

**EFFECTO DE DOS TÉCNICAS DE REEXPANSIÓN PULMONAR EN LA  
VENTILACIÓN DE PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍA CARDIOVASCULAR.  
ENSAYO CLÍNICO CONTROLADO FASE II B**

**ALEJANDRO SEGURA O.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE SALUD  
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS  
MAESTRIA EN CIENCIAS BIOMÉDICAS - 7670  
SANTIAGO DE CALI  
2018**

**EFFECTO DE DOS TÉCNICAS DE REEXPANSIÓN PULMONAR EN LA  
VENTILACIÓN DE PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍA CARDIOVASCULAR.  
ENSAYO CLÍNICO CONTROLADO FASE II B**

**ALEJANDRO SEGURA O.**

**Fisioterapeuta.**

**Especialista en Fisioterapia Cardiopulmonar**

Trabajo de grado como requisito para optar al título de:

**MAGISTER EN CIENCIAS BIOMÉDICAS**

Director

*BLANCA C. SALAZAR MD., MSc*

*ASESORES ACADÉMICOS*

*Javier Fonseca MD, Ginecólogo, Epidemiólogo*

*Ester Cecilia Wilches FT. Especialista en Fisioterapia Cardiopulmonar*

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE SALUD  
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS  
MAESTRIA EN CIENCIAS BIOMÉDICAS 7670  
SANTIAGO DE CALI  
2018**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Santiago de Cali, \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

La profesora titular Blanca Cecilia Salazar quién fue mi tutora durante mi periodo de estudiante, de quien aprendí desde lo académico y lo personal representando para mí un modelo a seguir como docente y persona.

A la institución Clínica Farallones especialmente a los Fisioterapeutas de la Unidad de Cuidados Intensivos, quienes permitieron y colaboraron para la realización de este proyecto y a los Doctores Olid Ivan Ochoa Intensivista, jefe de la unidad de cuidados intensivos de la Clínica Farallones y Víctor Bucheli Cirujano Cardiovascular quienes prestaron su apoyo académico durante la ejecución del proyecto.

A los profesores Esther Cecilia Wilches, colega, madrina y ejemplo de paciencia y perseverancia

Al doctor Javier Fonseca asesor metodológico quien brindo todo su apoyo académico durante este proceso.

Al Hospital Universitario del Valle en especial a Lina María Osorio Jefe de la Oficina de Apoyo Diagnóstico y Terapéutico, mis compañeros de trabajo María Isabel Pavas, Olga Marina Hernández, Álvaro Arias, Hamilton Rosero, Oscar Robles y Víctor Manuel Martínez quienes siempre tuvieron una voz de aliento y facilitaron mi proceso durante las largas jornadas de estudio y trabajo simultaneo.

A mi esposa quien siempre me ha impulsado a ser mejor y me ha acompañado en todos mis procesos académicos y a mis hijos Gabriel y Elena quienes nacieron durante este periodo soportando mis limitaciones de tiempo, pero siendo siempre mi más grande aliento para finalizar este grado.

A mi mamá Elizabeth, quien a sus 60 años está culminando su carrera de Derecho y sigue siendo un ejemplo de esfuerzo y dedicación para mi demostrando que las metas académicas son alcanzables siempre.

A mi papá Pedro y mi hermano Julián, de quienes siempre he recibido su apoyo incondicional.

A la familia de mi esposa Esther (suegra), Argemiro (suegro) y Manuel (Sobrino) quienes abrieron para mí un lugar en esta familia y siempre me han apoyado.

<b>ABREVIATURAS</b>	
CEC	Circulación extracorpórea
CPP	Complicación pulmonar post-operatoria
CRF	Formato de recolección de datos
$\Delta$ EELI	Diferencia de la impedancia pulmonar al final de la espiración entre dos puntos en el tiempo
ECV	Enfermedades cardiovasculares
EELI	Impedancia pulmonar al final de la espiración
ENT	Enfermedades no transmisibles
FC	Frecuencia cardíaca
F <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	Fracción inspirada de oxígeno
H.C	Historia clínica
IMC	Índice de masa corporal
IPS	Inspiración Profunda Sostenida
IR	Inspirometría de incentivo
PAD	Presión arterial diastólica
PAM	Presión arterial media
PAS	Presión arterial sistólica
ROI	Región de interés
TIE	Tomografía de Impedancia Eléctrica
VTM	Promedio de la variación de la impedancia en un minuto

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	12
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	14
2.1 Enfermedad y Cirugía Cardiovascular	14
2.2 Complicaciones pulmonares posquirúrgicas (CPP)	15
2.3 Técnicas de reexpansión pulmonar	16
2.4 Técnica de Espirometría de incentivo	17
2.5 Técnica de Inspiración Profunda Sostenida	17
2.6 Tomografía de impedancia eléctrica	18
<b>3. OBJETIVOS</b>	22
3.1 Objetivo general	22
3.2 Objetivos Específicos	22
<b>4. METODOLOGÍA</b>	
4.1 Diseño del estudio	23
4.1.1 Tipo de estudio	23
4.1.2 Población objetivo	23
4.1.3 Selección de pacientes	23
4.1.4 Criterios de inclusión	23
4.1.5 Criterios de exclusión	24
4.1.6 Criterios de abandono	24
4.2 Definición de variables	25
4.3 Flujograma del estudio	28
4.4 Procedimientos	29
4.4.1 Planificación	29
4.4.2 Medición y recolección de la información	29
4.4.3 Aleatorización y enmascaramiento	30
4.5 Intervención con técnicas de reexpansión y mediciones con TIE	30
4.5.1 Condiciones generales quirúrgicas y posquirúrgicas	30
4.5.2 Programación de intervenciones y mediciones	31
4.5.3 Calibración y mediciones con TIE y Espirometría	32
4.5.3.1 Calibración espirómetro y tomógrafo	32
4.5.3.2 Medición de la espirometría simple	32

4.5.3.3 Medición de la TIE	33
4.5.3.4 limpieza y desinfección del tomógrafo y el espirómetro	37
4.5.4 Protocolos de terapias de reexpansión pulmonar	37
4.5.4.1 Técnica de inspiración profunda sostenida	37
4.5.4.2 Técnica de incentivo respiratorio	38
4.6 Registro de la información	40
4.6.1 Prueba de instrumentos de registro	41
4.6.2 Control de calidad de la información	41
4.6.3 Diseño y manejo de la base de datos	41
4.7 Procesamiento y análisis estadístico	41
4.7.1 Análisis descriptivo	41
4.7.2 Comparación de grupos	42
4.7.3 Modelos mixtos	42
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>43</b>
5.1 Características iniciales de la población	43
5.2 Variación tidal minuto antes y después de la cirugía	45
5.3 Variación tidal minuto de las sesiones de reexpansión pulmonar	47
5.3.1 Variación tidal minuto global	48
5.3.2 Variación tidal minuto regional	48
5.4 Impedancia pulmonar al final de la espiración (EELI)	50
5.4.1 $\Delta$ EELI global	50
5.4.2 $\Delta$ EELI regional	51
<b>6. DISCUSIÓN</b>	<b>53</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>58</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>59</b>
<b>9. ANEXOS</b>	<b>69</b>



## LISTA DE TABLAS

		<i>Pag.</i>
Tabla 1	Descripción de variables del estudio	25
Tabla 2	Esquema de la frecuencia de intervención y medición con TIE	31
Tabla 3	Cinturones para medición con el PulmoVista 500	34
Tabla 4	Características prequirúrgicas de la población del estudio	43
Tabla 5	Características intraquirúrgicas y posquirúrgicas de la población	44
Tabla 6	Valores de impedancia pulmonar por zonas	47

<b>LISTA DE FIGURAS</b>		
		<i>Pag.</i>
Figura 1	Esquema de reclutamiento y aleatorización	28
Figura 2	Registro de un paciente evaluado con TIE y técnica de incentivo respiratorio	35
Figura 3	VTM Global entre el antes y el después de la cirugía cardíaca	45
Figura 4	Impedancia pulmonar promedio minuto global y regional de un mismo paciente del estudio antes y después de la cirugía.	46
Figura 5	Variación tidal minuto por zonas	46
Figura 6	Tendencia de la <i>VTM global</i> ( $\Delta Z.rel$ ) entre el inicio y el final de cada una de seis sesiones con las técnicas de reexpansión pulmonar	47
Figura 7	Tendencia de la <i>VTM ROI1</i> ( $\Delta Z.rel$ ) entre el inicio y el final de cada una de seis sesiones con las técnicas de reexpansión pulmonar	48
Figura 8	Tendencia de la <i>VTM ROI2</i> ( $\Delta Z.rel$ ) entre el inicio y el final de cada una de seis sesiones con las técnicas de reexpansión pulmonar	49
Figura 9	Tendencia de la <i>VTM ROI3</i> ( $\Delta Z.rel$ ) entre el inicio y el final de cada una de seis sesiones con las técnicas de reexpansión pulmonar	49
Figura 10	Tendencia de la <i>VTM ROI4</i> ( $\Delta Z.rel$ ) entre el inicio y el final de cada una de seis sesiones con las técnicas de reexpansión pulmonar	50
Figura 11	$\Delta EELI$ global en seis sesiones diferentes con dos técnicas de reexpansión pulmonar	50
Figura 12	$\Delta EELI$ regional 1 (ROI1) en seis diferentes sesiones con dos técnicas de reexpansión pulmonar	51
Figura 13	$\Delta EELI$ regional 2 (ROI2) en seis diferentes sesiones con dos técnicas de reexpansión pulmonar	52
Figura 14	$\Delta EELI$ regional 3 (ROI3) en seis diferentes sesiones con dos técnicas de reexpansión pulmonar	52
Figura 15	$\Delta EELI$ regional 4 (ROI4) en seis diferentes sesiones con	53

	dos técnicas de reexpansión pulmonar	
--	--------------------------------------	--

<b>TABLA DE ANEXOS</b>	
Anexo 1	Formato de consentimiento informado
Anexo 2	Formato de información y evaluación inicial
Anexo 3	Formato de recolección de datos (CRF)
Anexo 4	Formato de recolección de datos tomografía de impedancia eléctrica

## 1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares son parte del grupo de entidades catalogadas como enfermedades no transmisibles (ENT); la Organización Mundial de la salud revela que 38 millones de personas mueren cada año y que del total de muertes 17,5 millones pertenecen a enfermedades cardiovasculares, no obstante la mayor prevalencia de estas enfermedades se encuentran en países de ingresos medios y bajos ("Organización Mundial de la Salud," 2015). Las enfermedades cardiovasculares en Colombia han cobrado relevancia epidemiológica en los últimos 30 años, reconociéndose como causas de morbilidad y mortalidad e incluso ocupando en la actualidad cuatro de las diez principales causas de muerte de los colombianos. La enfermedad isquémica cardíaca sigue siendo la primera causa de muerte a nivel nacional por encima incluso de factores sociales como la violencia ("MINSALUD," 2015) y ella se desencadena con mayor probabilidad cuando están presentes factores de riesgo tales como: edad, raza, tabaquismo, hipertensión, diabetes, obesidad y sedentarismo, etc. Como resultado, la cirugía de bypass coronario y la terapia de intervención percutánea son los procedimientos más comunes empleados para atenuar los efectos sobre la población, siendo el primero el que produce un mayor estado de convalecencia, pero con mejores resultados de supervivencia a 10 años (Levine, 2011.).

Está descrito que de todos los pacientes sometidos a cirugía cardiovascular entre un 2% al 5% están en riesgo de desarrollar una complicación pulmonar post-operatoria (CPP). Las CPP son variables y presentan diferente incidencia: Derrames pleurales (27% -47%), Atelectasias (17%– 88%), Parálisis del Nervio Frénico (30% - 75%), Disfunción Diafragmática (2% - 54%), Neumonía (4% - 20%), Embolismo Pulmonar (0.04% - 3%) Broncoaspiración (2%), Neumotórax (1%), Síndrome de dificultad respiratoria aguda (0.4% - 2%)(Ubben, Lance, Buhre, & Schreiber, 2015). Las CPP después de cirugía cardiovascular incrementan la estancia hospitalaria y han sido asociadas con aumento en los costos en los sistemas de salud (Ferguson, 1999; Lawrence et al., 1995; Pasquina, Tramer, & Walder, 2003)

En la prevención o en el manejo de las CPP diferentes técnicas de reexpansión pulmonar son utilizadas ampliamente, estas son: la técnica de incentivo

respiratorio, la respiración con presión positiva intermitente y los ejercicios de respiración profunda, las cuales son estrategias terapéuticas utilizadas con mucha frecuencia para prevenir o tratar las CPP, así como para recuperar la función ventilatoria en el periodo postoperatorio; ninguna de ellas con evidencia de superioridad frente a las otras (Freitas, Soares, Cardoso, & Atallah, 2007; Thomas & McIntosh, 1994). La técnica más comúnmente usada como tratamiento profiláctico para este tipo de pacientes en nuestro medio es la inspirometría de incentivo; los ejercicios de respiración profunda, la presión positiva intermitente y la fisioterapia convencional se reportan también como estrategias usadas para reducir las CPP (Pasquina et al. 2003; Narayanan, A. L. T., Hamid, S. R. G. S., & Supriyanto, E. 2016).

El efecto de la terapia de reexpansión pulmonar en pacientes post-quirúrgicos de cirugía cardiovascular está bien documentado en la literatura (Renault, Costa-Val, Rosseti, & Hourri Neto, 2009; Urell et al., 2011; Westerdahl et al., 2001, 2003, 2005, 2014, 2015), la mayoría de estos estudios se han centrado en evaluar su efectividad clínica para reducir las CPP, pero poco se ha podido estudiar respecto a los cambios en el comportamiento de la distribución de la ventilación pulmonar cuando se emplea una técnica u otra.

Actualmente los medios que permiten evaluar la evolución de estos cambios de la ventilación pulmonar son indirectos y poco exactos como, por ejemplo, la evaluación del patrón respiratorio o la medición del aire expirado, los cuales son recursos que en la práctica clínica se utilizan con frecuencia. Es de gran interés el seguimiento o la monitoria pulmonar de estos cambios ventilatorios de forma más precisa y directa, porque permitirían visualizar con mayor aproximación a la realidad el comportamiento del volumen de aire, en función del tiempo y su localización en el pulmón bajo el efecto de la terapia de reexpansión, lo cual orientaría y permitiría una toma de decisiones más precisa sobre la posición del paciente, el número de repeticiones y la frecuencia de intervención de esta terapia. Pruebas como el examen radiológico, la tomografía computarizada o los gases arteriales permiten evaluar en algunos momentos las condiciones de la evolución ventilatoria, sin embargo, son invasivas, emiten radiación, son de alto costo y además no permiten localizar ni ver con continuidad en el tiempo el desenlace, por ejemplo, de una complicación o de una buena evolución de la ventilación pulmonar.

Actualmente técnicas como la tomografía de impedancia eléctrica que permite hacer la medición del cambio de la ventilación, son promisorias y necesarias para el cuidado y el seguimiento pulmonar de pacientes postquirúrgicos (Adler et al, 2012; Lundin & Stenqvist, 2012; Frerichs et al, 2016), puesto que permiten monitorear con alta resolución en el tiempo y en el espacio de la ventilación sin ser invasiva, posibilitando la detección por regiones de la distribución ventilatoria, lo cual es importante en la prevención o el manejo de las complicaciones (Krause et al. 2014).

En este estudio se evaluó el cambio de la ventilación global y regional antes y después de una intervención controlada con dos técnicas de reexpansión pulmonar en pacientes postquirúrgicos de cirugía cardiovascular mediante tomografía de impedancia eléctrica con un PulmoVista® 500. Draeger).

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Enfermedad y Cirugía Cardiovascular**

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) hacen parte de las enfermedades conocidas como no transmisibles y actualmente son la causa más frecuente de mortalidad en el mundo ("Organización mundial de la salud", 2017). En Latinoamérica representarán para el año 2020 el 60% del total de las muertes (Murray, C. J. L., López, Alan D. 1996). De estas enfermedades, la coronaria y la valvular requieren con frecuencia intervención quirúrgica (Nishimura, R. A. et al. 2014; Windecker, S. 2014). La tasa de mortalidad de la enfermedad coronaria para Colombia es de 64,59 por 100.000 habitantes, en el Valle del Cauca esta mortalidad ocupa el segundo puesto, con una tasa de 73,99 (Instituto Nacional de Salud, Observatorio Nacional de Salud, 2013). Con respecto a la enfermedad valvular, la prevalencia en Estados Unidos es menor al 2.5% en pacientes con 65 años o menos, y se incrementa hasta el 13.2% después de los 75 años (lung, B., & Vahanian, A. 2014). En Latinoamérica los reportes de incidencia para esta patología son variables, 2.9 por cada 1000 habitantes en Cuba mientras que en Bolivia 7.9. En países como Brasil, el reporte alcanza los 21.900 nuevos casos de enfermedad reumática cardíaca cada año (Fernando, L., Pamela, S., & Alejandra, L. 2014).

En relación al tratamiento de la enfermedad coronaria y de las enfermedades valvulares del corazón, la cirugía cardíaca es una opción de frecuente

demanda. En Estados Unidos se ha clasificado a la revascularización miocárdica como uno de los procedimientos más comunes y con tendencia creciente. En el año 2003 se realizaron 467.000 revascularizaciones por vía quirúrgica (Fernández, Restrepo, Villa, Garcés, & Montero, 2009), respecto a las cirugías valvulares se alcanzaron 99.000 procedimientos en el 2006 (Etzioni, D. A., & Starnes, V. A. 2011).

La cirugía de corazón consiste en una incisión vía esternotomía mediana que permite acceder al miocardio para reparar el área afectada. Durante la cirugía se utiliza un sistema de circulación extracorpórea (CEC) para asegurar la perfusión del organismo mientras el corazón se encuentra detenido o funcionando al mínimo de su capacidad. Así como la sangre es oxigenada y bombeada por la CEC, el sistema respiratorio es conectado a ventilación mecánica para asegurar un volumen corriente de aire mediante presión positiva, permitiendo al pulmón mantenerse insuflado con un mínimo volumen de aire, incluso, en las condiciones de tórax abierto con exposición a la presión atmosférica que favorece su colapso. Sin embargo, efectos deletéreos como la respuesta inflamatoria sistémica asociada al uso de la CEC y la presencia de disfunción o complicación pulmonar (Baikoussis, N. G. 2015) asociada a la ventilación mecánica y a la esternotomía han sido reportados en diferentes estudios (Badenes, R., Lozano, A., & Belda, F. J. 2015; Huffmyer, J. L., & Groves, D. S. 2015; Sabate, S., Mazo, V., & Canet, J. 2014).

## **2.2 Complicaciones pulmonares posquirúrgicas (CPP)**

Luego de la cirugía cardiovascular hay disfunción pulmonar, la cual incluye signos clínicos como: respiración superficial, incremento en el trabajo respiratorio, tos ineficaz e hipoxemia (Wynne&Botti, 2004). Está descrito que de todos los pacientes sometidos a cirugía cardiovascular, entre un 2% al 5% están en riesgo de desarrollar además CPP (Ubben et al., 2015). Como se mencionó previamente las CCP son variables: Atelectasias (17%– 88%), Derrames pleurales (27% -47%), Parálisis del Nervio Frénico (30% - 75%), Disfunción Diafragmática (2% - 54%), Neumonía (4% - 20%), Embolismo Pulmonar (0.04% - 3%) Broncoaspiración (2%), Neumotórax (1%), Síndrome de dificultad respiratoria aguda (0.4% - 2%) (Carsetti, & Rhodes. 2016). Las atelectasias y el derrame pleural son las complicaciones más comunes en la

práctica clínica, dado los avances en la cirugía cardiovascular la parálisis del nervio frénico ha sido menos común en los últimos años (Mehta, Vats, Singh, & Trehan, 2008).

La etiología del derrame pleural en la cirugía cardiaca ha sido asociada a: disfunción diafragmática post-operatoria, a la alteración pleural secundaria a la incisión para acceder a la arteria mamaria interna, a la circulación extracorpórea y a la formación de atelectasias (Shields & Lo Cicero, 2009), sin embargo, en la mayoría de los casos, este derrame es un transudado, como consecuencia de la alteración del equilibrio entre las presiones hidrostáticas y las coloidosmóticas durante la cirugía (Boron L., 2009). Con respecto a las atelectasias, estas son causadas durante el evento quirúrgico mientras el paciente está siendo soportado con CEC y el pulmón es insuflado al mínimo para permitir la manipulación del miocardio. Una vez la cirugía termina, el pulmón es subsecuentemente re-expandido, sin embargo, algunas porciones pulmonares pueden mantener algún grado de colapso o atelectasia (Al-Qubati, F. A. A., Damag, A., & Noman, T. 2013). Su aparición es comúnmente reportada en los lóbulos inferiores pulmonares con la consecuente alteración de la relación ventilación perfusión y la aparición de hipoxemia en la mayoría de los casos (Neves, F. H. et al. 2013), usualmente este tipo de complicación puede visualizarse radiológicamente, su presentación post-quirúrgica puede ser como micro-atelectasias las cuales no son detectables mediante radiografía del tórax, pero también como macro-atelectasias en las que ya hay colapsos lobares segmentales, subsegmentales y pueden cubrir hasta la totalidad del pulmón (Brooks-Brunn, 1995). La aparición de esta complicación pulmonar ha demostrado incrementar el tiempo de estancia hospitalaria, los costos y la mortalidad (Niyayeh Saffari, N. H. et al. 2015). El manejo de estas complicaciones comúnmente se realiza con técnicas de reexpansión pulmonar.

### **2.3 Técnicas de reexpansión pulmonar**

Son modalidades terapéuticas en las que se mejora la inspiración durante el ciclo respiratorio y se usan como estrategias profilácticas y terapéuticas en pacientes hospitalizados (Renault et al., 2008). La presencia de complicaciones respiratorias luego de algunas cirugías como la cardiaca, ha llevado a la promoción del uso de estas técnicas, el objetivo en ellas, es lograr la re-



expansión pulmonar a través de la utilización de inspiraciones máximas, en las cuales, se logra elevar la presión transpulmonar a niveles mayores que los alcanzados durante la ventilación en reposo. A continuación, se describen algunas de las más usadas (Westerdahl, E. 2015)

#### **2.4 Técnica de Espirometría de incentivo.**

En esta técnica se utiliza un dispositivo a través del cual el paciente realiza inspiraciones lentas, profundas y sostenidas, con el fin de prevenir o tratar el síndrome restrictivo post-operatorio que se presenta generalmente como consecuencia de cirugías torácicas o abdominales (Restrepo, Wettstein, Wittnebel, & Tracy. 2011). Mediante retroalimentación visual del dispositivo, el paciente puede darse cuenta y hasta cuantificar constantemente la magnitud de su esfuerzo (Yamaguti et al., 2010). Con esta técnica se favorece el efecto de la ventilación colateral (canales de Martins, canales de Lambert y poros de Kohn), mejorando la insuflación pulmonar y la distribución de la ventilación. Por su bajo costo, seguridad y simplicidad, el uso de estos dispositivos es frecuente, existen dos modelos de incentivos el de flujo y el de volumen. El dispositivo de flujo tiene cilindros con esferas en su interior, las cuales son elevadas y sostenidas dependiendo del flujo inspiratorio realizado por el paciente, estas esferas generan retroalimentación visual e indican las tasas de flujo obtenidas en las escalas indicadas en los cilindros. El incentivo de volumen tiene un cilindro con escalas que indican la capacidad inspiratoria que puede alcanzar el paciente. Dentro del cilindro hay un pistón que se mueve con el cambio de volumen y produce el efecto de retroalimentación visual en el paciente.

#### **2.5 Técnica de Inspiración Profunda Sostenida**

Esta técnica consta de inspirar despacio y profundo a través de la nariz, sosteniendo el aire de 2 a 5 segundos, luego de lo cual se efectúa una espiración pasiva. La inspiración lenta mejora la ventilación basal puesto que favorece la distribución del aire a las zonas dependientes del pulmón. La pausa inspiratoria favorece la redistribución del aire inspirado a través de la ventilación colateral del pulmón. Esta técnica busca generar la apertura de unidades alveolares colapsadas, previniendo atelectasias y restaurando los volúmenes pulmonares para limitar así la instauración de un patrón respiratorio

tipo restrictivo. La frecuencia y la duración de los ejercicios aún es controversial, sin embargo, lo actualmente recomendado es realizar tres series de diez repeticiones con 30 a 60 segundos de pausa entre cada serie (Urell, C. 2011; Westerdahl, E. 2005; 2001).

Las formas de evaluación más usadas para monitorizar los efectos de estas técnicas sobre el sistema respiratorio son la radiografía del tórax, la tomografía axial computarizada, la broncoscopia, la espirometría y la sintomatología clínica del paciente como la disnea, la tos y la auscultación (Freitas et al. 2007). Sin embargo, el carácter estático e invasivo de la técnica, o la exposición del paciente a radiación ionizante, ha ocasionado que se busquen alternativas de evaluación más dinámicas, objetivas y que se puedan realizar al lado de la cama del paciente. Actualmente la tomografía de impedancia eléctrica es una técnica que cumple con estos requerimientos y es promisoría para la evaluación de este tipo de intervenciones.

## **2.6 Tomografía de impedancia eléctrica**

Inicialmente en 1912, las técnicas de impedancia fueron desarrolladas en la exploración mineral (Allaud, 1977), posteriormente se hicieron cambios para su utilización en instrumentación médica (Webster, 1978) y solo hasta el año 1995 se evidenció en el área de la medicina interés por el uso de la Tomografía de Impedancia Eléctrica (TIE), como herramienta para monitorear la distribución de la ventilación pulmonar. Esta técnica se ha venido usando en el seguimiento del paciente de la unidad de cuidado crítico y actualmente muchos estudios muestran su utilización en la evaluación de diferentes sistemas orgánicos. El uso de esta técnica requiere la clara conceptualización de definiciones como corriente, voltaje y resistencia eléctrica.

Toda carga positiva y negativa que es separada, posee una energía potencial. La diferencia en la energía potencial por carga se denomina Voltaje. La unidad de voltaje es el Volt y se simboliza mediante  $V$ , donde, un Volt es la diferencia de potencial (voltaje) entre dos puntos cuando se utiliza un joule de energía para mover un coulomb de carga de un punto a otro. Tal como se mencionó antes, el voltaje proporciona energía a los electrones, lo que les permite moverse por un circuito. Este movimiento de electrones es la corriente, la cual

se simbolizada con la letra  $I$  y su unidad de medida es el Ampere. En términos sencillos el número de electrones (cantidad de carga) que fluyen más allá de cierto punto en una unidad de tiempo determinan la corriente. Su ecuación está dada por  $I = \frac{Q}{t}$ , donde  $I$  es la corriente en amperes (A),  $Q$  es la carga coulombs (C) y  $t$  es el tiempo en segundos(s). Un ampere (1A) es la cantidad de corriente que existe cuando cierto número de electrones, cuya carga total es de un coulomb (1C), pasa por un área de sección transversal en 1 segundo (1s).

El paso de la corriente a través de un material depende de las características propias del mismo. Cuando determinado material recibe una corriente, el movimiento de electrones ocasiona colisiones entre ellos ocasionado una pérdida de energía cinética, lo que a su vez repercute en una disminución de la velocidad en el flujo. La pérdida de energía y de movimiento de los electrones es directamente proporcional al número de colisiones entre ellos. La propiedad de un material de restringir u oponerse al flujo de electrones se llama resistencia ( $R$ ) y es expresada en ohms, simbolizada por la letra griega ( $\Omega$ ). El recíproco de la resistencia es la conductancia, simbolizada mediante  $G$  y definida como la facilidad que ofrece un material cualquiera al paso de la corriente. La relación entre el voltaje, la corriente y la resistencia de un circuito está descrita por la ley de Ohm que se expresa como  $I = \frac{V}{R}$ , de la cual se deduce que si el voltaje se mantiene constante y la resistencia aumenta al doble, la corriente disminuirá igualmente al doble, de la misma manera, si la resistencia de un circuito permanece constante y el voltaje se triplica, la corriente aumentará también tres veces. El concepto de resistencia se extiende a los circuitos de corriente alterna como Impedancia ( $Z$ ). La impedancia como principio físico de la TIE, se define como la resistividad (recíproco de la conductividad) que ofrece un medio cuando es sometido a un circuito eléctrico de corriente alterna, está definida a partir de la ley de Ohm, como  $R = \frac{V}{I}$ . El tipo de corriente que utilizan los tomógrafos de impedancia eléctrica para su funcionamiento es la corriente alterna, un tipo de corriente en el que la magnitud y el sentido varían cíclicamente.

En variadas formas se presenta la impedancia en los diferentes tejidos biológicos, dando lugar al término de “bioimpedancia” (Marc Bodenstern,

Matthias David, & Klaus Markstaller, 2009). Cuando se utiliza la tomografía de impedancia eléctrica en el sistema respiratorio, lo que se mide es la resistividad o impedancia pulmonar. El tórax es un sistema conductor de energía compuesto por hueso, músculo esquelético, músculo cardíaco, tejido pulmonar y sangre, cada uno con impedancias diferentes. En el tejido pulmonar, afectado directamente por el ciclo respiratorio, la impedancia pulmonar durante la inspiración, puede alcanzar los 2400  $\Omega/\text{cm}$  y durante la espiración tan solo 700  $\Omega/\text{cm}$ . Se ha reportado que la variación de la impedancia entre inspiración y espiración está asociada al cambio del volumen alveolar, sin embargo, éste volumen depende de la cantidad de aire que se mueve en el ciclo respiratorio mientras que la impedancia depende de los cambios que sufre el parénquima pulmonar por el movimiento de este aire durante el mismo ciclo. Dado que la corriente eléctrica sólo pasa a través de estructuras intracelulares o extracelulares y no a través del aire contenido dentro del bronquio, alvéolo o estructuras patológicas como enfisema, bullas o neumotórax (página 104 anexo II de drager), la impedancia pulmonar se define teniendo en cuenta la impedancia específica del tejido ( $\rho$ ), la longitud del tejido pulmonar (distinto en inspiración y espiración) ( $l$ ) y el área inter-alveolar ( $A$ ) por donde pasaría la corriente (más grande en espiración y más estrecho en inspiración), descritas en la ecuación  $Z = \rho \frac{l}{A}$ , donde  $Z$  sería equivalente a la resistencia de la ley de Ohm:  $R = \frac{V}{I}$ . Durante el ciclo respiratorio se modifica la impedancia porque, durante la inspiración, se expande el pulmón incrementando su volumen y la longitud del tejido intersticial ( $l$ ) mientras que el área ( $A$ ) inter-alveolar disminuye, estos cambios en la ecuación generarían un incremento de la impedancia. El  $Z$  puede expresarse en forma relativa como  $\Delta Z_{rel} = \frac{Z_{final} - Z_{inicial}}{Z_{inicial}}$ .

Basados en este principio, la TIE sin ser invasiva, permite seguir el comportamiento de la distribución ventilatoria pulmonar en tiempo real luego de inyectar pequeñas corrientes alternas cercanas a 5 mA a través de un par de electrodos y de registrar la diferencia de potencial correspondiente en un conjunto de electrodos (16 a 32) localizados circunferencialmente en el tórax (Christian Putensen, 2007). La aplicación de la corriente se va rotando alrededor de todo el tórax y esto genera perfiles de voltaje transversales que se superponen y permiten detectar las regiones de impedancia producidas por la

presencia del aire, por lo tanto, el cambio de impedancia en el tiempo corresponderá al cambio del volumen de aire durante la ventilación.

A partir de la superposición de los perfiles transversales de voltaje el programa del tomógrafo de impedancia (Pulmovista 500®) utiliza un algoritmo de reconstrucción de imágenes dinámicas fundamentado en la teoría de elementos finitos, para convertir estos perfiles en imágenes elipsoidales (Lawrence R. Caruana, 2011; Eduardo L.V. Costa, R. G. L., Marcelo B.P. Amato. 2009), en las cuales pueden representarse los cambios de impedancia (equivalente a los cambios de volumen pulmonar) mediante una escala cromática. Esta técnica permite hacer seguimiento en tiempo real de la distribución de la ventilación pulmonar tanto global como regional, con alta resolución temporal, siendo muy útil en el monitoreo de la distribución de la ventilación, además de no ser invasiva, tampoco somete al paciente a los efectos de la radiación, ni a traslados desde la sala en donde se encuentre hospitalizado (Frerichs et al, 2016).

Como ha sido reportado que los cambios en la impedancia se correlacionan linealmente con los cambios en el volumen corriente (Lundin, S., & Stenqvist, O. 2012), la amplitud de la onda entre el inicio de la inspiración y el final de la espiración para el volumen será equivalente a la amplitud de la onda de impedancia. Como la respiración es un proceso dinámico y el volumen corriente varía en el tiempo, los tomógrafos de impedancia eléctrica registran estos cambios con alta resolución temporal, calculando el promedio de la variación de la impedancia en un minuto (Minute Tidal Variation, VTM), que corresponderá a la variación del volumen corriente en un minuto.

En el caso del tomógrafo de impedancia eléctrica PulmoVista500 ® se reportan los valores numéricos de los cambios de impedancia global y regional. Estos valores tienen gran asociación con los cambios de la ventilación  $R^2 = 0.92$  (Meier, T. et al. 2006; Victorino, J. A. et al. 2004) El valor numérico en unidades de impedanciometría de la variación tidal minuto global VTM global (Z), es equivalente o representa la media de la variación del volumen corriente global en el último minuto de un registro, mientras que, el valor numérico en unidades de impedanciometría de la variación tidal minuto regional VTM ROI(Z), es equivalente o representa la media de la variación del volumen corriente

regional en el último minuto de un registro (Frerichs et al, 2016). El valor numérico de la impedancia puede expresarse también en forma relativa para la variación tidal minuto global así:  $VTM_{global}(\Delta Z.rel) =$

$\frac{VTM_{global}(Z)f - VTM_{global}(Z)i}{VTM_{global}(Z)i}$ , de igual forma será para la variación tidal minuto

regional  $VTM_{regional}(\Delta Z.rel) = \frac{VTM_{regional}(Z)f - VTM_{regional}(Z)i}{VTM_{regional}(Z)i}$ .

Las regiones de interés (ROI) analizadas fueron: anterior derecha (ROI1), anterior izquierda (ROI2), posterior derecha (ROI3) y posterior izquierda (ROI4), las zonas incluyen dos regiones, la zona anterior (ROI1 y ROI2), la zona posterior (ROI3 y ROI4), la zona derecha (ROI1 y ROI3) y la zona izquierda (ROI2 y ROI4).

Otra variable de relevancia clínica importante en la monitoría de la ventilación es la capacidad residual funcional que es equivalente a la impedancia pulmonar al final de la espiración (EELI). Frecuentemente lo que se analiza es la diferencia de la impedancia pulmonar al final de la espiración entre dos puntos en el tiempo ( $\Delta EELI$ ).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto en la distribución de la ventilación de una intervención controlada con dos técnicas de reexpansión pulmonar después de cirugía cardiaca, mediante evaluación con tomografía de impedancia eléctrica en pacientes de una unidad de cuidados intensivos en una clínica de III nivel de la ciudad de Cali durante el periodo Agosto – Diciembre 2016

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la VTM global y regional entre el antes y después de la intervención con cada una de dos técnicas de reexpansión pulmonar
- Determinar el EELI global y regional entre el antes y después de una intervención controlada con cada una de dos técnicas de reexpansión pulmonar

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Diseño del estudio**

**4.1.1. Tipo de estudio:** Se realizó Ensayo clínico controlado aleatorizado fase II B, por cuanto a la fecha no se encontraron estudios publicados que permitieran determinar un cálculo de tamaño de muestra como lo requeriría un estudio fase III. Este es un estudio piloto con el que se determinó el VTM y el  $\Delta$ EELI global y regional, con el fin de estipular de forma exploratoria estos parámetros en un grupo de pacientes posquirúrgicos de cirugía cardiovascular sometidos a dos técnicas de reexpansión pulmonar diferentes.

**4.1.2. Población objetivo:** Pacientes adultos programados para cirugía cardiaca en el periodo entre agosto - diciembre de 2016, en una clínica nivel III de la ciudad de Cali. Se incluyeron a todos los pacientes que aceptaron de forma voluntaria participar en el estudio y que cumplieron con los criterios de inclusión del estudio.

**4.1.3. Selección de pacientes:** Los pacientes fueron seleccionados de la lista de pacientes programados para cirugía, mediante lectura de la historia clínica y evaluación del examen físico se verificaban los criterios de selección.

#### **4.1.4. Criterios de inclusión:**

- Mayores de 18 años
- Pacientes programados para cirugía cardiovascular de revascularización miocárdica o de reemplazo valvular sin antecedentes de enfermedad pulmonar
- Pacientes que acepten el consentimiento informado
- Paciente con índice de masa corporal (IMC)  $< 35 \text{ Kg/m}^2$
- Pacientes sin alteraciones mentales o cognitivas

#### **4.1.5 Criterios de exclusión**

- Paciente con inestabilidad hemodinámica definida como PAM  $< 65$  mmHg o requerimiento de soporte vasopresor (norepinefrina) superior a  $0.1 \text{ mcg/kg/min}$  por más de 8 horas

- Pacientes con marcapasos, cardiovertores o cardiodesfibriladores implantados durante la cirugía
- Pacientes con incisión diferente a esternotomía mediana
- Paciente incapaz de seguir ordenes por agitación psicomotora o por deterioro del Glasgow
- Pacientes que presenten arritmias cardiacas que le generen inestabilidad hemodinámica
- Paciente que presente sangrado con inestabilidad hemodinámica o aquel que requiera re-intervención quirúrgica
- Paciente con ventilación mecánica invasiva en el posquirúrgico mayor a 6 horas por causas cardiopulmonares, en aquellos que se tarden en despertar por efectos residuales de los fármacos sedantes se amplió el plazo hasta 12 horas.
- Pacientes con cualquier condición en la que el registro en la señal del tomógrafo sea baja
- Pacientes con lesiones, cambios en piel o presencia de dispositivos que impidan la colocación del cinturón de electrodos alrededor del tórax.
- Pacientes con alguna condición clínica que requiera apoyo con ventilación mecánica invasiva o no invasiva

#### **4.1.6 Criterios de abandono**

- Solicitud por parte del paciente o del acudiente de ser excluido del protocolo expresada de forma verbal o escrita
- Muerte



## 4.2 Definición de variables

Tabla 1. Descripción de variables del estudio

<b>Variables Demográficas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Instrumento</b>
<b>Edad</b>	Cantidad de años cumplidos	Cuantitativa	Años	Historia Clínica(H.C) o Formato de recolección datos(CRF)
<b>Género</b>	Condición orgánica masculina/femenina	Cualitativa	Hombre mujer	H.C. o CRF
<b>Variables Antropométrica</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Instrumento</b>
<b>IMC basal</b>	Relación entre peso y altura	Cuantitativa	Kg/m <sup>2</sup>	Tallímetro bascula
<b>Variables Clínicas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Instrumento</b>
<b>Frecuencia Cardíaca</b>	Valor numérico del ritmo cardíaco	Cuantitativa	pulsaciones por minuto	Monitor (EKG)
<b>Presión arterial media</b>	Parámetro que incluye a la presión sistólica y diastólica	Cuantitativa	mm Hg	Esfingomanómetro o línea arterial
<b>Frecuencia respiratoria</b>	Respiraciones por minuto	Cuantitativo	Número de ciclos por minuto	Monitor
<b>Saturación de oxígeno por pulsoximetría</b>	Medición de oxígeno unido a la hemoglobina	Cuantitativa	Porcentaje	Pulsoximetría
<b>Factores de riesgo (hipertensión, tabaquismo)</b>	Condición predisponente para el desarrollo de una patología cardiopulmonar	Cualitativa nominal	Nombre de la enfermedad	H.C
<b>Hemoglobina Prequirúrgica</b>	Niveles séricos de la hemoglobina antes de la cirugía	Cuantitativa	gr/dl	H.C

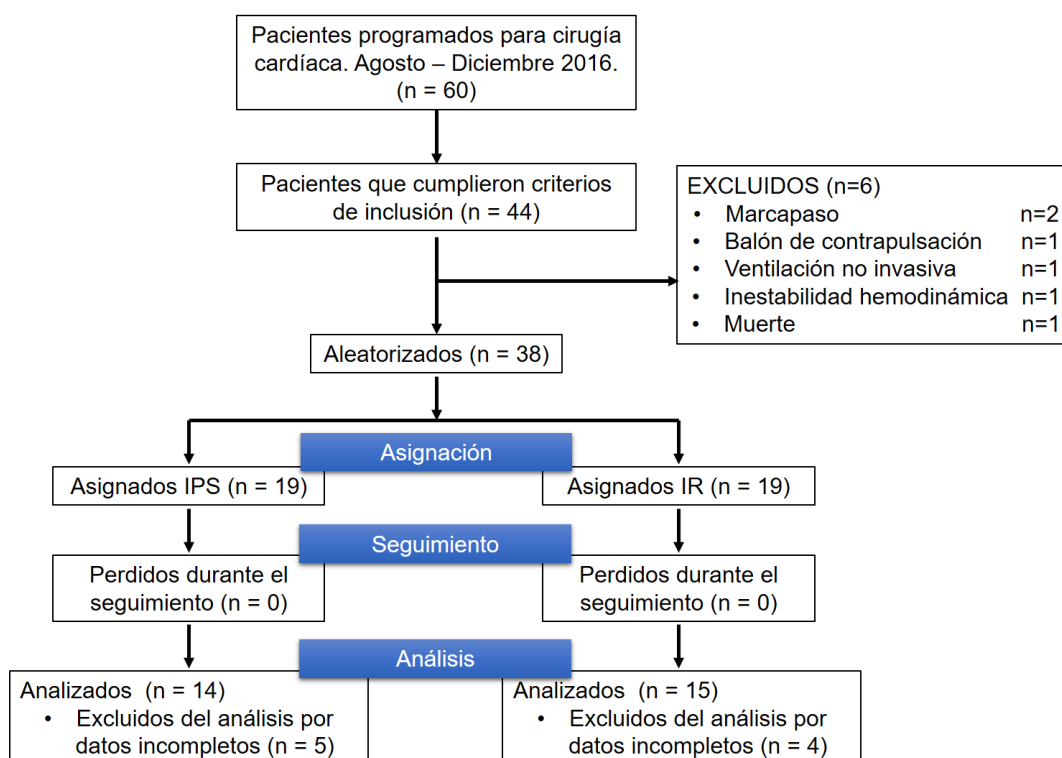
<b>Hemoglobina postquirúrgica</b>	Niveles séricos de la hemoglobina posterior a la cirugía	Cuantitativa	gr/dl	H.C
<b>Procedimientos quirúrgicos</b>	Tipo de Cirugía cardiovascular	Cualitativa Nominal	Presencia del procedimiento	HC, CRF
<b>Tiempo de Bomba</b>	Tiempo de circulación extracorpórea	Cuantitativa	Minutos	Hoja de anestesia
<b>Tiempo de clampeo aórtico</b>	Tiempo de oclusión aórtica	Cuantitativa	Minutos	Hoja de anestesia
<b>Tiempo de ventilación mecánica total</b>	Tiempo desde que se intuba el paciente en cirugía hasta que se extuba en la UCI	Cuantitativa	Minutos	Historia clínica
<b>Sistemas de drenaje torácico izquierdo o derecho</b>	Presencia de tubos de drenaje pleurales después de la cirugía	Cualitativa Nominal	Tubo izquierdo + mediastinal, tubo derecho + mediastinal, tubo derecho + izquierdo + mediastinal.	Historia clínica
<b>Tiempo con Fracción inspirada de oxígeno (FiO<sub>2</sub>) al 100 %</b>	Tiempo con FiO <sub>2</sub> al 100% desde cirugía hasta su disminución en la UCI	Cuantitativa	Minutos	Historia clínica
<b>%VEF1 pred.</b>	Porcentaje del predicho para el Volumen espirado forzado en el primer segundo	Cuantitativa	Porcentaje	Espirómetro
<b>%CVF pred.</b>	Porcentaje del predicho para Capacidad Vital Forzada	Cuantitativa	Porcentaje	Espirómetro
<b>% CVF/VEF<sub>1</sub></b>	Porcentaje del	Cuantitativa	Porcentaje	Espirómetro

	predicho para la relación capacidad vital forzada sobre el VEF1			
<b>Balance hídrico a las 24 y 48 h</b>	Relación entre la cantidad de líquidos administrados y eliminados	Cuantitativa	Litros	Historia clínica
<b>Lactato sérico</b>	Cantidad de lactato reportado posterior a la cirugía	Cuantitativa	mmol/L	Historia clínica
<b>Escala SOFA</b>	Escala de evaluación secuencial de falla orgánica que predice mortalidad en la UCI.	Cuantitativa	Porcentaje. Un valor < 9 predice mortalidad inferior a 33%	Historia clínica
<b>Complicaciones respiratorias en el tiempo de la hospitalización en la UCI</b>	Alteraciones del sistema respiratorio luego de la cirugía	Cualitativa nominal	Atelectasia Neumotórax Derrame pleural	H.C, CRF
<b>Función ventricular previa (fracción de eyección)</b>	Cantidad de sangre que sale del Ventrículo en un latido	Cuantitativa	Valor en porcentaje	Reporte ecocardiográfico
<b>Euro score</b>	Sistema europeo para evaluación prequirúrgica del riesgo en cirugía cardiovascular	Cualitativa ordinal	Valor en porcentaje	Aplicativo Web
<b>Variables resultado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Instrumento</b>
<b>Delta de la Variación tidal minuto global y regional</b>	Cambio de la Variación tidal minuto global y regional	Cuantitativa	Unidades arbitrarias de impedancia (A.U)	Panel de tendencias del PulmoVista 500

<b>(VTM)</b>				
<b>Delta del EELI (<math>\Delta</math>EELI).</b>	Cambio de la Impedancia pulmonar promedio del final de la espiración entre el antes y el después de una intervención	Cuantitativa	Unidades arbitrarias de impedancia (A.U)	Panel de tendencias del PulmoVista 500
<b>Tipo de técnica de Reexpansión pulmonar</b>	Técnicas que incrementan la ventilación pulmonar	Cualitativa nominal	Incentivo respiratorio y respiración profunda	H.C, CRF

### 4.3 Flujograma del estudio

En la figura 1 se muestra la descripción del reclutamiento de los pacientes y su aleatorización



**Figura 1:** Esquema de reclutamiento y aleatorización

### 4.4 Procedimientos

Este estudio se llevó a cabo en cuatro fases: planificación, medición y recolección de información, aleatorización y enmascaramiento

#### **4.4.1 Planificación**

Una vez obtenidos los avales institucionales, se realizaron visitas de reconocimiento a la unidad de cuidado intensivo y se concertaron reuniones con el equipo de multidisciplinar de profesionales (cirujanos cardiovasculares, anestesiólogos, médicos intensivistas y fisioterapeutas) donde se presentó y explicó el proyecto, se resolvieron dudas y se recibieron sugerencias respecto a los protocolos de manejo pre y post-quirúrgicos. Una vez realizado los ajustes pertinentes al proyecto por parte del equipo de trabajo, se realizaron reuniones de divulgación del producto final al grupo de fisioterapeutas, personal médico y de enfermería de la UCI.

Adicionalmente los integrantes del estudio y tres fisioterapeutas especialistas en cardiopulmonar tuvieron un entrenamiento de 16 horas con el experto de la casa distribuidora del equipo de tomografía de impedancia eléctrica (Drager Colombia, S. A.) sobre la aplicación, análisis y almacenamiento de los datos. Se realizó además una jornada de revisión del protocolo de las dos técnicas de reexpansión y de la técnica de la tos, utilizadas en la Clínica y que fueron usadas en este estudio, con el fin de homogeneizar las intervenciones. El investigador principal fue siempre el encargado de presentar el proyecto y el consentimiento informado a los pacientes y los tres fisioterapeutas entrenados fueron quienes realizaron la intervención y las mediciones a lo largo del periodo posquirúrgico. Una vez aplicados los criterios de selección a los pacientes programados para cirugía, se concertó con la coordinadora de fisioterapia un tiempo para una evaluación pre-quirúrgica del paciente en la que se explicaba el proyecto a los pacientes candidatos. Los pacientes que estaban interesados en participar se les leía el consentimiento informado (ANEXO 1) para su posterior firma.

#### **4.4.2 Medición y recolección de la información**

Una vez el paciente ingresaba al estudio, la información de la historia clínica, las mediciones de los signos vitales, la evaluación cardiopulmonar, el resultado de la radiografía del tórax y los resultados de la primera medición de TIE y de la medición de espirometría se registraban en el formato de información y evaluación inicial (ANEXO 2). Todos los pacientes eran instruidos sobre movilización temprana (sentarse fuera de la cama, deambulación y ejercicios activos de las cuatro extremidades) y la forma de toser adecuadamente

(técnicas para estimular la tos con apoyo esternal). Además, las dos técnicas de reexpansión (incentivo respiratorio e inspiración profunda sostenida) eran enseñadas al paciente.

Después del procedimiento quirúrgico y al ingreso a la UCI se inició el registro en el CRF (ANEXO 3) de la información de la historia clínica y de la información de las mediciones correspondientes con TIE obtenidas antes y después de cada terapia de reexpansión pulmonar.

#### **4.4.3 Aleatorización y enmascaramiento**

Los pacientes fueron aleatorizados por bloques fijos permutados de tamaño cuatro por una persona diferente al investigador principal, antes del inicio del estudio en un programa diseñado para tal fin. Para la asignación del tratamiento los códigos correspondientes a cada uno de ellos se almacenaron en un sobre oscuro, demarcado en su exterior del 1 al 40 los cuales fueron abiertos por el fisioterapeuta en el momento en que el paciente fue extubado y cumplía criterios de estabilidad hemodinámica para iniciar el protocolo de reexpansión pulmonar

Por la naturaleza de las intervenciones no fue posible enmascarar al equipo de salud tratante. Dos profesionales aplicaban el protocolo; el comportamiento de la distribución pulmonar visto en el tomógrafo fue ciego para el fisioterapeuta que realizaba la intervención.

### **4.5 Intervención con técnicas de reexpansión y mediciones con TIE**

#### **4.5.1 Condiciones generales quirúrgicas y posquirúrgicas**

La cirugía de todos los pacientes incluyó una incisión mediante esternotomía mediana, circulación extracorpórea y ventilados mecánicamente con volumen corriente ( $V_t$ ) a 6 ml/kg,  $FiO_2$  al 100% y presión positiva al final de la espiración (PEEP) = 0 cmH<sub>2</sub>O. Al finalizar la cirugía, todos recibieron una maniobra de reclutamiento manual con presiones entre alrededor de 35 – 40 cmH<sub>2</sub>O. Todos los pacientes recibieron el cuidado básico post-quirúrgico que incluía: movilización temprana, traslado a silla y deambulación según el protocolo de manejo institucional.

#### 4.5.2 Programación de intervención y mediciones

Tal como lo establecía la Clínica donde se realizó el estudio, el paciente recibía en el postquirúrgico como fisioterapia respiratoria una combinación de distintas técnicas de reexpansión pulmonar tres veces al día. Durante el estudio las técnicas utilizadas fueron aleatorizadas como: incentivo respiratorio (IR) e inspiración profunda sostenida (IPS), con una frecuencia de acuerdo al esquema de la tabla 2. Es importante aclarar que la frecuencia de intervención con las técnicas no es igual a la frecuencia de medición con TIE tal como lo muestra esta tabla.

**Tabla 2: Esquema de la frecuencia de intervención y medición con TIE**

<b>Frecuencia de evento</b>	<b>Intervención asignada por aleatorización</b>	<b>Medición con TIE (sesión)</b>
<b>Pre-quirúrgica</b>		0
<b>5 min (6pm)</b>	X	1
<b>6 hrs (12m)</b>	X	2
<b>12 hrs (6am)</b>	X	3
<b>18 hrs (12m)</b>	X	4
<b>24 hrs (6pm)</b>	X	5
<b>30 hrs (12m)</b>	X	
<b>36 hrs (6am)</b>	X	6
<b>42 hrs (12m)</b>	X	
<b>48 hrs (6pm)</b>	X	7
<b>54 hrs (12m)</b>	X	
<b>60 hrs (6am)</b>	X	8
<b>66 hrs (12m)</b>	X	
<b>72 hrs (6pm)</b>	X	9

#### 4.5.3 Calibración y mediciones con TIE y Espirometría

- **Primera medición:** En la cita pre-quirúrgica se realizaba medición con TIE del paciente respirando espontáneamente durante 2 minutos y una única medición de espirometría simple.
- **Mediciones Postquirúrgicas:** Las mediciones post-quirúrgicas con TIE incluyeron desde la sesión #1 hasta la sesión #9 (tabla 2) cuando se completó el tercer día posquirúrgico. Cada medición se realizaba de forma continua durante la sesión de reexpansión pulmonar. Antes y después de cada medición con TIE el paciente era evaluado con una escala numérica análoga del dolor (Rauh, K. H., Andersen, R. S., & Rosenberg, J. 2013) desde cero (sin dolor) hasta 10 puntos (dolor máximo). El paciente señalaba en la escala el grado de dolor de acuerdo a su percepción. Se tuvieron como límites de tolerancia el valor menor o igual a 5 puntos en esta escala. Todos los pacientes eran manejados con analgesia posquirúrgica de forma individualizada para mantener la escala > a 5 puntos, en ningún caso se observaron valores superiores. El estado de conciencia, la presencia de arritmias y demás criterios de exclusión eran verificados de forma continua antes durante y después de las intervenciones.

##### 4.5.3.1 Calibración espirómetro y tomógrafo

- **Espirometría:** La calibración del espirómetro **Fitmate® COSMED:** equipo se realizaba de forma automática y periódica, tal como se describe en el manual del usuario (COSMED. 2010).
- **Tomografía de impedancia eléctrica:** El autochequeo y la calibración del PulmoVista 500® (Drager) se realiza mediante sistema automatizado de verificación del funcionamiento cada 24 horas incluido en el software. Ver instrucciones del manual del usuario (KGaA, D. A. C. 2015).

##### 4.5.3.2 Medición de la espirometría simple

**La espirometría simple** consistía en solicitarle al paciente que realizara una inspiración máxima desde la capacidad residual funcional hasta la capacidad pulmonar total y posteriormente se solicitaba de forma enérgica una espiración rápida y completa hasta el volumen residual. Para esta maniobra se cumplían los siguientes pasos:



1. Verificación de la calibración del espirómetro.
2. Explicación de la prueba.
3. Preparación del paciente
4. Se indagaba sobre el tabaquismo, enfermedad reciente, el uso de medicamentos, etc.
5. Medición el peso y la talla sin zapatos.
6. Lavado de manos y equipo de bioseguridad
7. Instrucciones de la técnica y demostración de la prueba
8. La postura correcta con la cabeza ligeramente elevada.
9. Inhalar rápida y completamente.
10. Posición de la boquilla.
11. Exhalar con fuerza máxima.
12. Realización de la maniobra:
13. La persona asumía la postura correcta.
14. Se utilizaba una pinza en la nariz y una boquilla ajustada con adecuado cierre de los labios alrededor de la boquilla.
15. Exhalación máxima hasta que el aire no pueda ser expulsado mientras se mantiene una posición vertical.
16. El procedimiento se realizaba con un mínimo de tres maniobras y no más de ocho
17. Se comprobaba la reproducibilidad de las pruebas

#### **4.5.3.3 Medición de la TIE**

Para evaluar los cambios en la ventilación pulmonar global y regional se utilizó la técnica de tomografía de impedancia eléctrica en una sección transversal del tórax con el monitor PulmoVista 500 ® Drager. Todas las mediciones se realizaron posterior al auto-chequeo y calibración automática del equipo.

Antes de iniciar las mediciones todas las fuentes de radiación electromagnética como teléfonos celulares fueron ubicados a un radio de distancia mayor a tres metros para evitar interferencias.

El PulmoVista 500 ®. Drager cuenta con un cinturón de silicona con 16 electrodos integrados, el cual se ubicó rodeando el tórax entre el 4º y 6º espacio intercostal con la línea medio clavicular, ajustando el contacto de los electrodos en la piel rasurada y libre de sustancias con un gel conductor marca TENSIVE. El cinturón era elegido de acuerdo al diámetro torácico del paciente descrito en la tabla 3.

Perímetro del pecho	Color	Tamaño
De 70 a 85 cm (de 28 a 33 in)	Azul cobalto	Ⓢ
De 80 a 96 cm (de 31 a 38 in)	Azul oscuro	Ⓜ
De 92 a 110 cm (de 36 a 43 in)	Rojo oscuro	Ⓛ
De 106 a 127 cm (de 42 a 50 in)	Gris	ⓍⓁ
De 124 a 150 cm (de 49 a 59 in)	Violeta	ⓍⓍⓁ

**Tabla 3:** Cinturones para medición con el PulmoVista 500 Fuente: Eckhard, T., & Michael, I. (2011).

Todo paciente una vez era conectado al equipo PulmoVista 500®, se le comprobaba la calidad de la señal (categorizada como alta, media y baja) utilizando un botón en el panel principal denominado “Chequeo de señal”, en este panel se representaba gráficamente la posición de los electrodos y su calidad de señal. Las mediciones solo se registraban cuando la calidad de la señal era alta.

El paciente siempre era medido en posición sedente con apoyo en la espalda tanto en la medición prequirúrgica como en las mediciones posquirúrgicas. La evaluación del primer día posquirúrgico se realizaba en posición sentado en la cama con un ángulo de inclinación de 45°, manteniendo la espalda apoyada y las rodillas en extensión. El segundo día, si el paciente estaba en condiciones de ser trasladado a una silla (fuera de la cama) se posicionaba con una inclinación de 70° con igual apoyo en la espalda y las rodillas flexionadas a 90° con los pies apoyados en el piso. Si el paciente no cumplía con los criterios de

traslado a una silla, la evaluación se realizaba dentro de la cama tal y como se describió anteriormente. Al tercer día, el paciente podía ser evaluado en cama o en la silla.

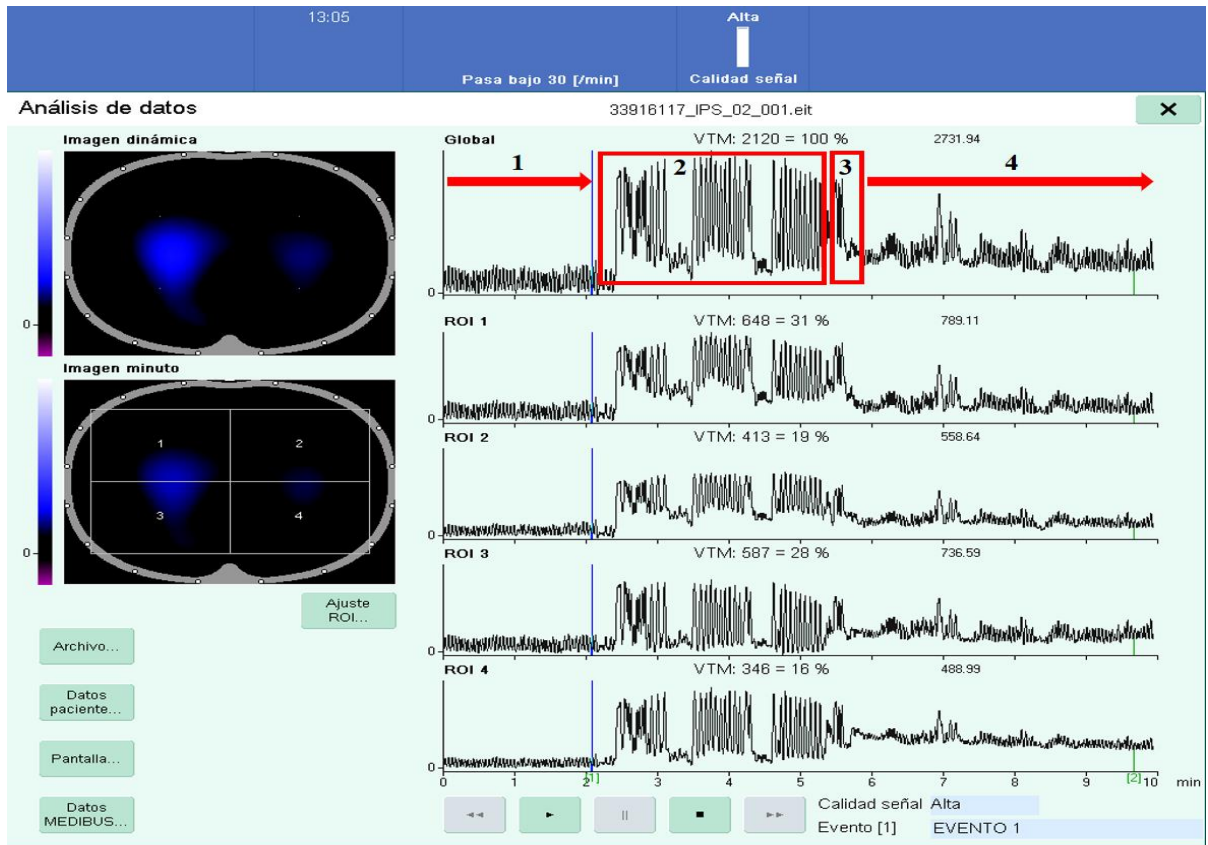
Luego de garantizar el correcto posicionamiento del paciente, y de obtener una calidad de la señal alta en la ubicación del cinturón se procedía a seleccionar en la pantalla del equipo la opción “registro”. Esta opción permitía la captación grabación de los datos del paciente durante toda la sesión, la cual transcurría de la siguiente manera: los dos primeros minutos eran en respiración espontánea, al finalizar este tiempo se iniciaba la intervención con la correspondiente técnica de reexpansión, luego de la cual el paciente realizaba una técnica de tos que finalizaba para continuar respirando espontáneamente durante cuatro minutos cuando se daba por terminada la sesión y se seleccionaba de nuevo la opción “registro”, lo que detenía la grabación y permitía su almacenamiento. El registro obtenido era analizado de forma “off-line” lo cual permitía obtener los valores correspondientes de la VTM y del  $\Delta EELI$ , un ejemplo del registro de un paciente consistente en dos pantallas distintas es mostrado en la figura 2.

Para determinar los valores del  $\Delta EELI$  y del VTM se ubicaron dos cursores en el registro tomográfico. El primer cursor (C1) era ubicado al final de los dos primeros minutos de respiración espontánea (línea azul) y el segundo cursor (C2) era ubicado al finalizar el cuarto minuto de respiración espontánea, de la figura 2, una vez ubicado los cursores se obtenían el VTM de la pantalla de la figura (2A) mientras que de la pantalla mostrada en la figura (2B) se obtenía el  $\Delta EELI$ .

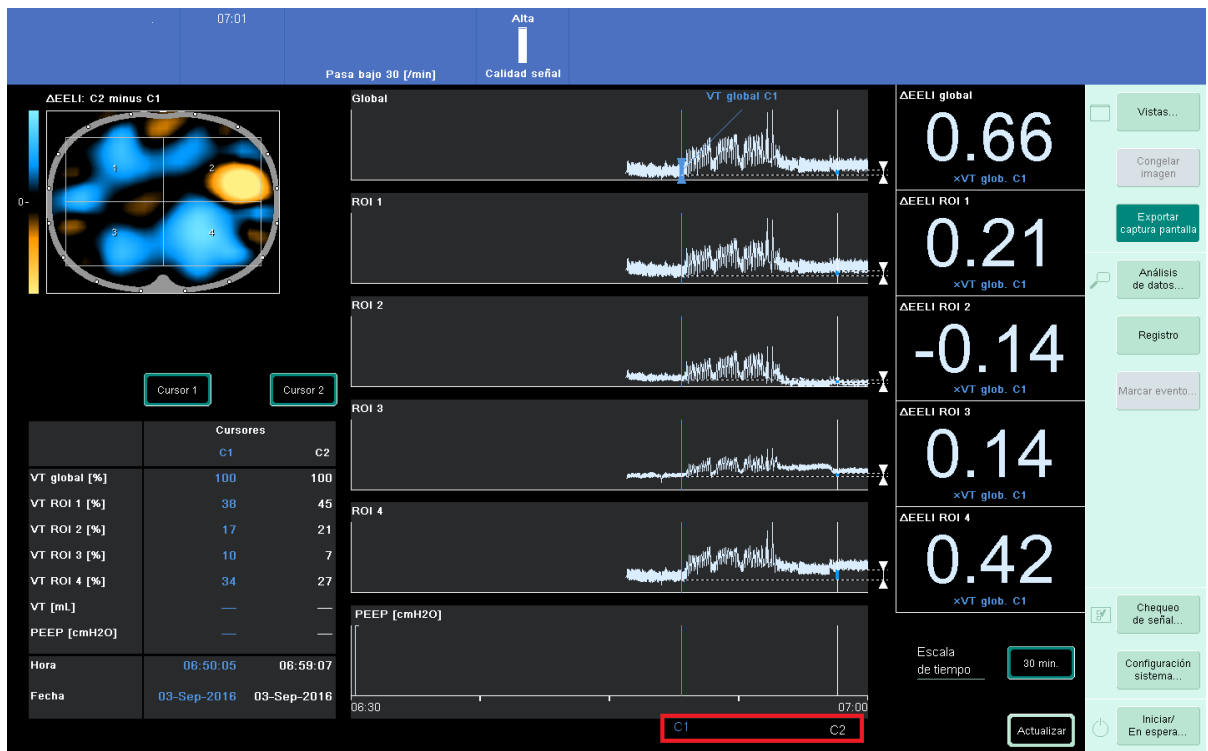
**Figura 2:** Registro de un paciente evaluado con TIE y técnica de incentivo respiratorio, la secuencia numérica muestra los cambios en las curvas de impedancia de acuerdo a las fases del protocolo de medición para la obtención de los valores de VTM global y regional (2A) y EELI global y regional (2B)

1. Dos minutos respirando espontáneamente cursor C1, ubicado al finalizar este periodo de tiempo.
2. Técnica de reexpansión
3. Técnica de tos.
4. Cuatro minutos respirando espontáneamente, cursos C2 ubicado al finalizar este periodo de tiempo

(2A)



(2B)



#### **4.5.3.4 Limpieza y desinfección del tomógrafo y el espirómetro**

Luego de cada medición se utilizaba una técnica de desinfección de alto nivel según protocolo institucional y del fabricante del equipo, en la cual se usaba una compresa estéril y solución de Amonio cuaternario sin hacer inmersión de ningún componente del equipo.

#### **4.5.4 Protocolos de terapias de Reexpansión pulmonar**

##### **4.5.4.1 Técnica de inspiración profunda sostenida**

- **Primer día posquirúrgico**

- Extubación
- Cinco minutos post-extubación se realiza la primera intervención de fisioterapia respiratoria con medición de tomografía de impedancia eléctrica
- Dos fisioterapeutas eran requeridos para este procedimiento, uno de ellos se encargaba de lo concerniente a la evaluación tomográfica tal y como se describió anteriormente, el otro fisioterapeuta era el encargado de realizar la técnica de reexpansión y permanecía ciego durante y finalizado el procedimiento del resultado obtenido en el tomógrafo.
- La sesión de reexpansión pulmonar era desarrollada de la siguiente forma:
  - El fisioterapeuta que realizaba la intervención solo podía empezar la sesión cuando el encargado del registro tomográfico lo ordenaba, debido a que se debían garantizar las condiciones de calibración, posicionamiento del paciente y del cinturón, verificación de señal y tiempo de respiración espontánea (2 minutos) antes de iniciar la técnica de reexpansión.
  - El fisioterapeuta utilizaba un contacto manual a nivel del epigastrio para dar inicio a tres series de diez respiraciones de patrón inspiratorio profundo con pausa inspiratoria de 5 segundos (inspiración profunda) con descanso de 15 segundos entre series. El total de respiraciones de toda la sesión era de 30.
  - El paciente era instruido a inspirar suave y profundamente por la nariz sin dejar escapar el aire, realizando una pausa al final de la inspiración de 5 segundos (el tiempo de pausa inspiratoria y el tiempo de descanso entre series fue contabilizado con un cronometro digital); la espiración se realizaba de forma suave y sin pausa por la boca.

- El comando verbal utilizado de forma sistemática fue *“Tome el aire suave y profundamente por la nariz, sostenga, y bótelo suavemente por la boca.”*
- El fisioterapeuta permanecía atento a la aparición de uso de músculos accesorios (elevación de los hombros, movimiento excesivo de las narinas, etc.) y tomaba las medidas pertinentes para su corrección.
- Después de terminar la sesión de inspiraciones profundas, se realizaba una técnica de tos (ver técnica de tos).
- La sesión era interrumpida sólo si el paciente mostraba signos de intolerancia a la posición sedente a 45°, si la frecuencia respiratoria era mayor de 25 respiraciones por minuto y si había presencia de uso de músculos accesorios o el paciente refiere aumento de la sensación de disnea o intolerancia al dolor.
- A las seis horas posteriores a esta intervención se realizaba una nueva sesión con las mismas características.
- **Segundo día:** Se llevaba a cabo el mismo protocolo de intervención y medición, sin embargo, esta vez la técnica podía ser realizada con el paciente sentado en silla.
- **Tercer Día:** Se continuará con el mismo protocolo de intervención y medición del segundo día.

#### 4.5.4.2 Técnica de Incentivo respiratorio

- **Primer día Posquirúrgico**
- Extubación
- Cinco minutos post-extubación se realiza la primera intervención de fisioterapia respiratoria con medición de tomografía de impedancia eléctrica
- Dos fisioterapeutas eran requeridos para este procedimiento, uno de ellos se encargaba de lo concerniente a la evaluación tomográfica tal y como se describió anteriormente, el otro fisioterapeuta era el encargado de realizar la técnica de reexpansión y permanecía ciego durante y finalizado el procedimiento del resultado obtenido en el tomógrafo.
- La sesión de reexpansión pulmonar con incentivo respiratorio transcurría de la siguiente manera:
  - El fisioterapeuta que realizaba la intervención solo podía empezar la sesión cuando el encargado del registro tomográfico lo ordenaba, debido a que se debían garantizar las condiciones de calibración,

posicionamiento del paciente y del cinturón, verificación de señal y tiempo de respiración espontánea (2 minutos) antes de iniciar la técnica de reexpansión.

- El contacto manual del fisioterapeuta se realizaba con la mano dominante a nivel del epigastrio.
  - Las inspiraciones profundas se realizaban mediante el uso del incentivador de flujo marca TRIFLO®.
  - El paciente mantenía la boquilla del dispositivo dentro de la boca garantizando un correcto sellado con los labios. El dispositivo era sujetado en posición vertical por parte del fisioterapeuta con una mano mientras la otra, permanecía en contacto con la zona del epigastrio durante toda la sesión. El paciente será instruido a realizar una respiración profunda sostenida y a sostener las bolas del incentivo en la posición más alta por al menos 5 segundos. La espiración era realizada de forma pasiva a través del dispositivo sin retirarlo de la boca y sin realizar ninguna maniobra forzada.
  - Se realizaron tres series de diez respiraciones a través del incentivo respiratorio con descanso de 15 segundos entre series. El total de respiraciones de toda la sesión fue de 30.
  - El comando verbal que se usará será *“Tome el aire suave y profundamente por la boca, sostenga las bolas arriba, y bótelas suavemente por la boca”*. El paciente recibía retroalimentación del dispositivo cuando se levantan las bolas dentro de los cilindros transparentes.
  - Después de terminar la sesión de inspiraciones profundas, se realizaba una técnica de tos (ver técnica de tos).
- La sesión era interrumpida sólo si el paciente mostraba intolerancia a la posición de sedente, si la frecuencia respiratoria mayor de 25 respiraciones por minuto más uso de músculos accesorios y si el paciente refería aumento de la sensación disnea o intolerancia por dolor.
  - A las seis horas posteriores a esta intervención se realizaba una nueva sesión con las mismas características.

- **Segundo día:** Se llevaba a cabo el mismo protocolo de intervención y medición, sin embargo, esta vez la técnica podía ser realizada con el paciente sentado en silla.
- **Tercer Día:** Se continuará con el mismo protocolo de intervención y medición del segundo día.

#### **4.5.4.3 Técnica de tos**

Como parte de los protocolos de reexpansión pulmonar en pacientes postquirúrgicos de cirugía cardiovascular fueron empleadas técnicas de tos que contribuyen en la des-obstrucción bronquial y a la reexpansión pulmonar.

- La posición utilizada fue la misma que la de la técnica de reexpansión pulmonar, dentro de la cama o sentado en silla
- El paciente abrazaba firmemente una almohada utilizando ambos brazos, soportando la herida quirúrgica (esternotomía).
- El comando verbal utilizado fue “Inspire lentamente tan profundo como le sea posible, sostenga el aire y con su máximo esfuerzo tosa al mismo tiempo que abraza la almohada firmemente sobre la herida”
- La técnica se repetía tres veces.

#### **4.6 Registro de la información**

La información era obtenida directamente del paciente utilizando inicialmente un Formato de Evaluación inicial (Díaz C. et. al) (ANEXO 2) en el cual se incluyó información de la historia clínica relacionadas con las características sociodemográficas, antecedentes patológicos, personales y familiares en salud, antecedentes de hábitos y farmacológicos. Luego de la cirugía y antes de cada terapia se aplicaba una lista de chequeo incluida en los formatos sobre signos y síntomas relacionados con estabilidad hemodinámica, psíquica y motora. De los formatos de control de la UCI se obtuvo información de otras variables que se registraban en el formato de recolección de datos (CRF, ANEXO 3) (Díaz C. et. al). En este formato se incluyeron también los resultados de la medición de la tomografía de impedancia eléctrica que se realizó en los periodos pre y postquirúrgico, pero también en las etapas pre y post de las terapias de reexpansión pulmonar.



#### **4.6.1 Prueba de instrumentos de registro**

Los instrumentos de recolección de datos (ANEXO 1 Y 2) habían sido utilizados con anterioridad en investigaciones previas en la UCI de nuestra región (Díaz C. et. Al) y se ajustaron acuerdo a la información requerida. Por otro lado, todos fueron probados mediante prueba piloto con una población de características similares a las del estudio en la misma institución de salud donde este se llevó a cabo.

#### **4.6.2 Control de calidad de la información**

El investigador principal revisaba semanalmente la información de cada uno de los formatos de registro verificándola con las fuentes de información (historia clínica y el registro almacenado en el equipo) antes de su digitación en la base de datos. Adicionalmente una vez al mes se realizaban reuniones con los fisioterapeutas que hicieron parte del estudio con el fin de discutir las dificultades detectadas durante las mediciones para poder hacer los ajustes correspondientes.

#### **4.6.3 Diseño y manejo de la base de datos**

Una vez revisada y corregida la información consignada en los formatos de recolección, se digitó la base de datos diseñada previamente en el programa Excel versión 10 para luego ser exportada para su análisis. La digitación, el manejo de la base de datos y su análisis estuvieron a cargo del investigador principal y un monitor de investigación.

### **4.7 Procesamiento y análisis estadístico de datos**

#### **4.7.1 Análisis descriptivo**

Con el fin de tener un conocimiento inicial del comportamiento de cada una de las variables, se realizaron los cálculos correspondientes que permitieron tener medidas de tendencia central como la media, mediana y moda, además medidas de dispersión como la desviación estándar, coeficiente de variación, rango, mínimo y máximo. Cada uno de estos cálculos se realizaron diferenciando por tipo de técnica de reexpansión utilizada (IPS e IR).

#### 4.7.2 Comparación de grupos

La comparación de las variables prequirúrgicas se realizó por medio de dos métodos los cuales fueron la prueba de comparación de medias para muestras independientes t de student y la prueba no paramétrica equivalente a la anterior U de Mann Witney. El uso de estas pruebas dependía del comportamiento de la distribución de cada una de las variables que se estaban comparando, dicho comportamiento se verifico por medio de la prueba de Shapiro Wilk con la cual se pudo comprobar estadísticamente si las variables seguían un comportamiento normal o no. Gráficamente las comparaciones se mostraron por medio de diagramas de barras y error.

Para las que no siguieron un comportamiento normal se utilizó la prueba U de Mann Witney y para las que siguieron un comportamiento normal se compararon por medio de la prueba t de Student. Adicionalmente en el caso de la prueba T de Student se realizó la validación de la homogeneidad de las variables con el fin de determinar si se trabajaba asumiendo varianzas iguales o diferentes.

#### 4.7.3 Modelos Mixtos

Para la comparación de las variables resultado se utilizaron los modelos mixtos, se tuvieron en cuenta como factores, la técnica, los cuadrantes y las sesiones, los cuales permitieron mostrar la existencia o no de diferencias estadísticas para las variables VTM y  $\Delta EELI$  en los diferentes grupos conformados por dichos factores. Los resultados del VTM global fueron expresados como una proporción de cambio de la impedancia entre el inicio y el final de la intervención, utilizando la fórmula:  $VTM_{global}(\Delta Z.rel) = \frac{VTM_{global}(Z)_f - VTM_{global}(Z)_i}{VTM_{global}(Z)_i}$  de igual forma se hizo para la variación tidal minuto regional con cada ROI:  $VTM_{regional}(\Delta Z.rel) = \frac{VTM_{regional}(Z)_f - VTM_{regional}(Z)_i}{VTM_{regional}(Z)_i}$

Otra variable utilizada fue la diferencia de la impedancia entre el inicio y el final de la intervención con cada técnica de reexpansión pulmonar ( $EELI_{final} - EELI_{inicial}$ ) reportada por el tomógrafo directamente como  $\Delta EELI$ .

Gráficamente las comparaciones se mostraron por medio de diagramas de líneas con sus respectivos intervalos de confianza en cada punto de

comparación. Los gráficos se realizaron en el programa GraphPad Prism 6 y los cálculos en el programa estadístico SPSS 22.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Características iniciales de la población

La tabla 4 incluye las características prequirúrgicas de la población del estudio, encontrándose todas dentro de rangos normales y sin diferencias significativas entre grupos.

TABLA 4. Características prequirúrgicas de la población				
n = 38				
Variables	IPS	IR	p	Valores de referencia
<b>Hombres</b> n(%)	13(68)	14(74)		
<b>Edad</b> (años) Media ± DS	56,6 ± 13,9	59,6 ± 14,8	0,51	
<b>IMC</b> (kg/m <sup>2</sup> ) Media ± DS	25,6 ± 2,9	25 ± 3,2	0,56	
<b>FC</b> Media ± DS	69,1 ± 14,8	69 ± 14,8	0,969	60 - 100lpm
<b>FR</b> Me(RIQ)	14 (14 – 15)	14 (13 – 17)	0,506	12- 16 res/min
<b>PAS</b> Media ± DS	122,4 ± 21,7	119,3 ± 14,6	0,607	<120 mmHg
<b>PAD</b> Me(RIQ)	70 (70 – 80)	70 (60 – 90)	0,311	<80 mmHg
<b>SpO<sub>2</sub></b> Me(RIQ)	97 (96 – 98)	97 (95 – 98)	0,954	> 90%
<b>HTA (mmHg)</b> n(%)	11(58)	11(58)	1	
<b>Tabaquismo</b> n(%)	6(32)	9(47)	0,313	
<b>Hb pre.</b> (gr/dl) Media ± DS	13,5 ± 1,6	13,5± 1,6	0,919	Hombres (13 - 17) Mujeres (12 - 15)
<b>FE(%)</b> Media ± DS	57,8 ± 1,6	61,2 ± 7,7	0,200	55 - 70
<b>EURO score II</b> Me(RIQ)	1,2 (0,62 – 2,48)	2 (0,96 – 2,48)	0,163	
<b>Valores espirométricos*</b> Media ± DS				
CVF	84,8 ± 15,2	88,4 ± 14,5	0,462	Hombres (81) + - Mujeres (82) †
VEF <sub>1</sub>	83,1 ± 14,3	90,4 ± 18,3	0,178	Hombres (79) + - Mujeres (91) †
VEF <sub>1</sub> /CVF	102,7 ± 9,6	106,7 ± 10,5	0,228	Hombres (88) † - Mujeres (91) †

\* Media de los porcentajes del valor predicho.  
 DS: Desviación estándar, Me: Mediana, RIQ: Rango Intercuartil, gr/dl: gramos/decilitros, SpO<sub>2</sub>: Saturación arterial de oxígeno, FiO<sub>2</sub>: Fracción inspirada de oxígeno, FC: Frecuencia cardíaca, FR: Frecuencia respiratoria, PAS: Presión arterial sistólica, PAD: Presión arterial diastólica.  
 † Ecuaciones de referencia NHANES III.  
 Diferencia significativa = p<0.05. Prueba estadística t-student / U Mann Witney

En la tabla 5 se encuentran las variables intraquirúrgicas y posquirúrgicas como la cantidad de sistemas de drenaje, el nivel de balance hídrico y los tiempos de clampeo aórtico y de circulación extracorpórea, encontrándose diferencia significativa solamente en el tiempo de circulación extracorpórea.

<b>TABLA 5. Características intraquirúrgicas y posquirúrgicas de la población</b>			
<b>n = 38</b>			
	<b>IPS</b>	<b>IR</b>	<b>p</b>
<b>Procedimientos Quirúrgicos n(%)</b>			
Revascularización miocárdica	4(21)	8(42)	
Cambio válvula aórtica	6(32)	4(21)	
Cambio válvula mitral	4(21)	1(5)	
Procedimiento combinado (válvula + revascularización)	3(16)	0	
Cirugía de Bentall	0	5(26)	
Otros procedimientos	2(11)	1(5)	
<b>Tiempos intraquirúrgicos</b>			
Clampeo aórtico (min) Me(RIQ)	53 (41 – 65)	55 (43 – 110)	0,212
Circulación extracorpórea (min) Media +DS	65,3 ± 23,9	94,8 ± 45	0,018
<b>Presencia de sistemas de drenaje torácico n(%)</b>			
Mediastinal	9(47)	11(58)	
Mediastinal+ 1Pleural	9(47)	7(37)	
Mediastinal+ 2 Pleurales	1(5)	1(5)	
<b>Tiempo total de Ventilación Mecánica* (min)</b> Me(RIQ)	630 (610 - 660)	630 (595 - 830)	0,954
<b>Tiempo de FiO<sub>2</sub> al 100%** (min) Me(RIQ)</b>	400 (360 - 460)	420 (360 - 460)	1
<b>Balance hídrico</b>			
24 horas (ml) Me(RIQ)	1716 (1330 – 2928)	1992 (1283 – 2395)	0,708
48 horas (ml) prome+DS	2696,3 ± 2207,2	2280,3 ± 1746,3	0,524
<b>Complicaciones pulmonares n(%)</b>			
Derrame pleural	1	2	
Atelectasia	1	0	
Neumotórax	1	0	
DS: Desviación estándar, Me: Mediana, RIQ: Rango Intercuartil			
* Tiempo desde que se intuba el paciente en cirugía hasta que se extuba en la UCI.			
** Tiempo desde que se intuba el paciente en cirugía hasta que se disminuye la FiO <sub>2</sub> en la UCI.			
Diferencia significativa = p<0.05. Prueba estadística t-student / U Mann Witney			

El nivel sérico postquirúrgico de hemoglobina se monitoreó en dos ocasiones para todos los pacientes, en un primer control se encontró: 11,6 ± 1,1 gr/dl en IPS y 11.5 ± 1,6 gr/dl en IR, y en el segundo control: 10,2 ± 1,1 gr/dl en IPS y 10,6 ± 1,9 gr/dl en IR. No hubo diferencias significativas en ninguno de los dos controles puesto que tuvieron un p=0,82 y un p=0,45 respectivamente. Es

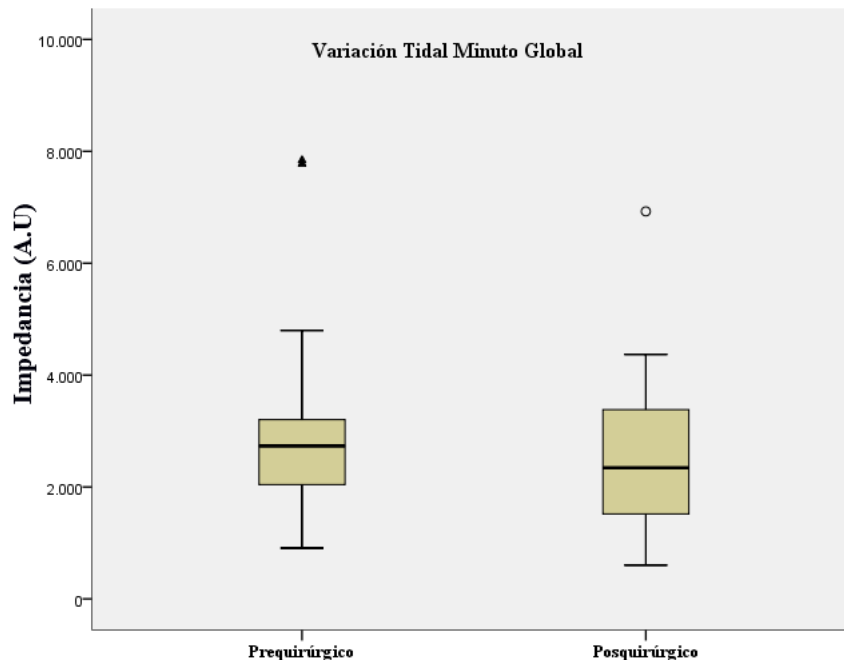
importante tener en cuenta que cada uno de estos monitoreos ocurrió en diferentes tiempos posquirúrgicos y que además el 21% de los pacientes recibió transfusión intraquirúrgica de glóbulos rojos.

Otra variable con múltiple monitoreo en los dos grupos fue el nivel sérico de lactato, la mediana del primer resultado posquirúrgico fue:  $1,5 \pm 1,86$  en el grupo de IPS y  $1,98 \pm 1,85$  para IR con un valor  $p=0,33$ ; el segundo valor obtenido fue de  $1,73 \pm 4,39$  para IPS y de  $1,95 \pm 1,21$  para IR con un  $p=0,624$  sin diferencias significativas en las dos mediciones.

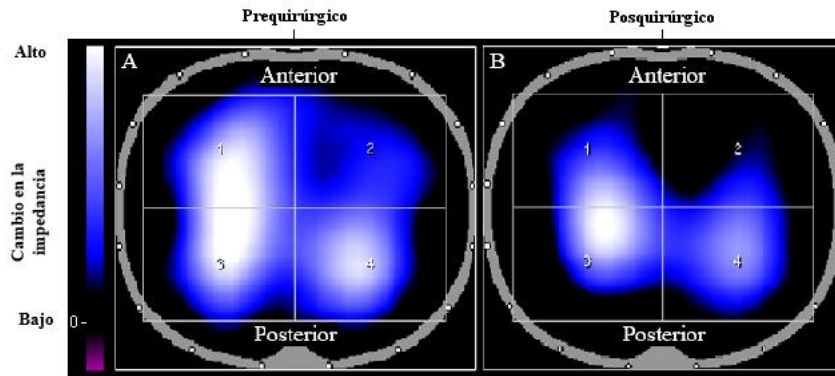
Con respecto a la escala de severidad SOFA, todos los pacientes del estudio tuvieron un valor inferior a 9 en las primeras 24 horas posquirúrgicas prediciendo una mortalidad inferior al 33%.

## 5.2 Variación tidal minuto antes y después de la cirugía

Al comparar la VTM global antes y después de la cirugía se encontró un descenso no significativo ( $p=0,74$ ) para todos los pacientes del estudio (figura 3), lo cual también se describe en la imagen de la TIE de uno de los pacientes (figura 4) que a su vez muestra la VTM regional.

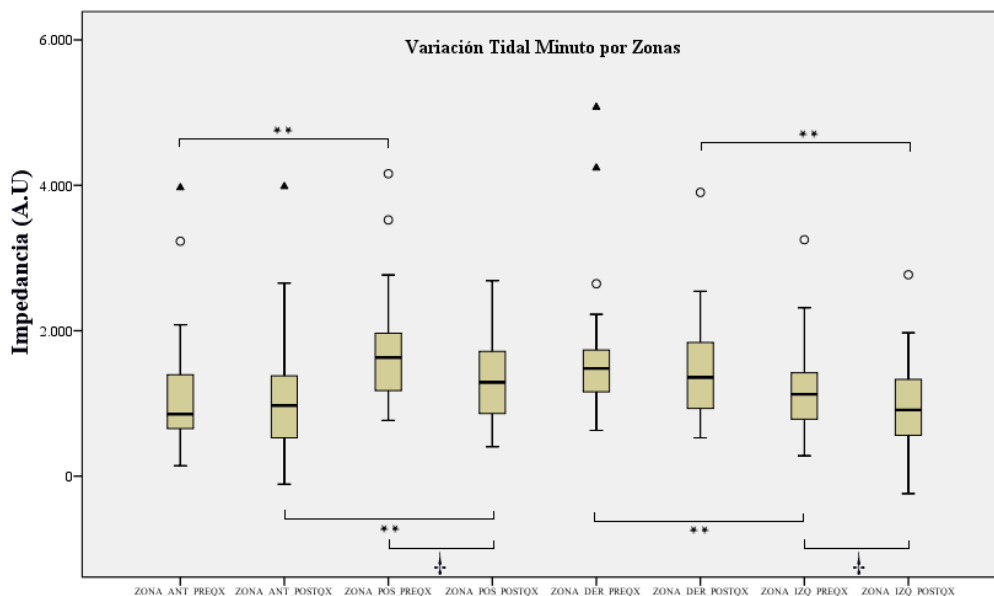


**Figura 3.** Descenso de la VTM Global entre el antes y el después de la cirugía cardíaca en 38 pacientes; valores extremos  $\circ$  y  $\blacktriangle$ ; A.U: unidades arbitrarias de impedancia.



**Figura 4.** Imágenes de la impedancia pulmonar promedio minuto global y regional de un mismo paciente del estudio antes (A) y después (B) de la cirugía. La magnitud del cambio en la impedancia se representa por una escala cromática (barra a la derecha) en la que el color azul oscuro es el menor cambio, y el blanco es el mayor cambio.

Cuando se realizó el análisis comparativo de la ventilación regional visto por zonas antes y después de la cirugía, se encontró que antes de la cirugía la ventilación era mayor en la zona posterior (ROI3 y ROI4)  $p=0.000$  que en la zona anterior (ROI1 y ROI2), lo cual se conserva en condiciones postquirúrgicas, a pesar del descenso significativo de la zona posterior. Cuando se comparó la zona derecha con la izquierda antes de la cirugía se encontró que la derecha (ROI1 y ROI3) era significativamente más ventilada que la izquierda (ROI2 y ROI4)  $p=0.000$ , esta diferencia se acentúa en el postquirúrgico dado el descenso significativo de la ventilación en la zona izquierda (figura. 5).



**Figura 5:** Comparación de las zonas derecha-izquierda y anterior-posterior de forma prequirúrgica y posquirúrgica. El efecto de la cirugía se representa con una menor ventilación en las zonas anterior e izquierda. ○ y ▲ valores extremos; A.U: unidades arbitrarias de impedancia. \*\* Diferencias significativas de ventilación entre zonas ( $p<0.005$ ). (†) Diferencias significativas de ventilación entre la zona prequirúrgica con la postquirúrgica ( $p<0.05$ ) Prueba de Wilcoxon.

Al comparar los cambios de la ventilación entre la condición pre y postquirúrgica se encontraron diferencias significativas entre la zona pulmonar izquierda (ROI2 y ROI4) con  $p=0.049$  y la zona pulmonar posterior (ROI3 y ROI4) con  $p=0.001$  ver Tabla 6.

ZONA	ROI	Me. PRE	RIQ	Me. POST	RIQ	Valor p	ZONA	ROI	Me. PRE	RIQ	Me. POST	RIQ	Valor p
Pulmón derecho	VTM ROI1	1481,5	1122,5 - 1735,5	1354,5	882,6 - 1840,5	0,150	Pulmón anterior	VTM ROI1	853,5	643,8 - 1412	937	480 - 1387,1	0,982
	VTM ROI 2												
Pulmón izquierdo	VTM ROI 2	1125	767,2 - 1437	877	526,6 - 1333	0,049*	Pulmón posterior	VTM ROI 3	1631,5	1144 - 1989,5	1274,5	829,3 - 1719,8	0,001*
	VTM ROI 4												

**Me. PRE:** Mediana de la variación tidal minuto de la impedancia pulmonar antes de la cirugía. **Me. POST:** Mediana de la variación tidal minuto de la impedancia pulmonar después de la cirugía. **RIQ:** Rango intercuartil. Prueba de Wilcoxon.  $p < 0.05$

### 5.3 Variación tidal minuto de las sesiones de reexpansión pulmonar

A continuación, se presentan los gráficos que muestran el comportamiento de la impedancia relativa de la variación minuto global y regional entre el inicio y el final de seis sesiones de reexpansión pulmonar con las técnicas IPS e IR.

#### 5.3.1 Variación tidal minuto global

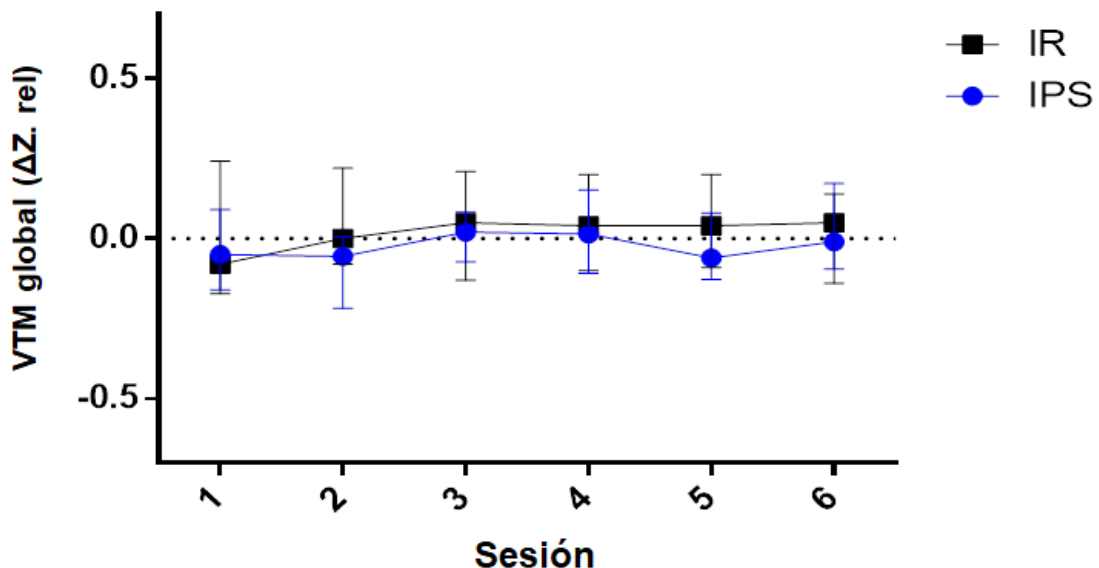


Figura 6: Tendencia del valor numérico de la impedancia relativa de la variación tidal minuto global entre el inicio y el final de cada una de seis sesiones con las técnicas de reexpansión pulmonar IPS e IR.

$$VTM_{global}(\Delta Z. rel) = \frac{VTM_{global}(Z)_f - VTM_{global}(Z)_i}{VTM_{global}(Z)_i} \cdot n_{IPS}=14, n_{IR}=15$$

Al comparar la  $VTM_{global}(\Delta Z. rel)$  mediante el método de modelo mixto, se encontró que no había diferencias significativas por técnicas de reexpansión

( $p= 0,73$ ), ni por sesiones ( $p=0,682$ ) ni por la interacción entre las técnicas y las sesiones ( $p= 0,45$ ).

### 5.3.2 Variación tidal minuto regional

La comparación de la  $VTM_{regional}(\Delta Z_{rel})$  fue igualmente evaluada mediante el método de modelo mixto, sin encontrar diferencias significativas por ROI ( $p=0,204$ ), ni por sesión ( $p=0,431$ ), ni en ninguna de las siguientes interacciones: ROI/técnica de reexpansión ( $p=0,307$ ), sesión/técnica de reexpansión ( $p=0,372$ ), ROI/sesión ( $p=0,315$ ) o ROI/técnica de reexpansión/sesión ( $p=0,48$ ). Las figuras de la 7 a 10 muestran el comportamiento de la  $VTM_{regional}(\Delta Z_{rel})$  en cada una de las 4 regiones de interés (ROI), durante seis sesiones y con las dos técnicas de reexpansión pulmonar.

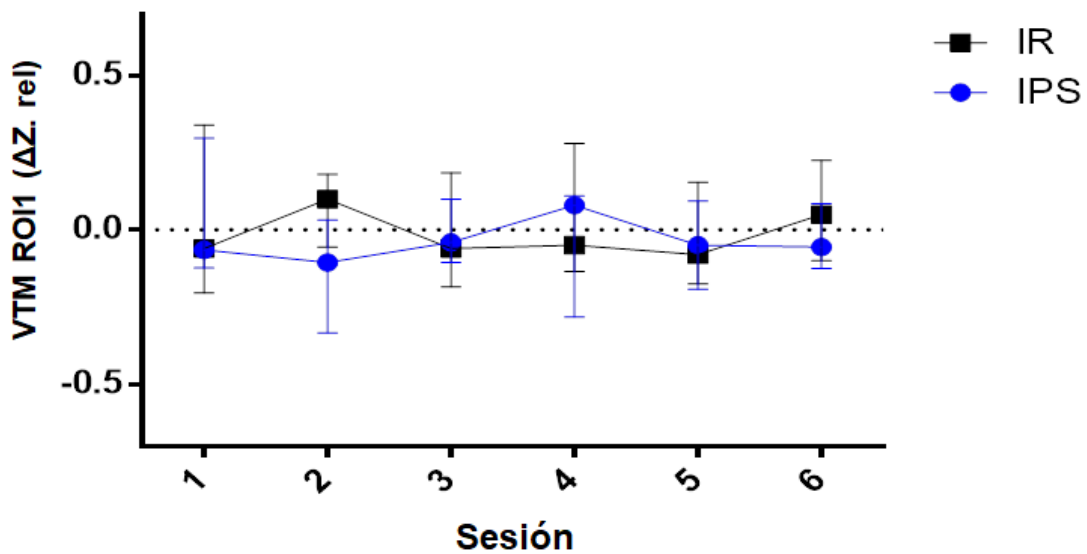


Figura 7: Tendencia del valor numérico de la impedancia relativa de la variación tidal minuto regional (ROI1) entre el inicio y el final de cada una de seis sesiones con las técnicas de reexpansión pulmonar IPS e IR.  $VTM_{ROI1}(\Delta Z_{rel}) = \frac{VTM_{ROI1}(Z)_f - VTM_{ROI1}(Z)_i}{VTM_{ROI1}(Z)_i}$  .  $n_{IPS}=14, n_{IR}=13$



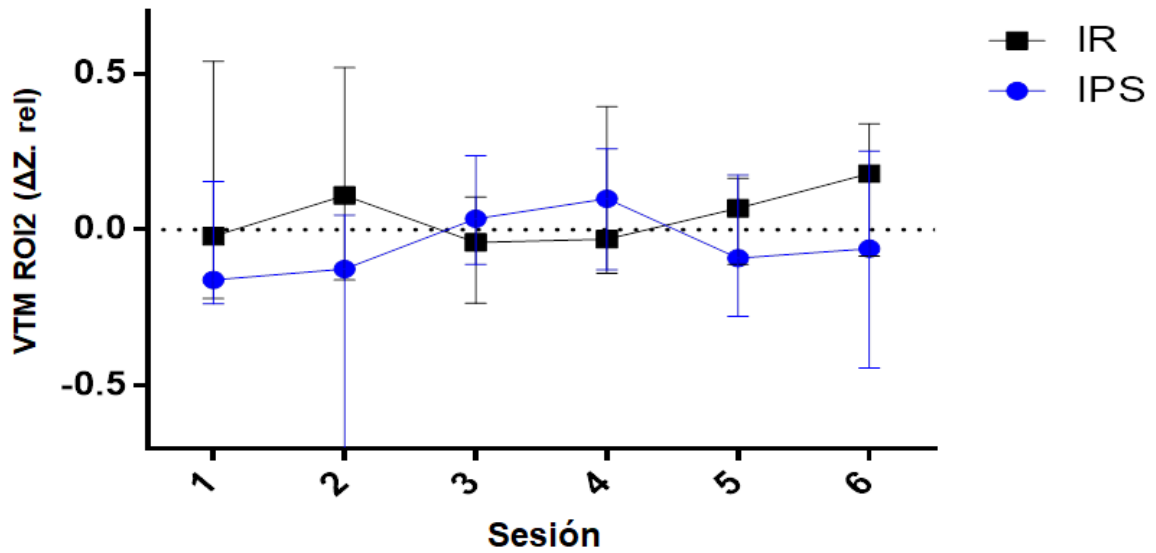


Figura 8: Tendencia del valor numérico de la impedancia relativa de la variación tidal minuto regional (ROI2) entre el inicio y el final de cada una de seis sesiones con las técnicas de reexpansión pulmonar IPS e IR.  $VTM ROI2(\Delta Z. rel) = \frac{VTM ROI2(Z)f - VTM ROI2(Z)i}{VTM ROI2(Z)i}$  .  $n_{IPS}=14, n_{IR}=13$

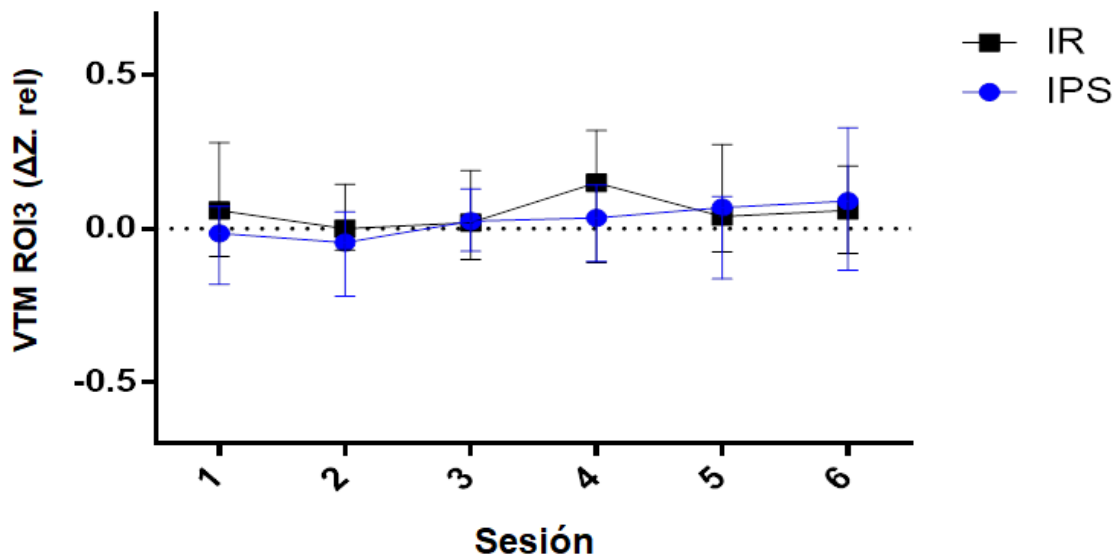


Figura 9: Tendencia del valor numérico de la impedancia relativa de la variación tidal minuto regional (ROI3) entre el inicio y el final de cada una de seis sesiones con las técnicas de reexpansión pulmonar IPS e IR.  $VTM ROI3(\Delta Z. rel) = \frac{VTM ROI3(Z)f - VTM ROI3(Z)i}{VTM ROI3(Z)i}$  .  $n_{IPS}=14, n_{IR}=13$

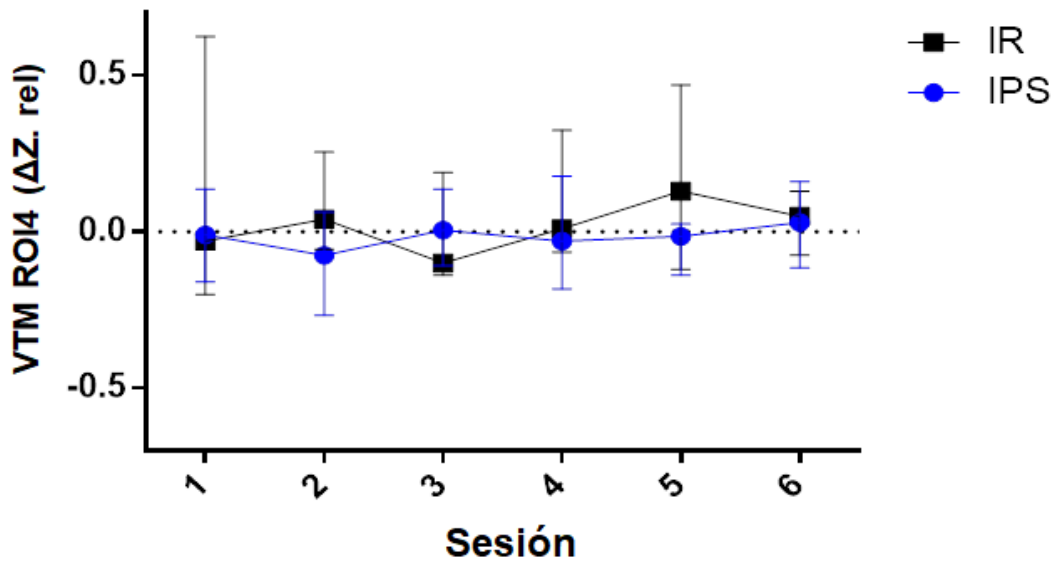


Figura 10: Tendencia del valor numérico de la impedancia relativa de la variación tidal minuto regional (ROI4) entre el inicio y el final de cada una de seis sesiones con las técnicas de reexpansión pulmonar IPS e IR.  $VTM ROI4(\Delta Z. rel) = \frac{VTM ROI4(Z)_f - VTM ROI4(Z)_i}{VTM ROI4(Z)_i}$  .  $n_{IPS}=14, n_{IR}=13$

## 5.4 Impedancia pulmonar al final de la espiración (EELI)

### 5.4.1 ΔEELI global

El ΔEELI global entre el antes y después de la intervención con cada una de las dos técnicas de reexpansión pulmonar mostró siempre una diferencia positiva para ambas técnicas a lo largo de las seis sesiones, su comportamiento gráfico se puede observar en la figura 11.

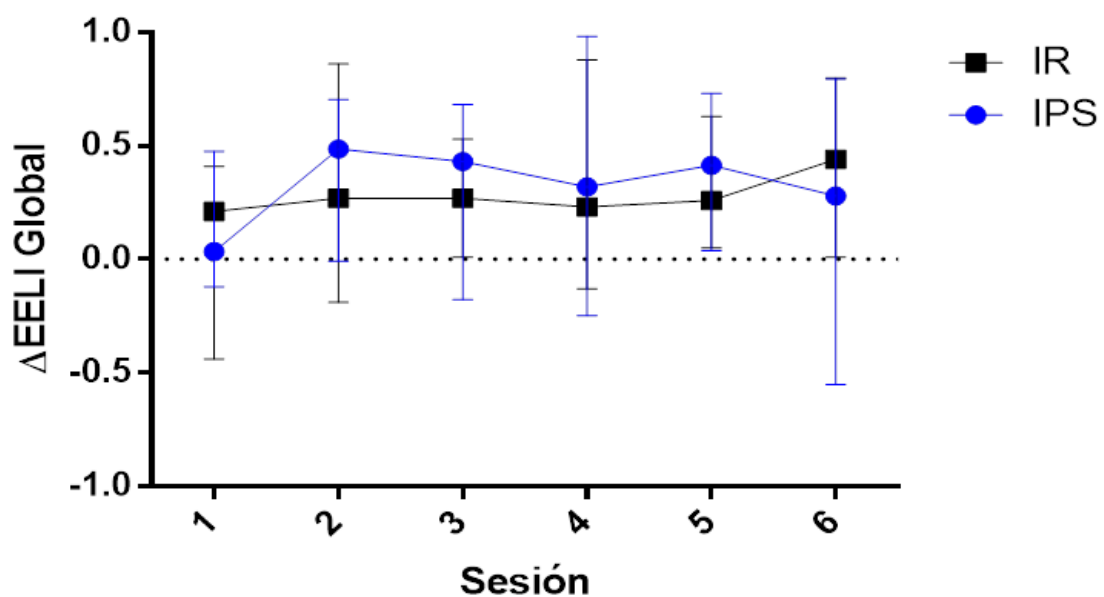


Figura 11:  $\Delta EELI$  global en seis sesiones diferentes con dos técnicas de reexpansión pulmonar. El  $\Delta EELI$  es mostrado como una diferencia con respecto al valor inicial:  $\Delta EELI = EELI_{final} - EELI_{inicial}$ .  $n=IPS(14)$ ,  $IR(15)$

Al hacer en análisis del  $\Delta EELI$  global utilizando el método de modelo mixto, no se encontró diferencias significativas al comparar por técnicas de reexpansión ( $p= 0,871$ ), por sesiones ( $p=0,433$ ) ni por la interacción entre las técnicas y las sesiones ( $p=0,407$ ).

#### 5.4.2 $\Delta EELI$ regional

Con la evaluación del comportamiento del  $\Delta EELI$  regional evaluado por el mismo modelo estadístico, no se encontró diferencias significativas por ROI ( $p=0,229$ ), ni por sesión ( $p=0,328$ ), ni en ninguna de las siguientes interacciones ROI/técnica de reexpansión ( $p=0,258$ ), sesión/técnica de reexpansión ( $p=0,418$ ), ROI/sesión ( $p=0,331$ ) o ROI/técnica de reexpansión/sesión ( $p=0,210$ ). Las figuras de la 12 a al 15 muestran el comportamiento del  $\Delta EELI$  por cada una de las 4 regiones de interés (ROI) en seis diferentes sesiones utilizando dos técnicas de reexpansión pulmonar.

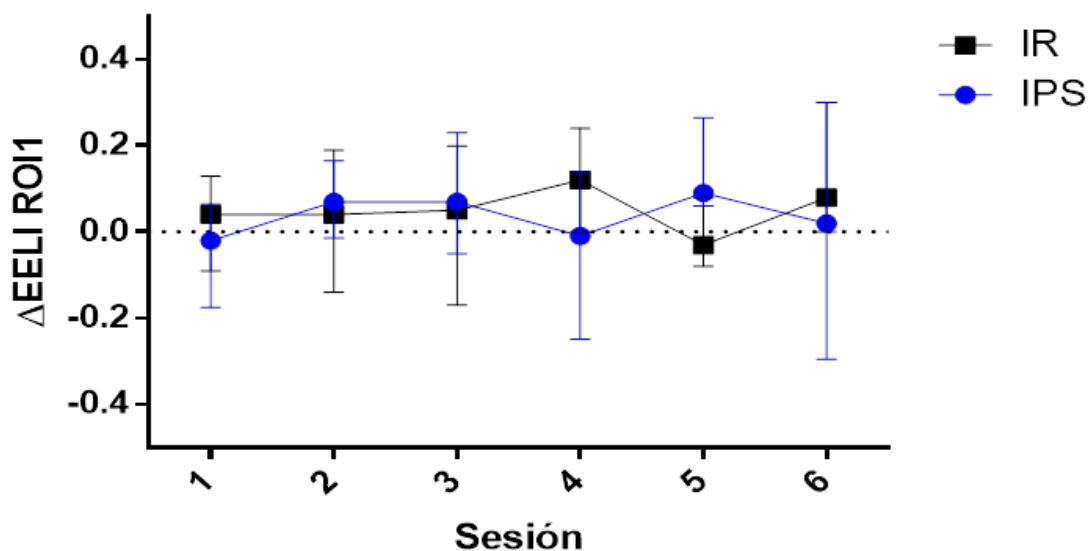


Figura 12:  $\Delta EELI$  regional 1 (ROI1) en seis diferentes sesiones con dos técnicas de reexpansión pulmonar. El  $\Delta EELI$  es mostrado como una diferencia con respecto al valor inicial:  $\Delta EELI = EELI_{final} - EELI_{inicial}$ .  $n=IPS(13)$ ,  $IR(15)$

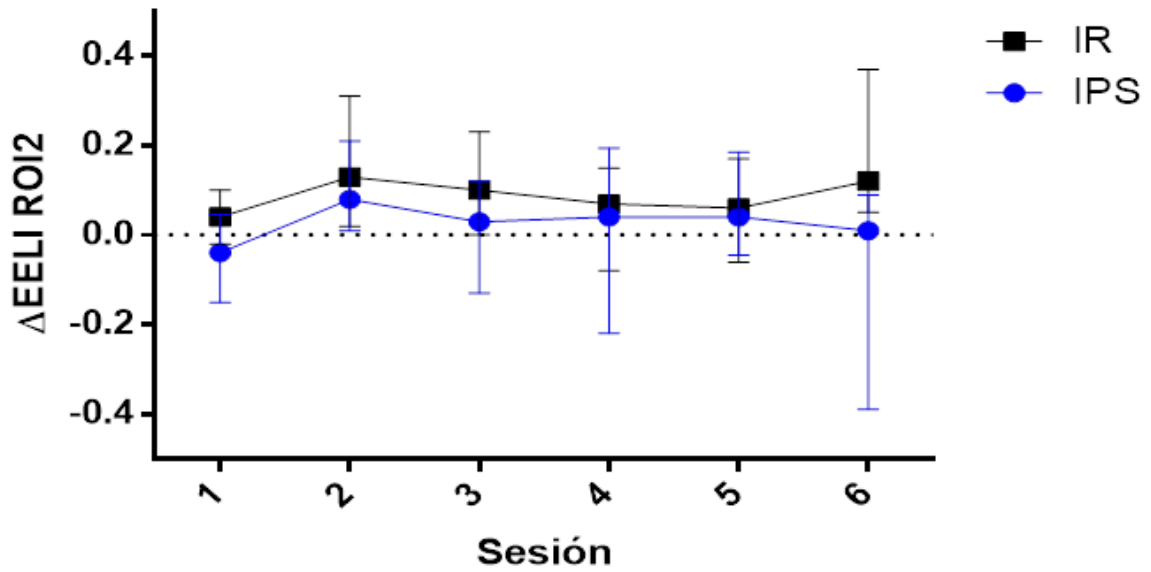


Figura 13:  $\Delta EELI$  regional 2 (ROI2) en seis diferentes sesiones con dos técnicas de reexpansión pulmonar. El  $\Delta EELI$  es mostrado como una diferencia con respecto al valor inicial:  $\Delta EELI = EELI_{final} - EELI_{inicial}$ .  $n=IPS(13)$ ,  $IR(15)$

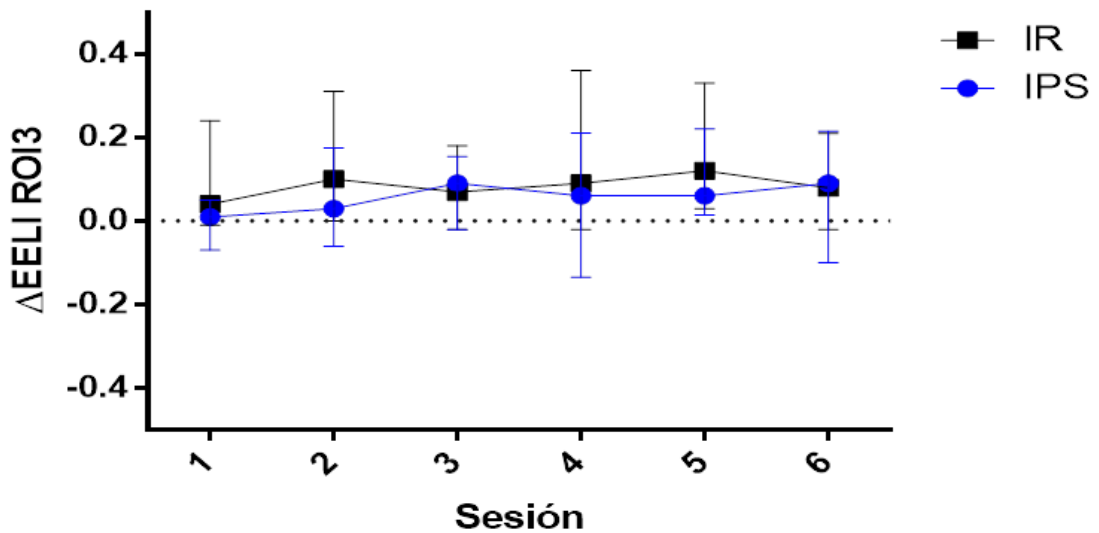


Figura 14:  $\Delta EELI$  regional 3 (ROI3) en seis diferentes sesiones con dos técnicas de reexpansión pulmonar. El  $\Delta EELI$  es mostrado como una diferencia con respecto al valor inicial:  $\Delta EELI = EELI_{final} - EELI_{inicial}$ .  $n=IPS(13)$ ,  $IR(15)$

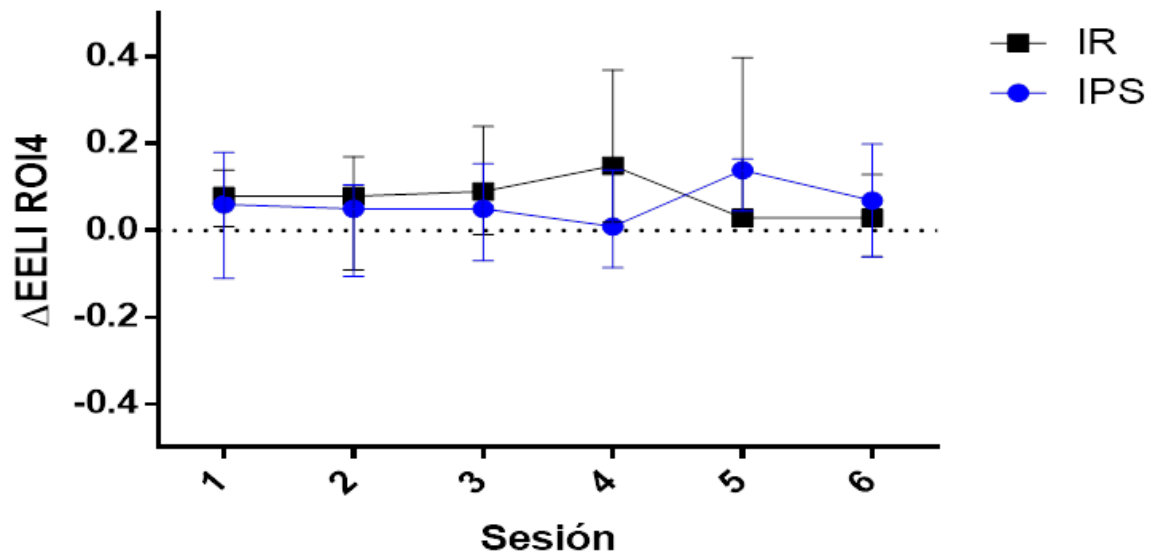


Figura 15:  $\Delta EELI$  regional 4 (ROI4) en seis diferentes sesiones con dos técnicas de reexpansión pulmonar. El  $\Delta EELI$  es mostrado como una diferencia con respecto al valor inicial:  $\Delta EELI = EELI_{final} - EELI_{inicial}$ .  $n_{IPS}(13)$ ,  $n_{IR}(15)$

## DISCUSIÓN

Este es el primer estudio realizado a nivel local que indaga sobre el uso de la TIE para determinar el efecto de la cirugía cardíaca y el de una intervención controlada con dos técnicas de reexpansión pulmonar, en la distribución de la ventilación de pacientes hospitalizados en UCI. Los resultados muestran la importancia de la técnica de medición (TIE), al permitir una monitoria de alta resolución temporal y reproducibilidad en respiración espontánea ( $R=0.91$ ) en la evaluación global y regional de la distribución de la ventilación pulmonar. Esta información es un pilar muy importante en el direccionamiento de las intervenciones encaminadas a disminuir complicaciones respiratorias como las atelectasias, que se presentan luego de diferentes tipos de intervención quirúrgica con una frecuencia de aparición desde un 16% hasta un 88% (Badenes et al. 2015). En nuestro estudio se seleccionaron en su mayoría pacientes postquirúrgicos de enfermedad coronaria y valvular porque son los de mayor frecuencia quirúrgica (Nishimura, R. A. et al. 2014; Windecker, S. 2014), hacen parte de las enfermedades cardiovasculares (ECV) y aparecen como una de las causas con mayor mortalidad en el mundo (“Organización

mundial de la salud”, 2017), según Murray, C. J. L. et al, para el año 2020 representarán en Latinoamérica el 60% del total de las muertes.

Nuestros resultados de las mediciones realizadas con TIE mostraron disminución no significativa ( $p=0,74$ ) de la variación tidal minuto global (VTM global) (figura 3), al comparar los resultados prequirúrgicos con los hallazgos posquirúrgicos después de la extubación, sin embargo, cuando se analizó por zonas pulmonares se encontraron disminuciones con significancia estadística (tabla 6). Con la misma técnica de medición Krause et al. 2014, evaluaron en 39 niños sometidos a cirugía cardíaca, el efecto en la ventilación pulmonar global y regional del soporte ventilatorio mecánico y luego de extubación, encontrando disminución significativa de la VTM global en las áreas ventral y dorsal. Otros estudios muestran el evidente efecto restrictivo sobre el tórax de la cirugía cardíaca con el correspondiente efecto en la distribución de la ventilación pulmonar utilizando distintas técnicas de medición. (AlOtaibi, K. D., & El-Sobkey, S. B. 2015. Urell, C. et al. 2012. Ragnarsdottir, M. 2004).

En este estudio se observó además un efecto positivo de ambas técnicas de reexpansión sobre la distribución de la ventilación pulmonar, como lo había reportado Renault, Costa-Val, Rosseti, & Hourri Neto, 2009; Urell et al., 2011; Westerdahl et al., 2001, 2003, 2005, 2014, 2015 quienes obtuvieron este cambio cuando utilizaron ejercicios con inspiraciones profundas e incentivo respiratorio, además de técnicas instrumentales con presión positiva en pacientes sometidos a cirugía cardíaca. Sin embargo, hasta ahora el uso de la tomografía de impedancia eléctrica no se había usado para mostrar el efecto de dichas técnicas.

En nuestro estudio, la medición con TIE de la distribución de la ventilación en el prequirúrgico, mostró que la zona anterior (ROI1,2) e izquierda (ROI2,4) fueron las menos ventiladas. Es conocido que la vecindad del corazón influye en la baja ventilación de esta región (Neves, F. H. et al, 2013; Vargas, F. S. et al. 1993) y pudo tener que ver con lo que se observó en estas condiciones prequirúrgicas, porque la valoración prequirúrgica pulmonar había sido normal (tabla 4). En el postquirúrgico las zonas anterior e izquierda siguieron siendo las menos ventiladas, con descenso significativo de la región izquierda ( $p=0.049$ ) (figura 5), lo cual pudo tener que ver con un efecto más restrictivo de

la cirugía en estas zonas de menor ventilación previa. Pulletz et al, utilizaron un corsé torácico para evaluar por TIE el efecto de la restricción torácica en la distribución de la ventilación y encontraron también un descenso significativo en la zona ventral izquierda (ROI2).

Es importante anotar que las mediciones posquirúrgicas realizadas después de la extubación, mostraron que la disminución de la ventilación además de ocurrir en la zona izquierda, también se produjeron en las zonas posterior (ROI3 y ROI4)  $p=0.001$  y en la derecha (ROI1 y ROI3), a pesar de este descenso, estas siguieron siendo las mejor ventiladas en comparación con las demás (figura 5). Otro estudio tuvo similares hallazgos en pacientes evaluados en posición bípeda (Ericsson E, et al 2016) y en pacientes jóvenes y ancianos (Frerichs I, et al 2004).

La disminución ventilatoria postquirúrgica en 3 de 4 zonas pulmonares pudo deberse al efecto compresivo de la presión atmosférica luego de la esternotomía (Ragnarsdottir, M, et al 2004), al efecto restrictivo del dolor producidos por las maniobras quirúrgicas (Johnson, D, et al 1996), al factor inflamatorio de la circulación extracorpórea (Baikoussis, N. G, et al 2015) y a la presencia de los tubos de drenaje, entre otros factores (tabla 5). Estas condiciones pueden afectar, diferentes propiedades de la pared alveolar, como la distensibilidad, la actividad tensoactiva, o propiedades de las vías respiratorias como la resistencia, lo cual podría estar influyendo en la distribución de la ventilación pulmonar (Boron, Walter F. 2009).

Con respecto a las técnicas de reexpansión pulmonar, es conocido que su uso cotidiano es para prevenir o tratar las complicaciones pulmonares luego de una cirugía, sin embargo, el nivel de evidencia de sus efectos es bajo, dada la inconsistencia frecuente de estos resultados en la literatura (Narayanan, A. L. T., Hamid, S. R. G. S., & Supriyanto, E. 2016; Do Nascimento Junior et al., 2014; Carvalho, Paisani, and Lunardi, 2011; Freitas, Soares, Cardoso, and Atallah, 2012; Gosselink et al., 2000).

El comportamiento posquirúrgico de la impedancia relativa de la variación minuto global y regional entre el inicio y el final de seis sesiones de reexpansión pulmonar con las técnicas IPS e IR mostró una ligera tendencia positiva (figuras de la 7 a la 10), puesto que se observó incremento a lo largo de las seis sesiones analizadas (36 horas luego de la cirugía), sin diferencias

significativas entre técnicas, ni por sesiones ni por regiones pulmonares. Tal como se ha descrito previamente el VTM medido en unidades de impedancia es equivalente al volumen corriente movilizado por el paciente de forma global o regional, cuyo comportamiento se ha descrito en la literatura con una tendencia hacia la disminución luego de la cirugía, que debe aumentarse o mantenerse a través de la intervención con las técnicas de reexpansión (Cavenaghi et al. 2011; Urell, C et al. 2012)

El  $\Delta$ EELI global y regional entre el antes y después de la intervención con cada una de las dos técnicas de reexpansión pulmonar mostró siempre una diferencia positiva para ambas técnicas a lo largo de las seis sesiones, sin diferencias significativas al comparar por técnicas de reexpansión, por sesiones, ni por regiones de interés. Estudios previos (Hinz, J. et al 2003; van Genderingen, H. R., van Vught, A. J., & Jansen, J. R. 2003) han confirmado una relación lineal entre los cambios del EELI y los cambios del volumen pulmonar al final de la espiración y varios estudios han analizado su comportamiento luego de diferentes estrategias como el posicionamiento (Spooner et al. 2014), las maniobras de reclutamiento alveolar (Karsten J. et al. 2015) y la monitoria continua del PEEP (Bikker, I. G et al. 2009; Hinz J et al. 2003). Este es el primer estudio que evalúa el cambio del EELI a partir de una intervención controlada con dos técnicas de reexpansión pulmonar. Quizás el estudio publicado por Reyhler, G. et al. 2018, es el estudio que más se ha acercado a evaluar técnicas de reexpansión pulmonar, sin embargo, este estudio fue de corte transversal y luego de la aplicación de un protocolo de intervención en 10 pacientes posoperatorios de cirugía mínimamente invasiva, utilizando como variables resultado el  $\Delta$ EELI y el VTM. Sus resultados muestran incremento significativo de ambas variables (porque ellos calculan el incremento entre mediciones realizadas antes y durante la intervención y no como lo hicimos en nuestro estudio que fue entre el antes y después de la intervención), sin diferencias significativas entre las técnicas de reexpansión pulmonar, pero discuten el efecto remanente de las técnicas en el tiempo. Vale la pena tener en cuenta que en el estudio de Reyhler, G. et al. 2018 las técnicas se aplicaron a pacientes que no tenían hallazgos de un efecto restrictivo en el tórax y que contaban con pulmón sano previo a la cirugía, por lo tanto, se podría esperar que las variables resultado sólo aumentaran durante



la intervención pero que volvieran a su posición de reposo rápidamente, además que su intervención incluyó tan solo 10 respiraciones con cada dispositivo para un total de 20 respiraciones por cada sesión, siendo que el número de respiraciones recomendadas en la literatura con mayores beneficios está reportado en 30 respiraciones por sesión (Westerdahl, E. et al. 2015; Urell C et al. 2011).

Entre las limitaciones de nuestro estudio se debe tener en cuenta la escasez de bibliografía a nivel mundial referente al uso de técnicas de reexpansión pulmonar evaluadas por TIE. Otra limitación fue que el protocolo de nuestra intervención incluía una evaluación prequirúrgica y nueve posquirúrgicas, sin embargo, al hacer el análisis estadístico sólo se pudieron incluir seis sesiones con 14 pacientes para el grupo de IPS y 15 para el de IR debido a que algunos pacientes no realizaron alguna sesión y el modelo estadístico que se usó para el análisis no los tuvo en cuenta, sin embargo, el tiempo evaluado fueron 36 horas por paciente y esto es bastante a lo reportado en la literatura.

Otra limitación de nuestro estudio es que los resultados no se expusieron en unidades de volumen (ml) sino en unidades arbitrarias de impedancia. Se sabe que la correlación entre estas unidades es directa con un  $r^2 \geq 0.92$ , y que las unidades arbitrarias de impedancia han sido también han sido usadas por otros estudios (Spooner et al. 2014; Corley A, et al. 2011), sin embargo, el inconveniente es que se requiere la conversión para hacer más accesible la interpretación en el ámbito clínico.

## 7.CONCLUSION

- La distribución de la ventilación pulmonar (VTM y  $\Delta EELI$ ) con la técnica de inspiración profunda sostenida y el incentivo respiratorio evaluada mediante TIE no presentó diferencias estadísticamente significativas

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Qubati, F. A. A., Damag, A., & Noman, T. (2013). Incidence and outcome of pulmonary complications after open cardiac surgery, Thowra Hospital, Cardiac center, Sana'a, Yemen. *Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis*, 62(4), 775-780. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejcdt.2013.08.008
- Allaud, L. A. a. M., M. H. (1977). Schlumberger: The History of a Technique. *Wiley - Interscience*, 68 - 69.
- AlOtaibi, K. D., & El-Sobkey, S. B. (2015). Spirometric values and chest pain intensity three days post-operative coronary artery bypass graft surgery. *J Saudi Heart Assoc*, 27(3), 137-143. doi:10.1016/j.jsha.2015.02.002
- AMARILES P, M. M., JIMÉNEZ-FAUS A, SILVA-CASTRO MM, SABATER D, BAENA MI, JIMÉNEZ-MARTÍN J, FAUS MJ. (2004). Riesgo cardiovascular: componentes, valoración e intervenciones preventivas. *Ars Pharmaceutica*, 45:(3), 187-210.
- Andy Adler, M. B. A., John H Arnold, Richard Bayford, Marc Bodenstein, Stephan H Bohm, Brian H Brown, Inéz Frerichs, Ola Stenqvist, Norbert Weiler and Gerhard K Wolf. (2012). Whither lung EIT: Where are we, where do we want to go and what do we need to get there? *Physiological Measurement*, 33, 679 - 694.
- Badenes, R., Lozano, A., & Belda, F. J. (2015). Postoperative Pulmonary Dysfunction and Mechanical Ventilation in Cardiac Surgery. *Critical Care Research and Practice*, 2015, 8. doi:10.1155/2015/420513
- Baikoussis, N. G., Papakonstantinou, N. A., Verra, C., Kakouris, G., Chounti, M., Hountis, P., . . . Argiriou, M. (2015). Mechanisms of oxidative stress and myocardial protection during open-heart surgery. *Ann Card Anaesth*, 18(4), 555-564. doi:10.4103/0971-9784.166465

- Bikker, I. G., Leonhardt, S., Bakker, J., & Gommers, D. (2009). Lung volume calculated from electrical impedance tomography in ICU patients at different PEEP levels. *Intensive Care Med*, 35(8), 1362-1367. doi:10.1007/s00134-009-1512-6
- Boron, Walter F. Mechanics of ventilation. En: Boron, Walter F. II. Boulpaep, Emile L. Medical Physiology: A Cellular and Molecular Approach. United States. Saunders ELSEVIER. Updated second edition. 2009. P637-651.
- Brooks-Brunn, J. A. (1995). Postoperative atelectasis and pneumonia. *Heart Lung*, 24(2), 94-115.
- Carsetti, A., & Rhodes, A. (2016). How to treat post-operative complications: An evidence-based approach. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*, 30(2), 229-236. doi:10.1016/j.bpa.2016.04.001
- Cavenaghi, S., Ferreira, L. L., Marino, L. H., & Lamari, N. M. (2011). Respiratory physiotherapy in the pre and postoperative myocardial revascularization surgery. *Rev Bras Cir Cardiovasc*, 26(3), 455-461.
- Christian Putensen, H. W., Jorg Zinserling. (2007). Electrical impedance tomography guided ventilation therapy. *Current Opinion Critical Care*, 13:344–350.
- Corley, A., Caruana, L. R., Barnett, A. G., Tronstad, O., & Fraser, J. F. (2011). Oxygen delivery through high-flow nasal cannulae increase end-expiratory lung volume and reduce respiratory rate in post-cardiac surgical patients. *Br J Anaesth*, 107(6), 998-1004. doi:10.1093/bja/aer265
- COSMED. (2010). Manual del Usuario Fitmate. In (COSMED srl. ed., pp. 11 - 210). Italia.
- Ericsson E, Tesselaar E, Sjöberg F (2016) Effect of Electrode Belt and Body Positions on Regional Pulmonary Ventilation- and Perfusion-Related Impedance Changes Measured by Electric Impedance Tomography.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155913>.

- Etzioni, D. A., & Starnes, V. A. (2011). The Epidemiology and Economics of Cardiothoracic Surgery in the Elderly. In M. R. Katlic (Ed.), *Cardiothoracic Surgery in the Elderly: Evidence-Based Practice* (pp. 5-24). New York, NY: Springer New York.
- Ferguson, M. K. (1999). Preoperative assessment of pulmonary risk. *Chest*, *115*(5 Suppl), 58s-63s.
- Fernando, L., Pamela, S., & Alejandra, L. (2014). Cardiovascular disease in Latin America: the growing epidemic. *Prog Cardiovasc Dis*, *57*(3), 262-267. doi:10.1016/j.pcad.2014.07.007
- Fernández, A., Restrepo, R., Villa, P., Garcés, J., & Montero, G. (2009). Angioplastia con stent vs. cirugía de revascularización coronaria en enfermedad multivazo (ACIRE). *Revista Colombiana de Cardiología*, *16*, 53-63.
- Freitas, E. R., Soares, B. G., Cardoso, J. R., & Atallah, A. N. (2012). Incentive spirometry for preventing pulmonary complications after coronary artery bypass graft. *Cochrane Database Syst Rev*(9), Cd004466. doi:10.1002/14651858.CD004466.pub3
- Frerichs I., Amato, M. B. P., van Kaam, A. H., Tingay, D. G., Zhao, Z., Grychtol, B., . . . Adler, A. (2016). Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations: consensus statement of the TRanslational EIT developmeNt stuDy group. *Thorax*.
- Frerichs I, Braun P, Dudykevych T, Hahn G, Genee D, Hellige G. Distribution of ventilation in young and elderly adults determined by electrical impedance tomography. *RespirPhysiolNeurobiol*. 2004;143(1):63-75.

- Gosselink, R., Schrever, K., Cops, P., Witvrouwen, H., De Leyn, P., Troosters, T., . . . Decramer, M. (2000). Incentive spirometry does not enhance recovery after thoracic surgery. *Crit Care Med*, 28(3), 679-683.
- HANKINSON, J. L., ODENCRANTZ, J. R., & FEDAN, K. B. (1999). Spirometric Reference Values from a Sample of the General U.S. Population. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 159(1), 179-187. doi:10.1164/ajrccm.159.1.9712108
- Hinz, J., Hahn, G., Neumann, P., Sydow, M., Mohrenweiser, P., Hellige, G., & Burchardi, H. (2003). End-expiratory lung impedance change enables bedside monitoring of end-expiratory lung volume change. *Intensive Care Med*, 29(1), 37-43. doi:10.1007/s00134-002-1555-4
- Huffmyer, J. L., & Groves, D. S. (2015). Pulmonary complications of cardiopulmonary bypass. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*, 29(2), 163-175. doi:10.1016/j.bpa.2015.04.002
- Johnson, D., Hurst, T., Thomson, D., Mycyk, T., Burbridge, B., To, T., & Mayers, I. (1996). Respiratory function after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 10(5), 571-577.
- lung, B., & Vahanian, A. (2014). Epidemiology of acquired valvular heart disease. *Can J Cardiol*, 30(9), 962-970. doi:10.1016/j.cjca.2014.03.022
- Karsten, J., Grusnick, C., Paarmann, H., Heringlake, M., & Heinze, H. (2015). Positive end-expiratory pressure titration at bedside using electrical impedance tomography in post-operative cardiac surgery patients. *Acta Anaesthesiol Scand*, 59(6), 723-732. doi:10.1111/aas.12518
- Krause, U., Becker, K., Hahn, G., Dittmar, J., Ruschewski, W., & Paul, T. (2014). Monitoring of Regional Lung Ventilation Using Electrical Impedance Tomography After Cardiac Surgery in Infants and Children. *Pediatric Cardiology*, 35(6), 990-997. doi:10.1007/s00246-014-0886-6

L., B. W. F. B. E. (2009). *Medical Physiology* (Elsevier Ed. Second Edition ed. Vol. 31).

Lawrence R. Caruana, J. P., Angela T. Chang, John F. Fraser. (2011). Electrical impedance tomography in the clinical assessment of lung volumes following recruitment manoeuvres. *Physical Therapy Reviews*, 16(1), 66-74.

Lawrence, V. A., Hilsenbeck, S. G., Mulrow, C. D., Dhanda, R., Sapp, J., & Page, C. P. (1995). Incidence and hospital stay for cardiac and pulmonary complications after abdominal surgery. *J Gen Intern Med*, 10(12), 671-678.

Levine, G. N., Bates, E. R., Blankenship, J. C., Bailey, S. R., Bittl, J. A., Cercek, B., . . . Ting, H. H. (2011). 2011 ACCF/AHA/SCAI Guideline for Percutaneous Coronary Intervention: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions. *Circulation*, 124(23), e574-651. doi:10.1161/CIR.0b013e31823ba622

Lunardi, A. C., Paisani, D. M., Silva, C., Cano, D. P., Tanaka, C., & Carvalho, C. R. F. (2015). Comparison of lung expansion techniques on thoracoabdominal mechanics and incidence of pulmonary complications after upper abdominal surgery: a randomized and controlled trial. *Chest*, 148(4), 1003-1010. doi:10.1378/chest.14-2696

Lundin, S., & Stenqvist, O. (2012). Electrical impedance tomography: potentials and pitfalls. *Curr Opin Crit Care*, 18(1), 35-41. doi:10.1097/MCC.0b013e32834eb462

Marc Bodenstein, M., Matthias David, M., & Klaus Markstaller, M. (2009). Principles of electrical impedance tomography and its clinical application. *Critical Care Medicine*, 37(2), 713 -724.

Mehta, Y., Vats, M., Singh, A., & Trehan, N. (2008). Incidence and management of diaphragmatic palsy in patients after cardiac

surgery. *Indian Journal of Critical Care Medicine : Peer-reviewed, Official Publication of Indian Society of Critical Care Medicine*, 12(3), 91-95. doi:10.4103/0972-5229.43676

Meier, T., Leibecke, T., Eckmann, C., Gosch, U. W., Grossherr, M., Bruch, H. P., . . . Leonhardt, S. (2006). Electrical impedance tomography: changes in distribution of pulmonary ventilation during laparoscopic surgery in a porcine model. *Langenbecks Arch Surg*, 391(4), 383-389. doi:10.1007/s00423-006-0034-8

MINSALUD. (2015, Febrero 24). Retrieved from <http://www.minsalud.gov.co/salud/publica/PENT/Paginas/enfermedades-cardiovasculares.aspx>

Murray, C. J. L., Lopez, Alan D. (1996). The Global burden of disease : a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020 : summary / edited by Christopher J. L. Murray, Alan D. Lopez. Geneva : World Health. In W. B. H. S. o. P. H. World Health Organization (Ed.), (Christopher J. L. Murray, Alan D. Lopez. ed., Vol. 1). Geneva

Narayanan, A. L. T., Hamid, S. R. G. S., & Supriyanto, E. (2016). Evidence regarding patient compliance with incentive spirometry interventions after cardiac, thoracic and abdominal surgeries: A systematic literature review. *Canadian Journal of Respiratory Therapy: CJRT = Revue Canadienne de la Thérapie Respiratoire : RCTR*, 52(1), 17-26.

Neves, F. H., Carmona, M. J., Auler, J. O., Jr., Rodrigues, R. R., Rouby, J. J., & Malbouisson, L. M. (2013). Cardiac compression of lung lower lobes after coronary artery bypass graft with cardiopulmonary bypass. *PLoS One*, 8(11), e78643. doi:10.1371/journal.pone.0078643

Nishimura, R. A., Otto, C. M., Bonow, R. O., Carabello, B. A., Erwin, J. P., 3rd, Guyton, R. A., . . . Thomas, J. D. (2014). 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American



Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*, 129(23), 2440-2492. doi:10.1161/cir.0000000000000029

Niyayeh Saffari, N. H., Nasiri, E., Mousavinasab, S. N., Ghafari, R., Soleimani, A., & Esmaeili, R. (2015). Frequency Rate of Atelectasis in Patients Following Coronary Artery Bypass Graft and Its Associated Factors at Mazandaran Heart Center in 2013-2014. *Glob J Health Sci*, 7(7 Spec No), 97-105. doi:10.5539/gjhs.v7n7p97

Organización Mundial de la Salud. (2015, Enero). Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs355/es/>

Pasquina, P., & Walder, B. (2003). Prophylactic respiratory physiotherapy after cardiac surgery: systematic review. *BMJ*, 327(7428), 1379. doi:10.1136/bmj.327.7428.1379

Ragnarsdottir, M., KristjAnsdottir, A., Ingvarsdottir, I., Hannesson, P., Torfason, B., & Cahalin, L. (2004). Short-term changes in pulmonary function and respiratory movements after cardiac surgery via median sternotomy. *Scand Cardiovasc J*, 38(1), 46-52. doi:10.1080/14017430310016658

Rauh, K. H., Andersen, R. S., & Rosenberg, J. (2013). [Visual analogue scale for measuring post-operative pain]. *Ugeskr Laeger*, 175(24), 1712-1716.

Renault, J. A., Costa-Val, R., Rosseti, M. B., & Hourí Neto, M. (2009). Comparação entre exercícios de respiração profunda e espirometria de incentivo no pós-operatório de cirurgia de revascularização do miocárdio. *Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular*, 24, 165-172.

Renault, J. A., Costa-Val, R., & Rossetti, M. B. (2008). Fisioterapia respiratória na disfunção pulmonar pós-cirurgia cardíaca. *Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular*, 23, 562-569.

Restrepo, R. D., Wettstein, R., Wittnebel, L., & Tracy, M. (2011). Incentive spirometry: 2011. *Respir Care*, 56(10), 1600-1604. doi:10.4187/respcare.01471

- Reychler, G., Uribe Rodriguez, V., Hickmann, C. E., Tombal, B., Laterre, P. F., Feyaerts, A., & Roeseler, J. (2018). Incentive spirometry and positive expiratory pressure improve ventilation and recruitment in postoperative recovery: A randomized crossover study. *Physiother Theory Pract*, 1-7. doi:10.1080/09593985.2018.1443185
- Sabate, S., Mazo, V., & Canet, J. (2014). Predicting postoperative pulmonary complications: implications for outcomes and costs. *Curr Opin Anaesthesiol*, 27(2), 201-209. doi:10.1097/aco.0000000000000045
- Salud, I. N. d. (2013). Primer Informe ONS, aspectos relacionados con la frecuencia de uso de los servicios de salud, mortalidad y discapacidad en Colombia, 2011. In O. N. d. Salud (Ed.). Colombia, Bogota D.C.: Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.
- Salud, O. M. d. I. (2017). *Monitoreo de avances en materia de las enfermedades no transmisibles 2017*. Retrieved from Ginebra: <http://www.who.int/iris/handle/10665/259806> .
- Serruys, P. W., Morice, M.-C., Kappetein, A. P., Colombo, A., Holmes, D. R., Mack, M. J., . . . Mohr, F. W. (2009). Percutaneous Coronary Intervention versus Coronary-Artery Bypass Grafting for Severe Coronary Artery Disease. *New England Journal of Medicine*, 360(10), 961-972. doi:10.1056/NEJMoa0804626
- Shields, M., Thomas W., & LoCicero, J. E. a. (2009). *General Thoracic Surgery. Benign Exudative Effusions > Post-Coronary Artery Bypass Grafting (7th Edition ed. Vol. Volumen 1)*.
- Spooner, A. J., Corley, A., Sharpe, N. A., Barnett, A. G., Caruana, L. R., Hammond, N. E., & Fraser, J. F. (2014). Head-of-bed elevation improves end-expiratory lung volumes in mechanically ventilated subjects: a prospective observational study. *Respir Care*, 59(10), 1583-1589. doi:10.4187/respcare.02733
- Thomas, J. A., & McIntosh, J. M. (1994). Are incentive spirometry, intermittent positive pressure breathing, and deep breathing exercises effective in

the prevention of postoperative pulmonary complications after upper abdominal surgery? A systematic overview and meta-analysis. *Phys Ther*, 74(1), 3-10; discussion 10-16.

Urell, C., Emtner, M., Hedenstrom, H., Tenling, A., Breidenskog, M., & Westerdahl, E. (2011). Deep breathing exercises with positive expiratory pressure at a higher rate improve oxygenation in the early period after cardiac surgery--a randomised controlled trial. *Eur J Cardiothorac Surg*, 40(1), 162-167. doi:10.1016/j.ejcts.2010.10.018

Urell, C., Westerdahl, E., Hedenstrom, H., Janson, C., & Emtner, M. (2012). Lung Function before and Two Days after Open-Heart Surgery. *Crit Care Res Pract*, 2012, 291628. doi:10.1155/2012/291628

van Genderingen, H. R., van Vught, A. J., & Jansen, J. R. (2003). Estimation of regional lung volume changes by electrical impedance pressures tomography during a pressure-volume maneuver. *Intensive Care Med*, 29(2), 233-240. doi:10.1007/s00134-002-1586-x

Vargas, F. S., Cukier, A., Terra-Filho, M., Hueb, W., Teixeira, L. R., & Light, R. W. (1993). Influence of atelectasis on pulmonary function after coronary artery bypass grafting. *Chest*, 104(2), 434-437.

Victorino, J. A., Borges, J. B., Okamoto, V. N., Matos, G. F., Tucci, M. R., Caramez, M. P., . . . Amato, M. B. (2004). Imbalances in regional lung ventilation: a validation study on electrical impedance tomography. *Am J Respir Crit Care Med*, 169(7), 791-800. doi:10.1164/rccm.200301-133OC

Webster, R. P. H. a. J. G. (1978). An impedance camera for spatially specific measurements of the thorax. *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, 250 - 254.

Westerdahl, E. (2015). Optimal technique for deep breathing exercises after cardiac surgery. *Minerva Anesthesiol*, 81(6), 678-683.

- Westerdahl, E., Lindmark, B., Almgren, S. O., & Tenling, A. (2001). Chest physiotherapy after coronary artery bypass graft surgery--a comparison of three different deep breathing techniques. *J Rehabil Med*, 33(2), 79-84.
- Westerdahl, E., Lindmark, B., Bryngelsson, I., & Tenling, A. (2003). Pulmonary function 4 months after coronary artery bypass graft surgery. *Respir Med*, 97(4), 317-322.
- Westerdahl, E., Lindmark, B., Eriksson, T., Friberg, O., Hedenstierna, G., & Tenling, A. (2005). Deep-breathing exercises reduce atelectasis and improve pulmonary function after coronary artery bypass surgery. *Chest*, 128(5), 3482-3488. doi:10.1378/chest.128.5.3482
- Westerdahl, E., Urell, C., Jonsson, M., Bryngelsson, I. L., Hedenstrom, H., & Emtner, M. (2014). Deep breathing exercises performed 2 months following cardiac surgery: a randomized controlled trial. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 34(1), 34-42. doi:10.1097/hcr.0000000000000020
- Windecker, S., Kolh, P., Alfonso, F., Collet, J. P., Cremer, J., Falk, V., . . . Witkowski, A. (2014). 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS)Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *Eur Heart J*, 35(37), 2541-2619. doi:10.1093/eurheartj/ehu278
- Wynne, R., & Botti, M. (2004). Postoperative pulmonary dysfunction in adults after cardiac surgery with cardiopulmonary bypass: clinical significance and implications for practice. *Am J Crit Care*, 13(5), 384-393.
- Yamaguti, W. P., Sakamoto, E. T., Panazzolo, D., Peixoto Cda, C., Cerri, G. G., & Albuquerque, A. L. (2010). Diaphragmatic mobility in healthy subjects during incentive spirometry with a flow-oriented device and with a volume-oriented device. *J Bras Pneumol*, 36(6), 738-745.

## 9. ANEXO 1: FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO EFECTO DE DOS TÉCNICAS DE REEXPANSIÓN PULMONAR EN LA

### VENTILACION DE PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍA CARDIOVASCULAR: ENSAYO CLÍNICO CONTROLADO FASE IIB

**Instituciones participantes: Universidad del Valle – Clínica Farallones**

#### 1. INFORMACIÓN DEL ESTUDIO

El propósito de este estudio es describir el comportamiento de la distribución de la ventilación cuando se utilizan las técnicas de reexpansión pulmonar “incentivo respiratorio y la técnica de inspiración profunda sostenida” utilizando como instrumento de evaluación la tomografía de impedancia eléctrica, en pacientes que hayan sido sometidos a cirugía cardíaca. Los resultados de esta investigación aportarán información valiosa para optimizar el proceso de rehabilitación respiratoria de pacientes sometidos a este tipo de cirugías. Se incluirán todos los pacientes que acepten en forma voluntaria participar en el estudio y que cumplan con los criterios de inclusión y exclusión, y se espera que participen la totalidad de los pacientes sometidos a cirugía cardíaca durante el periodo Enero – Diciembre del 2017 sin importar el género o el grupo étnico. Esta investigación se considera como una investigación con riesgo mayor que el mínimo según la resolución 8430 expedida en 1993 por del Ministerio de salud y protección Social.

Los resultados obtenidos con esta investigación serán expuestos en un documento que será publicado como Trabajo de Grado de la Maestría en Ciencias Biomédicas de la Universidad del Valle.

#### 1. Número de participantes y tiempo de participación en el estudio

De acuerdo a la programación de los pacientes en la institución en donde se van a reclutar, el número de participantes será de 32 pacientes programados e intervenidos con cirugía cardiovascular, los cuales estarán vinculados al estudio los días requeridos para la medición con tomografía de impedancia eléctrica.

#### 1.1 ¿Qué se le hará si participa en el estudio?

Al inicio del estudio, usted será evaluado por un fisioterapeuta especialista en el área cardiopulmonar el cual verificará que se cumplan con los criterios de inclusión al estudio, le explicará nuevamente de que se trata el proyecto, se le realizará una evaluación que incluye un examen físico, la recolección algunos datos paraclínicos, un test de espirometría y una medición pre-quirúrgica utilizando un tomógrafo de impedancia eléctrica el cual es una técnica que evalúa la distribución del volumen

pulmonar de forma no invasiva. Además, usted recibirá educación sobre la importancia de la movilización temprana, de sentarse fuera de la cama, de deambular precozmente e información precisa de una técnica para estimular la tos con apoyo esternal.

En el estado post-quirúrgico usted recibirá un cuidado básico que incluye extubación temprana (menor a 6 horas después del ingreso a UCI), movilización temprana, traslado a silla en el segundo día y deambulación en el tercer día según el protocolo de manejo institucional. El estudio comprende los tres primeros días posteriores a la cirugía en los que usted será asignado aleatoriamente a un grupo que recibirá una técnica de ejercicios de inspiración profunda o a otro donde será intervenido mediante la técnica de incentivo respiratorio; ambos grupos serán evaluados de forma no invasiva con un tomógrafo de impedancia eléctrica de última generación. Cada participante será intervenido tres veces al día, una vez en la mañana y otra vez en la tarde, pero la medición con el tomógrafo de impedancia eléctrica solo será realizada en la mañana y en la tarde; esto aplicará durante tres días seguidos, al completar la séptima medición (incluyendo la pre-quirúrgica) el participante saldrá del estudio. Los procesos de extubación, deambulación y ejercicios de reexpansión pulmonar son parte de la rutina de actividades realizadas con los pacientes luego de una cirugía, por lo tanto, no hay incremento de riesgo a los presentes en la rutina de hospitalización. La utilización del Tomógrafo ha sido probada previamente con pacientes de las salas de cuidados intensivos sin manifestaciones de un mayor riesgo. Se hace examen previo del estado de los pacientes para que puedan estar estables para estos procedimientos, si no hay condiciones, no se realizara ni las terapias ni las mediciones hasta que el paciente pueda llevarlas a cabo.

### **1.2 Responsabilidad del participante con el estudio**

La responsabilidad del paciente al ser parte de esta investigación consiste en seguir las indicaciones del especialista durante las sesiones de fisioterapia las cuales duran aproximadamente 10 minutos.

### **1.3 Los riesgos asociados durante el estudio**

El dolor del sitio quirúrgico puede aumentarse durante la terapia de reexpansión pulmonar y será evaluado continuamente a través de la “Escala numérica análoga del dolor” y manejado previamente a la terapia con analgesia pre-escrita por el médico asistencial de la sala.

Además puede presentarse intolerancia a la posición sedente la cual usted deberá manifestar o se evaluará con la aparición cambios hemodinámicos o de signos de

dificultad respiratoria; y como conducta se determinará la suspensión de la terapia y el retorno a la posición confortable para usted como paciente.

#### **1.4 ¿Qué beneficios obtiene si participa en el estudio?**

Si decide participar de este estudio no recibirá ninguna compensación económica. Considere que gracias a su participación, este estudio podrá describir de forma científica aspectos relacionados con el cambio de la ventilación pulmonar después de la cirugía de corazón (revascularización), luego de aplicar técnicas de reexpansión pulmonar mediante ejercicios de inspiración profunda o por incentivo respiratorio, evaluados por una técnica no invasiva por tomografía de impedancia eléctrica, lo cual favorecerá la estandarización de un protocolo que permita la racionalización de los recursos técnicos, humanos y económico en la institución.

#### **1.5 ¿Qué costos tiene la participación en el estudio?**

La participación en este estudio es absolutamente voluntaria y no incurrirá en ningún gasto adicional. Toda la información generada por este estudio será únicamente usada por los investigadores con fines académicos y de investigación.

#### **1.6 Confidencialidad**

La información generada por este estudio es estrictamente confidencial, se mantendrá la privacidad y el participante no será identificado, se usarán códigos en los formatos del estudio y los datos sólo serán conocidos por personal autorizado y utilizados para fines académicos como publicaciones o para el desarrollo de posteriores proyectos. Si llegase a tener alguna duda podrá contactar a los investigadores. El participante recibirá una copia del presente consentimiento informado. La información, resultados y datos del estudio podrán ser conocidos por el participante y podrán ser utilizados por los autores para futuras investigaciones, previa aprobación del Comité de ética de la Universidad del Valle.

#### **1.7 Las circunstancias bajo las cuales se termina su participación en el estudio**

Se garantizará el derecho a retirarse del estudio sin previo aviso y el día que usted lo desee, sin que ese retiro altere su atención por parte de los profesionales de salud dentro de la Institución clínica.

## **2. DECLARACIÓN DEL PARTICIPANTE**

Declaro que soy mayor de edad, me encuentro en pleno uso de mis capacidades mentales y mi participación es voluntaria. Se me ha explicado y he entendido la naturaleza y propósito de esta investigación. Se me ha informado que el proyecto será realizado por el fisioterapeuta especialista en el área cardiopulmonar y actualmente estudiante de una maestría en Ciencias Biomédicas Alejandro Segura Ordoñez, bajo el acompañamiento de la Doctora Blanca Salazar y la Fisioterapeuta Esther Cecilia Wilches Luna. Esta investigación fue avalada por el comité de Ética de la Universidad del Valle y por el comité de bioética en investigación de la clínica Farallones; en caso de alguna inconformidad o si usted tiene alguna pregunta adicional sobre sus derechos como paciente del estudio puede ponerse en contacto con cualquiera de los dos comités. Para el Comité de Ética de la Universidad del Valle el teléfono es: 5185677 y para el comité de bioética de la clínica farallones usted puede dirigirse a la calle 9 C 50 – 25 Cons. 500. Dr. Carlos Victoria teléfono 4878050 ó con cualquiera de los investigadores encargados.

He leído este consentimiento y aclarado las dudas con respecto al estudio, además he recibido una copia del mismo. Estoy de acuerdo en participar en este estudio y como prueba de lo anterior firmo en conformidad.

Nombre del Participante	Firma del participante	Cédula	Teléfono	Relación con el participante	Fecha	Hora

Nombre del testigo 1	Firma del testigo 1	Cédula	Teléfono	Relación con el participante	Fecha	Hora

Nombre del testigo 2	Firma del testigo 2	Cédula	Teléfono	Relación con el participante	Fecha	Hora

Declaro que se me respeten las siguientes condiciones (si no tiene, escriba ninguna)

---

### 3. DECLARACIÓN DEL SUPERVISOR Y LOS ESTUDIANTES INVESTIGADORES.



Hemos informado al participante el propósito y naturaleza del procedimiento descrito anteriormente, de sus posibles riesgos y la utilización de los resultados del mismo.

**Datos del investigador**

Firma: \_\_\_\_\_

Cédula: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

## ANEXO 2: FORMATO DE INFORMACIÓN Y EVALUACION INICIAL

<b>TÍTULO: EFECTO DE DOS TÉCNICAS DE REEXPANSIÓN PULMONAR EN LA DISTRIBUCIÓN DE LA VENTILACIÓN DE PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍA CARDIOVASCULAR: ENSAYO CLÍNICO CONTROLADO FASE IIB</b>		
--	--	---

### DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS

<b>Fecha</b>	Mes <input type="checkbox"/> Día <input type="checkbox"/> Año <input type="checkbox"/>	<b>Código</b>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<b>Género</b>	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F	<b>Edad</b>	_____ años cumplidos
<b>Ocupación</b>	<input type="checkbox"/> Postgrado	<b>Escolaridad</b>	<input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Pregrado
<b>Estado civil</b>	<input type="checkbox"/> Soltero(a) <input type="checkbox"/> Casado(a) <input type="checkbox"/> Unión libre <input type="checkbox"/> Separado <input type="checkbox"/> Viudo(a)		
<b>Estrato</b>	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <b>EPS:</b> _____		
<b>Antecedentes Personales</b>	<input type="checkbox"/> HTA <input type="checkbox"/> Diabetes tipo I <input type="checkbox"/> Diabetes Tipo II <input type="checkbox"/> Enfermedad coronaria <input type="checkbox"/> IAM previo <input type="checkbox"/> Alcoholismo <input type="checkbox"/> Tabaquismo <input type="checkbox"/> Fiebre reumatoide <input type="checkbox"/> EPOC <input type="checkbox"/> Enfermedad psiquiátrica, mental o cognitiva <input type="checkbox"/> Otras enfermedades: _____		
<b>Diagnósticos Actuales</b>	_____		
<b>Tipo intervención</b>	_____		

### Evaluación

<b>Hallazgos a la Auscultación</b>	<input type="checkbox"/> Murmullo vesicular sin sobreagregados <input type="checkbox"/> Murmullo vesicular disminuido en bases <input type="checkbox"/> Estertores <input type="checkbox"/> Roncus <input type="checkbox"/> Sibilancias <input type="checkbox"/> Otros: _____		
<b>Frecuencia respiratoria (rpm)</b>	_____	<b>Frecuencia cardiaca (L/m)</b>	_____
<b>Tensión arterial (mmHg)</b>	Sistólica: _____ Diastólica: _____ Media: _____		
<b>Soporte de Oxígeno</b>	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Cual? _____		
<b>Saturación de oxígeno (Pulsoximetría)</b>	_____		
<b>Patrón respiratorio</b>	<input type="checkbox"/> Torácico superior <input type="checkbox"/> Toraco-abdominal <input type="checkbox"/> Abdominal		
<b>Peso (Kg)</b>	_____	<b>Talla (Cms)</b>	_____
<b>Peso Ideal:</b> <small>(talla cms) – 152.4 x 0.91) + 50 (hombres) + 45 (mujeres)</small>	_____		
<b>Perímetro abdominal (cm)</b>	_____	<b>Perímetro cadera (cm)</b>	_____
<b>IMC (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	_____		
<b>Rayos x Pre-quirúrgicos</b>	<input type="checkbox"/> Normales <input type="checkbox"/> Derrame pleural <input type="checkbox"/> Atelectasia <input type="checkbox"/> Neumotórax Otro: _____		
<b>Gases Arteriales</b>	ph: _____ PO2: _____ CO2: _____ HCO3: _____ BE: _____ <input type="checkbox"/> No tiene		
<b>Hemoglobina gr/dl</b>	_____		
<b>Fracción de eyección</b>	_____		
<b>EUROscore II</b>	_____ %		
<b>Volúmenes respiratorios</b>		Actual	Pred
	<b>CVF</b>	_____	_____
	<b>VEF<sub>1</sub></b>	_____	_____
	<b>CVF/VEF<sub>1</sub></b>	_____	_____
<b>Observaciones:</b>	_____		

## INSTRUCTIVO Sección A: Datos demográficos



1. La fecha se registrará día, mes y año
2. El código del participante: Se registrarán las iniciales del primer nombre y apellido del paciente, seguido de los dos últimos números de la cédula.
3. El género se marcará con una X en el recuadro correspondiente.
4. La edad se registrará en años cumplidos hasta la fecha de la evaluación.
5. La ocupación será la labor realizada por el participante en el último año
6. La escolaridad se marcará con una X en el recuadro correspondiente. Se escoge el nivel más alto alcanzado a la fecha
7. El estado civil se marcará con una X en el recuadro correspondiente. (Solamente es posible escoger uno)
8. El estrato socioeconómico se marcará con una X en el recuadro correspondiente.
9. Los antecedentes personales se marcarán con una X en el recuadro correspondiente, en caso de marcar la casilla otro se debe escribir en letra imprenta el antecedente en mención. Pueden escoger uno o varios.
10. Los antecedentes familiares se marcarán con una X en el recuadro correspondiente, se debe especificar el antecedente escogido a quien pertenece (padre, madre, hermanos, tíos, abuelos). Si escoge la casilla otros, debe suministrar la información del antecedente y el parentesco de quien lo sufrió.
11. El diagnóstico actual será el registrado en la historia clínica por el cirujano cardiovascular

## Sección B: Evaluación

1. Auscultación se marcará con una X en el recuadro correspondiente. Si escoge la opción otros debe escribir en letra imprenta el sonido escuchado
2. La frecuencia respiratoria será obtenida contando los ciclos respiratorios durante un minuto.
3. La frecuencia cardíaca se registrará contando las pulsaciones durante un minuto en la arteria radial del lado dominante con el paciente en reposo.
4. La presión arterial será obtenida con el paciente en reposo y se anotarán los valores de presión sistólica y diastólica.
5. La saturación de oxígeno será evaluada en el dedo índice de la mano dominante y el valor del porcentaje se registrará luego de pasados un minuto de tener puesto el dispositivo.
6. La talla se registrará en centímetros.
7. El peso ideal registrado será el peso ideal el cual se calcula con la siguiente fórmula:  
Hombres:  $Talla(cm) - 152.4 \times 0.91 + 50$  y Mujeres:  $Talla (cm) - 152.4 \times 0.91 + 45$
8. El paciente debe estar de pie con los brazos extendidos, los pies juntos y al final de una espiración normal. El perímetro abdominal será registrado en centímetros, debe medirse en el punto medio entre la última costilla palpable y el punto más alto de la cresta iliaca (según las recomendaciones de la OMS).
9. El perímetro de la cadera: será medido en la parte más prominente de los glúteos. Con el metro paralelo al piso.
10. El índice de masa corporal (IMC): se determinará mediante la fórmula peso Kg/talla en  $cm^2$
11. Los rayos X pre-quirúrgicos se marcará con una X en el recuadro correspondiente. Los hallazgos serán los reportados en la lectura oficial, si se escoge la casilla otro, se describirá cual.
12. Gases Arteriales: Diligenciar las casillas con los valores correspondiente al pH,  $CO_2$ ,  $HCO_3$ ,  $PO_2$ , BE.
13. Hemoglobina en gr/dl obtenida del hemograma
14. Fracción de eyección descrita en el reporte de eco-cardiografía.
15. EL euroscore II es una escala que estima el riesgo de muerte dentro del hospital después de una cirugía cardiovascular, involucra los ítems, edad, género, creatinina, arteriopatía extracardiaca, nivel de movilidad, cirugía cardíaca previa, enfermedad pulmonar crónica, endocarditis activa, estado pre-operatorio, presencia de diabetes, NYHA, presencia de angina, función ventricular, infarto reciente, hipertensión pulmonar, cirugía de urgencia, tipo de procedimiento, cirugía en la aorta. Este score se encuentra disponible online de forma gratuita.
16. Las casillas  $VEF_1$ , CVF,  $VEF_1/CVF$  y el volumen corriente serán los registrados por el espirómetro

**ANEXO 3: FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

CRF N° \_\_\_\_\_

<b>TÍTULO: EFECTO DE DOS TÉCNICAS DE REEXPANSIÓN PULMONAR EN LA DISTRIBUCIÓN DE LA VENTILACIÓN DE PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍA CARDIOVASCULAR: ENSAYO CLÍNICO CONTROLADO FASE IIB</b>	 CLÍNICA FARALLONES <small>Cuida de TI, Cuida de tu Familia</small>	 Universidad del Valle
--	---	--

Código interno: \_\_\_\_\_ Fecha de diligenciamiento: Mes \_\_\_\_ / día \_\_\_\_ / año \_\_\_\_

<b>Fecha de ingreso a UCI</b>	Mes ____ / día ____ / año ____	<b>Fecha de egreso a UCI</b>	Mes ____ / día ____ / año ____
<b>Hora de ingreso a la UCI</b>	Hora ____ min ____	<b>Hora de egreso de la UCI</b>	Hora ____ min ____
<b>Tipo de intervención quirúrgica</b>	<input type="checkbox"/> Revascularización miocárdica A. <input type="checkbox"/> Safena # _____ B. <input type="checkbox"/> Mamaria Interna # _____  <input type="checkbox"/> Cambio valvular aórtico <input type="checkbox"/> Cambio valvular mitral <input type="checkbox"/> Cambio valvular tricúspide <input type="checkbox"/> Cambio de valvular pulmonar  <input type="checkbox"/> Otras cirugías cardiovasculares. _____		
<b>Tiempo de ventilación mecánica (horas)</b>	En cirugía	En UCI	Tiempo total:
<b>Tiempo de clampeo aórtico</b>	horas ____ min ____	<b>Tiempo de Bomba</b>	horas ____ min ____
<b>Drenaje torácico</b>	<input type="checkbox"/> Mediastinal # _____ <input type="checkbox"/> Pleural derecho # _____ <input type="checkbox"/> Pleural izquierdo # _____		
<b>Tiempo del paciente con FIO2 al 100%</b>	horas ____ min ____	<b>Hora de extubación</b>	horas ____ min ____
<b>Apache II</b>	Puntaje: _____ Mortalidad estimada (%): _____		
<b>Balance acumulado</b>	24 h _____ 48 h _____ 72 h _____		
<b>Hemoglobina gr/dl</b>	24h _____ 48 h _____ 72 h _____		
<b>Lactato sérico</b>	#1 _____ #2 _____ #3 _____		
<b>Transfusiones Sanguíneas intraquirúrgicas (unidades)</b>	Glóbulos rojos _____ Plaquetas _____ Plasma _____		
<b>Dosis máxima en 24 horas de vaso-activos después de extubación (ug/kg /min)</b>	<input type="checkbox"/> Adrenalina <input type="checkbox"/> Norepinefrina <input type="checkbox"/> Dopamina <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Vasopresina <input type="checkbox"/> Levosimendan <input type="checkbox"/> Milrinone <input type="checkbox"/>		
<b>Tipo de técnica de Reexpansión pulmonar</b>	<input type="checkbox"/> Incentivo respiratorio <input type="checkbox"/> Técnica de inspiración profunda sostenida		
<b>Fecha de egreso de la institución</b>	Mes ____ / día ____ / año ____		

Radiografía del tórax posquirúrgica	<input type="checkbox"/> Atelectasia <input type="checkbox"/> Neumotórax <input type="checkbox"/> Derrame pleural Observaciones: _____ _____ _____ Mes ____/día ____/año ____
Complicaciones posoperatorias	<input type="checkbox"/> Sangrado postoperatorio con re-intervención <input type="checkbox"/> Accidente cerebro vascular con déficit neurológico <input type="checkbox"/> Falla renal con necesidad de diálisis <input type="checkbox"/> Infección profunda de la herida esternal <input type="checkbox"/> Infección superficial de la herida esternal

## INSTRUCTIVO

1. **CRF N°:** Este número es secuencial de acuerdo al ingreso de los pacientes al estudio, así el CRF # 1 será el primer paciente del estudio.
2. **Código Interno:** Las letras iniciales del primer nombre y apellido y dos últimos números de la cedula
3. **EPS:** Es la entidad aseguradora del paciente ( ej: Coomeva, sanitas, SOS etc.)
4. **Fecha de diligenciamiento:** Es el mes, el día y el año en el cual se está llenando el formato.
5. **Fecha de ingreso a la UCI:** Mes, día y año en el cual el paciente ingresó a la unidad de cuidados intensivos.
6. **Fecha de egreso de la UCI:** Mes, día y año en el cual el paciente fue trasladado de la unidad de cuidados intensivos.
7. **Hora de ingreso a la UCI:** Horas y minutos exactos de ingreso a la UCI
8. **Hora de egreso de la UCI:** Horas y minutos exactos cuando el paciente es dado de alta de la UCI
9. **Tipo de intervención quirúrgica:** Marcar con una X los procedimientos que le fueron realizados al paciente, en caso de no tener la opción dentro de la casilla, escribir en letra imprenta y clara el procedimiento.
10. **Tiempo de ventilación mecánica:** Duración en horas y minutos del tiempo que permanece el paciente conectado a la ventilación mecánica, el tiempo en cirugía será desde el momento que se intuba el paciente hasta que ingresa a la UCI. Y el tiempo en UCI será desde la hora que ingresa el paciente a la UCI hasta que se le realiza el procedimiento de extubación al paciente. El tiempo total será la suma de los dos ítems anteriores.
11. **Tiempo de clampeo aórtico:** Duración en horas y minutos del cierre total de la aorta durante la cirugía
12. **Tiempo de Bomba:** Duración en horas y minutos de la circulación extracorpórea.
13. **Drenaje torácico:** escoger en la casilla la ubicación del sistema de drenaje (mediastinal, pleural izquierdo o derecho) y en la casilla en blanco con el símbolo #, poner la cantidad de tubos ubicados en ese lugar ( ej: # 2)
14. **Tiempo del paciente con FIO<sub>2</sub> al 100% Intraquirúrgico:** Duración en horas y minutos desde el momento que se intubó dentro de sala de operaciones, hasta el momento en que le fue disminuida la FIO<sub>2</sub> dentro de la UCI.
15. **Hora de extubación:** Horas y minutos exactos cuando al paciente le es retirado el soporte ventilatorio artificial
16. **Apache II:** Este score será evaluado a las 24 horas después de haber ingresado a la UCI, con la aplicación online de acceso gratuito <http://clincalc.com/icumortality/apacheii.aspx>
17. **Balance acumulado:** Relación entre la cantidad de líquidos administrados versus los líquidos eliminados, este valor se obtendrá de la sabana de enfermería a las 24, 48 y 72 horas.
18. **Hemoglobina:** valor obtenido del hemograma del paciente
19. **Lactato sérico:** Se deben registrar los primeros tres resultados de lactato reportados en los paraclínicos del paciente.
20. **Transfusiones Sanguíneas intraquirúrgicas:** Cantidad en unidades transfundidas al paciente de hemoderivados
21. **Dosis máxima en 24 horas de vaso-activos después de extubación:** Verificar en las últimas 24 horas cual fue la dosis máxima que tuvo el paciente del medicamento correspondiente.

22. **Tipo de técnica de Reexpansión pulmonar:** Corresponde a la técnica a la cual fue aleatorizado el paciente.
23. **Fecha de egreso de la hospitalización:** Corresponde a la fecha del alta institucional
24. **Radiografía del tórax posquirúrgicos:** Marcar con una X lo que corresponda (puede ser una o más opciones) y en la casilla observaciones diligenciar la lectura del radiólogo y la fecha del estudio.
25. **Complicaciones posoperatorias:** Marcar con una X lo que corresponda (puede ser una o más opciones)