

## Técnicas y Procedimientos

## Fiabilidad de un método de análisis para medir el desplazamiento del diafragma mediante visualización directa con videofluoroscopia

Liu C. Yi<sup>a,\*</sup>, Oliver A. Nascimento<sup>b</sup> y José R. Jardim<sup>b</sup><sup>a</sup> Departamento de BioCiencias de la Universidad Federal de Sao Paulo-Unifesp, Sao Paulo, Brasil<sup>b</sup> División de Enfermedades Respiratorias, Centro de Rehabilitación Pulmonar en Unifesp, Sao Paulo, Brasil

## INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

## Historia del artículo:

Recibido el 5 de julio de 2010

Aceptado el 14 de diciembre de 2010

On-line el 9 de abril de 2011

## Palabras clave:

Diafragma

Fluoroscopia

Método de análisis

## RESUMEN

**Objetivo:** El objetivo de este estudio fue verificar la reproducibilidad por parte de dos observadores diferentes de un método de análisis de las mediciones del desplazamiento del diafragma con el empleo de una visualización directa con videofluoroscopia.

**Pacientes y métodos:** Se estudió a 29 niños de ambos sexos y de entre 5 y 12 años, con respiración oral. La evaluación del desplazamiento del diafragma se dividió en tres partes: videofluoroscopia con grabación mediante VHS en las posiciones de bipedestación, sedestación y decúbito supino; digitalización de las imágenes; y medición de la distancia entre las cúpulas diafragmáticas durante un ciclo de respiración, con el empleo de los programas informáticos Adobe Photoshop 5.5 y Adobe Premiere PRO 6.5.

**Resultados:** Los coeficientes de correlación intraclase mostraron una excelente reproducibilidad en todas las posturas, con valores de los coeficientes situados siempre por encima de 0,94. La media de las mediciones del desplazamiento de las cúpulas diafragmáticas realizadas por dos observadores fue similar ( $p < 0,05$ ), con la excepción del desplazamiento diafragmático derecho en posición de sedestación y el desplazamiento diafragmático izquierdo en posición de bipedestación ( $p < 0,05$ ). **Conclusión:** Este estudio puso de manifiesto que la evaluación del desplazamiento diafragmático mediante videofluoroscopia es una medición reproducible cuando se comparan los resultados obtenidos por dos investigadores adecuadamente preparados para ello. Este hecho indica que la técnica evaluada puede ser difundida y pueden aplicarla otros profesionales de la asistencia sanitaria.

© 2010 SEPAR. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

### Reliability of an Analysis Method for Measuring Diaphragm Excursion by Means of Direct Visualization with Videofluoroscopy

## A B S T R A C T

**Objective:** The purpose of this study was to verify the reproducibility between two different observers of an analysis method for diaphragmatic displacement measurements using direct visualization with videofluoroscopy.

**Patients and methods:** 29 mouth breathing children aged 5 to 12 years from both genders were analyzed. The diaphragmatic displacement evaluation was divided in three parts: videofluoroscopy with VHS recording in standing, sitting, and dorsal positions; digitalization of the images; and measurement of the distance between diaphragmatic domes during a breathing cycle using Adobe Photoshop 5.5 and Adobe Premiere PRO 6.5 software.

**Results:** The intraclass correlation coefficients presented excellent reproducibility in all positions, with coefficients always above 0.94. Mean of the measurements of the diaphragmatic domes displacement done by the two observers were similar ( $P < .05$ ), with the exception of right diaphragmatic displacement in the seated position and left diaphragmatic displacement in the standing position ( $P < .05$ ).

**Conclusion:** This study demonstrated that the evaluation of diaphragmatic displacement via videofluoroscopy is a reproducible measurement when two trained investigators are compared. This fact indicates that the present technique can be disseminated and performed by other healthcare professionals.

© 2010 SEPAR. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

## Keywords:

Diaphragm

Fluoroscopy

Analysis method

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: liuchiaoyi@yahoo.com.br (L.C. Yi).

## Introducción

El diafragma es el principal músculo respiratorio, y se contrae durante la inspiración, con lo que genera un movimiento en sentido caudal que es proporcional a la presión intratorácica y al volumen corriente<sup>1</sup>. El análisis del desplazamiento del diafragma proporciona un método para evaluar el grado de deterioro muscular en las enfermedades neuromusculares y respiratorias. En los últimos años, se han utilizado diversos métodos radiológicos para valorar el desplazamiento del diafragma, entre ellos los de ecografía, sonomicrometría, electromiografía, resonancia magnética nuclear y videofluoroscopia<sup>2-6</sup>. La ecografía proporciona una evaluación subjetiva del movimiento muscular<sup>2,7</sup>. La sonomicrometría mide la distancia entre pares de cristales piezoeléctricos con el empleo de señales acústicas<sup>8</sup>. La electromiografía monitoriza la actividad eléctrica en el músculo<sup>3</sup>. La resonancia magnética nuclear aporta una efectividad satisfactoria en la determinación de la morfología y la motilidad del diafragma<sup>5</sup>.

La videofluoroscopia ocupa un lugar destacado entre los métodos para la medición de la distancia de desplazamiento del diafragma durante la respiración, puesto que permite visualizar la totalidad de la hemicúpula y algunos dispositivos permiten examinar de forma simultánea las cúpulas derecha e izquierda. La videofluoroscopia permite efectuar valoraciones cualitativas de la motilidad muscular, así como valoraciones cuantitativas para medir el desplazamiento o el tamaño de las cúpulas diafragmáticas<sup>5,9</sup>. Este método puede utilizarse para evaluar la parálisis causada por una lesión del nervio frénico<sup>10</sup>, la presencia de malformaciones<sup>6</sup>, la contracción muscular tras la estimulación eléctrica<sup>5</sup>, el movimiento del esófago, que se produce en sincronía con el diafragma<sup>2</sup>, la debilidad del diafragma en pacientes con trastornos del sueño<sup>4</sup>, la motilidad tras una toracotomía o cirugía cardíaca<sup>7</sup> y la correlación entre el volumen corriente y la contracción del diafragma<sup>11</sup>.

Recientemente hemos descrito los resultados obtenidos en la evaluación fluoroscópica del movimiento diafragmático en niños con respiración oral. El método resultó relativamente sencillo y fácil de utilizar. Dado que este sistema utiliza una grabación en vídeo, las imágenes pueden ser examinadas con tanta frecuencia como sea necesario sin exponer con ello al paciente a una mayor irradiación de rayos X<sup>6</sup>. Sin embargo, como ocurre con la mayoría de las pruebas diagnósticas, puede haber discrepancias entre los resultados obtenidos por diferentes evaluadores. Para que una prueba diagnóstica puede considerarse adecuada, debe producir unos resultados similares (es decir, reproducibilidad) cuando es aplicada por diferentes evaluadores. Por consiguiente, la determinación de la coincidencia existente entre los resultados obtenidos por dos observadores diferentes es fundamental para determinar la reproducibilidad de una exploración.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la reproducibilidad de la fluoroscopia a través de la visualización directa de las imágenes grabadas en vídeo para la determinación del desplazamiento del diafragma en niños con respiración oral, mediante la determinación del nivel de coincidencia entre dos evaluadores «ciegos».

## Pacientes y métodos

Se evaluó una muestra de oportunidad, no probabilística, formada por 29 niños que estaban siendo tratados en la Clínica Ambulatoria de Respiración Oral de la División de Otorrinolaringología de la *Universidade Federal de São Paulo* (Brasil). Todos los procedimientos del estudio fueron aprobados previamente por el Consejo Institucional de Revisión de la misma universidad (protocolo 1611/03) y los padres de los niños dieron su consentimiento informado por escrito. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: niños con respiración oral de ambos sexos y de 5 a 12 años

de edad. El tamaño muestral se estimó basándose en estudios de reproducibilidad existentes en la literatura<sup>12,13</sup>.

### *Evaluación del desplazamiento del diafragma*

Se siguieron los siguientes pasos para evaluar el desplazamiento del diafragma: 1) fluoroscopia con grabación en vídeo de ciclos de respiración; 2) examen de las imágenes; y 3) medición del desplazamiento de la cúpula del diafragma durante la respiración tranquila.

### *Examen de fluoroscopia*

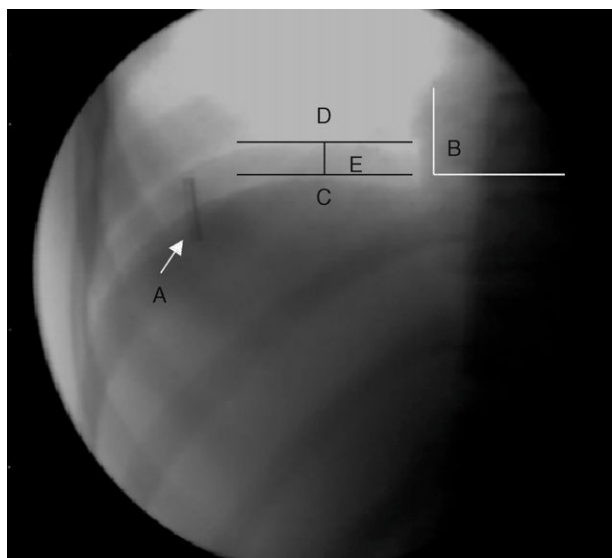
Antes del examen, los pacientes permanecieron sentados en reposo durante al menos 15 minutos. La videofluoroscopia se realizó con un aparato de rayos X (Medicor modelo 750B), un intensificador de imagen y una pantalla de vídeo/televisión 2:1 estándar de 525 líneas y 60 Hz, del que se transferían las imágenes a una cinta de vídeo (Philco modelo 7400). Se fijó un objeto metálico que medía 0,1 cm por 2,0 cm a la altura de los pezones, bilateralmente, con objeto de permitir su visualización en la grabación de vídeo. Esta estrategia hacía posible la aplicación de una ecuación comparativa y proporcional entre la distancia de desplazamiento y la longitud de la pieza de metal.

Las imágenes del desplazamiento del diafragma del lado derecho se registraron primero, seguidas de las del lado izquierdo. Se grabaron cuatro ciclos de respiración tranquila para cada cúpula, en las posiciones de bipedestación, sedestación y decúbito supino, con un aparato de rayos X y una proyección anteroposterior (AP). Los pies se mantuvieron paralelos en todas las posiciones de examen, y los brazos se colocaron junto al cuerpo en las posiciones de bipedestación y decúbito supino. En la posición de sedestación, se indicó a los participantes que apoyaran las manos en el tercio medio de la cara anterior de ambas piernas. Se indicó a los niños que mantuvieran los ojos abiertos y que miraran al horizonte. No hubo ninguna interferencia verbal para la corrección postural. El torso se mantuvo al descubierto y en el abdomen se evitó toda compresión de los pantalones del participante<sup>14</sup>. De los cuatro ciclos registrados bilateralmente en cada posición, se seleccionó para el análisis el que tenía un movimiento más armonioso. Se descartaron los ciclos en los que había movimientos bruscos del torso, tos, estornudos, movimientos de alarma o habla. El desplazamiento del diafragma registrado en vídeo fue medido de manera independiente por dos observadores que no conocían las mediciones efectuadas por el otro evaluador, aplicando el método que se describe más adelante.

### *Digitalización de las imágenes y medición de la distancia entre las cúpulas diafragmáticas*

Se utilizó el siguiente equipo para el análisis de la distancia de desplazamiento del diafragma: 1) un microordenador de sobremesa con una tarjeta de captura de imágenes (Pinnacle modelo PRO ONE RTDV); 2) un aparato de vídeo SVHS (Sony modelo 5800); 3) una pantalla de vídeo (Sony TRINITON modelo 1351); 4) un controlador de vídeo (Sony modelo PVE 500). Los análisis se realizaron en el siguiente orden, utilizando los correspondientes programas informáticos<sup>14</sup>.

- a) Congelación de dos imágenes: una con el punto más alto y otra con el punto más bajo alcanzados por la cúpula diafragmática durante un ciclo respiratorio (fig. 1) (programa Adobe Premiere PRO 6.5).
- b) Para la visualización simultánea de dos imágenes superpuestas, la transparencia correspondiente a la imagen con el punto más alto alcanzado por la cúpula diafragmática se fijó en el 40%, y



**Figura 1.** Medición del desplazamiento de la cúpula diafragmática durante la respiración tranquila. A) flecha: objeto metálico; B) líneas blancas en forma de L: posición vertebral; C) línea horizontal inferior: cúpula del diafragma durante la inspiración; D) línea horizontal superior: cúpula del diafragma durante la espiración; E) línea vertical pequeña entre las dos líneas horizontales: desplazamiento de las cúpulas diafragmáticas durante la respiración tranquila (véase el texto para mayor información).

**Tabla 1**  
Características demográficas de los pacientes

	Total (n=29)
Edad (años)	8,0 ± 2,5
Peso (kg)	29,7 ± 10,2
Altura (m)	1,30 ± 0,16

Media ± desviación estándar.

correspondió al límite superior del desplazamiento (fig. 1) (programa Adobe Photoshop 5.5).

- Se superpusieron las imágenes utilizando el ángulo recto formado por una vértebra específica que se tomó para ambas imágenes como referencia fija.
- Se identificaron los puntos más alto y más bajo alcanzados por las cúpulas diafragmáticas mediante líneas horizontales (fig. 1) (programa Adobe Photoshop 5.5).
- Se midió la distancia de desplazamiento (fig. 1) (programa Adobe Photoshop 5.5).
- Se midió la longitud del objeto de metal fijado a la altura del pezón (fig. 1) (programa Adobe Photoshop 5.5).
- Se calculó la distancia real (X) de desplazamiento con el empleo de la siguiente fórmula:

$x = \text{medida entre las cúpulas diafragmáticas (E)} \times 2\text{cm} / \text{longitud del objeto metálico visualiza en la imagen (A)}$

**Tabla 2**  
Desplazamiento de las cúpulas diafragmáticas durante la respiración tranquila en centímetros

	Investigador 1	Investigador 2	Diferencia media	p
Decúbito supino derecho	1,35 ± 0,53	1,36 ± 0,50	-0,007 ± 0,081	NS
Decúbito supino izquierdo	1,34 ± 0,59	1,35 ± 0,61	-0,010 ± 0,055	NS
Sedestación derecho	1,46 ± 0,61	1,48 ± 0,63	-0,026 ± 0,067	0,044
Sedestación izquierdo	1,39 ± 0,57	1,37 ± 0,50	0,027 ± 0,180	NS
Bipedestación derecho	1,30 ± 0,45	1,32 ± 0,46	-0,017 ± 0,069	NS
Bipedestación izquierdo	1,24 ± 0,46	1,30 ± 0,46	-0,065 ± 0,147	0,023

Media ± desviación estándar; NS: no significativo; P: nivel de significación.

**Tabla 3**

Valores del coeficiente de correlación intraclase de las lecturas de desplazamiento del diafragma durante la respiración tranquila entre dos observadores diferentes

	CCI	IC del 95%	p
Decúbito supino derecho	0,98	0,97 - 0,99	< 0,001
Decúbito supino izquierdo	0,99	0,99 - 0,99	< 0,001
Sedestación derecho	0,99	0,98 - 0,99	< 0,001
Sedestación izquierdo	0,94	0,88 - 0,97	< 0,001
Bipedestación derecho	0,98	0,97 - 0,99	< 0,001
Bipedestación izquierdo	0,94	0,86 - 0,97	< 0,001

CCI: coeficiente de correlación intraclase; IC: intervalo de confianza; P: nivel de significación.

### Análisis estadístico

Los datos numéricos se expresan en forma de media y desviación estándar. Los datos de variables categóricas se expresan en forma de valores absolutos y porcentuales. Los dos observadores evaluaron el desplazamiento del diafragma de forma mutuamente independiente y sin conocer los resultados del otro. Posteriormente se compararon los datos. Se utilizó la prueba de t de Student para datos emparejados para comparar medias y diferencias entre las mediciones realizadas por los dos examinadores. Se utilizó el coeficiente de correlación intraclase y el intervalo de confianza del 95% para evaluar la reproducibilidad de las mediciones. Se adoptó un nivel de significación estadística del 5%.

### Resultados

En la tabla 1 se muestran los datos demográficos de los niños participantes. Los valores medios de edad, peso y altura fueron de ocho años, 29,7 kg y 1,30 m, respectivamente.

En la tabla 2 se presenta la media de los valores del desplazamiento del diafragma calculada por los dos evaluadores, así como las diferencias medias entre ellos. El desplazamiento del diafragma derecho en la posición de sedestación y el desplazamiento del diafragma izquierdo en la posición de bipedestación fueron las únicas mediciones en las que se identificaron discrepancias entre los dos evaluadores ( $p < 0,05$ ). Las diferencias medias entre las dos mediciones fueron de 2,6 y 6,6 mm, respectivamente (tabla 3). Sin embargo, el coeficiente de correlación intraclase mostró una excelente reproducibilidad en todas las posiciones, con unos coeficientes que estaban siempre por encima de 0,94 (tabla 3).

### Discusión

En los últimos años, se han utilizado diversos métodos radiológicos para valorar el desplazamiento del diafragma, entre ellos los de ecografía, sonomicrometría, electromiografía, resonancia magnética nuclear y videofluoroscopia<sup>2-6</sup>. La ecografía es un buen método para la evaluación subjetiva del movimiento muscular, pero no permite la visualización de una hemicúpula completa<sup>2,7</sup>. La sonomicrometría mide la distancia entre pares de cristales piezoeléctricos con el empleo de señales acústicas. En artículos recientes se ha descrito el empleo de este método para determinar el tamaño de las cámaras cardíacas y medir el tiempo de contracción del diafragma. Todos los experimentos en los que

se ha utilizado este método hasta la fecha se han llevado a cabo en modelos animales<sup>8,11,15</sup>. La electromiografía monitoriza la actividad eléctrica en el músculo. Los electrodos de superficie fijados al tórax valoraron simultáneamente otros músculos respiratorios. Son necesarios electrodos de aguja para la evaluación aislada del diafragma<sup>4</sup>. En algunos estudios se han introducido catéteres en el esófago para esa evaluación<sup>7</sup>. La resonancia magnética nuclear ofrece una efectividad satisfactoria en la evaluación del diafragma, pero es costosa y podría ser reemplazada por un método de menor coste<sup>5</sup>.

La videofluoroscopia ocupa un lugar destacado entre los métodos para la medición de la distancia de desplazamiento del diafragma durante la respiración, puesto que permite visualizar la totalidad de la hemicúpula y algunos dispositivos permiten examinar de forma simultánea las cúpulas derecha e izquierda. Según Braun et al (1995), la exposición a radiación de rayos X durante un periodo de cinco minutos no causa un daño a los pacientes. La videofluoroscopia permite efectuar valoraciones cualitativas de la motilidad muscular, así como valoraciones cuantitativas para medir el desplazamiento o el tamaño de las cúpulas diafragmáticas<sup>5,9</sup>. Este método puede utilizarse para evaluar la parálisis causada por una lesión del nervio frénico<sup>15</sup>, la presencia de malformaciones<sup>6</sup>, la contracción muscular tras la estimulación eléctrica<sup>5</sup>, el movimiento del esófago, que se produce en sincronía con el diafragma<sup>2</sup>, la debilidad del diafragma en pacientes con trastornos del sueño<sup>4</sup>, la motilidad tras una toracotomía o cirugía cardíaca<sup>7</sup> y la correlación entre el volumen corriente y la contracción del diafragma<sup>11</sup>.

El presente estudio pone de relieve que la medición del desplazamiento del diafragma con el empleo de una visualización directa con fluoroscopia y un análisis posterior de la grabación en vídeo es una técnica reproducible cuando la grabación es analizada por dos evaluadores diferentes. Estos resultados indican que el método puede ser enseñado, es sencillo de utilizar y no requiere la dedicación de mucho tiempo. Se había utilizado ya anteriormente, pero sin una confirmación de su reproducibilidad<sup>14</sup>. Dado que los exámenes realizados se graban en vídeo, lo cual permite un análisis en un momento posterior, los pacientes están expuestos a menos radiación de rayos X<sup>16</sup>. La grabación puede realizarse también en un formato digital en *digital versatile disc* (DVD).

La fiabilidad o reproducibilidad se define como el nivel de coincidencia entre dos mediciones. La fiabilidad puede evaluarse cuando una medición es realizada por dos observadores diferentes o cuando dos mediciones son realizadas por el mismo evaluador en momentos distintos. Es un paso importante en el proceso de desarrollo de un método, puesto que mide la capacidad de obtener el mismo resultado en dos lecturas diferentes. La fiabilidad de las variables continuas debe evaluarse con el empleo del coeficiente de correlación intraclase (CCI), que refleja el nivel de coincidencia entre dos evaluaciones de un mismo observador en dos ocasiones diferentes<sup>17</sup>. Al igual que ocurre con otras muchas determinaciones fisiológicas en el ser humano, podría producirse una cierta variación entre las dos determinaciones, a pesar de que se considere que el paciente está estable. En los estudios de fiabilidad, un menor grado de variación entre los valores obtenidos en dos evaluaciones distintas lleva a un CCI más elevado, lo cual indica una mayor fiabilidad de la determinación. Una medición se considera fiable cuando el CCI es superior a 0,70 (1,00 indica una reproducibilidad perfecta)<sup>17</sup>. Tal como se muestra en la *tabla 3*, el CCI de todas las determinaciones estuvo siempre por encima de 0,94. Así pues, el presente estudio pone de manifiesto que es posible convertir una medición aparente del desplazamiento del diafragma en una distancia real mediante el empleo de una ecuación sencilla que tiene en cuenta la proporción de la medición del desplazamiento del diafragma y la longitud de un objeto metálico colocado sobre los pezones.

Estando en reposo, el diafragma se desplaza alrededor de un cm, mientras que durante la inspiración y espiración forzadas, el

movimiento puede llegar a ser de 10 cm. Los cambios respecto al patrón normal pueden indicar una enfermedad neuromuscular<sup>18</sup>. La videofluoroscopia podría utilizarse en estudios longitudinales, siempre que exista una indicación para el estudio en el paciente, como ocurre en el caso de los individuos con enfermedades neuromusculares.

Los participantes en el presente estudio estuvieron expuestos a una dosis única de radiación durante un periodo de un minuto. Según Lederman et al (2002), este periodo de exposición con el aparato de rayos X Medisor (modelo 750B) no causa daño alguno a los pacientes. En un estudio en el que participaron pacientes a los que se practicó una videofluoroscopia del diafragma con una exposición a radiación durante cinco minutos, Braun et al (1995) indicaron que, cuando la cantidad de radiación calculada en función del tiempo de exposición es inferior a 12,5 Rads (una unidad de dosis de radiación absorbida en gran parte obsoleta), el paciente no sufre ningún daño.

Braun et al (1995) llevaron a cabo una evaluación cualitativa del desplazamiento del diafragma utilizando simultáneamente videofluoroscopia, espirometría y pletismografía. Sería útil conocer la correlación existente entre el volumen corriente y el desplazamiento del diafragma medido con videofluoroscopia. Sin embargo, dado que este no era el objetivo del presente estudio, no se determinó el volumen corriente. Se recomienda la realización de futuros estudios con ese objetivo.

Kolar et al (2007) analizaron el desplazamiento del diafragma con el empleo de un programa informático diseñado exclusivamente para este fin, que examina el diafragma en una proyección sagital. Sin embargo, este programa es de acceso restringido. El programa utilizado en el presente estudio (Adobe Photoshop 5.5) es ampliamente accesible y puede ser utilizado por personas con un conocimiento estándar sobre su uso.

Por lo que respecta a la coincidencia interobservadores, no hubo diferencias estadísticamente significativas en las lecturas (*tabla 2*), excepto por las mediciones del desplazamiento del diafragma derecho en la posición de sedestación y la del diafragma izquierdo en bipedestación. Dado que estas diferencias eran pequeñas y se observaron sólo en dos posiciones, la videofluoroscopia puede considerarse muy fiable.

## Conclusión

El presente estudio muestra que el método propuesto para evaluar el desplazamiento del diafragma mediante fluoroscopia es reproducible. Además, el método puede enseñarse y ser asimilado con facilidad y no requiere mucho tiempo. Hay numerosas situaciones en las que puede usarse este método, como las enfermedades neuromusculares, las enfermedades respiratorias y los casos en los que no puede identificarse una causa aparente de la disnea.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía

1. Reid WD, Dechman G. Considerations when testing and training the respiratory muscles. *Phys Ther*. 1995;75:971-82.
2. Kerrey BT, Géis GL, Quinn AM, Hornung RW, Ruddy RM. A prospective comparison of diaphragmatic ultrasound and chest radiography to determine endotracheal tube position in a pediatric emergency department. *Pediatrics*. 2009;29:1039-44.
3. Gea J, Zhu E, Gáldiz JB, Comtois N, Salazkin I, Fiz JÁ, et al. Consecuencias de las contracciones excéntricas del diafragma sobre su función. *Arch Bronconeumol*. 2009;45:68-74a.
4. Steier J, Jolley CJ, Seymour J, Kaul S, Luo YM, Rafferty GF, et al. Sleep-disordered breathing in unilateral diaphragm paralysis or severe weakness. *Eur Respir*. 2008;32:1479-87.

5. Kolar P, Neuwirth J, Sanda J, Suchánek V, Svatá Z, Volejník J, et al. Analysis of diaphragm movement during tidal breathing and during its activation while breath holding using MRI synchronized with spirometry. *Physiol Res*. 2009;58:383–92.
6. Braun N, Abd A, Baer J, Blitzer A, Stewart C, Brin M. Dyspnea in dystonia: a functional evaluation. *Chest*. 1995;107:1309–16.
7. Usta E, Mustafi M, Ziemer G. Ultrasound estimation of volume of postoperative pleural effusion in cardiac surgery patients. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2010;10:204–7.
8. Derrey S, Verin E, Laquerrère A, Barros AB, Lacoume Y, Fréger P, et al. Restoration of diaphragmatic function after diaphragm reinnervation by inferior laryngeal nerve; experimental study in rabbits. *Respir Res*. 2006;27:7–17.
9. Boriek AM, Liu S, Rodarte JR. Costal diaphragm curvature in dog. *J Appl Physiol*. 1993;75:527–33.
10. Stephens RE, Addington WR, Miller SP, Anderson JW. Videofluoroscopy of the diaphragm during voluntary and reflex cough in humans. *Am J Phys Med Rehabil*. 2003;82:384.
11. Fiz JA, Jané R, Torres A, Morera J, Galdiz B, Gea J, et al. Non-invasive monitoring of diaphragmatic timing by means of surface contact sensors: An experimental study in dogs. *BMC Pulm Med*. 2004;4:8.
12. Camelier A, Rosa FW, Nascimento OA, Fernandes AL, Jardim JR. Discriminative properties and validity of a health status questionnaire in obstructive airway disease patients: the airway questionnaire 20. *Arch Bronconeumol*. 2007;43:662–8.
13. Jardim JR, Bizeto L, Fleig Mayer A, Camelier A, Rosa FW, Oliveira D, et al. An inhalation chamber model for controlled studies of tobacco smoke toxicity in rodents. *Arch Bronconeumol*. 2010;46:455–8.
14. Yi LC, Jardim JR, Inoue DP, Pignatari SS. The relationship between excursion of the diaphragm and curvatures of the spinal column in mouth breathing children. *J Ped*. 2008;84:171–7.
15. Gea J, Gáldiz JB, Comtois N, Zhu E, Salazkin I, Fiz JA, et al. Modifications of diaphragmatic activity induced by midline laparotomy and changes in abdominal wall compliance. *Arch Bronconeumol*. 2009;45:30–5.
16. Lederman HM, Khademian ZP, Felice M, Hurh PJ. Dose reduction fluoroscopy in pediatrics. *Pediatr Radiol*. 2002;32:844–8.
17. Freedman D, Pisani R, Purves R. *Statistics*. New Jersey: WW Norton & Co Inc; 2008.
18. West JB. *Mechanics of breathing*. in: *Respiratory physiology: the essentials*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1990. p. 87–113.