI      NO

A- Dolor      SI      NO      EVA \_\_\_\_\_

0-no dolor

1-leve molestia

2-molestias moderadas sin analgésicos

3-importantes molestias que requieren analgésicos

4-dolor insoportable a pesar de analgésicos

B- Grado de satisfacción del paciente en relación al bloqueo

Muy satisfecho

Satisfecho

Indiferente

Insatisfecho . motivo \_\_\_\_\_

Muy insatisfecho. Motivo \_\_\_\_\_

## ANEXO 6

ARISCAT risk index		
Factor	Adjusted Odds Ratio (95% CI)	Risk Score
Age (y)		
≤50	1	—
51–80	1.4 (0.6–3.3)	3
>80	5.1 (1.9–13.3)	16
Preoperative oxygen saturation (%)		
≥96	1	—
91–95	2.2 (1.2–4.2)	8
≤90	10.7 (4.1–28.1)	24
Respiratory infection in the last month	5.5 (2.6–11.5)	17
Preoperative anemia (hemoglobin ≤10 g/dL)	3.0 (1.4–6.5)	11
Surgical incision		
Upper abdominal	4.4 (2.3–8.5)	15
Intrathoracic	11.4 (1.9–26.0)	24
Duration of surgery (h)		
≤2	1	—
2–3	4.9 (2.4–10.1)	16
>3	9.7 (2.4–19.9)	23
Emergency surgery	2.2 (1.0–4.5)	8
<b>Risk Class</b>	<b>Number of Points in Risk Score</b>	<b>PPC Rate (Validation Sample), %</b>
Low	<26	1.6
Intermediate	26–44	13.3
High	≥45	42.1



## ANEXO 7

<b>Antecedentes médicos relevantes de los pacientes</b>	
Fumador	Hiperplasia benigna de próstata
HTA	Lumbalgia
Diabetes Mellitus	Artrodesis lumbar
Dislipemia	Artrodesis cervical
EPOC	Adenocarcinoma de próstata
SAOS	Neoplasia de mama
Artrosis	Fibrilación auricular
Osteoporosis	Cardiopatía isquémica
Hipotiroidismo	Escoliosis
Anemia	Enfermedad renal crónica
Hiperuricemia	Hepatitis autoinmune
Dispepsia	Sacroileitis
ERGE	Neoplasia ovario
Vasculopatía periférica	Enolismo crónico
Policitemia Vera	TBC pulmonar
Fibromialgia	Diverticulitis
Asma	Púrpura trombótica trombocitopénica
Síndrome ansioso depresivo	Enfermedad de Párkinson
Migrañas	Paraplejia
VHC	





## **REFERENCIAS**



1. Maish MS. The diaphragm. *Surg Clin North Am.* 2010;90(5):955–68.
2. Hamada T, Usami A, Kishi A, Kon H, Takada S. Anatomical study of phrenic nerve course in relation to neck dissection. *Surg Radiol Anat.* 2015;37(3):255–8.
3. El-Boghdadly K, Chin J, Chan V. Boghdadly 2017 Rew Phrenic palsy shoulder surgery. *Anesthesiology.* 2017;127.
4. Wilson TA, De Troyer A. Diagrammatic analysis of the respiratory action of the diaphragm. *J Appl Physiol.* 2010;108(2):251–5.
5. Fogarty MJ, Mantilla CB, Sieck GC. Breathing: Motor control of diaphragm muscle. *Physiology.* 2018;33(2):113–26.
6. Kocjan J, Adamek M, Gzik-Zroska B, Czyżewski D, Rydel M. Network of breathing. Multifunctional role of the diaphragm: A review. *Adv Respir Med.* 2017;85(4):224–32.
7. Kokatnur L, Rudrappa M. Diaphragmatic Palsy. *Diseases.* 2018 Feb 13;6(1):16. doi: 10.3390/diseases6010016. PMID: 29438332; PMCID: PMC5871962.
8. McCool F, Tzelepis G. Dysfunction of the diaphragm. *N Engl J Med.* 2012;366(21):932–42.
9. Chetta A, Rehman AK, Moxham J, Carr DH, Polkey MI. Chest radiography cannot predict diaphragm function. *Respir Med.* 2005;99(1):39–44.
10. Kharma N. Dysfunction of the diaphragm: Imaging as a diagnostic tool. *Curr Opin Pulm Med.* 2013;19(4):394–8.
11. Reynaud V, Prigent H, Mulliez A, Durand MC, Lofaso F. Phrenic nerve conduction study to diagnose unilateral diaphragmatic paralysis. *Muscle Nerve.* 2021 Mar;63(3):327-335. doi: 10.1002/mus.27144. Epub 2020 Dec 24. PMID: 33314195.

12. Sarwal A, Walker FO, Cartwright MS. Sarwal A, Walker FO, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm. *Muscle Nerve* 2013; 47: 319-329. *Muscle Nerve*. 2013;4(164):319–29.
13. Scarlata S, Mancini D, Laudisio A, Raffaele AI. Reproducibility of diaphragmatic thickness measured by M-mode ultrasonography in healthy volunteers. *Respir Physiol Neurobiol*. 2019 Feb;260:58-62. doi: 10.1016/j.resp.2018.12.004. Epub 2018 Dec 13. PMID: 30553945.
14. Boon AJ, Harper CJ, Ghahfarokhi LS, Strommen JA, Watson JC, Sorenson EJ. Two-dimensional ultrasound imaging of the diaphragm: quantitative values in normal subjects. *Muscle Nerve*. 2013 Jun;47(6):884-9. doi: 10.1002/mus.23702. Epub 2013 Apr 29. PMID: 23625789.
15. Boon AJ, Sekiguchi H, Harper CJ, Strommen JA, Ghahfarokhi LS, Watson JC, Sorenson EJ. Sensitivity and specificity of diagnostic ultrasound in the diagnosis of phrenic neuropathy. *Neurology*. 2014 Sep 30;83(14):1264-70. doi: 10.1212/WNL.0000000000000841. Epub 2014 Aug 27. PMID: 25165390; PMCID: PMC4180486.
16. Şahin H, Doğan A, Ekiz T. Ultrasonographic evaluation of the diaphragm thickness in patients with multiple sclerosis. *Mult Scler Relat Disord*. 2019 Nov;36:101369. doi: 10.1016/j.msard.2019.08.011. Epub 2019 Aug 12. PMID: 31446243.
17. Catalá-Ripoll JV, López-Cárceles C, Hernández-Fernández F, Monsalve-Naharro JÁ, Cuesta-Montero P, Sánchez-López M de los L, et al. Chest radiography versus diaphragmatic ultrasound in diagnosis of diaphragmatic dysfunction in ischemic stroke. Pilot study. *Neurol Argentina*. 2019;11(4):210–5.
18. Noda Y, Sekiguchi K, Kohara N, Kanda F, Toda T. Ultrasonographic diaphragm

- thickness correlates with compound muscle action potential amplitude and forced vital capacity. *Muscle Nerve*. 2016 Apr;53(4):522-7. doi: 10.1002/mus.24902. Epub 2015 Oct 10. PMID: 26357011.
19. Buonsenso D, Berti B, Palermo C, Leone D, Ferrantini G, De Sanctis R, et al. Ultrasound assessment of diaphragmatic function in type 1 spinal muscular atrophy. *Pediatr Pulmonol*. 2020;55(7):1781–8.
  20. Durand WM, Daniels AH. C4 root compression leads to phrenic nerve palsy with shortness of breath, chest pain, and elevated hemidiaphragm. *Lancet* [Internet]. 2020;396(10257):1101. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32027-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32027-4)
  21. Kaufman MR, Willekes LJ, Elkwood AI, Rose MI, Patel TR, Ashinoff RL, et al. Diaphragm paralysis caused by transverse cervical artery compression of the phrenic nerve: The Red Cross syndrome. *Clin Neurol Neurosurg*. 2012;114(5):502–5.
  22. Nikolaos P, Vasilios L, Efstratios K, Panagiotis A, Christos P, Nikolaos B, et al. Therapeutic modalities for Pancoast tumors. *J Thorac Dis*. 2014;6(SUPPL1).
  23. Estridge R, Iskander M. Understanding Guillain-Barré syndrome. *J Am Acad Physician Assist*. 2015;28(7):19–22.
  24. Borel CO, Tilford C, Nichols DG, Hanley DF, Traystman RJ. Diaphragmatic performance during recovery from acute ventilatory failure in Guillain-Barre syndrome and myasthenia gravis. *Chest*. 1991;99(2):444–51.
  25. Junior WM, de Carvalho Alcântara M, Nogueira-Barbosa MH, Fernandes RMF, da Silva GA, Sander HH, et al. Respiratory dysfunction in Charcot–Marie–Tooth disease type 1A. *J Neurol*. 2015;262(5):1164–71.
  26. Howard RS. Respiratory failure because of neuromuscular disease. *Curr Opin*

- Neurol. 2016;29(5):592–601.
27. Laroche CM, Mier AK, Spiro SG, Newson-Davis J, Moxham J, Green M. Respiratory muscle weakness in the Lambert-Eaton myasthenic syndrome. *Thorax*. 1989;44(11):913–8.
  28. Baria MR, Shahgholi L, Sorenson EJ, Harper CJ, Lim KG, Strommen JA, et al. B-mode ultrasound assessment of diaphragm structure and function in patients with COPD. *Chest*. 2014;146(3):680–5.
  29. Supinski GS, Morris PE, Dhar S, Callahan LA. Diaphragm Dysfunction in Critical Illness. *Chest [Internet]*. 2018;153(4):1040–51. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chest.2017.08.1157>
  30. Dres M, Goligher EC, Heunks LMA, Brochard LJ. Critical illness-associated diaphragm weakness. *Intensive Care Med*. 2017;43(10):1441–52.
  31. Kim WY, Suh HJ, Hong SB, Koh Y, Lim CM. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: Influence on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med*. 2011;39(12):2627–30.
  32. Petrof BJ. Diaphragm Weakness in the Critically Ill: Basic Mechanisms Reveal Therapeutic Opportunities. *Chest [Internet]*. 2018;154(6):1395–403. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.08.1028>
  33. Farghaly S, Hasan AA. Diaphragm ultrasound as a new method to predict extubation outcome in mechanically ventilated patients. *Aust Crit Care*. 2017 Jan;30(1):37-43. doi: 10.1016/j.aucc.2016.03.004. Epub 2016 Apr 22. PMID: 27112953.
  34. Ferrari G, De Filippi G, Elia F, Panero F, Volpicelli G, Aprà F. Diaphragm ultrasound as a new index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Ultrasound J*. 2014;6(1):1–6.

35. Dinino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*. 2014;69(5):423–7.
36. Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, Farias P, Murray A, Brace D, Brochard LJ, Bolz SS, Rubenfeld GD, Kavanagh BP, Ferguson ND. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity. *Intensive Care Med*. 2015 Apr;41(4):642-9. doi: 10.1007/s00134-015-3687-3. Epub 2015 Feb 19. Erratum in: *Intensive Care Med*. 2015 Apr;41(4):734. Sebastien-Bolz, Steffen [corrected to Bolz, Steffen-Sebastien]. PMID: 25693448.
37. Umbrello M, Formenti P, Longhi D, Galimberti A, Piva I, Pezzi A, Mistraletti G, Marini JJ, Iapichino G. Diaphragm ultrasound as indicator of respiratory effort in critically ill patients undergoing assisted mechanical ventilation: a pilot clinical study. *Crit Care*. 2015 Apr 13;19(1):161. doi: 10.1186/s13054-015-0894-9. PMID: 25886857; PMCID: PMC4403842.
38. Schultz MJ, Hemmes SNT, Neto AS, Binnekade JM, Canet J, Hedenstierna G, et al. Epidemiology, practice of ventilation and outcome for patients at increased risk of postoperative pulmonary complications: LAS VEGAS - An observational study in 29 countries. *Eur J Anaesthesiol*. 2017;34(8):492–507.
39. Sasaki N, Meyer M, Eikermann M. Postoperative respiratory muscle dysfunction: Only the strong survive. *Anesthesiology*. 2013;118(4):783–4.
40. Spadaro S, Grasso S, Dres M, Fogagnolo A, Dalla Corte F, Tamburini N, et al. Point of Care Ultrasound to Identify Diaphragmatic Dysfunction after Thoracic Surgery. *Anesthesiology*. 2019;131(2):266–78.
41. Cavayas YA, Eljaiek R, Rodrigue É, Lamarche Y, Girard M, Wang HT, et al.

- Preoperative Diaphragm Function Is Associated with Postoperative Pulmonary Complications after Cardiac Surgery. *Crit Care Med.* 2019;47(12):e966–74.
42. Kim SH, Na S, Choi JS, Na SH, Shin S, Koh SO. An evaluation of diaphragmatic movement by M-mode sonography as a predictor of pulmonary dysfunction after upper abdominal surgery. *Anesth Analg.* 2010;110(5):1349–54.
43. de Jong AA, Manni JJ. Phrenic nerve paralysis following neck dissection. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 1991;248(3):132-4. doi: 10.1007/BF00178921. PMID: 2029390.
44. Santana AFSG, Caruso P, Santana PV, Porto GCLM, Kowalski LP, Vartanian JG. Inspiratory muscle weakness, diaphragm immobility and diaphragm atrophy after neck dissection. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology* [Internet]. 2018;275(5):1227–34. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00405-018-4923-6>
45. Georgoulis G, Papagrigoriou E, Bracho GFP, Mertens P, Sindou M. Intraoperative monitoring of diaphragm neural pathways during cervical surgery by electrical stimulation and recordings of ventilator waveforms: Physiological bases and pilot study. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2017;29(1):30–6.
46. Dubé B-P, Dres M. Diaphragm Dysfunction: Diagnostic Approaches and Management Strategies. *J Clin Med.* 2016;5(12):113.
47. LoMauro A, Righi I, Privitera E, Vergari M, Nigro M, Aliverti A, et al. The impaired diaphragmatic function after bilateral lung transplantation: A multifactorial longitudinal study. *J Hear Lung Transplant* [Internet]. 2020;39(8):795–804. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.healun.2020.04.010>
48. Welvaart WN, Paul MA, Stienen GJM, Van Hees HWH, Loer SA, Bouwman R,



- et al. Selective diaphragm muscle weakness after contractile inactivity during thoracic surgery. *Ann Surg.* 2011;254(6):1044–9.
49. Kot P, Granell M, Rodriguez P, Rovira L, Andrés J De. Diaphragmatic Ultrasound: Early Diagnosis When Phrenic Injury in Thoracic Surgery Is Suspected. *J Cardiothorac Vasc Anesth* [Internet]. [cited 2018 Dec 1];0(0). Available from: [https://www.jcvaonline.com/article/S1053-0770\(18\)30470-1/fulltext#.XAJ3J9Ge3NU.mendeley](https://www.jcvaonline.com/article/S1053-0770(18)30470-1/fulltext#.XAJ3J9Ge3NU.mendeley)
50. Blichfeldt-Eckhardt MR, Laursen CB, Berg H, Holm JH, Hansen LN, Ørding H, et al. A randomised, controlled, double-blind trial of ultrasound-guided phrenic nerve block to prevent shoulder pain after thoracic surgery. *Anaesthesia.* 2016;71(12):1441–8.
51. Palmer CGC, Jagannathan S. Phrenic nerve block for thoracic surgery. *Anaesthesia.* 2017;72(3):413–4.
52. Aguirre VJ, Sinha P, Zimmet A, Lee GA, Kwa L, Rosenfeldt F. Phrenic Nerve Injury During Cardiac Surgery: Mechanisms, Management and Prevention. *Hear Lung Circ* [Internet]. 2013;22(11):895–902. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hlc.2013.06.010>
53. Canbaz S, Turgut N, Halici U, Balci K, Ege T, Duran E. Electrophysiological evaluation of phrenic nerve injury during cardiac surgery - A prospective, controlled, clinical study. *BMC Surg.* 2004;4:1–5.
54. Jellish WS, Oftadeh M. Peripheral Nerve Injury in Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* [Internet]. 2018;32(1):495–511. Available from: <http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2017.08.030>
55. Tripp HF, Bolton JWR. Phrenic nerve injury following cardiac surgery: A review. *J Card Surg.* 1998;13(3):218–23.

56. Mazzoni M, Solinas C, Sisillo E, Bortone F, Susini G. Intraoperative phrenic nerve monitoring in cardiac surgery. *Chest*. 1996;109(6):1455–60.
57. Pasero D, Costamagna A, Marchisio A, Pivetta E, Giunta M, Fanelli V, et al. Diaphragmatic dysfunction following cardiac surgery: Observational study. *Eur J Anaesthesiol*. 2019;36(8):612–3.
58. Tralhão A, Cavaleiro P, Arrigo M, Lopes JP, Lebrun M, Rivas-Lasarte M, et al. Early changes in diaphragmatic function evaluated using ultrasound in cardiac surgery patients: a cohort study. *J Clin Monit Comput* [Internet]. 2020;34(3):559–66. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10877-019-00350-8>
59. Joris J, Kaba A, Lamy M. Postoperative spirometry after laparoscopy for lower abdominal or upper abdominal surgical procedures. *Br J Anaesth*. 1997;79(4):422–6.
60. Crema E, Benelli AG, Silva A V., Martins AJ, Pastore R, Kujavao GH, et al. Assessment of pulmonary function in patients before and after laparoscopic and open esophagogastric surgery. *Surg Endosc Other Interv Tech*. 2005;19(1):133–6.
61. Beaussier M, El' Ayoubi H, Rollin M, Parc Y, Atchabahian A, Chanques G, et al. Parietal analgesia decreases postoperative diaphragm dysfunction induced by abdominal surgery a physiologic study. *Reg Anesth Pain Med*. 2009;34(5):393–7.
62. Ford GT, Whitelaw WA, Rosenal TW, Cruse PJ, Guenter CA. Diaphragm function after upper abdominal surgery in humans. *Am Rev Respir Dis*. 1983;127(4):431–6.
63. Ayoub J, Cohendy R, Prioux J, Ahmaidi S, Bourgeois JM, Dauzat M, et al. Diaphragm movement before and after cholecystectomy: A sonographic study.

- Anesth Analg. 2001;92(3):755–61.
64. Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P, Zhu J, Sachdeva R, Sonnad S, Kaiser LR, Rubinstein NA, Powers SK, Shrager JB. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med*. 2008 Mar 27;358(13):1327-35. doi: 10.1056/NEJMoa070447. PMID: 18367735.
65. Sieck GC, Mantilla CB. Effect of mechanical ventilation on the diaphragm. *N Engl J Med*. 2008 Mar 27;358(13):1392-4. doi: 10.1056/NEJMe0801226. PMID: 18367743.
66. Mankowski RT, Ahmed S, Beaver T, Dirain M, Han C, Hess P, et al. Intraoperative hemidiaphragm electrical stimulation reduces oxidative stress and upregulates autophagy in surgery patients undergoing mechanical ventilation: Exploratory study. *J Transl Med*. 2016;14(1):1–7.
67. Rocco M, Maggi L, Ranieri G, Ferrari G, Gregoretti C, Conti G, DE Blasi RA. Propofol sedation reduces diaphragm activity in spontaneously breathing patients: ultrasound assessment. *Minerva Anesthesiol*. 2017 Mar;83(3):266-273. doi: 10.23736/S0375-9393.17.11615-9. Epub 2017 Feb 8. PMID: 28177206.
68. Breuer T, Maes K, Rossaint R, Marx G, Scheers H, Bergs I, et al. Sevoflurane Exposure Prevents Diaphragmatic Oxidative Stress During Mechanical Ventilation but Reduces Force and Affects Protein Metabolism Even During Spontaneous Breathing in a Rat Model. 2015;121(1):73–80.
69. Oh YJ, Lee JR, Choi YS, Koh SOK, Na S. Randomized controlled comparison of combined general and epidural anesthesia versus general anesthesia on diaphragmatic function after laparoscopic prostatectomy. *Minerva Anesthesiol*. 2013;79(12):1371–80.

70. Hemmerling TM, Donati F. Neuromuscular blockade at the larynx, the diaphragm and the corrugator supercilii muscle: A review. *Can J Anesth.* 2003;50(8):779–94.
71. Vassilakopoulos T, Mastora Z, Katsaounou P, Doukas G, Klimopoulos S, Roussos C, et al. Contribution of Pain to Inspiratory Muscle. *Am j Respir Crit Care Med.* 2000;161:1572–1375.
72. Winnie AP. Interscalene brachial plexus block. *Anesth Analg.* 1970 May-Jun;49(3):455-66. PMID: 5534420..
73. Urmev WF, Talts KH, Sharrock NE, - C. One Hundred Percent Incidence of Hemidiaphragmatic Paresis Associated With Interscalene 'Brachial Plexus Anesthesia as Diagnosed by Ultrasonography. *Anesth Analg.* 1991;72:498–503.
74. Bergmann L, Martini S, Kesselmeier M, Armbruster W, Notheisen T, Adamzik M, et al. Phrenic nerve block caused by interscalene brachial plexus block: Breathing effects of different sites of injection. *BMC Anesthesiol.* 2016;
75. Palhais N, Brull R, Kern C, Jacot-Guillarmod A, Charmoy A, Farron A, Albrecht E. Extrafascial injection for interscalene brachial plexus block reduces respiratory complications compared with a conventional intrafascial injection: a randomized, controlled, double-blind trial. *Br J Anaesth.* 2016 Apr;116(4):531-7. doi: 10.1093/bja/aew028. PMID: 26994230.
76. Ayyanagouda B, Hosalli V, Kaur P, Ambi U, Hulkund S. Hemi-diaphragmatic paresis following extrafascial versus conventional intrafascial approach for interscalene brachial plexus block: A double-blind randomised, controlled trial. *Indian J Anaesth.* 2019;49(4):257–62.
77. Urmev WF, Gloeggler PJ. Pulmonary function changes during interscalene brachial plexus block: effects of decreasing local anesthetic injection volume.

- Reg Anesth J Neural Blockade Obstet Surgery, Pain Control. 1993;18(4):244–9.
78. Gautier P, Vandepitte C, Ramquet C, Decoopman M, Xu D, Hadzic A. The minimum effective anesthetic volume of 0.75% ropivacaine in ultrasound-guided interscalene brachial plexus block. *Anesth Analg*. 2011;113(4):951–5.
79. Mittal K, Janweja S, Prateek, Sangwan P, Agarwal D, Tak H. The estimation of minimum effective volume of 0.5% ropivacaine in ultrasound-guided interscalene brachial plexus nerve block: A clinical trial. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*. 2019 Jan-Mar;35(1):41-46. doi: 10.4103/joacp.JOACP\_70\_18. PMID: 31057238; PMCID: PMC6495612.
80. Riazi S, Carmichael N, Awad I, Holtby RM, McCartney CJL. Effect of local anaesthetic volume (20 vs 5 ml) on the efficacy and respiratory consequences of ultrasound-guided interscalene brachial plexus block. *Br J Anaesth*. 2008;
81. Taha AM, Yurdi NA, Elahl MI, Abd-Elmaksoud AM. Diaphragm-sparing effect of the infraclavicular subomohyoid block vs low volume interscalene block. A randomized blinded study. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2019 May;63(5):653-658. doi: 10.1111/aas.13322. Epub 2019 Jan 30. PMID: 30697688.
82. Hartrick CT, Tang YS, Siwek D, Murray R, Hunstad D, Smith G. The effect of initial local anesthetic dose with continuous interscalene analgesia on postoperative pain and diaphragmatic function in patients undergoing arthroscopic shoulder surgery: a double-blind, randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol*. 2012 Mar 23;12:6. doi: 10.1186/1471-2253-12-6. PMID: 22443231; PMCID: PMC3348027.
83. Zhai W, Wang X, Rong Y, Li M, Wang H. Effects of a fixed low-dose ropivacaine with different volume and concentrations on interscalene brachial plexus block : a randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol* [Internet].

- 2016;1–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12871-016-0248-4>
84. Thackeray EM, Swenson JD, Gertsch MC, Phillips KM, Steele JW, Burks RT, et al. Diaphragm function after interscalene brachial plexus block: A double-blind, randomized comparison of 0.25% and 0.125% bupivacaine. *J Shoulder Elb Surg.* 2013;
85. Wong AK, Keeney LG, Chen L, Williams R, Liu J, Elkassabany NM. Effect of Local Anesthetic Concentration (0.2% vs 0.1% Ropivacaine) on Pulmonary Function, and Analgesia After Ultrasound-Guided Interscalene Brachial Plexus Block: A Randomized Controlled Study. *Pain Med.* 2016 Dec;17(12):2397-2403. doi: 10.1093/pm/pnw057. Epub 2016 Apr 13. PMID: 28025374.
86. Choromanski DW, Patel PS, Frederick JM, Lemos SE, Chidiac EJ. The effect of continuous interscalene brachial plexus block with 0.125% bupivacaine vs 0.2% ropivacaine on pain relief, diaphragmatic motility, and ventilatory function. *J Clin Anesth.* 2015 Dec;27(8):619-26. doi: 10.1016/j.jclinane.2015.03.006. Epub 2015 Jul 26. PMID: 26216250.
87. Hortense A, Vaz Perez M, Luis Gomes do Amaral J, Cristina Martins de Vasconcelos Oshiro A, Baccaro Rossetti H. Bloqueio do Plexo Braquial por Via Interscalênica, Efeitos sobre a Função Pulmonar \* Interscalene Brachial Plexus Block. Effects on Pulmonary Function. *Brazilian J Anesthesiol.* 2010;60(2):130–7.
88. Altintas F, Gumus F, Kaya G, Mihmanli I, Kantarci F, Kaynak K, Cansever MS. Interscalene brachial plexus block with bupivacaine and ropivacaine in patients with chronic renal failure: diaphragmatic excursion and pulmonary function changes. *Anesth Analg.* 2005 Apr;100(4):1166-1171. doi: 10.1213/01.ANE.0000154443.68396.70. PMID: 15781539.

89. Tran DQH, Elgueta MF, Aliste J, Finlayson RJ. Diaphragm-sparing nerve blocks for shoulder surgery. *Reg Anesth Pain Med.* 2017;42(1):32–8.
90. Cubillos J, Girón-Arango L, Muñoz-Leyva F. Diaphragm-sparing brachial plexus blocks: a focused review of current evidence and their role during the COVID-19 pandemic. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2020;33(5):685–91.
91. Tran DQ, Layera S, Bravo D, Cristi-Sánchez I, Bermudéz L, Aliste J. Diaphragm-sparing nerve blocks for shoulder surgery, revisited. *Reg Anesth Pain Med.* 2020;45(1):73–8.
92. Kessler J, Schafhalter-Zoppoth I, Gray AT. An ultrasound study of the phrenic nerve in the posterior cervical triangle: implications for the interscalene brachial plexus block. *Reg Anesth Pain Med.* 2008 Nov-Dec;33(6):545-50. PMID: 19258969.
93. Burckett-St.Laurent D, Chan V, Chin KJ. Raffinement du bloc interscalénique échoguidé du plexus brachial: la voie de la branche supérieure. *Can J Anesth.* 2014;61(12):1098–102.
94. Kim DH, Lin Y, Beathe JC, Liu J, Oxendine JA, Haskins SC, et al. Superior Trunk Block: A Phrenic-sparing Alternative to the Interscalene Block: A Randomized Controlled Trial. *Anesthesiology.* 2019;131(3):521–33.
95. Kang RA, Jeong JS, Chin KJ, Yoo JC, Lee JH, Choi SJ, et al. Superior Trunk Block Provides Noninferior Analgesia Compared with Interscalene Brachial Plexus Block in Arthroscopic Shoulder Surgery. *Anesthesiology.* 2019;131(6):1316–26.
96. Kulenkampff D. Brachial Plexus Anaesthesia: Its Indications, Technique, and Dangers. *Ann Surg* [Internet]. 1928;87(6):883–91. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17865904><http://www.pubmedcentral>.

- nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC1398572
97. Mak PH, Irwin MG, Ooi CG CB. Incidence of diaphragmatic paralysis followingsupraclavicular brachial plexus block and its effect onpulmonary function. *Anaesthesia*. 2001;56(4):352–6.
  98. Bao X, Huang J, Feng H, Qian Y, Wang Y, Zhang Q, et al. Effect of local anesthetic volume (20 mL vs 30 mL ropivacaine) on electromyography of the diaphragm and pulmonary function after ultrasound-guided supraclavicular brachial plexus block: A randomized controlled trial. *Reg Anesth Pain Med*. 2019;44(1):69–75.
  99. Wiesmann T, Feldmann C, Müller HH, Nentwig L, Beermann A, El-Zayat BF, Zoremba M, Wulf H, Steinfeldt T. Phrenic palsy and analgesic quality of continuous supraclavicular vs. interscalene plexus blocks after shoulder surgery. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2016 Sep;60(8):1142-51. doi: 10.1111/aas.12732. Epub 2016 Apr 20. PMID: 27098548.
  100. Kang RA, Chung YH, Ko JS, Yang MK, Choi DH. Reduced Hemidiaphragmatic Paresis with a “corner Pocket” Technique for Supraclavicular Brachial Plexus Block: Single-Center, Observer-Blinded, Randomized Controlled Trial. *Reg Anesth Pain Med*. 2018;43(7):720–4.
  101. Dullenkopf A, Blumenthal S, Theodorou P, Roos J, Perschak H, Borgeat A. Diaphragmatic Excursion and Respiratory Function after the Modified Raj Technique of the Infraclavicular Plexus Block. *Reg Anesth Pain Med*. 2004;29(2):110–4.
  102. Gentili ME, Deleuze A, Estèbe JP, Lebourg M, Ecoffey C. Severe respiratory failure after infraclavicular block with 0.75% ropivacaine: a case report. *J Clin Anesth*. 2002 Sep;14(6):459-61. doi: 10.1016/s0952-8180(02)00387-2. PMID:



- 12393118.
103. Lee HS, Lee JH, Cha YD, Park SK, Seo CH, Han JU. Phrenic nerve palsy following coracoid infraclavicular brachial plexus block. *Korean J Anesthesiol.* 2009;57(4):515.
  104. Petrar SD, Seltnerich ME, Head SJ, Schwarz SKW. Hemidiaphragmatic paralysis following ultrasound-guided supraclavicular versus infraclavicular brachial plexus blockade: A randomized clinical trial. *Reg Anesth Pain Med.* 2015;
  105. Hussain N, Goldar G, Ragina N, Banfield L, Laffey JG, Abdallah FW. Suprascapular and Interscalene Nerve Block for Shoulder Surgery. *Anesthesiology.* 2017;127(6):998–1013.
  106. Auyong DB, Yuan SC, Choi DS, Pahang JA, Slee AE, Hanson NA. A double-blind randomized comparison of Continuous interscalene, supraclavicular, and suprascapular blocks for total shoulder arthroplasty. *Reg Anesth Pain Med.* 2017;42(3):302–9.
  107. Desroches A, Klouche S, Schlur C, Bauer T, Waitzenegger T, Hardy P. Suprascapular Nerve Block Versus Interscalene Block as Analgesia After Arthroscopic Rotator Cuff Repair: A Randomized Controlled Noninferiority Trial. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg [Internet].* 2016;32(11):2203–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arthro.2016.03.013>
  108. Abdallah FW, Wijeyesundera DN, Laupacis A, Brull R, Mocon A, Hussain N, et al. Subomohyoid anterior suprascapular block versus interscalene block for arthroscopic shoulder surgery: A multicenter randomized trial. *Anesthesiology.* 2020;(4):839–53.
  109. Koga R, Funakoshi T, Yamamoto Y, Kusano H. Suprascapular nerve block versus interscalene block for analgesia after arthroscopic rotator cuff repair. *J*

- Orthop [Internet]. 2020;19:28–30. Available from:  
<https://doi.org/10.1016/j.jor.2019.11.013>
110. Kumara AB, Gogia AR, Bajaj JK, Agarwal N. Clinical evaluation of post-operative analgesia comparing suprascapular nerve block and interscalene brachial plexus block in patients undergoing shoulder arthroscopic surgery. *J Clin Orthop Trauma* [Internet]. 2016;7(1):34–9. Available from:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcot.2015.09.003>
111. Ferré F, Pommier M, Laumonerie P, Ferrier A, Menut R, Bosch L, et al. Hemidiaphragmatic paralysis following ultrasound-guided anterior vs. posterior suprascapular nerve block: a double-blind, randomised control trial. *Anaesthesia*. 2020;75(4):499–508.
112. Rovira L, Úbeda J, De Andrés J. Combined Retroclavicular Approach for Shoulder Surgery A New Description Technique of 3-in-1 Combined Block. *Reg Anesth Pain Med*. 2018;43(7):336–7.
113. Tsui BCH, Sun LY, Ip VHY, Malik MF, Ince I, Elsharkawy H. Diaphragm-sparing erector spinae plane block for shoulder surgery: emerging evidence. *Reg Anesth Pain Med*. 2020;0(0):rapm-2020-101599.
114. Rovira L, Kot P, Pozo S, Cano B, de Andres J. Ecografía diafragmática perioperatoria en el punto de atención como herramienta de predicción de fallo respiratorio postoperatorio en pacientes de alto riesgo: estudio de viabilidad y serie de casos. *Rev Esp Anesthesiol Reanim*. 2020;68:137–42.
115. Vandembroucke JP, Von Elm E, Altman DG, Gøtzsche PC, Mulrow CD, Pocock SJ, et al. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): Explanation and elaboration. *PLoS Med*. 2007;4(10):1628–54.
116. Kang H. Sample size determination and power analysis using the G\*Power

- software. *J Educ Eval Health Prof.* 2021;18:1–12.
117. Kempen PM, O'Donnell J, Lawler R, Mantha V. Acute respiratory insufficiency during interscalene plexus block. *Anesth Analg.* 2000 Jun;90(6):1415-6. doi: 10.1097/00000539-200006000-00029. PMID: 10825331.
  118. Wiesmann T, Feldmann C, Müller HH, Nentwig L, Beermann A, El-Zayat BF, et al. Phrenic palsy and analgesic quality of continuous supraclavicular vs. interscalene plexus blocks after shoulder surgery. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2016;60(8):1142–51.
  119. Cangiani LH, Rezende LAE, Neto AG. Cangiani 2008 Case report. *Rev Bras Anesthesiol.* 2008;58(2):152–9.
  120. Kayeaker UM, Dick MM. Phrenic nerve paralysis following interscalene brachial plexus block. *Anesth Analg.* 1983;62(5):536–7.
  121. Tran QH, Clemente A, Doan J FR. Brachial plexus blocks: a review of approaches and techniques. *Can J Anaesth.* 2007;54(8):662–74.
  122. Verelst P, Zundert A van. Incidence of Phrenic Nerve Block After Interscalene Brachial Plexus Block. *Reg Anesth Pain Med.* 2011;36(4):412.
  123. Renes SH, Rettig HC, Gielen MJ, Wilder-Smith OH, van Geffen GJ. Ultrasound-guided low-dose interscalene brachial plexus block reduces the incidence of hemidiaphragmatic paresis. *Reg Anesth Pain Med.* 2009 Sep-Oct;34(5):498-502. doi: 10.1097/AAP.0b013e3181b49256. PMID: 19920426.
  124. Gentili ME, Lefoulon-Gourves M, Mamelle JC, Bonnet F. Acute Respiratory Failure Following Interscalene Block: Complications of Combined General and Regional Anesthesia. *Reg Anesth.* 1994;19(4).
  125. Kempen PM, Mantha V, Donnell JO, Lawler R. Acute Respiratory Insufficiency During Interscalene Plexus Block. *Anesth Analg.* 2000;90(6):1415–6.

126. Canet J, Gallart L, Gomar C, Paluzie G, Vallès J, Castillo J, et al. Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort. *Anesthesiology*. 2010;113(6):1338–50.
127. Li L, Yong RJ, Kaye AD, Urman RD. Perioperative Point of Care Ultrasound (POCUS) for Anesthesiologists: an Overview. *Curr Pain Headache Rep*. 2020 Mar 21;24(5):20. doi: 10.1007/s11916-020-0847-0. PMID: 32200432.
128. Perlas A, Arzola C, Van de Putte P. Point-of-care gastric ultrasound and aspiration risk assessment: a narrative review. *Can J Anesth [Internet]*. 2018;65(4):437–48. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12630-017-1031-9>
129. Adi O, Fong CP, Sum KM, Ahmad AH. Usage of airway ultrasound as an assessment and prediction tool of a difficult airway management. *Am J Emerg Med [Internet]*. 2021;42:263.e1-263.e4. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2020.09.011>
130. Roldi E, Inghileri P, Dransart-Raye O, Mongodi S, Guinot PG, Mojoli F, et al. Use of tracheal ultrasound combined with clinical parameters to select left double-lumen tube size: A prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol*. 2019;36(3):215–20.
131. Adhikari S, Zeger W, Schmier C, Crum T, Craven A, Frrokaj I, et al. Pilot study to determine the utility of point-of-care ultrasound in the assessment of difficult laryngoscopy. *Acad Emerg Med*. 2011;18(7):754–8.
132. Ohle R, McIsaac SM, Woo MY, Perry JJ. Sonography of the optic nerve sheath diameter for detection of raised intracranial pressure compared to computed tomography: A systematic review and meta-analysis. *J Ultrasound Med*. 2015;34(7):1285–94.
133. Umbrello M, Formenti P. Ultrasonographic assessment of diaphragm function in

- critically ill subjects. *Respir Care*. 2016;61(4):542–55.
134. Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, Akoumianaki E, Dimassi S, Boroli F, et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. *Intensive Care Med*. 2013;39(5):801–10.
135. Dres M, Demoule A. Monitoring diaphragm function in the ICU. *Curr Opin Crit Care*. 2020;26(1):18–25.
136. Zambon M, Greco M, Bocchino S, Cabrini L, Beccaria PF, Zangrillo A. Assessment of diaphragmatic dysfunction in the critically ill patient with ultrasound: a systematic review. *Intensive Care Med*. 2017;43(1):29–38.
137. Kot P, Granell M, Rodriguez P, Rovira L, De Andrés J. Diaphragmatic Ultrasound: Early Diagnosis When Phrenic Injury in Thoracic Surgery Is Suspected. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2018 Dec;32(6):e7-e8. doi: 10.1053/j.jvca.2018.06.024. Epub 2018 Jul 3. PMID: 30072267.
138. Kot Baixauli P, Rodriguez Gimillo P, Baldo Gosalvez J, de Andrés Ibáñez J. Usefulness of diaphragmatic ultrasound in the early diagnosis of phrenic nerve palsy after shoulder surgery in the prevention of post-operative respiratory complications. *Rev Esp Anesthesiol Reanim (Engl Ed)*. 2018 Dec;65(10):593-596. English, Spanish. doi: 10.1016/j.redar.2018.05.008. Epub 2018 Jul 19. PMID: 30033043.
139. Miskovic A, Lumb AB. Postoperative pulmonary complications. *Br J Anaesth* [Internet]. 2017;118(3):317–34. Available from: <http://dx.doi.org/10.1093/bja/aex002>
140. Radiologists RC of. Preoperative chest radiology. *Lancet*. 1979;14(2):83–6.
141. Tape TG, Mushlin AI. How useful are routine chest x-rays of preoperative patients at risk for postoperative chest disease? *J Gen Intern Med*. 1988;3(1):15–

- 20.
142. Gropper MA. Postoperative respiratory muscle dysfunction: Only the strong survive. *Anesthesiology*. 2013;118(4):783–4.
143. Vivier E, Dessap AM, Dimassi S, Vargas F, Lyazidi A, Thille AW, et al. Diaphragm ultrasonography to estimate the work of breathing during non-invasive ventilation. *Intensive Care Med*. 2012;38(5):796–803.

