

**CONFIABILIDAD Y VALIDEZ DE LA EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD
COSTAL Y DE LA FUERZA DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS EN
ADULTOS CON ASMA**

YANNELY SERRANO VILLAR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE SALUD
ESCUELA DE FISIOTERAPIA
BUCARAMANGA
2015**

**CONFIABILIDAD Y VALIDEZ DE LA EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD
COSTAL Y DE LA FUERZA DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS EN
ADULTOS CON ASMA**

YANNELY SERRANO VILLAR

**Trabajo de investigación para optar el título de
Magister en Fisioterapia**

**Directora de Proyecto:
Ft. Msc. María Solange Patiño Segura**

**Codirector de Proyecto:
Md. Msc. Luis Carlos Orozco Vargas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE SALUD
ESCUELA DE FISIOTERAPIA
BUCARAMANGA
2015**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Dios, quien me ama con amor eterno y me regala los triunfos que no merezco.

A mi amada familia; mi esposo, Oscar David Acevedo Rueda, a quien le pertenece la mitad de este trabajo por hacer plural los propósitos de cada uno. A mis padres, hermana y cuñado, por apoyar la idea de que la formación académica es una buena inversión, aún en nuestro país. A mi sobrino Esteban, porque sólo necesita sonreír para mejorar cualquier momento.

Un agradecimiento especial, lleno de todo el cariño a la profesora María Solange Patiño Segura, por respetar y respaldar el deseo de profundizar en el área cardiorrespiratoria, y por los valiosos aportes hechos desde su formación específica.

Al profesor Luis Carlos Orozco, mi admiración y gratitud por lo poco que logré aprender de todo lo enseñado sobre investigación, y por haber sembrado en mí, el amor por la medición en salud.

Al profesor Carlos Arturo Conde por el apoyo brindado a la realización de este proyecto por medio de equipos, pero sobre todo por las ideas nuevas aportadas y por la confianza depositada.

A la Universidad Industrial de Santander y específicamente, a las personas que hacen parte de la Escuela de Fisioterapia por ser mi casa académica y por trabajar por la educación pública.

A las compas, Carolina, Eliana, Ingrid, Gabriela y Gloria por haber hecho más amenos los momentos difíciles y por continuar alegrándome la vida.

TABLA DE CONTENIDO

	PÁGS
INTRODUCCIÓN	20
1. OBJETIVOS	28
1.1 OBJETIVO GENERAL	28
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
2. MARCO TEÓRICO	29
2.1 ASMA	29
2.1.1 Generalidades: definición, fisiopatología	29
2.1.2 Patokinesis del asma	39
2.1.2.1 Disfunción en la mecánica ventilatoria, en el transporte mucociliar y en el intercambio gaseoso	39
2.1.2.2 Alteración de los músculos respiratorios: diafragma, intercostales y abdominales	39
2.1.2.3 Alteración de la capacidad aeróbica y limitaciones funcionales	63
2.2 EVALUACIÓN DE PRUEBAS DIAGNÓSTICAS	66
2.2.1 Propiedades psicométricas de la medición	67
2.2.1.1 Confiabilidad	67
2.2.1.2 Validez	70
2.2.1.3 Sensibilidad al cambio	72
2.3 VALORACIÓN DE LA MOVILIDAD COSTAL EN EL ASMA	72
2.3.1 Biomecánica de la respiración	73
2.3.2 Índice de Amplitud Torácica	77
2.3.3 Cinemática del tórax	83
2.4 VALORACIÓN DE LA FUNCIÓN MUSCULAR RESPIRATORIA EN EL ASMA	92
2.4.1 Generalidades de los músculos respiratorios	92

2.4.2 Evaluación de la función muscular respiratoria	98
2.4.3 Valoración Muscular Manual (VMM)	100
2.4.4 Presiones Respiratorias Estáticas (PIM y PEM)	103
3. MATERIALES Y MÉTODOS	108
3.1 DISEÑO DEL ESTUDIO	108
3.2 POBLACIÓN DE ESTUDIO	108
3.2.1 Descripción	108
3.2.2 Criterios de inclusión	108
3.2.3 Criterios de exclusión	109
3.2.4 Tamaño de la muestra y muestreo	110
3.3 VARIABLES DE ESTUDIO	114
3.3.1 Variables sociodemográficas	114
3.3.2 Variables antropométricas	115
3.3.3 Variables relacionadas con la enfermedad	115
3.3.4 Variables de monitorización	115
3.3.5 Variables de movilidad de la reja costal	115
3.3.6 Variables de fuerza de los músculos respiratorios	116
3.4 PROCEDIMIENTO	117
3.4.1 Fase I: Prueba piloto	117
3.4.2 Fase II: Recolección y análisis de la información	132
3.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	133
3.5.1 Elaboración y validación de la base de datos	133
3.5.2 Análisis univariado	133
3.5.3 Análisis de la confiabilidad intra-evaluador y entre-evaluadores	133
3.5.4 Análisis de la validez de constructo externa convergente	134
3.5.5 Valores de referencia para analizar la confiabilidad y la validez del	135

IAT y de la VMM	
3.6 CONTROL DE POSIBLES SESGOS	137
3.6.1 Sesgo de selección	137
3.6.2 Sesgo de clasificación	138
3.7 CONSIDERACIONES ÉTICAS	139
3.8 PRESUPUESTO	141
3.9 CRONOGRAMA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO	142
4. RESULTADOS ESPERADOS	143
5. IMPACTO ESPERADO	144
6. RESULTADOS	145
6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN	145
6.2 CARACTERÍSTICAS ESPIROMÉTRICAS	145
6.3 CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON LA ENFERMEDAD	147
6.4 RESULTADOS DE LA CONFIABILIDAD PARA EL IAT	149
6.4.1 Nivel de acuerdo del IAT	150
6.4.2 Reproducibilidad del IAT	153
6.5 RESULTADOS DE LA REPRODUCIBILIDAD DE LA VMM DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS	154
6.5.1 Descripción de la VMM	154
6.5.2 Reproducibilidad intra-evaluadores de la VMM	156
6.5.3 Reproducibilidad entre-evaluadores de la VMM	157
6.6 RESULTADOS DE VALIDEZ EXTERNA ENTRE EL IAT Y LA CINEMÁTICA DEL TÓRAX	159
6.6.1 Validez externa entre el IAT y la cinemática del tórax, valor máximo	160
6.6.2 Validez externa entre el IAT y la cinemática del tórax, valor promedio	162
6.7 RESULTADOS DE VALIDEZ EXTERNA ENTRE LA VMM Y LAS PRESIONES RESPIRATORIAS ESTÁTICAS	164

6.7.1 Distribución y descripción de las presiones respiratorias	164
6.7.2 Análisis de correlación	165
7. DISCUSIÓN	166
7.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO	166
7.2 CONFIABILIDAD PARA EL IAT	168
7.2.1 Descripción del IAT	168
7.2.2 Nivel de acuerdo del IAT	171
7.2.3 Reproducibilidad del IAT	173
7.3 REPRODUCIBILIDAD DE LA VMM DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS	176
7.3.1 Descripción de la VMM	176
7.3.2 Reproducibilidad intra-evaluadores de la VMM	177
7.3.3 Reproducibilidad entre-evaluadores de la VMM	179
7.4 VALIDEZ CONVERGENTE DEL IAT CON LA CINEMÁTICA COSTAL	183
7.4.1 Resultado de la reproducibilidad del análisis cinemático	183
7.4.2 Descripción de la cinemática del tórax	183
7.4.3 Correlación entre el IAT y la cinemática del tórax	184
7.5 VALIDEZ CONVERGENTE DE LA VMM CON LAS PRESIONES RESPIRATORIAS ESTÁTICAS	186
7.5.1 Descripción de las presiones respiratorias estáticas	186
7.5.2 Correlación entre la VMM y las presiones respiratorias estáticas	187
7.6 RECOMENDACIONES E IMPLICACIONES PARA LA PRÁCTICA CLÍNICA	191
8. FORTALEZAS DEL ESTUDIO	193
9. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES	194
10. CONCLUSIONES	196

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	197
ANEXOS	226

LISTADO DE FIGURAS

		PÁGS
Figura 1.	Reacción inflamatoria en el asma	31
Figura 2.	Interacción entre el fenotipo, la severidad y el nivel de control del asma	38
Figura 3.	Modificaciones de la mecánica ventilatoria en el asma	44
Figura 4.	Posición correcta para la medición de la talla en posición de pie	120
Figura 5.	IAT a nivel axilar	122
Figura 6.	IAT a nivel xifoideo	123
Figura 7.	IAT a nivel abdominal	123
Figura 8.	Referentes óseos	124
Figura 9.	Marcadores anatómicos en la vista anterior	124
Figura 10.	Marcadores anatómicos en la vista lateral	125
Figura 11.	Marcadores anatómicos en la vista posterior	125
Figura 12.	Análisis fotogramétrico mediante el SAPO	125
Figura 13.	Evaluación del diafragma	126
Figura 14.	Evaluación de los intercostales externos	126
Figura 15.	Evaluación de los abdominales	128
Figura 16.	Manómetro para la medición de la PIM y PEM	129
Figura 17.	Flujograma del proyecto	131
Figura 18.	Características espirométricas de la muestra	147
Figura 19.	Distribución del IAT, valor máximo	149
Figura 20.	Nivel de acuerdo intra-evaluador del IAT, valor máximo	150
Figura 21.	Nivel de acuerdo del IAT entre-evaluadores, valor promedio, medición 1	152

Figura 22.	Nivel de acuerdo entre-evaluadores del IAT, valor máximo, medición 2	152
Figura 23.	Distribución de la cinemática utilizando el valor máximo	160
Figura 24.	Relación de la cinemática y el IAT, valor máximo	162
Figura 25.	Distribución de la cinemática utilizando el valor promedio	163
Figura 26.	Correlación entre la cinemática y el IAT utilizando el valor promedio	164
Figura 27.	Distribución de las presiones respiratorias estáticas	165

LISTADO DE TABLAS

		PÁGS
Tabla 1.	Niveles de control del asma	36
Tabla 2.	Clasificación del asma según la severidad	40
Tabla 3.	Grado de severidad de una alteración obstructiva con base en el VEF ₁	42
Tabla 4.	Presión inspiratoria máxima (PIM) en asmáticos comparados con sus controles	51
Tabla 5.	Cálculo de tamaño de muestra para reproducibilidad del IAT y de las presiones respiratorias estáticas	112
Tabla 6.	Cálculo de tamaño de muestra para validez de constructo externa convergente	113
Tabla 7.	Cálculo de tamaño de muestra para reproducibilidad, a partir de los resultados de la prueba piloto	113
Tabla 8.	Cálculo de tamaño de muestra para validez convergente, a partir de los resultados de la prueba piloto	114
Tabla 9.	Valores de referencia para establecer la confiabilidad y validez del IAT y de la VMM	136
Tabla 10.	Presupuesto del proyecto	141
Tabla 11.	Cronograma del proyecto	142
Tabla 12.	Impacto esperado	144
Tabla 13.	Características sociodemográficas y antropométricas de la muestra	145
Tabla 14.	Características espirométricas de la muestra	146
Tabla 15.	Variables relacionadas con el asma	148
Tabla 16.	Descripción del IAT en la muestra	149
Tabla 17.	Límites de acuerdo intra-evaluadores del IAT	151
Tabla 18.	Límites de acuerdo entre-evaluadores del IAT	152

Tabla 19.	Reproducibilidad intra-evaluador del IAT	153
Tabla 20.	Reproducibilidad entre-evaluador del IAT	154
Tabla 21.	Descripción de la VMM en las mediciones 1 y 2	155
Tabla 22.	Descripción de la VMM (promedio absoluto)	156
Tabla 23.	Reproducibilidad intra-evaluador de la VMM para la evaluadora 1	156
Tabla 24.	Reproducibilidad intra-evaluador de la VMM para la evaluadora 2	157
Tabla 25.	Reproducibilidad entre-evaluadoras de la VMM en la Medición 1	158
Tabla 26.	Reproducibilidad entre-evaluadoras de la VMM en la Medición 2	158
Tabla 27.	Reproducibilidad general entre evaluadoras	158
Tabla 28.	Reproducibilidad general entre los dos días de medición	159
Tabla 29.	Reproducibilidad intra-evaluador del análisis cinemático	159
Tabla 30.	Descripción de la cinemática en la muestra	161
Tabla 31.	Correlación entre la cinemática y el IAT, utilizando los valores máximos	161
Tabla 32.	Correlación entre la cinemática y el IAT, utilizando el promedio	163
Tabla 33.	Descripción de las presiones respiratorias estáticas	165
Tabla 34.	Correlación entre las presiones respiratorias estáticas y la VMM	165

LISTADO DE ANEXOS

	PÁGS
Anexo A. Síntesis de los artículos publicados sobre el IAT	226
Anexo B. Diagnóstico del asma en adultos en fase estable	232
Anexo C. Material educativo “Manejo de Inhaladores” y “Manejo de Inhalocámara”	233
Anexo D. Resultados de la estandarización y de la prueba piloto	237
Anexo E. Formato de ingreso	249
Anexo F. Formato de monitorización y de evaluación de la movilidad torácica y fuerza de los músculos respiratorios	253
Anexo G. Definición operacional de las variables de estudio	255
Anexo H. Carta de consentimiento informado	258
Anexo I. Protocolo de medición de las variables	265
Anexo J. Referentes para la valoración de las variables evaluadas	280
Anexo K. Aval del comité de ética de la Universidad Industrial de Santander	284
Anexo L. Valores espirométricos para cada participante	286
Anexo M. Distribución de las variables cuantitativas del proyecto	287
Anexo N. Comparación de resultados entre estudios	292
Anexo O. Productos académicos	288

LISTADO DE ABREVIATURAS

CCI	Coeficiente de correlación intraclase
CPT	Capacidad pulmonar total
CRF	Capacidad residual funcional
CVF	Capacidad vital forzada
VMM	Valoración muscular manual
EPOC	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
FEF25%:	Flujo espiratorio forzado al 25% de la CVF
PEF	Pico flujo espiratorio
PIM	Presión inspiratoria máxima
PEM	Presión espiratoria máxima
RAE	Diccionario de la real academia de la lengua española
SAPO	Software para la evaluación postural
VR	Volumen residual

RESUMEN

TÍTULO: CONFIABILIDAD Y VALIDEZ DE LA EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD COSTAL Y DE LA FUERZA DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS EN ADULTOS CON ASMA*

AUTOR: YANNELY SERRANO VILLAR**

PALABRAS CLAVE: ASMA, MOVILIDAD TORÁCICA, FUERZA MÚSCULOS RESPIRATORIOS, REPRODUCIBILIDAD, VALIDEZ.

El Índice de Amplitud Torácica (IAT) y la Valoración Muscular Manual (VMM) son herramientas útiles para evaluar la mecánica ventilatoria en adultos con asma; sin embargo, en la literatura revisada existen pocos estudios que determinan sus propiedades psicométricas.

Este proyecto evaluó la confiabilidad y la validez del IAT y de la VMM de los músculos respiratorios, en adultos con asma. Se desarrolló un estudio de pruebas diagnósticas, con muestreo tipo corte transversal; asignación aleatoria a las mediciones realizadas de forma independiente por dos evaluadoras. Se incluyeron variables de movilidad torácica (IAT y cinemática) a nivel axilar, xifoideo y abdominal; de fuerza muscular (VMM y presiones respiratorias estáticas); y variables sociodemográficas, antropométricas y relacionadas con la enfermedad.

La confiabilidad del IAT se evaluó por el nivel de acuerdo, con el método de Bland y Altman; y por la reproducibilidad, utilizando el coeficiente de correlación intraclass (CCI2,k). La reproducibilidad de la VMM fue medida utilizando la kappa ponderada. La validez de constructo externa convergente entre el IAT entre y la cinemática, y entre la VMM y las presiones respiratorias, se evaluó con el coeficiente de correlación de Pearson. El nivel de significancia fue $p < 0,05$.

Participaron 26 adultos, en fase estable del asma. Para el IAT, la confiabilidad intra y entre-evaluadores estuvo entre aceptable y buena; la reproducibilidad de la VMM, entre sustancial y moderada. En ambos casos, la validez estuvo entre moderada y alta.

El IAT y la VMM son mediciones válidas y reproducibles que pueden ser utilizadas para evaluar la movilidad del tórax y la fuerza de los músculos respiratorios en adultos con asma; en el ámbito clínico contribuyen a una valoración objetiva, y en investigación, pueden ser útiles para demostrar los resultados de las intervenciones, disminuyendo la probabilidad de que los resultados sean influenciados por la variabilidad en las mediciones.

* Trabajo de grado

** Facultad de Salud. Escuela de fisioterapia. Maestría en fisioterapia. Directora: Ft. McS. María Solange Patiño Segura

SUMMARY

TITLE: RELIABILITY AND VALIDITY OF THE EVALUATION OF THE SIDE MOBILITY AND OF THE FORCE OF THE RESPIRATORY MUSCLES IN ADULTS WITH ASTHMA

AUTHOR: YANNELY SERRANO VILLAR**

KEY WORDS: ASTHMA, THORACIC MOBILITY, STRENGTH RESPIRATORY MUSCLE, REPRODUCIBILITY AND VALIDITY.

The thoracic amplitude Index (IAT) and the muscle assessment Manual (VMM) are useful tools for evaluating the mechanical ventilation in adults with asthma; however, the studied literature shows few studies that determine its psychometric properties.

This project evaluated the reliability and validity of IAT and VMM of the respiratory muscles in adults with asthma. A study of diagnostic tests was developed, with a cross - type sampling section; random measurements were performed independently by two evaluators. Thoracic mobility variables were included (IAT and kinematics) at an auxiliary level, xiphoid and abdominal; and muscle strength variables (VMM and static respiratory pressures); and sociodemographic, anthropometric and disease-related variables.

The reliability of the IAT was assessed by the level of agreement with the Bland and Altman method; and by the reproducibility, using the intraclass coefficient correlation (CCI2, k). The reproducibility of the VMM was measured using the weighted kappa. The validity of external converged construct between IAT and the kinematics, and between the VMM and the respiratory pressures, were evaluated with the Pearson correlation coefficient. The level of significance was $p < 0.05$.

26 adults participated; they were at a stable phase of asthma. For the IAT, the reliability intra and between evaluators it was between acceptable and good; the reliability of the GMM, between substantial and moderate. In both cases, the validity was between moderate and high.

The IAT and the VMM are valid and reproducible measurements that can be used to evaluate the mobility of the thorax and the strength of the respiratory muscles in adults with asthma; in a clinical setting, they contribute to an objective assessment, and in research, they may be useful to demonstrate the results of interventions, decreasing the probability of outcomes being influenced by variability in the measurements.

* Degree project

** Faculty of Health. School of Physiotherapy. Master's degree in Physical Therapy. Director: Ft. MsC. María Solange Patiño Segura. Co-director: Md. MsC. Luis Carlos Orozco Vargas.

CONFIABILIDAD Y VALIDEZ DE LA EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD COSTAL Y DE LA FUERZA DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS EN ADULTOS CON ASMA

INTRODUCCIÓN

En el año 2010, el asma fue considerada la enfermedad respiratoria crónica más común en todo el mundo, con 300 millones de personas diagnosticadas¹. Esta cifra se ha incrementado durante los últimos 40 años y para el 2025, podrían ser 100 millones adicionales los individuos con asma^{2,3,4,5,6}. De igual forma, la prevalencia ha aumentado en los países en desarrollo², aumento que se refleja en los países de América Latina con prevalencias más altas en los centros urbanos pobres comparados con las zonas rurales. En general, las estimaciones de la prevalencia de asma en Latinoamérica son muy variables y van desde 0,4% en Perú a 19,1% en Brasil⁷.

En Colombia, un estudio de corte transversal que incluyó seis ciudades, reportó en 2010 una prevalencia general de asma del 12%, siendo mayor para Bucaramanga (33,63%)⁸. El último reporte del Observatorio de Salud de Santander confirma

¹ BOUSQUET, Jean, *et al.* Prioritized research agenda for prevention and control of chronic respiratory diseases. En: European Respiratory Journal. Marzo, 2010, vol. 36, no. 5, p. 995-1001.

² BEASLEY, Richard. *et al.* Prevalence and etiology of asthma. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Febrero, 2000, vol. 105, p. S466-S472.

³ VERLATO, Giuseppe, *et al.* Is the prevalence of adult asthma and allergic rhinitis still increasing? Results of an Italian study. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Junio, 2003, vol. 111, p. 1232-1238.

⁴ MASOLI, Matthew, *et al.* The global burden of asthma: executive summary of the GINA dissemination committee report. En: Allergy. Mayo, 2004, vol. 59, p. 469-478.

⁵ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Global surveillance, prevention and control of chronic respiratory diseases. A comprehensive approach. Switzerland: WHO Library, 2007. p. 15-21.

⁶ GLOBAL STRATEGY FOR ASTHMA MANAGEMENT AND PREVENTION, Global Initiative for Asthma (GINA). Enero, 2011.

⁷ COOPER, Philip, *et al.* Asthma in Latin America: a public health challenge and research opportunity. En: Allergy. Enero, 2009, vol. 64, p. 5-17.

⁸ DENNIS VERANO, Rodolfo José, *et al.* Prevalence of asthma and other allergic conditions in Colombia 2009-2010: a cross-sectional study. En: BMC Pulm Med. Mayo, 2012, vol. 12, p. 17-26.

estos datos, encontrando en 2009, que el asma fue la onceava causa de consulta de urgencias en la población adulta en todo el departamento⁹.

Sumado a su alta prevalencia, se le atribuye la muerte de cerca de 250.000 personas al año alrededor del mundo⁴⁻⁶. En Colombia, la mortalidad por asma disminuyó desde los años 80' a los 90', siendo en 1994 de 1,6 por cada 100.000 habitantes¹⁰. Sin embargo, en Santander, las enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores fueron la quinta causa de muerte en 2009⁹.

La elevada prevalencia y el carácter crónico de la enfermedad, la convierten en una gran carga económica a nivel internacional. En países desarrollados se calculó para 1991 un costo anual entre \$326 y \$1315 dólares por persona afectada; estas cifras se incrementan con la severidad y la falta de manejo apropiado¹¹. En Colombia, el asma tiene un impacto económico sustancial; antes del 2001, el 62% de los pacientes habían gastado entre \$100.000 y \$300.000 mensuales y el 48% de ellos había tenido incapacidad laboral de por lo menos un día¹².

Estas cifras muestran que el impacto económico y la morbilidad son lo suficientemente altos para considerar el asma como un problema de salud pública en Colombia, hecho que necesita el reconocimiento gubernamental para obtener y destinar los recursos que permitan disminuir el impacto negativo de la enfermedad^{6,12}.

⁹ RODRÍGUEZ VILLAMIZAR, Laura Andrea, *et al.* Diagnóstico de salud en Santander. Edición Especial. En: Revista del Observatorio de Salud Pública de Santander. Abril, 2012, vol. 1, p. 46–110.

¹⁰ VERGARA, Candelaria y CARABALLO, Luis. Asthma mortality in Colombia. En: Annals of Allergy, Asthma & Immunology. Enero, 1998, vol. 80, p. 55–60.

¹¹ WEISS, Kevin y SULLIVAN, Sean. The health economics of asthma and rhinitis. I. Assessing the economic impact. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Enero, 2001, vol. 107, p. 3-8.

¹² ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE NEUMOLOGÍA Y CIRUGÍA DE TÓRAX. Comité Nacional Conjunto de Asma. Asma. Guías para diagnóstico y manejo. En: Revista Colombiana de Neumología. Septiembre, 2003, vol. 15, p. S1-S84.

Para lograr un manejo óptimo del asma como problema de salud pública, se requiere evaluar las alteraciones estructurales y funcionales, y las deficiencias que afectan la calidad de vida de esta población. En este sentido, se destaca la hiperinflación pulmonar intermitente que produce alteraciones en la cinemática costal y en la fuerza muscular. Por lo tanto, la evaluación de la fuerza de los músculos respiratorios y de la movilidad costal son herramientas valiosas para determinar las consecuencias funcionales y el nivel de control del asma¹³.

Con el avance tecnológico se han desarrollado diversas herramientas para la valoración de la función muscular¹⁴ y de la movilidad costal^{15,16,17,18,19,20,21}, sin embargo, en el ámbito clínico se continúan aplicando la Valoración Muscular Manual (VMM) y el Índice de Amplitud Torácica (IAT) por ser técnicas de fácil aplicación y bajo costo. En la literatura revisada hasta el momento, las propiedades psicométricas de la VMM han sido evaluadas para músculos de las extremidades, en individuos con alteraciones neuromusculares^{22,23,24}, del sistema

¹³ LAGHI, Franco y TOBIN, Martin. Disorders of the respiratory muscles. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Marzo, 2003, vol. 168, p. 10–48.

¹⁴ AMERICAN THORACIC SOCIETY, Board of directors y EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY, Executive committee. ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Agosto, 2002, vol. 166, p. 518–624.

¹⁵ CALA, Stephen, *et al.* Chest wall and lung volume estimation by optical reflectance motion analysis. En: Journal of Applied Physiology. Diciembre, 1996, vol. 81, p. 2680–2689.

¹⁶ GORINI, Massimo, *et al.* Chest wall hyperinflation during acute bronchoconstriction in asthma. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Marzo, 1999, vol. 160, p. 808–816.

¹⁷ BOCKENHAUER, Susan, *et al.* Measuring thoracic excursion: reliability of the cloth tape measure technique. En: The Journal of the American Osteopathic Association. Mayo, 2007, vol. 107, no. 5, p. 19–196.

¹⁸ MALAGUTI, Carla, *et al.* Reliability of chest wall mobility and its correlation with pulmonary function in patients with chronic obstructive pulmonary disease. En: Respiratory Care. Diciembre, 2009, vol. 54, no. 12, p. 1703–1711.

¹⁹ ROMEI, Marianna, *et al.* Effects of gender and posture on thoraco-abdominal kinematics during quiet breathing in healthy adults. En: Respiratory Physiology & Neurobiology. Mayo, 2010, vol. 172, p. 184–191.

²⁰ DAVIDSON, Josy, *et al.* Photogrammetry: an accurate and reliable tool to detect thoracic musculoskeletal abnormalities in preterm infants. En: Physiotherapy. Septiembre, 2012, vol. 98, p. 243–249.

²¹ MUELLER, Gabi, *et al.* Reproducibility of assessing rib cage mobility from computed tomography images. En: Clinical Physiology and Functional Imaging. Febrero, 2012, vol. 32, p. 282–287.

²² CUTHBERT, Scott y GOODHEART, George. On the reliability and validity of manual muscle testing: a literature review. En: Chiropractic & Osteopathy. Marzo, 2007, vol. 15, p. 1–23.

²³ FAN, Eddy, *et al.* Inter-rater reliability of manual muscle strength testing in ICU survivors and simulated patients. En: Intensive Care Medicine. Marzo, 2010, vol. 36, p. 1038–1043.

²⁴ VANHOUTTE, Els Karla, *et al.* Modifying the Medical Research Council grading system through Rasch analyses. En: Brain. Enero, 2012, vol. 135, p. 1639–1649.

nervioso central²⁵ y musculo-esqueléticas²⁶; en tanto que para los músculos respiratorios no se encontraron estudios.

Los trabajos que evalúan las propiedades psicométricas del IAT^{17,19,27,28} presentan limitaciones metodológicas. En dos de ellos, los autores aplican las pruebas a individuos sanos^{17,27}, lo que impide extrapolar sus resultados a personas asmáticas; adicionalmente, las pruebas estadísticas aplicadas no son pertinentes para los objetivos planteados. Las otras dos investigaciones evaluaron adultos con patologías respiratorias obstructivas¹⁸ y niños con fibrosis quística²⁸; por ello, los resultados no son aplicables a personas adultas con asma en fase estable^{18,28}.

El asma es considerada un desorden inflamatorio crónico de las vías aéreas, usualmente asociado con respuesta bronquial aumentada y con obstrucción variable del flujo aéreo²⁹. El tratamiento debe ser guiado hacia el control de la enfermedad^{6,30}, y estar fundamentado en la evaluación de la función respiratoria, con base en pruebas de función pulmonar y muscular.

La obstrucción al flujo aéreo actúa como carga intermitente sobre los músculos respiratorios, lo que podría producir sobrecarga muscular durante las crisis y permitir la recuperación entre ellas¹³. La fuerza muscular inspiratoria medida por la Presión Inspiratoria Máxima (PIM) para las personas con asma ha sido estimada en -50cmH₂O en la fase aguda³¹ y en -114cmH₂O en la fase estable³². Al comparar sujetos con y sin asma en el periodo entre las crisis, Newell y de

²⁵ GREGSON, Janine, *et al.* Reliability of measurements of muscle tone and muscle power in stroke patients. *En:* Age Ageing. Septiembre, 2000, vol. 29, p. 223–228.

²⁶ HOUGH, Catherine; LIEU, Binh y CALDWELL, Ellen. Manual muscle strength testing of critically ill patients: feasibility and interobserver agreement. *En:* Critical Care. Enero, 2011, vol. 15, no. 1, p. R43–R50.

²⁷ CALDEIRA, Valéria da Silva, *et al.* Precisão e acurácia da cirtometria em adultos saudáveis. *En:* Jornal Brasileiro de Pneumologia. Enero, 2007, vol. 33, p. 519–526.

²⁸ CUSTERS, Jane, *et al.* Thoracic excursion measurement in children with cystic fibrosis. *En:* Journal of Cystic Fibrosis. Mayo, 2005, vol. 4, p. 129–133.

²⁹ GRUPO RESPIRATORIO DE ATENCIÓN PRIMARIA, Sociedad Española de Medicina Rural y Generalista, Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica, Sociedad Española de Neumología Pediátrica, Asociación Asmatológica Catalana. *En:* Guía Española para el Manejo del Asma (GEMA). Enero, 2009.

³⁰ GARCÍA DE TENA, Jaime. Avances en el tratamiento del asma y de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Aplicaciones a la práctica clínica. *En:* Medicine. Diciembre, 2009, vol. 10, p. 3055–3064.

³¹ LAVIETES, Marc, *et al.* Inspiratory muscle strength in asthma. *En:* Chest. Mayo, 1988, vol. 93, p.1043–1048.

³² GORMAN, Robert, *et al.* Inspiratory muscle strength and endurance during hyperinflation and histamine induced bronchoconstriction. *En:* Thorax. Noviembre, 1992, vol. 47, p. 922-927.

Bruin^{33,34} reportaron una PIM 21cmH₂O menor en los asmáticos ($p<0,05$). De igual forma, Stell y col.³⁵ mostraron que la PIM medida a nivel nasal fue menor en adultos con asma aguda, que en los controles (diferencia de 16,2cmH₂O para hombres y 25,2cmH₂O para mujeres, $p<0,05$)³⁵.

Sumado a la menor capacidad de generar PIM, y para disminuir la probabilidad de presentar fatiga respiratoria, se ha descrito una reducción en la excitación neta de las moto-neuronas inspiratorias en los sujetos asmáticos, en comparación con los sanos^{13,36}. Cuando se encuentran clínicamente estables y se coloca una oclusión transitoria en las vías respiratorias, estas personas exhiben una inhibición inicial de los músculos respiratorios del 50% (latencia en los no asmáticos de 42,7ms y en los asmáticos de 64,6ms), que se incrementa un 30% durante la broncoconstricción³⁶.

En el ámbito clínico usualmente no se cuenta con todos los recursos tecnológicos para complementar la valoración de la función muscular, tales como el medidor de presiones inspiratoria y espiratoria máximas (PIM y PEM)^{14,37,38,39,40,41,42}, la

³³ NEWELL, Sean; MCKENZIE, David y GANDEVIA, Simon. Inspiratory and skeletal muscle strength and endurance and diaphragmatic activation in patients with chronic airflow limitation. En: Thorax. Noviembre, 1989, vol. 44, p. 903–912.

³⁴ DE BRUIN, Peter, *et al.* Size and strength of the respiratory and quadriceps muscles in patients with chronic asthma. En: European Respiratory Journal. Enero, 1997, vol. 10, p. 59 – 64.

³⁵ STELL, Ian, *et al.* Inspiratory muscle strength in acute asthma. En: Chest. Septiembre, 2001, vol. 120, p. 757–764.

³⁶ BUTLER, Jane; MCKENZIE, David y GANDEVIA, Simon. Impaired reflex responses to airway occlusion in the inspiratory muscles of asthmatic subjects. En: Thorax. Mayo, 1996, vol. 51, p. 490-495.

³⁷ SHAFFER, Thomas; WOLFSON, Marla y BHUTANI, Vinod. Respiratory muscle function, assessment, and training. En: Physical Therapy. Diciembre, 1981, vol. 61, p. 1711-1723.

³⁸ REID, Darlene y DECHMAN, Gail. Considerations when testing and training the respiratory muscles. En: Physical Therapy. Noviembre, 1995, vol. 75, p. 971-982.

³⁹ CLANTON, Thomas y DIAZ, Philip. Clinical assessment of the respiratory muscles. En: Physical Therapy. Noviembre, 1995, vol. 75, p. 983–995.

⁴⁰ POLKEY, Michael; GREEN, Malcom y MOXHAM, Jhon. Measurement of respiratory muscle strength. En: Thorax. Febrero, 1995, vol. 50, p. 1131-1135.

⁴¹ SYABBALO, Nightingale. Assessment of respiratory muscle function and strength. En: Postgraduate Medical Journal. Abril, 1998, vol. 74, p. 208–215.

⁴² RATNOVSKY, Anat, *et al.* Integrated approach for in vivo evaluation of respiratory muscles mechanics. En: Journal of Biomechanics. Diciembre, 2003, vol. 36, p. 1771–1784.

espirometría^{14,42,43,44} y la electromiografía^{14,37,39,42,45,46}; por lo tanto, se han utilizado tradicionalmente la observación del patrón respiratorio⁴³, la movilización costal y la palpación de la contracción muscular^{37,40,47}, como parte de la VMM, que se reconoce como una medición sencilla, económica y accesible⁴⁸.

La obstrucción al flujo de aire conlleva también a hiperinflación intermitente, que genera adaptaciones en la reja costal para movilizar el volumen de aire atrapado^{13,16}, y disminución de la movilidad costal (índice de amplitud entre uno y dos puntos menor para asmáticos, comparados con sanos)⁴⁹. El IAT se utiliza en el ámbito clínico por ser una técnica sencilla, económica y de fácil aplicación, a pesar de los diversos resultados de la evaluación de sus propiedades psicométricas^{17,27,18,28,49}.

Otra forma de medir la movilidad del tórax es mediante el análisis cinemático de la respiración; sin embargo, esta técnica requiere de un equipo y entrenamiento para su aplicación. El análisis computarizado de la imagen necesita de un mayor tiempo por persona (comparado con el IAT), lo que incrementa los costos de su aplicación y minimiza su utilidad en el escenario clínico¹⁸. Por lo tanto, es necesario determinar de manera sencilla, las adaptaciones en la movilidad costal en

⁴³ PELLEGRINO, Riccardo, *et al.* Interpretative strategies for lung function tests. En: European Respiratory Journal. Noviembre, 2005, vol. 26, p. 948–968.

⁴⁴ MILLER, Martin, *et al.* Standardization of spirometry. En: European Respiratory Journal. Agosto, 2005, vol. 26, p. 319–338.

⁴⁵ GANDEVIA, Simon; MCKENZIE, David y PLASSMAN, Bob. Activation of human respiratory muscles during different voluntary maneuvers. *The Journal of Physiology*. Septiembre, 1990, vol. 428, p. 387–403.

⁴⁶ MAARSINGH, Eric, *et al.* Respiratory muscle activity measured with a noninvasive EMG technique: technical aspects and reproducibility. En: Journal of Applied Physiology. Junio, 2000, vol. 88, p. 1955–1961.

⁴⁷ KISPERS, Claire. Clinical measurements to assess cardiopulmonary function. En: Physical Therapy. Diciembre, 1987, vol. 67, p. 1886–1890.

⁴⁸ HISLOP, Helen; MONTGOMERY Jacqueline y CONNOLLY, Barbara. Examen de los músculos del tronco. En: Pruebas funcionales musculares. 4 ed. Madrid: Marbán Libros, 2002. p. 41–55.

⁴⁹ PEDROLONGO, Renata, *et al.* Relação da medida da amplitude tóraco-abdominal de adolescentes asmáticos e saudáveis com seu desempenho físico. En: Fisioterapia em Movimento. Marzo, 2011, vol. 24, p. 107–114.

personas con asma, con el fin de orientar el control de la evolución de la enfermedad a lo largo del ciclo vital⁵⁰.

Por lo anterior, es necesario evaluar las propiedades psicométricas de las evaluaciones que se utilizan en la práctica clínica, tomando como referentes instrumentos y pruebas objetivas. En este sentido, se debe explorar la confiabilidad de la VMM y su validez con respecto a una medición más objetiva como la PIM y PEM; al igual que para el IAT, comparada con la cinemática del tórax durante el ciclo respiratorio. De tal forma, que se complemente la evaluación de la mecánica ventilatoria en el asma, para monitorizar el control de la enfermedad y fundamentar los programas de intervención dirigidos a controlar los síntomas, prevenir las complicaciones, mejorar la funcionalidad y la calidad de vida de esta población^{6,29,51}.

Estos programas de intervención, ya sean individuales o grupales, deben estar orientados por un grupo interdisciplinario de profesionales de la salud, dentro del cual el fisioterapeuta desempeña un papel fundamental tanto en la aplicación de los procedimientos de evaluación de la función respiratoria, como en el desarrollo de la intervención fundamentada en principios científicos^{52,53}. Con esta participación se cumple el principio de autonomía consignado en la Ley 528 de 1999, el cual rige el ejercicio de la Fisioterapia en Colombia⁵⁴.

⁵⁰ ROCHE, Nicolas, *et al.* Clinical practice guidelines: Medical follow-up of patients with asthma—adults and adolescents. En: Respir Med. Septiembre, 2005, vol. 99, p. 793–815.

⁵¹ APTER, Andrea. Advances in adult asthma diagnosis and treatment and health outcomes, education, delivery, and quality in 2011: What goes around comes around. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Enero, 2012, vol. 129, p. 69-75.

⁵² AMERICAN THORACIC SOCIETY. Pulmonary Rehabilitation 1999. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Noviembre, 1999, vol. 159, p.1666–1682.

⁵³ HILL, Nicholas. Pulmonary Rehabilitation. En: Proceedings of the American Thoracic Society. Marzo, 2006, vol. 3, no. 1, p.: 66–74.

⁵⁴ COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 528 de 1999. (20, septiembre, 1999). Por la cual se reglamenta el ejercicio de la profesión de fisioterapia, se dictan normas en materia ética profesional y otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, 1999. no. 43.711. 11p.

De forma específica, para el fisioterapeuta que se está formando a nivel de maestría, es relevante investigar en el área respiratoria para evaluar y validar las herramientas de evaluación, las cuales permitan determinar la efectividad de las intervenciones dirigidas a mejorar la mecánica ventilatoria en diferentes patologías¹⁸.

Este proyecto es coherente con lo planteado en el componente de medición, desarrollo y validación, de la agenda internacional de investigación en Fisioterapia⁵⁵, y en el contexto local, da continuidad a la línea de investigación de Evaluación de tecnologías diagnósticas en salud, del grupo Movimiento Armonía y Vida, de la Escuela de Fisioterapia, de la Universidad Industrial de Santander.

⁵⁵ Goldstein Marc, *et al.* The revised research agenda for Physical Therapy. En: Physical Therapy. Febrero, 2011, vol. 91, no. 2, p. 165-174.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la confiabilidad y la validez del índice de amplitud torácica (IAT) y de la valoración muscular manual (VMM) de los músculos intercostales externos, diafragma y abdominales en una población de adultos asmáticos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el nivel de acuerdo y la reproducibilidad intra-evaluador y entre-evaluadores del índice de amplitud torácica durante la respiración, en adultos con asma.
- Evaluar la reproducibilidad intra-evaluador y entre-evaluadores de la valoración muscular manual de los músculos intercostales externos, diafragma y abdominales, en adultos con asma.
- Determinar la validez convergente del índice de amplitud torácica durante la respiración, comparada con la cinemática de la respiración, en adultos con asma.
- Determinar la validez convergente de la valoración muscular manual de los músculos respiratorios, comparados con la medición de las presiones inspiratorias y espiratorias máximas, en adultos con asma.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ASMA

2.1.1 Generalidades: definición y fisiopatología. De acuerdo con la estrategia global para el manejo y la prevención del asma (GINA, por sus siglas en inglés), la patogénesis del asma no es clara, sin embargo, se han identificado factores genéticos y ambientales que determinan la manifestación de sus características clínicas y fisiopatológicas; las cuales han fundamentado la definición del asma como un “desorden inflamatorio crónico de las vías aéreas en la que desempeñan un papel destacado determinadas células y mediadores. Este proceso se asocia a la presencia de respuesta bronquial exagerada que produce episodios recurrentes de sibilancias, disnea, opresión torácica y tos, particularmente durante la noche o la madrugada. Estos episodios se asocian generalmente con un mayor o menor grado de obstrucción al flujo aéreo, a menudo reversible de forma espontánea o con tratamiento”⁵⁶.

Se han reconocido factores de riesgo y factores desencadenantes del asma; los primeros, no marcan una relación causal con la manifestación de la patología, en tanto que los elementos desencadenantes se consideran los responsables de provocar las exacerbaciones del asma, ya sea actuando sobre la inflamación o induciendo bronco-constricción. Además, se considera que los agentes causantes pueden variar de persona a persona o en un mismo individuo, de acuerdo al contexto y a la evolución de la enfermedad²⁹.

⁵⁶ GLOBAL STRATEGY FOR ASTHMA MANAGEMENT AND PREVENTION, Global Initiative for Asthma (GINA). Junio, 2012.

Los factores desencadenantes se han clasificado como directos o indirectos; los primeros, incluyen infecciones virales y cambios meteorológicos (como las bajas temperaturas y la elevada humedad). Dentro de las variables indirectas se encuentran las condiciones meteorológicas, que pueden provocar contaminación y acúmulo de alérgenos, el ejercicio, las condiciones extremas de emoción, algunos alérgenos alimentarios, colorantes o conservantes, y fármacos ingeridos por vía oral^{29,57}.

Dada la complejidad de la enfermedad, los factores de riesgo genéticos aún no se han establecido con claridad. Sin embargo, se han encontrado relaciones entre ciertas regiones del genoma y la expresión de proteínas involucradas en la fisiopatología, o asociadas al fenotipo del asma. No obstante, estas asociaciones varían de acuerdo a la población o la raza y los genes pueden modificar la respuesta a un estímulo externo²⁹.

Por su parte, los factores ambientales interactúan con la susceptibilidad genética de cada individuo para desencadenar (factor de riesgo) o evitar (factor protector) el proceso de instauración del asma en una persona. Como variables de riesgo para el desencadenamiento de la enfermedad se encuentran la exposición a alérgenos (como los ácaros presentes en el polvo), el contacto con agentes infecciosos, un aporte nutricional inadecuado, y la exposición al tabaco²⁹.

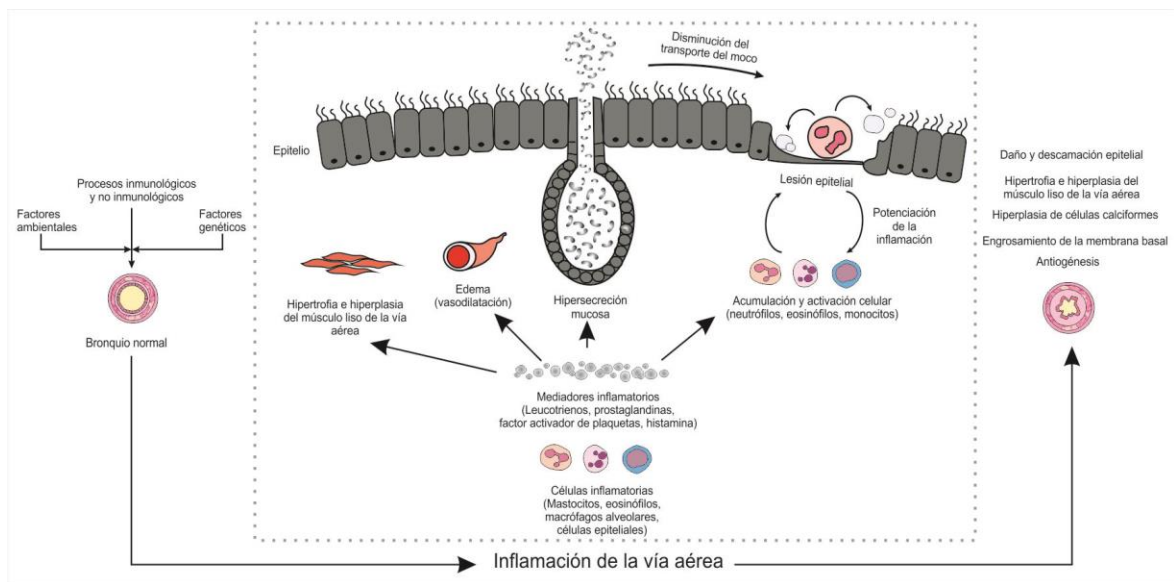
Los factores genéticos y ambientales determinan el inicio de procesos inmunológicos y no inmunológicos ante la exposición a estímulos, con lo que se activan determinadas células situadas en el tracto respiratorio (mastocitos, eosinófilos, macrófagos alveolares, células epiteliales, etc.), las cuales liberan sustancias capaces de provocar bronco-constricción, vasodilatación o

⁵⁷ PERPIÑÁ, Miguel. Asma. En: Medicine. Abril, 2010, vol. 10, p. 4400–4407.

hipersecreción mucosa (leucotrienos, prostaglandinas, factor activador de las plaquetas, histamina, etc.), y la acumulación local e inmediata activación de neutrófilos, eosinófilos o monocitos (ver figura 1)⁵⁷.

El acúmulo y la activación de células pro-inflamatorias generarán, a su vez, nuevos mediadores responsables de alteraciones estructurales en la pared del árbol bronquial (edema, descamación epitelial, aumento de la secreción mucosa). El epitelio dañado de la vía aérea sintetizará otros mediadores que, al actuar como potentes factores quimiotácticos, reclutarán elementos celulares adicionales, potenciando así la reacción inflamatoria (ver figura 1)^{56,57,58,59}.

Figura 1. Reacción inflamatoria en el asma.



PERPIÑÁ, Miguel. Asma. En: Medicine. 2010, vol. 10, p. 4400–4407.

⁵⁸ BARNES, Peter. Pathophysiology of asthma. En: Journal of Clinical Pharmacology. Julio, 1996, vol. 42, p. 3–10.

⁵⁹ CORRIGAN, Chris. Mechanisms of asthma. En: Medicine. Abril, 2008, vol. 40, p. 5–10.

A medida que se repite la exposición a estímulos inductores o agravantes la inflamación evoluciona y las lesiones adoptan un carácter crónico apareciendo lesión y descamación epitelial, y un proceso de remodelado de la vía aérea caracterizado por hipertrofia/hiperplasia del músculo liso de la vía aérea, angiogénesis y engrosamiento de la pared bronquial. Parte del engrosamiento está ocasionado por el depósito de colágeno tipo I, III y V en la lámina reticular y se detecta incluso cuando el diagnóstico del asma es reciente o ha sido clasificada como leve en razón de los síntomas y el nivel de obstrucción (figura 1)⁵⁷⁻⁵⁹.

La magnitud del engrosamiento de la pared del músculo liso bronquial no guarda relación con la duración de la enfermedad o la presencia o ausencia de atopía, por el contrario sí se relaciona con la gravedad clínica y funcional de la patología^{57,58}. Este patrón de inflamación parece ser similar en todas las formas clínicas del asma y en todos los grupos etarios^{56,59}.

De esta forma, el remodelado bronquial en el asma se presenta por la inflamación crónica e incluye al conjunto de cambios histológicos inducidos en la pared bronquial (fenómenos de fibrosis, hiperplasia e hipertrofia, acompañados de pérdida de epitelio); y condiciona un engrosamiento y una mayor rigidez de la pared, con pérdida del calibre bronquial y mala respuesta terapéutica. Adicionalmente, la vía aérea del asmático contiene un exceso de fibronectina y ciertos proteoglicanos y glucosaminoglicanos que influyen en la rigidez compresiva de la pared y afectan el equilibrio de los líquidos intersticiales⁵⁶⁻⁵⁸.

La vía aérea del asmático muestra también anomalías cuantitativas y cualitativas en las glándulas mucosas que dan lugar a una producción mayor de moco, con propiedades viscoelásticas y reológicas anormales⁵⁶⁻⁵⁸. Estas modificaciones alteran el transporte mucociliar por hipersecreción bronquial y contribuyen a la obstrucción del calibre bronquial⁶⁰.

⁶⁰ ANTONELLO, Marc y DELPLANQUE, Dominique. Disfunciones de la mecánica ventilatoria. En: Fisioterapia respiratoria, del diagnóstico al proyecto terapéutico. Barcelona: Masson, 2002. p. 24-35.

Sumado a lo anterior, el calibre bronquial está sometido al control del sistema autonómico; los estímulos colinérgicos causan constricción, en tanto que los beta-adrenérgicos producen dilatación. La acción beta-adrenérgica sobre las vías respiratorias, se efectúa por intermedio de las catecolaminas circulantes, estimulando los receptores beta-adrenérgicos para producir bronco-dilatación o contrarrestar la bronco-constricción colinérgica; en tanto que el estímulo alfa-adrenérgico produce constricción bronquial. Entonces, puede producirse disminución del calibre bronquial por alteración del equilibrio autónomo de tres maneras: 1) por predominio de la acción colinérgica, 2) por exceso de la acción alfa-adrenérgica, 3) por bloqueo beta-adrenérgico⁵⁸.

En la actualidad, la innervación de las vías respiratorias dada por el sistema nervioso autónomo es considerada mucho más compleja. Dado que las fibras simpáticas no innervan directamente a los músculos lisos, se ha reportado un tercer sistema llamado NANC (no adrenérgico y no colinérgico), que incluye estructuras que excitan la inflamación y aquellas que la inhiben. Considerándose que un desequilibrio entre la actividad pro-inflamatoria y anti-inflamatoria representa otro componente importante en la patogénesis del asma⁶¹.

La “inflamación neurogénica” se basa en la contribución de numerosos neuropéptidos responsables en gran parte de las lesiones anatómo-patológicas descritas anteriormente. De ese modo se determinan respuestas biológicas durante las recurrencias de las crisis asmáticas tales como la vasodilatación, la extravasación de plasma en las vénulas pos-capilares, el aumento de la permeabilidad vascular, la exudación en la luz bronquial y el desarrollo de edema⁶¹.

La respuesta inflamatoria y los cambios estructurales característicos de la mucosa y de la pared bronquial, dan como resultado la hiperreactividad de la vía aérea y la

⁶¹ CANTANI, Arnaldo. Asthma. En: Pediatric allergy, asthma and immunology. oma: Springer, 2008. p. 725-873.

obstrucción²⁹. La hiperreactividad es el resultado de la inestabilidad del tono muscular de las vías aéreas, por la cual, los bronquios se estrechan con facilidad y de forma variable frente a estímulos físicos, químicos o biológicos. Además, en el asmático este músculo tiene una mayor sensibilidad frente a los agentes broncoconstrictores, ya que los mediadores inflamatorios determinan un incremento del calcio iónico intra-citoplásmico, que actúa como mensajero intracelular regulador del tono^{57,58}.

En cuanto a la obstrucción de la vía aérea, se considera que es el resultado de la sumatoria de los factores fisiopatológicos descritos previamente (broncoconstricción, edema, hiperplasia y engrosamiento del músculo liso bronquial e hipersecreción de moco en la vía aérea)^{29,56}. La comprensión de los mecanismos fisiopatológicos involucrados en el asma debe ser el punto de partida para todo profesional de la salud que participe en el manejo de la enfermedad; de forma específica, para el fisioterapeuta este conocimiento constituye un requisito para determinar las consecuencias que tiene la patología sobre el movimiento corporal humano.

Debido a la diversidad de mecanismos fisiopatológicos involucrados en el asma y a la variabilidad en las manifestaciones clínicas de la enfermedad, se han propuesto diferentes clasificaciones teniendo en cuenta la etiología^{56,61,62,63}, el fenotipo^{64,65,66}, el nivel de control^{67,68,69,70,71,72,73,74,75} y la severidad de la enfermedad⁷⁴⁻⁷⁶.

En la tabla 1 se resumen las principales características de cada uno de los niveles de control del asma, medidos a través de los síntomas, de la participación del sujeto en las actividades de la vida diaria, de la necesidad de medicamentos de rescate y de la función pulmonar, con base en los criterios de la GINA⁵⁶, de la

⁶² WIESCH, Denise; MEYERS, Deborah y BLEECKER, Eugene. Genetics of asthma. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Noviembre, 1999, vol. 104, no. 5, p. 895-901.

⁶³ DOLEN, William. Asthma: Clinical descriptions and definitions. En: Pawankar R, Holgate R, Rosenwasser L. Allergy frontiers: diagnosis and health economics. Tokyo: Springer, 2009. p. 247-256.

⁶⁴ SIROUX, Valérie, *et al.* Phenotypic determinants of uncontrolled asthma. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Agosto, 2009, vol. 124, p. 681-687.

⁶⁵ LÖTVALL, Jan, *et al.* Asthma endotypes: A new approach to classification of disease entities within the asthma syndrome. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Febrero, 2011, vol. 127, p. 355-360.

⁶⁶ BAINES, Katherine, *et al.* Transcriptional phenotypes of asthma defined by gene expression profiling of induced sputum samples. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Febrero, 2011, vol. 127, p. 153-160.

⁶⁷ PICADO, César, *et al.* Validation of the spanish version of the Asthma Control Questionnaire. En: Clinical Therapeutics. Octubre, 2008, vol. 30, no. 10: 1918-193.

⁶⁸ BOUSQUET, Jean, *et al.* Uniform definition of asthma severity, control, and exacerbations: Document presented for the World Health Organization Consultation on severe asthma. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Octubre, 2010, vol. 126, no. 5, p. 926-938.

⁶⁹ BATEMAN, Eric, *et al.* Can guideline-defined asthma control be achieved? the gaining optimal asthma control study. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Julio, 2004, vol. 170, p. 836-844.

⁷⁰ REDDEL, Helen, *et al.* An official American Thoracic Society/European Respiratory Society Statement: Asthma control and exacerbations. Standardizing endpoints for clinical asthma trials and clinical practice. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Julio, 2009, vol. 180, p. 59-99.

⁷¹ JIA, Chun, *et al.* The asthma control test and asthma control questionnaire for assessing asthma control: systematic review and meta-analysis. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Agosto, 2013, vol. 13, p. 695-703.

⁷² NATIONAL HEART, LUNG, AND BLOOD INSTITUTE NATIONAL ASTHMA EDUCATION AND PREVENTION PROGRAM EXPERT PANEL. Report 3: Guidelines for the diagnosis and management of Asthma. Full report. 2007.

⁷³ HANANIA, Nicola. Revisiting asthma control: How should it best be defined?. En: Pulmonary Pharmacology and Therapeutics. Abril, 2007, vol. 20, p. 483-492.

⁷⁴ TAYLOR, Robin, *et al.* A new perspective on concepts of asthma severity and control. En: European Respiratory Journal. Septiembre, 2008, vol. 32, p. 545-554.

⁷⁵ BATEMAN, Eric; BOUSQUET, Jean y BRAUSTEIN Gary. Is overall asthma control being achieved? A hypothesis-generating study. En: European Respiratory Journal. Abril, 2001, vol. 17, p. 589-595.

⁷⁶ NATIONAL ASTHMA EDUCATION AND PREVENTION PROGRAM EXPERT PANEL REPORT 2. Guidelines for the diagnosis and management of Asthma. Bethesda, National Heart, Lung, and Blood Institute, 1997.

Tabla 1. Niveles de control del asma^{56,67,68,70-74}

COMPONENTES DEL CONTROL DEL ASMA		CLASIFICACIÓN DEL CONTROL DEL ASMA PARA JÓVENES (≥ 12 AÑOS) Y ADULTOS		
Manifestaciones clínicas				
Manifestaciones	Características	Controlada	Parcialmente controlada	No controlada
	Frecuencia en la aparición de los síntomas relacionados con el asma en las pasadas 2 – 4 semanas	≤ 2 días a la semana, pero no más de una vez al día	> 2 días a la semana, o más de una vez por día pero ≤ 2 días por semana	Durante todo el día
	Síntomas nocturnos que interfieren con el sueño en las últimas 2 – 4 semanas	Ninguno	≤ 2 noches por semana	> 2 noches por semana
	Limitación para la realización de las actividades de la vida diaria en las últimas 2 – 4 semanas	Ninguna	Mínimo una actividad	Extremadamente limitado
	Necesidad de utilización de fármacos de rescate (broncodilatadores tipo B ₂ agonista de corta duración) en las pasadas 2 – 4 semanas	≤ 2 días por semana	> 2 días por semana	Varias veces al día
	Función pulmonar (Flujo espiratorio pico PEF, o Volumen espiratorio forzado en el primer segundo VEF ₁)	Normal (≥ 80% del predicho)	60 – 79% del predicho	<60% del predicho

Tabla 1. (Continuación)

Riesgo	Exacerbaciones (que hayan requerido el uso oral o sistémico de corticosteroides)	0 – 1 por año	2 por año	> 2 por año
		Considerar la severidad y el intervalo desde la última exacerbación		
	Pérdida progresiva de la función pulmonar	La evaluación requiere un periodo de seguimiento a largo plazo		
	Efectos adversos relacionados con el tratamiento	Pueden variar en intensidad; sin embargo, el nivel de intensidad de los efectos adversos no se correlaciona con los niveles específicos de control, aun así, se deben considerar en la evaluación general de riesgo.		

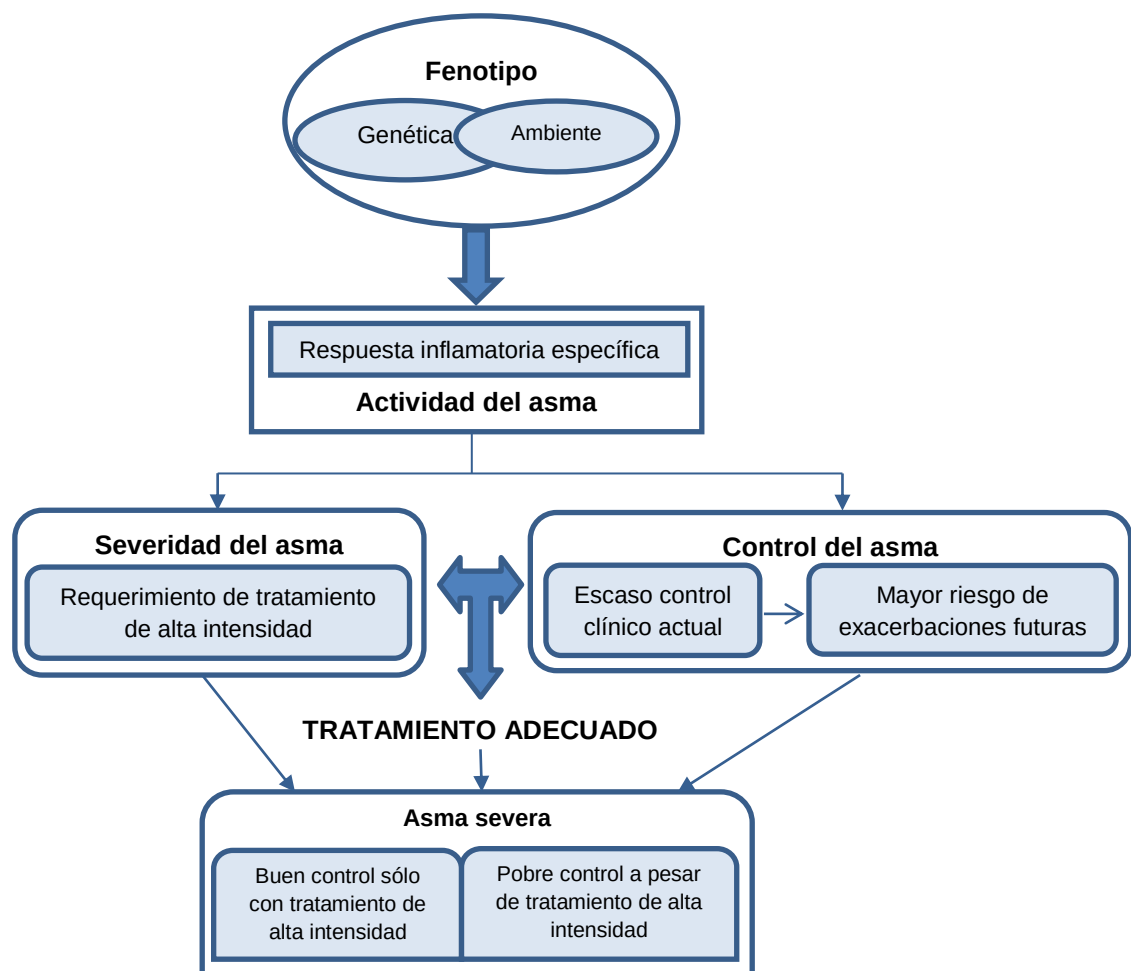
Sociedad Americana del Tórax (ATS, por sus siglas en inglés)⁷⁰, de la Sociedad Respiratoria Europea (ERS, por sus siglas en inglés)⁷⁰, y del panel de expertos del Programa de Prevención y Educación del Asma, del Instituto Nacional del Corazón, los Pulmones y la Sangre de los Estados Unidos⁷².

En general, el control del asma incluye dos aspectos: el nivel de control clínico y el riesgo de presentar futuras exacerbaciones. De otra parte, el riesgo de exacerbaciones (conocidas como crisis de asma o asma aguda) incluye la disminución acelerada de la función pulmonar y los efectos colaterales del tratamiento^{68,70,74}; las crisis de asma se manifiestan como episodios de aumento progresivo de la dificultad para respirar, tos, sibilancias, opresión en el pecho, o una combinación de estos síntomas⁶⁸.

En la figura 2 se ilustra la interrelación entre las clasificaciones del asma según el fenotipo, el nivel de control y el grado de severidad; en la cual, la carga genética y el ambiente interactúan en cada individuo, haciendo que la expresión de la respuesta inflamatoria sea específica para cada caso. La comprensión de esta correlación, orienta el planteamiento de un tratamiento adecuado⁷⁴.

Los participantes del presente trabajo fueron clasificados de acuerdo con el nivel de control del asma, siguiendo lo expuesto en la tabla 1; esta clasificación, sirvió como base para fundamentar la exclusión de algunas personas del estudio debido a que un pobre control de la enfermedad puede poner en riesgo la estabilidad cardiopulmonar del participante, durante la ejecución de las pruebas del estudio⁶⁸⁻⁷⁰.

Figura 2. Interacción entre el fenotipo, la severidad y el nivel de control del asma.



TAYLOR, Robin, *et al.* A new perspective on concepts of asthma severity and control. En: European Respiratory Journal. Septiembre, 2008, vol. 32, no.3, p. 545–554.

También se tuvo en cuenta la clasificación de los participantes según la severidad de la enfermedad (tabla 2), siguiendo las directrices dadas a nivel nacional por el Comité Nacional Conjunto de Asma¹², las cuales se fundamentan en las propuestas del panel de expertos del Programa de revención y Educación del Asma⁷², de la Guía Española para el Manejo del Asma (GEMA)²⁹ y de la GINA⁵⁶.

Debido a las implicaciones de la fisiopatología sobre el movimiento corporal humano, es importante identificar las deficiencias resultantes de la obstrucción al flujo de aire y de la respuesta bronquial exagerada, sobre la movilidad de la reja costal y sobre la fuerza de los músculos respiratorios; lo cual, le proporciona al fisioterapeuta en el área respiratoria el fundamento teórico para la aplicación correcta de las pruebas de evaluación pertinentes para el establecimiento del diagnóstico fisioterapéutico.

2.1.2 Patokinesis del asma. El compromiso del movimiento corporal humano secundario al desarrollo del asma se denomina patokinesis y comprende las alteraciones que suceden a nivel de la mecánica ventilatoria, del intercambio gaseoso, del transporte mucociliar y de la capacidad aeróbica⁶⁰. La alteración en el transporte mucociliar consiste en la hipersecreción mucosa bronquial, descrita previamente en la sección de fisiopatología, la cual contribuye a la obstrucción del calibre bronquial⁵⁶⁻⁵⁸.

2.1.2.1 Disfunción en la mecánica ventilatoria, en el transporte mucociliar y en el intercambio gaseoso. La alteración en la mecánica ventilatoria en el asma es secundaria a la obstrucción de la vía aérea y se manifiesta en cambios sustanciales en las relaciones entre la presión, el flujo y el volumen pulmonar, que pueden llegar a alterar la relación ventilación/perfusión^{57,58}.

Tabla 2. Clasificación del asma según la severidad^{12,29,56,72}

COMPONENTES DE LA SEVERIDAD DEL ASMA		CATEGORÍAS DE LA SEVERIDAD*			
		Intermitente	Persistente		
			Leve	Moderada	Severa
Limitaciones Relación VEF₁/CVF normal: 8–19 años: 85% 20 –39años: 80% 40 –59 años: 75% 60 –80 años: 70%	Síntomas**	≤ 1 vez por semana, asintomático entre las crisis. Crisis cortas (pocas horas)	< 1 vez por semana y > 1 vez por día. Las crisis pueden durar todo un día, pero deben ser menos de 2 veces por semana	Síntomas a diario. Necesidad de β 2-agonistas inhalados, de acción corta. Crisis >2 veces por semana, que pueden durar días	Síntomas a lo largo de todo el día, que limitan las actividades de la vida diaria. Crisis frecuentes (≥ 3 veces por semana)
	Síntomas nocturnos**	≤ 2 veces al mes	> 2 veces al mes, < 1 vez a la semana	> 1 vez a la semana, pero no todas las noches	Frecuentes (≥ 3 veces por semana)
	Función pulmonar	VEF ₁ ≥ 80% del predicho Normal entre las crisis	VEF ₁ ≥ 80% del predicho Normal entre las crisis	VEF ₁ 60–79% del predicho	VEF ₁ < 60% del predicho

* La presencia de una o más características de severidad superior es suficiente para ubicar al sujeto en una esa categoría, sin embargo, la clasificación puede cambiar en un mismo individuo con el tiempo. Las personas ubicadas en cualquiera de las categorías pueden tener crisis leves, moderadas o severas; en algunos casos, el asma intermitente puede acompañarse de crisis muy severas separadas por períodos asintomáticos largos y con función pulmonar normal.

** Características clínicas antes del tratamiento.

La limitación al flujo aéreo en las patologías obstructivas se puede analizar de acuerdo a su variabilidad, su localización y su importancia. La variabilidad hace referencia a la restricción en los flujos respiratorios durante el ciclo inspiración – espiración. En el caso del asma, la obstrucción se presenta principalmente durante la espiración, por lo tanto, se considera variable. Es decir, durante la inspiración la actividad muscular inspiratoria permite la entrada del aire al sistema respiratorio y parte de este volumen ingresado no puede ser expulsado durante la espiración, debido al estrechamiento de las vías aéreas; esto, explica la mayor limitación en los flujos pulmonares espiratorios⁶⁰.

La localización – extrínseca o intrínseca – de la obstrucción, obedece a las causas que conllevan al aumento en las resistencias bronquiales. El trastorno extrínseco se presenta por compresión dinámica de la pared bronquial; en tanto que la disfunción intrínseca, es secundaria a la reducción en el calibre de los bronquios y al acúmulo de secreciones bronquiales. Por ello, el asma se clasifica como una disfunción obstructiva intrínseca⁶⁰.

La variabilidad y la localización de la limitación al flujo espiratorio son explicadas en esencia, por el broncoespasmo, el daño epitelial, la inflamación y el aumento en la producción de moco³⁸. La constricción bronquial se presenta como resultado de la interacción entre los mediadores inflamatorios y los neurotransmisores liberados por el sistema nervioso autónomo, y comprende la constricción refleja del músculo liso peribronquial, su hipertrofia e hiperplasia. El edema en la vía aérea es secundario a la infiltración celular y sumado a la hipersecreción bronquial, contribuye a la reducción del espacio submucoso, con detrimento del lumen bronquial^{29,56}.

Para verificar la obstrucción, se tiene como referente el valor del Volumen Espiratorio Forzado al Primer Segundo (VEF₁) obtenido a través de la espirometría. Siguiendo las directrices de la ATS, se considera una alteración ventilatoria de tipo obstructiva cuando existe una reducción desproporcionada

entre el máximo flujo aéreo predicho y el máximo volumen desplazado durante el esfuerzo espiratorio voluntario. Esto implica que existe un estrechamiento de las vías respiratorias durante la exhalación, que es definido por una reducción en la relación VEF₁/CVF (capacidad vital forzada)⁴⁴.

De esta forma, la disminución en el VEF₁ y en la relación VEF₁/CVF, confirman la alteración ventilatoria de tipo obstructivo. Sin embargo, para establecer el grado de severidad se tiene en cuenta el porcentaje del VEF₁ obtenido con respecto al predicho, para cada individuo según sus características antropométricas⁴³. En la tabla 3 se muestra la clasificación de la severidad de las alteraciones obstructivas en general, con base en el porcentaje del valor predicho del VEF₁.

Tabla 3. Grado de severidad de una alteración obstructiva con base en el VEF₁⁴³

GRADO DE SEVERIDAD	VEF₁ (% del predicho)
Leve	>70
Moderada	60 - 69
Moderadamente severa	50 - 59
Severa	35 - 49
Muy severa	<35

Las consecuencias del asma como trastorno ventilatorio obstructivo intrínseco se reflejan en las modificaciones de la mecánica ventilatoria, secundarias a cambios en la distribución de la ventilación. Debido a que las necesidades ventilatorias (reflejadas en la ventilación minuto) se mantienen iguales, se generan los siguientes mecanismos compensatorios y adaptativos⁶⁰:

- La prolongación activa del tiempo espiratorio: con el fin de disminuir el volumen de aire atrapado a nivel costal. Esta espiración prolongada, aumenta considerablemente el trabajo respiratorio y predispone a la compresión dinámica

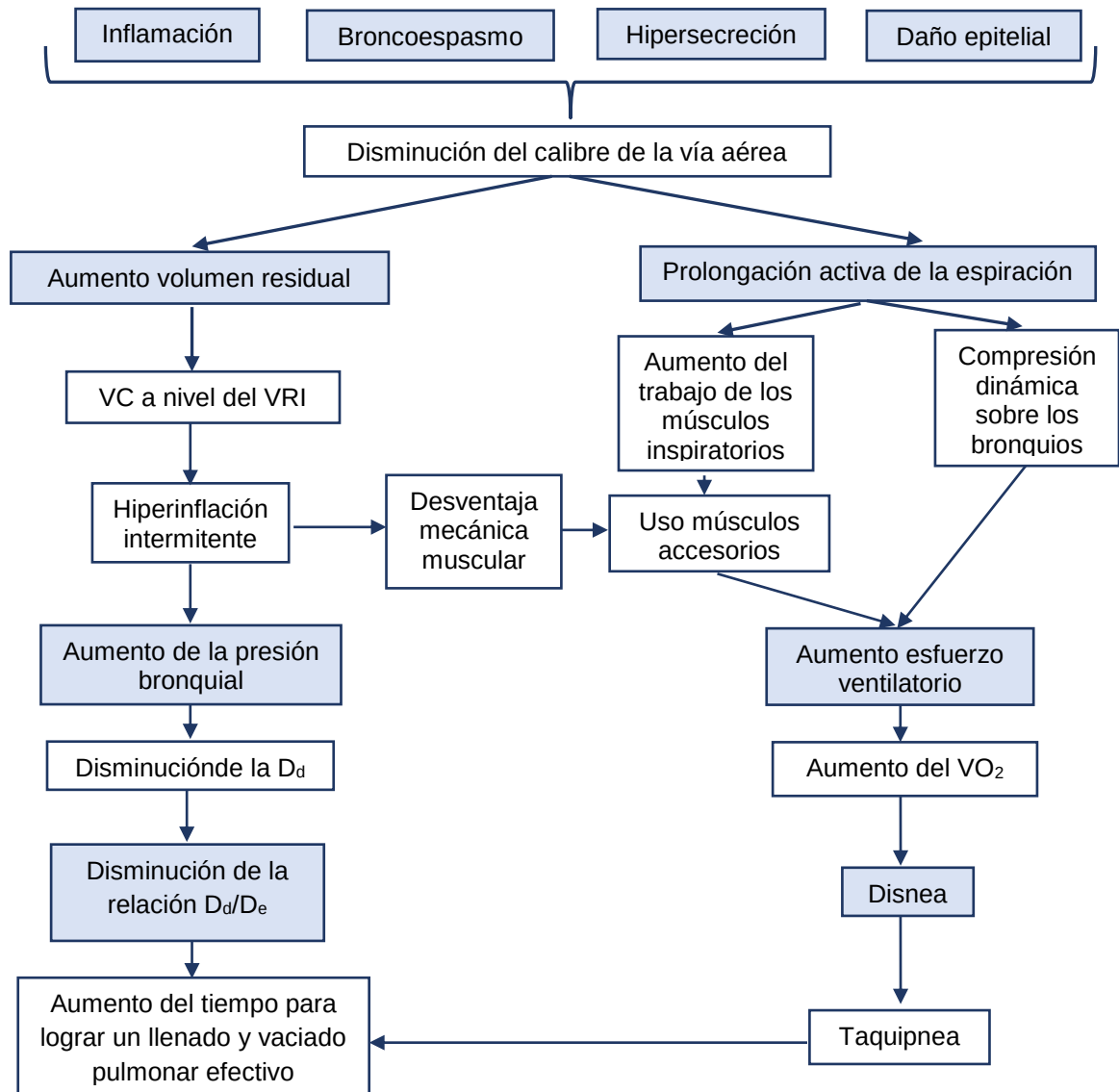
de los bronquios. En consecuencia, se incrementa aún más el trabajo de resistencia de los músculos inspiratorios (figura 3)⁶⁰.

- El volumen corriente (VC) se presenta al nivel del volumen de reserva inspiratorio. Esta hiperinflación genera a su vez, un aumento de la presión al interior de los bronquios para retrasar su colapso, y un aumento del volumen al final de la espiración, más allá de la capacidad residual funcional (CRF); con lo cual, se mantiene una presión positiva en las vías aéreas, o una presión positiva espiratoria, alterándose la relación entre la distensibilidad estática y dinámica. La distensibilidad estática representa únicamente las características elásticas del pulmón; mientras que la dinámica, abarca todo el sistema respiratorio (figura 3)⁶⁰.

Estos mecanismos afectan a los músculos inspiratorios (especialmente al diafragma), al colocarlos en una situación mecánica desfavorable por el acortamiento de las fibras musculares ocasionado por la hiperinflación³⁸. Además, el trabajo inspiratorio se intensifica porque la hiperinflación aumenta el trabajo elástico, y porque se debe anular la presión positiva espiratoria antes de crear una presión subatmósferica generadora de volumen inspiratorio⁶⁰. Adicionalmente, los músculos inspiratorios accesorios participan en la ventilación en reposo, por lo que se incrementa aún más el costo energético de la ventilación. Este aumento del esfuerzo ventilatorio se considera el origen de la disnea (figura 3)^{38,60,77}.

⁷⁷ FILIPPELLI, Mario, *et al.* Overall contribution of chest wall hyperinflation to breathlessness in asthma. En: Chest. Diciembre, 2003, vol. 124, p. 2164–2170.

Figura 3. Modificaciones de la mecánica ventilatoria en el asma.



VC: volumen corriente.

VRI: volumen de reserva inspiratorio,

Dd/De: distensibilidad dinámica y estática.

VO₂: consumo de oxígeno.

ANTONELLO, Marc, y DELPLANQUE, Dominique. Disfunciones de la mecánica ventilatoria. En: Antonello M, Delplanque D. Fisioterapia respiratoria, del diagnóstico al proyecto terapéutico. Barcelona: Masson, 2002, p. 24–35.

Los cambios en la mecánica ventilatoria, suceden de manera conjunta con los que ocurren en la distribución de la ventilación, los cuales son producto de la disminución de la distensibilidad dinámica. Esta alteración produce un aumento en el tiempo necesario para lograr un llenado y un vaciado pulmonar, fenómeno que se acentúa con el aumento en la frecuencia respiratoria. Adicionalmente, la taquipnea en las personas con enfermedades de las vías aéreas de pequeño diámetro, disminuye la relación entre la distensibilidad dinámica y estática⁶⁰. El resultado definitivo de estos cambios en la mecánica ventilatoria es un aumento del volumen de aire contenido a nivel costal y abdominal, a lo que se le denomina atrapamiento aéreo (figura 3)¹⁶.

Analizando el atrapamiento aéreo en la bronco-constricción aguda en personas con asma, Gorini y col.¹⁶, encontraron que el volumen de la hiperinflación pulmonar se debía en gran medida a un aumento en el volumen en la caja costal que está en contacto con los pulmones y el diafragma, mientras que a nivel abdominal se minimizaba el volumen espiratorio final, mediante la contracción de los músculos de la pared abdominal. Además, sugirieron que la hiperinflación es influenciada por la persistencia de una actividad tónica de los músculos inspiratorios durante la espiración. Los resultados de este estudio muestran que la hiperinflación pulmonar durante la crisis, puede ser considerada como un mecanismo adaptativo para mantener el VC durante este periodo de mayor limitación al flujo aéreo^{16,60}.

Una de las principales consecuencias de la hiperinflación en los pacientes con bronco-constricción inducida es la disnea. Para confirmar esta afirmación, Filippelli y col.⁷⁷ provocaron bronco-constricción en un grupo de hombres con asma y analizaron la relación entre los volúmenes pulmonares y la dificultad respiratoria percibida. Sus hallazgos mostraron una relación directa entre el volumen contenido en la caja costal y la disnea ($r^2=0,48$), y entre el VEF₁ y la disnea ($r^2=0,08$); además, reportaron que estas dos variables explicaron el 56% de la varianza en la escala de Borg durante la hiperinflación. De esta forma,

corroboraron una relación entre el incremento en la intensidad de la disnea percibida y el nivel de hiperinflación pulmonar⁷⁷.

Estos resultados son derivados de la hiperinflación pulmonar y su efecto sobre las vías aéreas que lleva a una disminución en el retroceso elástico del pulmón, e impide la relajación durante el tiempo disponible para la espiración¹³. El aumento en el tiempo de vaciamiento y la limitación local del flujo aéreo, pueden retardar el vaciamiento regional o disparar una finalización brusca de la exhalación; lo que termina produciendo hiperinflación en las demás regiones del pulmón⁷⁷.

La disnea puede ser el resultado de la hiperinflación dinámica y la compresión dinámica de la vía aérea, mediante la remodelación de las vías respiratorias y el colapso bronquial. Dentro de estos procesos, se destaca la influencia de los receptores irritantes vagales⁷⁷, cuyos aferentes intensifican la sensación de disnea y pueden contribuir a la sensación de opresión torácica⁷⁸. Por lo anterior, se debe tener claridad que el incremento en el esfuerzo ventilatorio influye sobre la sensación de disnea percibida, pero no explica otros síntomas como la opresión torácica¹³.

Es necesario resaltar que en el asma, la carga impuesta por la obstrucción aérea y la hiperinflación son intermitentes, por lo tanto, las alteraciones descritas anteriormente (como por ejemplo, la resistencia de las vías aéreas), dependen de la cronicidad de la patología y del momento en el que se realiza la evaluación (en crisis o en un periodo de estabilidad)¹³.

En el asma crónica persistente, la hiperinflación se ha evaluado mediante las pruebas de función pulmonar, la medición de presiones transdiafragmáticas y la

⁷⁸ MOY, Marilyn, *et al.* Quality of dyspnea in bronchoconstriction differs from external resistive loads. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Agosto, 2000, vol. 162, p. 451–455.

tomografía computarizada^{79,80}. Los resultados de estos estudios sugieren que la hiperinflación puede ser explicada completamente por el aumento en la constante de tiempo del sistema respiratorio¹³, que hace referencia al tiempo que requiere el alvéolo para equilibrar en un 63% el valor máximo de volumen ante un cambio de presión intra-pleural (como ocurre al comienzo de la inspiración o de la espiración pasiva). Depende de la distensibilidad alveolar y de la resistencia; así, cuando la resistencia de las vías aéreas está incrementada, la constante de tiempo también aumenta y el recambio en el volumen se enlentece⁸¹.

El incremento en la constante de tiempo resulta de la obstrucción de la vía aérea y de la pérdida del retroceso elástico del pulmón, causante de hasta la mitad de la disminución en el máximo flujo espiratorio, pero aún no son claros los mecanismos fisiológicos para explicar este fenómeno¹³.

En los trabajos revisados, las imágenes de tomografía computarizada^{79,80}, no permiten concluir sobre la presencia o no de enfisema pulmonar en los participantes con asma crónica. Por lo tanto, no es claro si la hiperinflación pulmonar se asocia con enfisema, o si el hallazgo observado es aire atrapado, más que enfisema pulmonar⁸⁰. Por esta razón, Gelb y col.⁷⁹ denominan al atrapamiento aéreo encontrado “pseudoenfisema fisiológico”, debido a la pérdida de las propiedades elásticas a nivel alveolar y pulmonar en general. En general, el progreso del asma, ya sea en cronicidad o en severidad, conlleva un mayor volumen de hiperinflación pulmonar^{79,80}.

Entre las alteraciones en el intercambio gaseoso presentes en el asma se pueden identificar: la alteración en la relación ventilación/perfusión tipo shunt, la hipoxemia

⁷⁹ GELB, Arthur y ZAMEL, Noel. Unsuspected pseudophysiologic emphysema in chronic persistent asthma. *En*: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Noviembre, 2000, vol. 162, p. 1778–1782.

⁸⁰ MITSUNOBU, Fumihiro, *et al.* Influence of age and disease severity on high resolution CT lung densitometry in asthma. *En*: Thorax. Noviembre, 2001, vol. 56, p. 851–856.

⁸¹ DVORKIN, Mario; CARDINALI, Daniel y IERMOLI, Roberto. Bases fisiológicas de la práctica médica: mecánica de la ventilación. 14 ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2010. p. 149–166.

y la hipercapnia^{82,83,84,85}. La hipoxemia aparece cuando la severidad es importante, por lo que es necesario la oxigenoterapia como recurso para prevenir la hipoxia resultante^{82,83}. La hipercapnia no se considera un hallazgo común en el asma crónica, aun cuando la limitación al flujo aéreo es persistente⁸³; sin embargo, se ha descrito en casos severos de la enfermedad (cuando el VEF₁ es menor al 25% del valor normal predicho)⁸².

Por otra parte, la acidosis respiratoria resultante de la acumulación del dióxido de carbono (CO₂) está siempre presente en los sujetos que se deterioran rápidamente y en estados severos de la enfermedad; además, en una fase aguda y severa del asma puede coexistir acidosis metabólica, secundaria a la acumulación del ácido láctico⁸². En el asmático puede asociarse con: el uso de altas dosis parenterales de agonistas β -adrenérgicos, el trabajo respiratorio excesivo que resulta en un metabolismo anaeróbico de los músculos ventilatorios, y la sobre producción de ácido láctico. Se cree que estos procesos se presentan junto a la hipoxia tisular, la alcalosis intracelular, y la disminución del aclaramiento de lactato por el hígado debido a la hipoperfusión⁸².

Las deficiencias secundarias al asma derivadas de la alteración en la mecánica ventilatoria, del transporte mucociliar y del intercambio gaseoso, se evidencian a través de las alteraciones en la movilidad costal y en el funcionamiento de los músculos respiratorios. Esto obedece a la dificultad para el aporte de oxígeno y nutrientes a los tejidos involucrados, así como a las adaptaciones que realiza el sistema ante los cambios que impone el curso de la enfermedad.

⁸² PAPIRIS, Spyros, *et al.* Clinical review: Severe asthma. *En: Critical Care*. Febrero, 2002, vol. 6, no. 1, p. 30–44.

⁸³ PRIDE, Neil. Pulmonary physiology. *En: BARNES, Peter, et al. Asthma and COPD*. London: Academic Press, 2002. p. 43-56.

⁸⁴ ANTONELLO, Marc y DELPLANQUE, Dominique. Intercambios gaseosos. Relación ventilación/perfusión. *En: Fisioterapia respiratoria, del diagnóstico al proyecto terapéutico*. Barcelona: Masson, 2002. p. 36–43.

⁸⁵ SAULEDA, Jaume. Consecuencias clínicas de la disfunción muscular en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *En: Nutrición Hospitalaria*. Mayo, 2006, vol. 21, p. 69–75.

En el trabajo de Lopes y col.⁸⁶ se evaluó la función pulmonar, el acortamiento muscular, la movilidad del tórax y la postura estática en niños con asma persistente, mostrando que los participantes con asma severa tenían adaptaciones posturales que implicaban acortamiento muscular.

Todos estos cambios conllevan a alteraciones sobre la capacidad aeróbica y sobre otros sistemas, que se presentan de acuerdo con la severidad de la enfermedad. Dentro de los efectos del asma sobre el sistema cardiovascular, se han descrito principalmente en el asma aguda y severa, y como resultado de la hiperinflación dinámica. En espiración el retorno venoso sistémico disminuye significativamente, y aumenta rápidamente en la siguiente fase respiratoria. El ventrículo derecho sufre un llenado rápido en inspiración, desplazando el tabique interventricular hacia el ventrículo izquierdo, lo que puede conducir a la disfunción diastólica ventricular izquierda y a un llenado incompleto⁸².

La presión de la arteria pulmonar también se puede incrementar debido a la hiperinflación pulmonar, lo que resulta en aumento de la pos-carga del ventrículo derecho. Estos cambios explican cómo el asma severa aguda, puede acentuar en inspiración normal la reducción del volumen sistólico ventricular izquierdo y de la presión sistólica; esto, conduce a la aparición de pulso paradójico (reducción significativa de la presión arterial sistólica en la inspiración). En estados avanzados, en los que hay presencia de fatiga de los músculos respiratorios, el pulso paradójico desaparece con la disminución de la capacidad para generar fuerza⁸².

Las adaptaciones cardiovasculares acentúan el déficit en el intercambio gaseoso, adicionando a la disminución de la ventilación, el compromiso de la perfusión (alteración en la relación ventilación/perfusión tipo shunt y tipo espacio muerto), lo

⁸⁶ LOPES, Erica, *et al.* Assesment of musculature shorting and static posture in children with persistent asthma. En: European Journal of Pediatrics. Julio, 2007, vol. 166, no. 7, p. 715–721.

que redundará en mayor compromiso sobre la movilidad costal y el desempeño de los músculos respiratorios. La consecuencia final será la disminución de la capacidad aeróbica y de la capacidad funcional de la persona con asma⁸⁴.

2.1.2.2 Alteración de los músculos respiratorios: diafragma, intercostales y abdominales. La disfunción muscular en el asma obedece a diversos mecanismos fisiopatológicos, que interactúan entre sí y se manifiestan en mayor o menor proporción de acuerdo a las características individuales y al curso de la enfermedad¹³. Además, la disfunción muscular respiratoria puede contribuir en la disminución de la tolerancia al ejercicio, la disnea y la falla respiratoria. Por lo tanto, la comprensión de los mecanismos que contribuyen a la disfunción muscular respiratoria en el asma, guían al fisioterapeuta en la evaluación y en la implementación de un plan de tratamiento efectivo³⁸.

- Efectos de la hiperinflación pulmonar sobre la disfunción muscular. El aumento de la CRF producto de la hiperinflación, reduce hasta en un 20% la PIM en adultos con asma aguda, cuando se los compara con individuos sanos; por lo cual, un incremento adicional en la hiperinflación podrían exceder la presión crítica necesaria para mantener el VC³⁵. La disminución en la capacidad de generar PIM se resume en la tabla 4.

Tabla 4. Presión inspiratoria máxima en asmáticos comparados con sus controles

Autor	Asmáticos	Controles
Decramer, 1980 ³⁴	Hombres: -65cmH ₂ O	Hombres: -98cmH ₂ O
Weiner, 1990 ³⁴	Hombres: -97cmH ₂ O Mujeres: -97cmH ₂ O	Hombres: -136cmH ₂ O Mujeres: -85cmH ₂ O
de Bruin, 1997 ³⁴	Mujeres y hombres: -52cmH ₂ O	Mujeres y hombres: -73cmH ₂ O
Stell, 2001(presión inspiratoria máxima nasal) ³⁵	Hombres: 104,7cmH ₂ O Mujeres: 73,8cmH ₂ O	Hombres: 117,8cmH ₂ O Mujeres: 108,8cmH ₂ O

Sumado a la reducción en la capacidad de generar presiones inspiratorias³⁸, el atrapamiento de aire también conlleva a una activación de los músculos espiratorios, con el fin de disminuir el volumen de aire contenido a nivel abdominal y desplazar el volumen de la hiperinflación pulmonar hacia la reja costal. Al final de la exhalación, la porción de la caja torácica en contacto con los pulmones, y la porción en contacto con el diafragma, se desplazan a lo largo de la reja costal, llegando a su posición de reposo. Así, se distribuye proporcionalmente la hiperinflación a nivel costal, y se minimiza la distorsión del volumen espiratorio final^{13,87}.

De esta forma, la hiperinflación afecta la interacción muscular al incrementar la contribución de los músculos de la reja costal y del cuello, y al disminuir la contribución relativa del diafragma al movimiento de la reja costal⁸⁷. Esta interacción de los músculos respiratorios, es probablemente uno de los mecanismos que explica la distribución de la ventilación hacia las zonas con mayor capacidad de adaptación. En particular, la contracción post-inspiratoria de los músculos inspiratorios costales se ha asociado con el aumento del volumen de

⁸⁷ DECRAMER, Marc. Hyperinflation and respiratory muscle interaction. European Respiratory Journal. Abril, 1997, vol. 10, p. 934–941.

la reja costal que se encuentra adosada a los pulmones. Por su parte, la contracción post-inspiratoria del diafragma y la contracción de los músculos espiratorios son probablemente las responsables del incremento en el volumen de la caja torácica próxima al diafragma^{16,87,88}.

Adicional a la menor capacidad de generar PIM, y para disminuir la probabilidad de presentar fatiga respiratoria, se ha descrito una reducción en la excitación neta de las moto-neuronas inspiratorias en los sujetos asmáticos, en comparación con los sanos^{13,36}. Cuando se encuentran clínicamente estables y se coloca una oclusión transitoria en las vías respiratorias, estas personas exhiben una inhibición inicial de los músculos respiratorios del 50% (latencia en los no asmáticos de 42,7ms y en los asmáticos de 64,6ms), que se incrementa un 30% durante la bronco-constricción³⁶.

Debido a que el diafragma es el principal músculo inspiratorio, se deben analizar los efectos de la hiperinflación sobre su actividad. La acción del diafragma depende de su unión a las seis últimas costillas y de la zona de aposición, que comprende el área en que el diafragma se yuxtapone a la zona interna del reborde costal; así, la contracción muscular hace que las seis últimas costillas se eleven en sentido cefálico. A nivel abdominal, esta contracción eleva la presión y ejerce una acción sobre el área de aposición, proyectándola hacia fuera. A medida que el volumen pulmonar aumenta, el área de aposición disminuye progresivamente y la acción conjunta de los dos compartimientos se vuelve ineficiente, hasta el punto de que la región costal basal se deprime (signo de Hoover)⁸⁸.

Los individuos asmáticos al inhalar histamina presentan bronco-constricción, aumentan el volumen pulmonar y alteran el comportamiento toraco-abdominal normal. En esta situación hay un aumento de las cargas resistiva y elástica -

⁸⁸ JARDIM, José; MAYER, Ana y CAMELIER, Aquiles. Músculos respiratorios y rehabilitación pulmonar en asmáticos. Archivos de Bronconeumología. Abril, 2002, vol. 38, p. 181–188.

principalmente de esta última - como consecuencia del aumento del volumen pulmonar. Consecuentemente, el VC se dirige hacia una parte más lineal de la curva de presión-volumen, haciendo que el sistema respiratorio genere una presión más negativa a costa de un mayor reclutamiento de las fibras de músculos intercostales y diafragma, elevando el gasto energético de esos músculos⁸⁸.

Por lo anterior, la hiperinflación disminuye la capacidad del diafragma de generar fuerza, debido a los efectos que tiene sobre la longitud y geometría muscular, sobre la magnitud de la zona de aposición, sobre el componente de inserción para su acción, y sobre la interacción entre las diferentes partes del músculo^{13,34,87,88}. Así, la hiperinflación acorta el diafragma y lo desplaza a una posición subóptima de su curva longitud-tensión^{38,87}. Sin embargo, si la hiperinflación es crónica, la relación longitud-tensión se adaptará a este estado por medio de una eliminación de sarcómeros en serie, desplazando toda la curva longitud-tensión a una longitud óptima más corta⁸⁷.

Las adaptaciones descritas anteriormente, en parte restauran la capacidad del diafragma de generar fuerza, pero de forma concomitante, reducen su capacidad de desplazamiento. En efecto, las sarcómeros se disponen en serie a lo largo de las fibras diafragmáticas, de tal manera que los desplazamientos del diafragma son la suma de los desplazamientos de cada sarcómero. Si se reduce el número de sarcómeros, el desplazamiento total será más pequeño. La hiperinflación aguda disminuye la fuerza debido a las alteraciones en la superposición adecuada entre los filamentos de actina y miosina; además, la compresión ejercida sobre el túbulo T bloquea el movimiento de electrolitos, y la propagación del potencial de acción⁸⁷.

Con base en la ley de Laplace, se acepta que la hiperinflación también puede aplanar el diafragma, reduciendo aún más su capacidad generadora de fuerza. Esta ley afirma que la capacidad de desarrollar presión a través de la contracción diafragmática, es directamente proporcional a la tensión desarrollada en las fibras

del diafragma, e inversamente proporcional al radio de curvatura del músculo. Si el diafragma se aplanar, se aumenta el radio de su curvatura, por lo tanto, su contracción llegará a ser menos eficaz debido a que se necesitará una mayor tensión para producir el mismo cambio en la presión. A pesar de la validez de este análisis, se considera que los cambios geométricos del diafragma afectan en menor medida la capacidad de generar fuerza, comparados con los cambios en su longitud^{87,88}.

Este posible efecto, podría restringir las consecuencias del atrapamiento aéreo sobre la capacidad del músculo para generar presión al inicio de la inspiración¹³; hecho que se suma al mayor espesor del diafragma en los asmáticos (llegando a ser de 1,7mm en asmáticos, comparado con 2,2mm en sus controles)³⁴; ambos se consideran mecanismos compensatorios de la hiperinflación intermitente.

En respuesta a lo anterior, los músculos costales son reclutados más que el diafragma, para mantener la estabilidad de la caja costal y ayudar a prevenir la hipoventilación alveolar^{13,88}. Sin embargo, la distorsión torácica resultante de este proceso incrementa el consumo energético de la ventilación¹⁶.

A pesar de estar más activos durante la inspiración, los músculos costales también son afectados por la hiperinflación aguda en el asma. Las consecuencias pueden ser analizadas en términos de la longitud, la geometría, la ventaja o disposición mecánica muscular. El acortamiento de los músculos intercostales es menor que el que se presenta en el diafragma, aunque un número de factores adicionales puede influir en la geometría y en la ventaja mecánica de estos músculos. Estos mecanismos incluyen la forma de la curva longitud-tensión, la posición de la longitud óptima y la relación entre el ángulo entre los músculos paraesternales intercostales y el esternón, y el ángulo entre las costillas y el esternón⁸⁷.

Respecto a los cambios en la curva longitud tensión y en la posición de la longitud óptima, los resultados de los estudios son controversiales. En contraste, se ha podido determinar que los ángulos entre los músculos costales y el esternón y

entre las costillas y el esternón, influyen en la ventaja mecánica de estos músculos. De igual manera, el aumento en el volumen de aire atrapado modifica la geometría de los músculos intercostales, teniendo como fundamento la ley de Laplace, explicada previamente para el diafragma⁸⁷.

- Efectos de la dieta sobre la disfunción muscular. La desnutrición puede ser considerada un problema significativo en las personas con obstrucción moderada de la vía aérea, especialmente cuando se presenta junto con una alteración en la capacidad de difusión; este aspecto fue demostrado en personas con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). En estos casos, se debe considerar la composición corporal anormal dentro del análisis de la alteración de la fuerza de los músculos respiratorios⁸⁹.

La restricción proteico-calórica conlleva a una disminución progresiva del peso corporal y de la masa muscular del diafragma. La desnutrición puede alterar la función muscular respiratoria por un doble mecanismo: disminuyendo el aporte de los sustratos energéticos necesarios para su adecuado funcionamiento y produciendo una alteración en la estructura de la fibra muscular. Estos cambios producirán alteraciones neurofisiológicas y clínicas (disminución del número de fibras, predominio de las fibras de contracción lenta, cambios bioquímicos en los minerales e iones, disminución de la fuerza y de la resistencia, disminución de la tolerancia al esfuerzo, aparición de disnea)⁹⁰.

Al revisar cómo la nutrición interviene en la patogénesis de enfermedades obstructivas crónicas, como el asma y la EPOC, se ha planteado que los radicales libres oxidantes desempeñan un papel importante en la mediación de la respuesta inflamatoria. Por lo tanto, se ha propuesto que las deficiencias de alimentos con

⁸⁹ ENGELEN, Marielle, *et al.* Nutritional depletion in relation to respiratory and peripheral skeletal muscle function in out-patients with COPD. *En:* European Respiratory Journal. Octubre, 1994, vol. 7, p. 1793–1797.

⁹⁰ RODRIGUEZ, José; DE LUCAS, Pilar y MARTÍNEZ, Yolanda. Función de los músculos respiratorios en la desnutrición y en el enfermo crítico. *En:* Archivos de Bronconeumología. Marzo, 2002, vol. 38, no. 3, p.131–136.

propiedades antioxidantes en la dieta, intervienen en la susceptibilidad para presentar estas dos patologías. Las vitaminas claves involucradas en la defensa antioxidante pulmonar son las vitaminas C y E, caracterizadas por ser hidrosolubles y ser las más abundantes en el fluido extracelular que reviste el pulmón^{91,92}.

Las vitaminas contribuyen a la actividad antioxidante a través de varios mecanismos, incluyendo la eliminación de los radicales libres y participando en la función inmune. De forma específica, la vitamina E representa la principal defensa corporal contra la lesión de la membrana inducida por acción oxidante, por lo tanto contribuye a la estabilidad y permeabilidad de la membrana. Por consiguiente, existe fuerte evidencia que sugiere que el consumo de frutas y vegetales actúa como protección del sistema respiratorio^{91,92}.

La vitamina D puede disminuir la presencia del asma mediante varios mecanismos. El primero de ellos, es la modulación de la expresión genética en el músculo liso de la vía aérea, lo que disminuye la proliferación del músculo liso y la inflamación de la vía aérea; en segundo lugar, la vitamina D podría revertir la resistencia a la acción esteroidea; y, en último lugar, esta vitamina podría optimizar el control de las infecciones respiratorias, disminuyendo la exacerbación del asma⁹².

Otros nutrientes que actúan como mecanismo de defensa contra el asma y la EPOC son los minerales. Dentro de ellos el selenio se destaca por su función antioxidante, al magnesio se le confieren propiedades anti-inflamatorias y broncodilatadoras y el sodio se considera clave para el mantenimiento de la función muscular y nerviosa⁹¹. En contraste con la acción protectora de las

⁹¹ DENNY, Sara; THOMPSON, Rachel y MARGETTS, Barrie. Dietary factors in the pathogenesis of asthma and chronic obstructive pulmonary disease. En: Current Allergy and Asthma Reports. Marzo, 2003, vol. 3, p. 130–136.

⁹² VARRASO, Raphaëlle. Nutrition and asthma. En: Current Allergy and Asthma Reports. Marzo, 2012, vol. 12, p. 201–210.

vitaminas y minerales, los ácidos grasos libres han sido relacionados con el desarrollo de la inflamación de la vía aérea, a través de la producción de mediadores inflamatorios^{91,92}.

- Miopatía inducida por corticosteroides. Para controlar el proceso inflamatorio, aproximadamente en un 10% de los asmáticos se utilizan los corticoides sistémicos sin interrupción. En otro 30% de los asmáticos con sintomatología frecuente está indicado el uso crónico o durante un tiempo prolongado de corticoides por vía inhalatoria. Por lo tanto, se han estudiado los efectos de estos fármacos en la miopatía de las personas con asma⁸⁸.

Se define como miopatía por corticosteroides la aparición de debilidad muscular en presencia de ese fármaco, sin que exista ninguna otra enfermedad neurológica o muscular que la explique⁸⁸. Los esteroides tienen una acción directa sobre los músculos esqueléticos, reduciendo su masa muscular y disminuyendo la cantidad de proteína de las miofibrillas, lo que causa una predisposición a la fatiga muscular en un grado variable y de acuerdo con la concentración con que las fibras de tipo I y II son afectadas⁹³. En la miopatía causada por esteroides, las fibras de tipo II son las más perjudicadas, por ser menos activas, tener menor tasa de síntesis proteica y poseer menor número de mitocondrias⁸⁸.

Existe controversia en cuanto a la presencia de la miopatía por esteroides en el asma. En 1993, Mak y col.⁹⁴, estudiaron a 12 individuos con asma crónica y severa dependientes de corticosteroides, y encontraron que la PIM era similar en los asmáticos comparados con el grupo control (asmáticos con similar limitación crónica al flujo aéreo, pero sin uso de esteroides), hecho que atribuyeron a la prevención de la debilidad muscular por el uso muscular durante la crisis; sin

⁹³ VAN BALKOM, Roland, *et al.* Corticosteroid effects on isotonic contractile properties of rat diaphragm muscle. En: Journal of Applied Physiology. Octubre, 1997, vol. 83, p. 1062-1067.

⁹⁴ MAK, Vince; BUGLER, James y SPIRO, Stephen. Sternomastoid muscle fatigue and twitch maximum relaxation rate in patients with steroid dependent asthma. En: Thorax. Octubre, 1993, vol. 48, p. 979-984.

embargo, plantearon que el uso de esteroides puede atenuar el “efecto entrenamiento” en los individuos con obstrucción crónica de las vías aéreas⁹⁴.

En 1999, fueron comparados 12 individuos asmáticos dependientes de esteroides sistémicos y 14 sujetos con asma moderada a severa con requerimiento de altas dosis de Beclometasona inhalada para el control de la enfermedad. Los resultados evidenciaron que un tratamiento a largo plazo con esteroides sistémicos, incluso en dosis moderadas, puede contribuir a la disfunción muscular inspiratoria, sumado a los efectos de la hiperinflación en el asma. De otra parte, los datos no permiten hacer conclusiones respecto a los efectos de las altas dosis de corticoides inhalados sobre la capacidad para generar presiones inspiratorias⁹⁵.

Respecto a los corticoides administrados por vía inhalatoria, los resultados del trabajo de Díaz y col. en 2010⁹⁶, muestran que estos medicamentos no deterioran la función muscular respiratoria o periférica en los niños asmáticos, a pesar de la cronicidad del tratamiento y de las altas dosis suministradas. Por lo tanto, y en vista de los efectos colaterales del uso sistémico de los corticosteroides, la vía inhalatoria puede ser considerada como la opción ideal para evitar los efectos deletéreos de estos medicamentos en la función de los músculos respiratorios⁹⁶.

- Cambios en el desempeño muscular: fuerza, resistencia y fatiga. Una de las mayores dificultades asociadas con el manejo clínico de las personas con enfermedades respiratorias, es el mantenimiento de una adecuada ventilación alveolar. Debido a que la ventilación es dependiente de la condición de los músculos respiratorios, se debe establecer para cada caso el estado de esta musculatura. Se ha planteado que en los individuos con patologías de origen pulmonar, la fuerza de los músculos respiratorios (incluso si es normal) es insuficiente para superar la carga respiratoria incrementada³⁷.

⁹⁵ AKKOCA, Öznur, *et al.* Inhaled and systemic corticosteroid therapies: do they contribute to inspiratory muscle weakness in asthma?. En: Respiration. Febrero, 1999, vol. 66, no. 4, p. 332–337.

⁹⁶ DÍAZ, José Luis, *et al.* Cambios en la función muscular respiratoria y periférica en niños asmáticos: efectos de los corticoides inhalados. En: Anales de Pediatría. Enero, 2010, vol. 72, no. 1, p. 42–48.

El rendimiento de los músculos respiratorios es dependiente de la fuerza y de la resistencia muscular, ambas características son atribuibles a los músculos respiratorios de forma específica, y en general a los demás grupos musculares. La fuerza de los músculos respiratorios ha sido definida mediante la medición de las presiones respiratorias estáticas (PIM y PEM), atribuibles a un esfuerzo muscular sostenido. Por lo tanto, se encuentran reducidas en la presencia de debilidad o fatiga muscular, llegando a asociar la falla respiratoria hipercápnica con una fuerza muscular menor o igual al 30% del predicho³⁷.

La resistencia muscular es definida, en términos generales, como la capacidad del músculo de tolerar la fatiga. La resistencia de los músculos respiratorios ha sido definida y medida como la capacidad de sostener altos niveles de ventilación bajo condiciones isocápnicas, o bajo una resistencia conocida. Estas mediciones pueden ser estandarizadas para realizar el trabajo muscular durante un tiempo específico (entre 12 a 15 segundos), teniendo como referente la ventilación voluntaria máxima, el volumen pulmonar o el desempeño contra resistencia³⁷.

La resistencia de los músculos ventilatorios es dependiente de la interacción entre la impedancia del sistema respiratorio y la máxima potencia muscular disponible. Así, la capacidad de sostener la ventilación no sólo es indicativa de debilidad o fatiga muscular, sino que puede mostrar una respuesta al incremento en la carga respiratoria^{37,38}. Un incremento en la resistencia, en presencia de una enfermedad respiratoria crónica progresiva, puede ser un indicativo de la capacidad de los músculos para adaptarse a la demanda funcional cambiante³⁷.

Las sobrecargas mecánicas intermitentes durante las crisis pueden inducir cambios funcionales en los músculos respiratorios, que experimentan fenómenos de adaptación cuando la sobrecarga se presenta a largo plazo¹³. Este proceso se ha llamado “efecto entrenamiento”, y para el caso de los niños, este efecto parece estar limitado únicamente a los músculos de la inspiración^{88,96}.

En contraste, los periodos entre las crisis les permiten a los músculos respiratorios recuperarse del estrés producido por las exacerbaciones¹³. Consecuentemente, el desempeño muscular en las crisis posteriores se mantendría sin cambios. Un estudio que podría fundamentar esta hipótesis, mostró que a pesar del incremento significativo en el volumen pulmonar, posterior a la inhalación de histamina, el desempeño del diafragma no disminuyó³². Sin embargo, este trabajo se realizó con seis participantes, por lo cual se debe tener cautela al interpretar estos resultados.

De otra parte, la fatiga de los músculos inspiratorios ha sido definida como la pérdida en la capacidad del músculo de generar fuerza, o en su habilidad para acortarse, la cual es reversible por el reposo. La reversibilidad es un componente importante que diferencia la fatiga de la debilidad muscular; se considera que la debilidad es la pérdida de la capacidad del músculo para generar fuerza estando en reposo¹³. Sin embargo, existe dificultad para diferenciarlas durante las pruebas de evaluación, y se pueden presentar de forma combinada en algunas personas³⁸.

Tanto la debilidad como la fatigabilidad de los músculos respiratorios, disminuyen la tolerancia al ejercicio, debido a que con él, se incrementa la frecuencia respiratoria, lo cual exige que los músculos respiratorios se acorten a mayor velocidad y trabajen a longitudes aún más cortas³⁸. Sumado a esto, la fatiga respiratoria produce disminución de la expansión torácica con lo que se presenta hipoventilación y, consecuentemente, se empeora la hipoxemia e hipercapnia presentes en el asma⁸⁵.

El acortamiento de los tiempos inspiratorio y espiratorio, secundario al aumento de la frecuencia respiratoria, se combina con la obstrucción de la vía aérea, resultando en mayor compresión dinámica de las vías aéreas y por lo tanto, en mayor atrapamiento aéreo. Así, la desventaja mecánica pre-existente de los músculos inspiratorios se incrementa durante el ejercicio, limitando su capacidad de generar la fuerza necesaria para garantizar la ventilación pulmonar, y

restringiendo el desempeño durante el ejercicio y las actividades de la vida diaria³⁸.

De manera objetiva, se considera que un músculo se encuentra fatigado cuando la tasa de consumo de energía es mayor que la tasa de energía disponible para abastecerlo, por lo tanto, el agotamiento de las reservas de energía dentro del músculo resulta en la interrupción de la generación de fuerza. La aparición de fatiga muscular luego de una maniobra estática determina la fuerza, y cuando aparece luego de un esfuerzo sostenido, indica la resistencia del músculo evaluado^{37,97}.

La fatiga de los músculos inspiratorios principales (diafragma e intercostales externos) es un problema clínico potencial importante, debido a que se considera la vía patológica final para desarrollar falla respiratoria. Adicionalmente, influye en la intolerancia al ejercicio y en la dificultad para el destete ventilatorio³⁷.

En los individuos con asma, el incremento en el costo energético de la respiración combinado con la disfunción de los músculos respiratorios (hiperinflación aguda, miopatía esteroidea, malnutrición), se consideran factores de riesgo para padecer fatiga respiratoria muscular. Es posible que en algunas de estas personas, el trabajo muscular se realice cerca al umbral de fatiga, disminuyendo progresivamente su capacidad de mantener presiones inspiratorias máximas¹³. Además, condiciones como la hipoxia y las infecciones virales, pueden aumentar la fatigabilidad muscular, situación que empeora con el avance de la enfermedad³⁵.

En cuanto a la fatiga de origen central, se proponen tres mecanismos que pueden participar en la disminución del impulso voluntario para la respiración. El primer mecanismo es la disminución del reflejo de facilitación durante una contracción

⁹⁷ BELLEMARE, Marc y GRASSINO, Alex. Effect of pressure and timing of contraction on human diaphragm fatigue. *Journal of Applied Physiology*. Noviembre, 1982, vol. 53, p. 1190-1195.

voluntaria forzada; el segundo, es la reducción del procesamiento cortical de la información inspiratoria generada por la carga; y el último mecanismo, lo constituye la depresión que se presenta en algunas personas¹³.

Se han descrito cuatro estrategias para disminuir la probabilidad de presentar fatiga muscular. La primera hace referencia a la disminución del ciclo de trabajo; la segunda, se refiere al incremento en la resistencia de los músculos respiratorios, lo que probablemente sea una respuesta al entrenamiento impuesto por los periodos de crisis; en tercer lugar, el entrenamiento de los músculos inspiratorios puede mejorar la fuerza muscular, con lo que se disminuiría la disnea y el consumo de oxígeno^{34,88,98,99}. El cuarto mecanismo propuesto es la disminución voluntaria del impulso nervioso y la excitabilidad neuronal refleja, con lo que se disminuye el reclutamiento muscular y el riesgo de presentar fatiga; sin embargo, existe el peligro concomitante de provocar hipoventilación alveolar y falla respiratoria, durante las exacerbaciones³⁶.

La predisposición de presentar fatiga es diferente en cada grupo muscular. El estado de mayor activación de los músculos costales, los pone en riesgo de sufrir fatiga, debido a que su umbral de fatiga es menor que el del diafragma¹³. Además, existen algunos procesos que explicarían porqué el diafragma podría ser más resistente a la fatiga en sujetos con asma. La reducción de la isquemia diafragmática, producto de la presión intratorácica negativa que promueve el flujo sanguíneo, le permitiría al músculo retardar la aparición de la fatiga. Los mecanismos de compensación bioquímicos dentro del músculo³⁵ sumados al incremento en el grosor muscular³⁴, constituyen otro factor positivo para la resistencia a la fatiga.

⁹⁸ WEINER, Paltiel, *et al.* Specific inspiratory muscle training in patients with mild asthma with high consumption of inhaled β 2-agonists. *En:* Chest. Marzo, 2000, vol. 117, no. 3, p. 722–727.

⁹⁹ SERÓN, Pamela, *et al.* Efecto del entrenamiento muscular inspiratorio sobre la fuerza muscular y la calidad de vida en pacientes con limitación crónica del flujo aéreo. Ensayo clínico aleatorizado. *En:* Archivos de Bronconeumología. Noviembre, 2005; vol. 41, no. 11, p. 601–606.

Otro proceso que podría contribuir a la resistencia diafragmática a la fatiga, es la disminución voluntaria del impulso desde el sistema nervioso central hacia el músculo, para evitar la carga excesiva. Sin embargo, este mecanismo aún no ha sido probado, y de presentarse, constituiría un factor de riesgo para desarrollar falla ventilatoria durante las exacerbaciones severas del asma, en las que se necesita activar al máximo los músculos respiratorios para intentar vencer el marcado estrechamiento de la vía aérea³⁶. Un mecanismo adicional para evitar una carga excesiva del diafragma, es la contribución de los músculos inspiratorios extra-diafragmáticos, tales como los escalenos, que son más resistentes a la fatiga, y pueden trabajar a longitudes más óptimas durante la hiperinflación⁸⁷.

2.1.2.3 Alteración de la capacidad aeróbica y limitaciones funcionales. El desempeño físico está relacionado con la capacidad aeróbica y puede ser medido en los asmáticos mediante el consumo de oxígeno, los niveles de dióxido de carbono y la ventilación alveolar³⁷.

El mal desempeño físico en asmáticos puede estar relacionado con un mal estado nutricional^{89,91,92}, con la presencia de miopatía por uso de corticoides^{94,95}, con el desacondicionamiento físico o con alteraciones psicológicas⁸⁸. Adicionalmente, la dificultad respiratoria percibida por el desacondicionamiento cardiopulmonar durante el ejercicio, es empeorada por comorbilidades como la obesidad¹⁰⁰.

Una de las principales causas de la limitación al ejercicio en las personas con obstrucción crónica al flujo aéreo es la disfunción muscular respiratoria. Como se expuso previamente, durante el ejercicio los volúmenes pulmonares aumentan, y la relación entre la presión necesaria para respirar y la reserva funcional a estos volúmenes altos se reduce. Además del papel restrictivo de la hiperinflación

¹⁰⁰ SHIM, Yum, *et al.* Physical deconditioning as a cause of breathlessness among obese adolescents with a diagnosis of asthma. En: PLoS ONE. Abril, 2013, vol. 8, no.4, p. 1-7 .

dinámica en la función de los músculos respiratorios durante el ejercicio, la desnutrición se considera otro factor negativo; esto podría corresponderse a la disminución en el aporte de los metabolitos necesarios para el abastecimiento muscular⁸⁵.

Otro factor que podría contribuir a la disminución de la tolerancia al ejercicio es la disminución de la fuerza muscular a nivel sistémico, sin embargo, en el trabajo de deBruin y col. se encontró conservada la fuerza del cuádriceps en personas de mediana edad con asma crónica³⁴. La disminución de la fuerza de los músculos periféricos podría presentarse en el contexto del desacondicionamiento físico que ha sido reportado en el asma y que se ha relacionado con bajos niveles de actividad física¹⁰¹.

Contrario al planteamiento anterior, se encuentran los resultados de un estudio de tipo corte transversal en Portugal, entre adultos con asma controlada y no controlada, y sus controles. Los resultados de este trabajo permiten concluir que independientemente del nivel de control de la patología, los participantes con asma no parecen tener un estilo de vida más sedentario que los participantes saludables¹⁰².

La disminución en los niveles de actividad física es considerada un factor que incrementa la prevalencia y la severidad de la enfermedad¹⁰¹. Por lo tanto, se recomienda la práctica de actividad física por parte de los afectados; adicionalmente, se debe promover el ejercicio de rehabilitación, con el fin de mejorar el rendimiento cardiorrespiratorio en estas personas, y disminuir la

¹⁰¹ LUCAS, Sean y PLATTS-MILLS, Thomas. Physical activity and exercise in asthma: Relevance to etiology and treatment. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Mayo, 2005, vol. 115, no. 5, p. 928–934.

¹⁰² VERLAET, Annelies, *et al.* Physical activity in adults with controlled and uncontrolled asthma as compared to healthy adults: a cross-sectional study. En: Clinical and Translational Allergy. Enero, 2013, vol. 3, no.1, p. 1–8.

frecuencia de la aparición de disnea, uno de los síntomas más incapacitante en esta población^{102,103}.

De esta forma, el desacondicionamiento físico, relacionado o no con bajos niveles de actividad física, lleva a una limitación funcional en las personas con asma. De hecho, se ha reportado una mayor limitación funcional en las personas con asma y rinitis alérgica, cuando se las compara con quienes manifiestan únicamente rinitis alérgica¹⁰⁴.

La evaluación de la limitación funcional en el asma, se realiza estableciendo el nivel de control de la enfermedad, de tal forma que entre más bajo sea el control alcanzado, habrá mayor limitación funcional. Se espera que al lograr un adecuado control de la patología, las personas diagnosticadas puedan desempeñarse en sus actividades de la vida diaria y en sus roles académico y/o laboral, según sea el caso; además, deben ser capaces de practicar ejercicio físico, sin presentar exacerbación de la sintomatología^{70,72}.

La limitación para el desempeño en las actividades cotidianas, incluyendo o no la realización de ejercicio físico, impacta la calidad de vida de las personas afectadas. Por lo tanto, se recomienda monitorizar periódicamente los siguientes aspectos para determinar si el asma está afectando o no la calidad de vida: inasistencia al trabajo o a la escuela por causa de la enfermedad, reducción en las actividades habituales y alteraciones en el sueño por los síntomas respiratorios. Varios aspectos de la calidad de vida pueden ser importantes de evaluar para hacer un seguimiento, entre estos se incluyen la condición física, el rol desempeñado y la salud mental; de estos componentes, el asma impacta en mayor proporción a la condición física^{70,72}.

¹⁰³ COCHRANE, Ludovic y CLARK, Cheryl. Benefits and problems of a physical training programme for asthmatic patients. *En*: Thorax. Mayo, 1990, vol. 45, no. 5, p. 345–351.

¹⁰⁴ LEYNAERT, Bénédicte, *et al.* Quality of life in allergic rhinitis and asthma, a population-based study of young adults. *En*: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Octubre, 2000, vol. 162, no. 4, p. 1391–1396.

2.2 EVALUACIÓN DE PRUEBAS DIAGNÓSTICAS

La evaluación de pruebas diagnósticas en salud está relacionada con la comprobación de la capacidad de medir de los instrumentos y de las pruebas utilizadas a diario en la práctica clínica. La medición es definida por el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (RAE)¹⁰⁵ como la “acción y efecto de medir”, en un sentido más amplio, se considera el proceso de asignar valores a ciertos eventos de la realidad¹⁰⁶, o al proceso por medio del cual las cosas logran ser diferenciadas¹⁰⁷.

En ciencias de la salud, el proceso de medición forma parte de la práctica diaria de los profesionales, a nivel clínico e investigativo; con el que se puede obtener la información requerida de los usuarios atendidos o de los participantes de un estudio. De la calidad de las mediciones dependen las decisiones en el manejo clínico que se le ofrece a una persona y la calidad de una investigación; por lo tanto, la evaluación de los instrumentos de medición constituye una necesidad para la investigación en salud¹⁰⁶.

Si partimos de la definición tradicional de la medición “como la asignación de números a objetos o eventos de acuerdo con reglas”, que es citada por Orozco, las medidas obtenidas se pueden clasificar en diferentes escalas de medición entre las cuales están: nominal, ordinal, intervalo y razón”¹⁰⁸.

La dificultad del proceso de medición radica al menos en dos aspectos: que el resultado represente realmente el evento que se quiere medir, y que el evento sea expresado en toda su complejidad. En salud, los instrumentos para determinar la

¹⁰⁵ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2001 [online]. Diccionario de la Lengua Española, vigésima segunda edición. Madrid: Espasa Libros, 2001. [Citado el 12, febrero, 2012]. Disponible en: <http://lema.rae.es/drae/?val=medici%C3%B2n>.

¹⁰⁶ ALARCÓN, Ana y MUÑOZ, Sergio. Medición en salud: Algunas consideraciones metodológicas. En: Revista Médica de Chile. Enero, 2008, vol. 136, no. 1, p. 125–130.

¹⁰⁷ CARTER, Russell; LUBINSKY, Jae y DOMHOLDT, Elizaabeth. Measurement theory. En: Rehabilitation Research. Principles and applications. St. Louis, Missouri: Elseviers Saunders, 2011. p. 229–244.

¹⁰⁸ OROZCO, Luis. Medición o de cómo se hacen “metros”. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 35–62.

condición biológica de un paciente han experimentado tal desarrollo tecnológico, que han logrado disminuirla incertidumbre de los resultados de una medición. No obstante, siempre que se vaya a aplicar cualquier prueba de evaluación, se debe indagar sus propiedades psicométricas, ya que se busca recoger, en forma válida y confiable, la percepción subjetiva de los pacientes¹⁰⁶.

2.2.1 Propiedades psicométricas de la medición. Todo instrumento de medición debe tener cualidades que aseguren la veracidad de los resultados obtenidos, estas cualidades se conocen como propiedades psicométricas, las cuales son confiabilidad, validez y sensibilidad al cambio¹⁰⁹.

2.2.1.1 Confiabilidad. La confiabilidad es un constructo multidimensional y tiene implícito en su definición la noción de error aleatorio, el cual puede proceder del instrumento per sé o de quien realiza la medición. Desde la teoría clásica de la psicometría involucra tres conceptos diferentes: reproducibilidad, consistencia interna y acuerdo¹¹⁰.

- Reproducibilidad: en un sentido amplio, la reproducibilidad es el grado en el cual los puntajes obtenidos en un test o prueba están libres de errores en la medición^{107,111}. La reproducibilidad de un instrumento refleja su habilidad para obtener el mismo resultado, si es aplicado en una segunda ocasión para realizar un diagnóstico o una evaluación. Es requisito fundamental que las mediciones

¹⁰⁹ OROZCO, Luis. Introducción. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 17-25.

¹¹⁰ OROZCO, Luis. Confiabilidad o de la consistencia, reproducibilidad, acuerdo y algo más. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados: un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 73-103.

¹¹¹ BRUTON, Anne; CONWAY, Joy y HOLGATE, Stephen. Reliability: What is it and how is it measured?. En: Physiotherapy. Febrero, 2000, vol. 86, p. 94-99.

realizadas sean independientes, es decir, que las aplicaciones de las pruebas se hagan con desconocimiento de las anteriores^{107,110,112}.

Existen tres diferentes tipos de reproducibilidad:

- Reproducibilidad prueba-reprueba: se obtiene cuando la evaluación es completada en un punto del tiempo y se repite en un tiempo subsecuente^{110,112}.
- Reproducibilidad intra-evaluador: se refiere a la consistencia con la cual un evaluador asigna puntajes a un test en dos ocasiones, a la misma muestra^{107,110,112}.
- Reproducibilidad entre-evaluador: es usada para determinar el grado de similitud entre dos mediciones realizadas por dos o más evaluadores a la misma muestra en las mismas condiciones^{107,110,112}.

Sumado al tipo de reproducibilidad que será determinada en un estudio, se deben tener en cuenta dos aspectos adicionales, el tipo de muestreo y la escala de medición de la variable:

- Tipo de muestreo: hace referencia a la forma aplicar las pruebas a la muestra participante del estudio, obtenida de la población objetivo. El muestreo de tipo corte transversal implica que a todos los sujetos de la muestra se les realiza la prueba y el diagnóstico. En el muestreo prospectivo a toda la muestra se le realiza la prueba y, luego, a una submuestra – preferiblemente aleatoria – de los sujetos con la prueba positiva y negativa se les realiza el diagnóstico. En el muestreo retrospectivo a toda la muestra se le realiza el diagnóstico, y a una submuestra de las personas con diagnóstico positivo y negativo se le aplica la prueba¹¹³.

¹¹² HOPKINS, William. Measures of reliability in Sports Medicine and Science. En: Sports Medicine. Julio, 2000, vol. 30, no. 2, p. 1–15.

¹¹³ OROZCO, Luis. Fases y muestreos, o de cómo tomar las personas de una población para hacer el estudio. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados: un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 63-72.

De acuerdo a lo estipulado por Orozco¹⁰⁸, el diagnóstico es la prueba de referencia o estándar de oro; en tanto que la prueba, es el procedimiento que se va a evaluar. En el caso del presente estudio, el tipo de muestreo aplicado fue de corte transversal, ya que a todos los participantes se les realizaron todas las mediciones.

- Escala de medición de la variable: puede ser nominal dicotómica o múltiple, ordinal o continua^{107,108}. La importancia de realizar esta clasificación correctamente, es porque determina la prueba estadística que será aplicada. Así, cuando la variable está en escala nominal dicotómica la prueba ideal es la kappa de Cohen; si la variable es nominal múltiple, la recomendación es convertirla en una escala dicotómica, ya que no hay una propuesta clara para el análisis de variables en escala nominal múltiple. Para las variables ordinales se propone la kappa ponderada, siempre y cuando el muestreo sea de tipo corte transversal. Por último, para las variables continuas el coeficiente de correlación intraclase (CCI) es el análisis que debe realizarse, cuya base es la aplicación del análisis de varianza (ANOVA)¹¹⁰.

Los valores de reproducibilidad están en el rango de cero (0) que indica que no hay consistencia en la medición hasta uno (1), indicando la reproducibilidad perfecta. Las recomendaciones de Landis y Koch para la interpretación de la reproducibilidad medida a través de la kappa ponderada, indican que una reproducibilidad entre 0,0 y 0,2 es ligera; de 0,21 a 0,40 es aceptable; de 0,41 a 0,60 es moderada; de 0,61 a 0,80 es sustancial; y de 0,8 hasta 1,00 es casi perfecta¹¹⁴.

En el presente trabajo se tomó como referente para evaluar los CCI los límites propuestos por Malaguti y col.¹⁸, que a su vez se fundamentan en lo propuesto por

¹¹⁴ LANDIS, Richar y KOCH, Gary. The measurement of observer agreement for categorical data. En: Revista Virtual Biometrics. [online]. Marzo, 1977. [Citado 20, mayo, 2012]. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/2529310?seq=1>.

Atkinson y col.¹¹⁵, siendo buena la reproducibilidad entre 0,8 y 1,0; aceptable entre 0,6 y 0,79; y pobre, menor de 0,6. De esta manera, los CCI mayores de 0,8, serán considerados clínicamente aceptables.

- Consistencia interna: se refiere a la homogeneidad que presentan múltiples ítems de una escala unidimensional y al grado en que todos ellos midan el mismo constructo. Se determina mediante el α de Cronbach, que indica mayor consistencia en tanto se acerque a 1 y se puede calcular con una sola aplicación de la prueba¹¹⁰.

- Acuerdo: consiste en conocer cuán heterogéneos son los datos entre dos mediciones, se obtiene a partir de la diferencia entre dos mediciones frente al promedio de las mismas, y se informa en las unidades originales en las que se obtuvieron los datos. El método usado es una representación gráfica, conocido como los límites de acuerdo de Bland y Altman, el cual consiste en calcular y graficar en el eje Y la diferencia y en el eje X el promedio de las dos mediciones¹¹⁰.

2.2.1.2 Validez. La validez es el grado en el cual una medición refleja verdaderamente lo que pretende medir en un tiempo inicial. La medición de la validez se relaciona con el nivel de significancia y de utilidad, con el que se realizan inferencias específicas desde el puntaje de un test. Hay cuatro grandes tipos de validez definidas como: facial, de contenido, de constructo y de criterio^{107,116,117}.

¹¹⁵ ATKINSON, Greg y NEVILL, Allan. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. En: Sports Medicine. Octubre, 1998, vol. 26, p. 217–238.

¹¹⁶ OROZCO, Luis. Validez y validación o de cómo construir la validez de un constructo. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Publicaciones UIS, Bucaramanga; 2010. p. 105–114.

¹¹⁷ OROZCO, Luis. Validación de criterio o de la sensibilidad específica para predecir la calidad de las probabilidades. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 115–157.

- Validez facial: es el grado en que una medida parece ser válida según la percepción del participante o evaluador; se determina por medio de un interrogatorio acerca de la complejidad y diseño del instrumento de medición. También es conocida como validez aparente¹¹⁷.

- Validez de contenido: es el grado en el cual la medición es una representación completa del concepto de interés. A menudo es más relacionada con las herramientas observacionales o de auto-reporte. Su evaluación usualmente está a cargo de un panel de expertos integrado por académicos y profesionales¹⁰⁷.

- Validez de constructo: la palabra constructo se define como algo que existe pero que no puede ser observado directamente, sino a través de sus manifestaciones. Por lo tanto, este tipo de validez busca evaluar el constructo abstracto que subyace a la medición, por lo que requiere de la especificación de sus atributos y de las relaciones esperadas entre ellos^{107,116}.

- La validez de constructo interna se refiere a la correlación entre los ítems y los atributos, determinada a través del análisis factorial. En tanto que la validez de constructo externa depende de la correlación del constructo con otros métodos de medición; de este modo, si las mediciones teóricamente deben coincidir o se deben relacionar entre sí, se denomina validez convergente; por el contrario, si se tienen medidas no correlacionadas que teóricamente no deberían estarlo, la validez se denomina discriminante o divergente¹¹⁶.

Otro método alternativo y diferente de la teoría clásica, para evaluar la validez de constructo es el análisis Rash, el cual evalúa simultáneamente la dificultad del

ítem y la habilidad de las personas para responder las preguntas, mediante una transformación logarítmica de los datos¹¹⁶.

- Validez de criterio: es el grado en el cual una medición se relaciona sistemáticamente con otras mediciones o resultados. Estima la relación estadística entre una prueba criterio conocida, considerada como la medición más efectiva de lo que se está evaluando (estándar de oro) y otra prueba. Se usa el coeficiente de correlación de Pearson o de Spearman, dependiendo de la escala de medición para estimar esta relación. Existen dos tipos de validez de criterio: concurrente y predictiva, en la primera, los dos instrumentos se aplican a la misma población en el mismo momento del tiempo y la segunda se encarga de predecir la aparición del evento en el futuro, comparada con el método criterio^{107,117}.

2.2.1.3 Sensibilidad al cambio. La sensibilidad al cambio es el grado en el cual cambios significativos teóricos o prácticos en el estado del individuo o de la población son reflejados en cambios sustanciales en los valores observados, depende de la población estudiada y del contexto donde se aplique el instrumento de medición¹⁰⁷. Sin embargo, aún no es clara la herramienta estadística adecuada para su aplicación correcta¹¹⁸.

2.3 VALORACIÓN DE LA MOVILIDAD COSTAL EN EL ASMA

Durante la respiración la pared del tórax cambia su volumen y su forma; por lo tanto, la medición de la capacidad que tiene la reja costal para moverse durante el ciclo respiratorio es un parámetro importante que permite estimar de forma

¹¹⁸ OROZCO, Luis. ¿Medición del cambio, sensibilidad al cambio? ¿o de cuándo nos pondremos de acuerdo en éste aspecto? En: Orozco L. Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 199–213.

indirecta los volúmenes pulmonares. La biomecánica del tórax es uno de los aspectos teóricos para la ejecución e interpretación adecuada de los resultados derivados de la valoración tanto de la movilidad como de la fuerza muscular^{15,119,120}.

2.3.1 Biomecánica de la respiración. El tórax constituye la parte superior del tronco y está formado por doce vértebras torácicas con sus correspondientes discos intervertebrales, doce pares de costillas, los cartílagos costales y el esternón, todo en conjunto conforma una caja que cerca la cavidad torácica, la cual cumple con tres funciones principales: proteger los órganos vitales internos, soportar la cintura escapular y proveer conexiones cinemáticas e inserciones musculares para los músculos de los miembros superiores, e tórax, el cuello, la espalda y la pelvis. Es importante anotar, que la columna vertebral a nivel torácico se considera la sección menos móvil y por lo tanto, más estable del raquis^{121,122,123}.

El esternón está ubicado en la parte anterior y consta del manubrio, el cuerpo y la apófisis xifoides y provee un soporte protector para el corazón. Las costillas están ubicadas en una disposición antero-posterior, teniendo como referente la columna vertebral. Cada costilla tiene dos articulaciones, en la medida que un arco costal se aproxima a la vértebra correspondiente, entra en contacto con el proceso transversal, formando la articulación costo-transversa. Además, cada costilla se articula proximalmente con el borde superior de la vértebra inferior y con el borde

¹¹⁹ FERRIGNO, Gary, *et al.* Three-dimensional optical analysis of chest wall motion. En: Journal of Applied Physiology. Septiembre, 1994, vol. 77, no. 3, p. 1224–1231.

¹²⁰ ALIVERTI A, *et al.* Compartmental analysis of breathing in the supine and prone positions by optoelectronic plethysmography. En: Annals of Biomedical Engineering. 2001; 29: 60–70.

¹²¹ NORKIN, Cynthia y LEVANGIE, Pamela. The thorax and chest wall. En: Joint: structure and function. A comprehensive analysis. Philadelphia: F.A Davis Company, 1992. p. 178–192.

¹²² SMITH, Laura, *et al.* En: Brunnstrom's clinical kinesiology. Philadelphia: F.A Davis Company, 1996. p. 363–400.

¹²³ DAZA, Javier. Examen clínico-funcional del sistema respiratorio. En: Daza J. Evaluación clínico funcional del movimiento corporal humano. Bogotá: Editorial Médica Panamericana, 2007. p. 72–95.

inferior de la vértebra superior, formando la articulación costo-vertebral. Esto es cierto, excepto para las vértebras torácicas T₁ y T₁₂¹²¹⁻¹²⁴.

En la cara anterior del tórax, cada costilla (excepto la onceava y doceava) se localiza contigua al cartílago costal que se articula con el esternón; por lo tanto, forman articulaciones de tipo sincondrosis. De la primera a la séptima costillas son conocidas como costillas “verdaderas”, debido a que se articulan directamente con el esternón. Así mismo, la primera costilla se articula también con la clavícula para conformar la articulación esterno-clavicular. Las costillas octava a la décima se unen anteriormente por medio de un cartílago común que comparten entre ellas y no lo hacen directamente con el esternón, por lo que se denominan “falsas”; y las onceava y doceava costillas son denominadas “flotantes”, ya que no se articulan en ningún punto con el esternón¹²¹⁻¹²⁴.

Las articulaciones costo-condrales y costo-transversas son articulaciones sinoviales planas o artrodias, que se encuentran restringidas por ligamentos. Estos ligamentos permiten que el movimiento que suceda sea de rotación en torno a un eje que pasa por el centro de estas dos articulaciones. El eje se forma gracias a que la superficie anterior de cada costilla es más inferior que su superficie posterior, lo que favorece que cada arco costal se dirija hacia adelante cuando se eleva^{121,123,124}.

Los ejes de las articulaciones costo-condrales y costo-transversas a nivel superior tienen una dirección, por lo que la rotación alrededor de este eje produce una elevación anterior de las costillas. Para las costillas inferiores, sin embargo, el eje a través de estas dos articulaciones se localiza más antero-posterior, causando elevación en una dirección lateral. El resultado es un incremento en la dimensión antero-posterior de las costillas superiores y un incremento en la dimensión medio-

¹²⁴ SODERBERG, Gary. Trunk. En: Kinesiology: Application to pathological Motion. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins, 1997. p. 374–383.

lateral de las costillas inferiores. Consecuentemente, ligeros movimientos de deslizamiento ocurren en las respectivas articulaciones costo-externales^{123,124}.

Gracias a la disposición de estos ejes, en las costillas inferiores el movimiento de elevación de la costilla conlleva, sobretodo, a un aumento del diámetro transversal del tórax, lo que hace el punto más lateral de cada arco costal quede desplazado hacia afuera. La longitud del desplazamiento representa el aumento del semi-diámetro transversal de la base del tórax. Por el contrario, en las costillas superiores el movimiento de elevación conlleva a un aumento bastante acentuado del diámetro antero-posterior del tórax^{124,125}.

De esta forma, se puede concluir que durante la elevación de las costillas se produce un aumento del diámetro transversal del tórax inferior y un aumento del diámetro antero-posterior del tórax superior. En la parte media del tórax, en la que el eje de las articulaciones costo-vertebrales se localiza aproximadamente en una dirección oblicua a 45°, el aumento del diámetro se produce tanto en sentido transversal como en sentido antero-posterior^{121,124,125}.

Las características del cartílago le permiten soportar fuerzas de rotación, producidas por la elevación del tórax en inspiración, y por fuerzas de torsión, resultantes del escaso movimiento en las articulaciones costo-condrales y esterno-condrales. Cuando se completa la inspiración, la elasticidad dentro del cartílago tiende a dejar sin torsión este tejido, presentándose la espiración de forma pasiva^{123,124}.

Como se ha descrito hasta aquí, los movimientos de las costillas durante el proceso de ventilación, son una combinación de cambios geométricos que se dan a nivel de articular (especialmente a nivel de las articulaciones costo-vertebrales y

¹²⁵ KAPANDJI, Adalbert. Tronco y raquis. En: Fisiología Articular. España: MacGraw Hill, 2001. p. 132–168.

costo-transversas), a nivel del manubrio del esternón y a la contribución de la elasticidad de los cartílagos costales^{121,123,124}. Estos cambios a su vez suceden gracias a las características de los tejidos que conforman la reja costal (óseo, cartilaginoso y muscular), los cuales son deformables, y le permiten moverse a lo largo del ciclo respiratorio; expandiéndose durante la inhalación y retrayéndose en la espiración^{121,123,125}.

Adicionalmente, la expansión toraco-abdominal obedece a los cambios entre la presión intra-torácica en relación con la atmosférica, que a su vez son secundarios a la contracción de los músculos inspiratorios; en tanto que la exhalación, se presenta en condiciones normales de forma pasiva gracias al retroceso elástico del tejido pulmonar y de los demás tejidos que hacen parte del tórax. En el individuo vivo, esos dos componentes no pueden ser medidos de forma directa, por lo que la medición de la movilidad torácica resulta útil^{121,123,126,127}.

Durante la inspiración todas estas estructuras sufren modificaciones que les permiten adaptarse para permitir un cambio en el volumen pulmonar. Si tomamos como ejemplo a primera costilla, se puede observar que ésta se mueve alrededor de su articulación costo-vertebral, produciendo a su vez una elevación del esternón. Durante este movimiento el esternón no permanece paralelo a sí mismo, ya que en la parte superior del tórax el diámetro aumenta más que en la parte inferior. Secundario a la elevación esternal, se produce una rotación longitudinal del cartílago costal; dicha rotación, hace parte de las características elásticas del tórax^{121,123,125}.

Esta descripción geométrica explica la utilidad de medir la movilidad del tórax durante la respiración, ya que estos cambios permiten la movilización del volumen

¹²⁶ WEST, Jhon. Ventilación, cómo llega el aire a los alvéolos. En: Fisiología respiratoria. San Diego: Editorial Médica Panamericana, 2005. p. 13–23.

¹²⁷ COSTA, Dirceu. Organização anatomofuncional no sistema respiratório. En: Fisioterapia respiratória básica. São Paulo: Atheneu, 1999. p. 1–9.

pulmonar y estimar la expansibilidad del pulmón. Existen diversas herramientas para realizar esta medición, a continuación se presentan el IAT y la fotogrametría.

2.3.2 Índice de Amplitud Torácica. El IAT es una de las mediciones disponibles para evaluar la movilidad torácica durante la respiración, ya que abarca el movimiento que se da a nivel de las vértebras torácicas, del esternón y de las costillas²⁷. Se considera la técnica más comúnmente utilizada por los fisioterapeutas para tal fin^{28,128,129}.

También es conocida como excursión torácica, toracometría o cirtometría dinámica, en cualquier caso, consiste en la medición con una cinta métrica no extensible de la circunferencia del tórax en las fases inspiratoria y espiratoria máximas, a diferentes niveles (para el caso del presente estudio, se realizará a nivel axilar, xifoideo y umbilical). El resultado (dado en centímetros, cm) se obtiene por la diferencia entre la máxima inspiración (al nivel de la capacidad pulmonar total) y la máxima espiración (hasta el volumen residual). La medición proporciona información del grado de expansibilidad y de retracción de los movimientos toraco-abdominales, por lo que permite calificar los desplazamientos en pared torácica de forma sistemática durante la respiración^{17,18,28,128,129,130,131}.

La excursión torácica constituye una medida de la función pulmonar, ya que alrededor del 20% de la variación en el IAT se puede explicar por los cambios en la función pulmonar, como la capacidad vital forzada²⁸. Adicionalmente, desde el punto de vista fisioterapéutico, evaluar de forma eficaz la movilidad torácica y por

¹²⁸ COSTA, Dirceu. Avaliação em fisioterapia respiratória. En: Fisioterapia respiratória básica. São Paulo: Atheneu, 1999. p. 11–44.

¹²⁹ LEHMKUHL, Elaine, *et al.* A Mobilidade torácica avaliada em diferentes regiões através da técnica de cirtometria em indivíduos saudáveis. En: IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação (10: 19 – 20, octubre, 2006, São José dos Campos). Revista Univap. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2006. p. 1589–1592.

¹³⁰ DOFOUR, Michael, *et al.* Evaluación de la cabeza y del tronco. En: Kinesioterapia. Tronco y cabeza. Paris: Editorial Médica Panamericana, 1987. p. 11–106.

¹³¹ COSTA, Dirceu, *et al.* Avaliação da força muscular respiratória e amplitudes torácicas e abdominais após a RFR em indivíduos obesos. Revista Latino-Americana de Enfermagem. Abril, 2003, vol. 1, no. 2, p. 156–160.

consiguiente, la expansión pulmonar, posee gran importancia para realizar un diagnóstico completo de la dinámica ventilatoria en diferentes condiciones fisiológicas o patológicas. En este sentido, tener un referente cuantitativo permite hacer más objetiva la evaluación inicial y el seguimiento de la intervención a lo largo del tiempo¹²⁹⁻¹³².

La evaluación de la expansibilidad (también llamada expansión) del tórax se ha citado en la literatura como una medida cualitativa y subjetiva en la que el examinador ubica sus manos sobre el pecho del paciente durante los movimientos respiratorios. Esta medida forma parte de la exploración física del tórax y permite la evaluación de la movilidad torácica, detectando principalmente las asimetrías entre ambos hemitórax. En la práctica clínica, esta medida también se utiliza como un parámetro que proporciona una idea de los volúmenes pulmonares y, cuando se combina con la auscultación, fundamenta el uso de técnicas y procedimientos fisioterapéuticos^{133,134}.

En cuanto a la técnica para la medición, hay que señalar que cuando se realiza en un hemitórax a la vez, puede proporcionar datos sobre la diferencia de la expansión entre un pulmón y otro, sin embargo, si no se realiza cuidadosamente, puede tener mayor error en la medición, invalidando la técnica¹²⁸. De forma general, el IAT debe ser realizada con la persona a evaluar en posición vertical, el evaluador ubicado de frente y colocando la cinta métrica alrededor del tórax en un plano transversal (perpendicular al eje del tronco)¹³⁰.

El evaluador debe fijar el punto cero de la cinta métrica en la cara anterior de la reja costal al nivel que se va a medir, mientras que con el otro extremo de la cinta

¹³² COSTA, Kátia, *et al.* Força muscular respiratória e mobilidade torácica em crianças e adolescentes com leucemia aguda e escolares saudáveis. *Revista Brasileira de Cancerologia*. Junio, 2011, vol 57, no. 5, p. 511–517.

¹³³ PRYOR, Jennifer y PRASAD, Ammani. *Assesment and investigation of patient's problems*. En: *Physiotherapy for respiratory and cardiac problems*. London: Churchill Livingstone, 2002. p. 3–20.

¹³⁴ WILKINS, Robert; STOLLER, James y SCALAN, Craig. *Bedside assesment of the patient*. En: *Fundamentals of Respiratory Care*. St Louis: Mosby, 2003. p. 309–330.

se rodea el tórax o el abdomen. Costa¹²⁸ propuso aplicar la máxima presión con la cinta métrica con el fin de prevenir la interferencia de las estructuras blandas sobre la medición¹²⁸, para complementar este punto, Dofour y col.¹³⁰ especifican que la presión que se ejerza con la cinta, se debe deprimir la piel sin comprimir el tórax.

De igual forma, se debe tener en cuenta los referentes anatómicos en los cuales se ubica la cinta métrica, la postura del evaluador y del participante, y los comandos verbales que se darán a la persona evaluada para garantizar que tanto la inspiración como la espiración sean máximas^{17,130}.

Respecto a los referentes anatómicos, se deben estipular regiones similares a las que se han demarcado para la fotogrametría (costal superior o axilar, costal inferior o xifoideo y abdominal); de esta forma, los cambios que se observen en estos compartimentos permiten inferir cómo se distribuye el volumen pulmonar en el tórax. Se recomienda la selección de referentes anatómicos óseos que minimicen la posibilidad que los cambios en la evaluación se produzcan por desplazamientos en el punto de medición entre una evaluación y otra^{17,129,130,135,136}.

En cuanto al incentivo o comando verbal, Kerkoski y col.¹³⁵ resaltaron la importancia que tienen las instrucciones precisas y la motivación verbal durante la maniobra para obtener el mayor esfuerzo durante la evaluación. En su estudio reportan mayores valores en la movilidad del tórax al dar el incentivo verbal, que cuando no se daba ($p < 0,05$), estas diferencias se mantienen en mujeres y hombres¹³⁵. A pesar de que éste es un estudio de tipo descriptivo, proporciona

¹³⁵ KERKOSKI, Edilaine, *et al.* Mobilidade torácica em adultos: comparação entre duas técnicas de cirtometria. En: VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Revista Univap. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2004. p. 467–470.

¹³⁶ DEMET, Gerald, *et al.* Movilidad torácica y abdominal en adultos jóvenes de ambos sexos sin patología conocida. En: Scientia. Mayo, 2011, vol. 16, no. 3, p. 85-94.

una guía acerca de los aspectos técnicos para la medición y destaca la relevancia de incentivar el máximo esfuerzo del participante¹³⁷.

En los estudios revisados, la cirtometría se realizó en varias posturas. Custer y col.²⁸ y Malaguti y col.¹⁸ propusieron el decúbito supino para la medición; al igual que Caldeira y col.²⁷, quienes utilizaron soportes para la cabeza y las rodillas. La bipedestación es planteada en cinco de los trabajos revisados^{17,49,129,138,139}. Por el contrario, en tres investigaciones^{131,134,135} no se describe la postura en la que se realizó la medición, siendo ésta una de sus limitaciones metodológicas. Pocos estudios referencian la posición sedente para la medición^{131,140} sin embargo, en el presente trabajo se escogió esta postura debido a que es la posición clásica para la realización del examen físico del tórax y facilita la ubicación precisa de la cinta métrica en la región anterior y posterior del tórax^{133,134,141,142}.

La importancia de estandarizar la postura para la evaluación de la movilidad costal se fundamenta en la influencia que tiene sobre el patrón respiratorio. Esta afirmación se basa en los hallazgos de trabajos como el de Verschakelen y col.¹³⁷, quienes describieron los movimientos costales y abdominales durante la respiración en reposo y durante las maniobras de capacidad vital para 120 personas sanas (60 hombres y 60 mujeres). Se encontró que el patrón respiratorio generalmente fue el costal (excepto durante el reposo en el decúbito supino); y que

¹³⁷ VERSCHAKELLEN, Johny y DEMEDTS, Maurits. Normal thoracoabdominal motions. Influence of sex, age, posture, and breath size. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Febrero, 1995, vol. 151, p. 399-405.

¹³⁸ ALVARENGA, Emmanuel, *et al.* Mobilidade torácica em estudantes na faixa etária de 8 a 14 anos de ambos os sexos: uma análise descritiva. En: VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Revista Univap. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2004. p. 435-439.

¹³⁹ APARECIDA, Marlene, *et al.* Efeito de um programa de treinamento de facilitação neuromuscular proprioceptiva sobre a mobilidade torácica. En: Revista Fisioterapia e Pesquisa. Junio, 2009, vol. 16, no. 2, p. 161-165.

¹⁴⁰ MURIEL, Karen y FIORAVANTI, Martha. Avaliação da mobilidade torácica em crianças saudáveis do sexo masculino pela medição do perímetro torácico. En: Revista Fisioterapia e Pesquisa. Abril, 2006, vol. 13, no. 2, p. 6-12.

¹⁴¹ SURÓS, Antonio y SURÓS, Juan. Generalidades. En: Semiología médica y técnica exploratoria. Barcelona: Elsevier Doyma, 2001. p. 1-62.

¹⁴² SURÓS, Antonio y SURÓS, Juan. Neumología. En: Surós A, Surós J. Semiología médica y técnica exploratoria. Barcelona: Elsevier Doyma, 2001. p. 63-186.

la edad y el género tienen mínimo efecto sobre el tipo de respiración, en tanto que la postura tuvo la mayor influencia¹³⁷.

En contraste con el poco efecto del género sobre la respiración reportado por Verschakelen y col.¹³⁷, Bellemare y col.¹⁴³ encontraron diferencias en las dimensiones y la configuración del tórax entre hombres y mujeres, con dimensiones radiales más pequeñas del tórax en las mujeres. Por ejemplo, en un volumen residual el diámetro antero-posterior fue en promedio para las mujeres de $8,05 \pm 0,7\text{cm/mt}$ y para los hombres fue de $8,61 \pm 0,9\text{cm/mt}$ ¹⁴³.

Respaldando los estudios anteriores, Romei y col.¹⁹ encontraron que tanto el género como la postura influyen sobre la respiración y sobre la cinemática costal. Por esta razón, en el presente trabajo la postura fue estandarizada en sedente para la medición del IAT y de la fotogrametría. El tórax fue mantenido en posición erguida, ya que pequeños cambios en la inclinación del tronco también influyen en la cinemática de la respiración¹⁴⁴.

Los referentes anatómicos en los que se realiza la medición, constituyen otro aspecto técnico relevante. En el presente estudio la medición de la excursión torácica o el IAT se realizó en tres niveles (axilar, xifoideo y abdominal), con el fin de evaluar el tórax en su totalidad^{128,130}.

En los adultos con asma se debe evaluar toda la caja costal, porque los pacientes con síntomas respiratorios leves pueden tener un patrón respiratorio costo-diafragmático normal; en tanto que las personas más afectadas, podrían cursar con hiperinflación, lo que conduciría a un patrón respiratorio costal superior, con menor excursión torácica a nivel xifoideo. Estas adaptaciones, finalmente puede

¹⁴³ BELLEMARE, François; JEANNERET, Alphonse y COUTURE, Jacques. Sex differences in thoracic dimensions and configuration. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Agosto, 2003, vol. 168, no. 3, p. 305–312.

¹⁴⁴ LEE, Linda, *et al.* Changes in sitting posture induce multiplanar changes in chest wall shape and motion with breathing. En: Respiratory Physiology & Neurobiology. Enero, 2010, vol. 170, p. 236–245.

llevar a cambios en la longitud muscular y en la postura, lo que redundaría en una menor tolerancia al ejercicio físico^{28,86,145}.

Cuando se trata de medir la expansión del tórax y el abdomen, una variación menor o igual a 0,5cm en la circunferencia no puede considerarse clínicamente importante²⁷. En el estudio de Bockenhauer y col.¹⁷, donde se evaluaron adultos sanos de género masculino, se concluyó que para considerar significativo un cambio en la excursión torácica, éste debía ser mayor a 0,6cm; sin embargo, este estudio presenta la limitación de una muestra pequeña (seis participantes).

La literatura revisada hasta el momento reporta una amplia utilización de esta prueba en diferentes contextos y condiciones. Por medio de la medición de la movilidad del tórax se ha podido describir los movimientos en el tórax y el abdomen en población de adultos, adolescentes, niños sanos, personas con alteraciones cardiopulmonares, obesidad, insuficiencia renal y leucemia^{127,131,132,135-137,139,146,147,148}. Estos trabajos a pesar de poseer un rigor metodológico discutible, han permitido estandarizar la técnica y fundamentar otros aspectos de la evaluación del sistema respiratorio como el patrón ventilatorio.

El tipo de diseño utilizado en estas investigaciones es principalmente de tipo descriptivo y la evaluación de las propiedades psicométricas presenta claras limitaciones metodológicas. De los cinco trabajos^{17,18,27,28,49} revisados sólo uno reporta haber realizado cálculo de tamaño de muestra²⁷, el cual estuvo basado en un estudio piloto con 24 participantes, y permitió calcular una muestra de 31

¹⁴⁵ PIANOSI, Paul y DAVIS, Heather. Determinants of physical fitness in children with asthma. En: Pediatrics. Marzo, 2004, vol. 113, no. 3, p. e225-e229.

¹⁴⁶ KERKOSKI, Edilaine, *et al.* Comportamento da mobilidade torácica nos desempenhos da força muscular respiratória. En: VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Revista Univap. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2004. p. 424 – 427.

¹⁴⁷ APARECIDA, Marlene, *et al.* Efeito de um programa de alongamento muscular pelo método de Reeducação Postural Global sobre a força muscular respiratória e a mobilidade toracoabdominal de homens jovens sedentários. Jornal Brasileiro de Pneumologia. Diciembre, 2007, vol. 33, no. 6, p. 679–686.

¹⁴⁸ CARVALHO, Rebecca, *et al.* Análise da mobilidade torácica e força da musculatura respiratória em pacientes com insuficiência renal crônica. En: Revista do UNIPÊ. Diciembre, 2010, vol. 14, no. 2, p. 38-40.

individuos, considerando un poder de 0,95 y un nivel de significancia de 0,05; teniendo como referencia una correlación clínica de 0,80.

En dos de estos trabajos, los participantes fueron individuos sin compromiso respiratorio^{17,27}, por lo tanto sus resultados, no pueden ser extrapolados a personas con patologías. Sumado a lo anterior, el análisis de los datos que se realiza en la mayoría de los trabajos no responde a los objetivos propuestos. En este sentido, el proyecto de Caldeira y col.²⁷ tenía como propósito evaluar la confiabilidad y validez de la cirtometría; sin embargo, la población escogida fueron personas sanas. Por su parte Bockenhauer y col.¹⁷ buscaron determinar la reproducibilidad de esta técnica, pero para lograr su objetivo contaron con la participación de sólo seis personas, todas ellas sanas. La investigación desarrollada por Malaguti y col.¹⁸, se destaca porque a pesar de no aclarar si se realizó o no el cálculo para determinar el tamaño de muestra, los registros obtenidos de los 30 participantes, mostraron adecuados niveles de reproducibilidad.

Otra limitación de estos estudios se relaciona con la falta de descripción de los protocolos utilizados, sin embargo, un aspecto común que señalan los autores es el contexto clínico en el que se basa la medición. En el anexo A se presenta una síntesis de los artículos publicados sobre el IAT, incluyendo la población participante, las mediciones realizadas y los resultados obtenidos.

2.3.3 Cinemática del tórax. Se fundamenta en la fotogrametría digital, que puede ser definida como la “medición mediante la imagen fotográfica”. En un sentido más amplio, se considera que la fotogrametría digital es la ciencia y la tecnología utilizada para la obtención de información confiable a través de imágenes obtenidas por sensores. De esta forma, se puede reconstruir la posición, la orientación, la forma y el tamaño de los objetos a partir del registro fotográfico; las

fotos pueden ser obtenidas como imágenes fotoquímicas (fotografía convencional) o como imágenes fotoeléctricas (fotografía digital)¹⁴⁹.

La fotogrametría puede ser dividida en fotogrametría interpretativa y fotogrametría métrica. La primera tiene como objetivo principal el reconocimiento y la identificación de objetos y la interpretación de su significado, con base en un análisis cuidadoso y sistemático de fotografías. La fotointerpretación es el acto de examinar las imágenes fotográficas con propósito de identificar los objetos y determinar su importancia, por lo tanto ha sido aplicada principalmente en estudios topográficos (fotogrametría aplicada a la cartografía)¹⁵⁰.

La fotogrametría métrica consiste en la toma de medidas métricas de fotos y otras fuentes de información para determinar, en general, la posición relativa de los puntos ubicados previamente en las fuentes de información. Es posible determinar, debido a los procesos y técnicas de fotogrametría métrica actuales las distancias, los ángulos, las áreas, los volúmenes, los tamaños y las formas de los objetos¹⁵⁰.

El uso de las cámaras digitales y del análisis computarizado de imágenes ha ampliado el uso de la fotogrametría en estudios estáticos y dinámicos con seres humanos, mostrando resultados positivos en diversas investigaciones en dos y tres dimensiones^{151,152,153,154,155}.

¹⁴⁹ LINDER, Wilfried. Introduction. En: Digital photogrammetry. Berlin: Springer, 2009. p. 1–3.

¹⁵⁰ TEMBA, Plínio. Fundamentos da Fotogrametria. En: Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2000. p. 1-23.

¹⁵¹ HOCHMAN, Bernardo; XERFAN, Fabio y MASAKO, Lydia. Fotografia aplicada na pesquisa clínico-cirúrgica. En: Photography in medical research. Acta Cirúrgica Brasileira. Marzo, 2005, vol. 20, p. 19–25.

¹⁵² BARAÚNA, Mário, *et al.* Avaliação do equilíbrio estático em indivíduos amputados de membros inferiores através da biofotogrametría computadorizada. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Enero, 2006, vol. 10, no. 1, p. 83–90.

¹⁵³ SACCO, Isabel, *et al.* Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Octubre, 2007, vol. 11, no.5, p. 411–417.

¹⁵⁴ RICIERI, Denise y ROSÁRIO, Nelson. Impacto de fatores externos sobre a mecânica respiratória avaliada por um modelo fotogramétrico específico: biofotogrametría. En: Jornal Brasileiro de Pneumologia. Enero, 2008, vol. 34, no. 9, p. 702–706.

¹⁵⁵ RICIERI, Denise; ROSÁRIO, Nelson y COSTA, Jecilene. Chest diameter ratios for detecting static hyperinflation in children using photogrammetry. En: Jornal de Pediatria. Octubre, 2008, vol. 84, no.5, p. 410–415.

Las ventajas de la fotogrametría son diversas, entre ellas se encuentran la reducción del margen de error en comparación con otros métodos tales como la cirtometría; además de ser un método no invasivo, de bajo costo y práctico. Por lo tanto, se ha utilizado para ayudar a reconocer el patrón ventilatorio de una persona a partir de un conjunto de imágenes adquiridas por un sistema fotogramétrico^{156,157}.

El sistema fotogramétrico requiere de marcadores especiales que se colocan en un conjunto de puntos anatómicos sobre el tórax, para poder ser medidos en la inspiración y en la espiración; y la diferencia de las posiciones de los marcadores, arroja información acerca de la mecánica del movimiento respiratorio¹⁵⁸.

Konno y Mead, de acuerdo a lo citado por Ripka¹⁵⁷, para los análisis respiratorios no invasivos, dividieron el tronco en dos compartimientos, torácico y abdominal. Esta división llevó a métodos de evaluación respiratorios, tales como la magnetometría lineal, los sensores de eje, la pletismografía (cálculo del cambio en el volumen)¹⁵⁹ y el análisis de imagen¹⁶⁰.

En cuanto a la magnetometría lineal, se puede afirmar que busca medir los cambios en el diámetro anteroposterior del tórax. Por su parte la técnica que utiliza los sensores de eje, busca la medición de la circunferencia del tórax en distintos niveles; estos sensores consisten en pequeños monitores que se aseguran mediante bandas elásticas circunferenciales, y son activados durante la

¹⁵⁶ IUNES, Denise, *et al.* Confiabilidade intra e interexaminadores e repetibilidade da avaliação postural pela fotogrametria. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Diciembre, 2005, vol. 9, no. 3, p. 327–334.

¹⁵⁷ RIPKA, Wagner. Análise fotogramétrica para predição de volume e comportamento respiratórios em adolescentes. Tesis de Maestría en Ingeniería Eléctrica e Informática Industrial. Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial). Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. 75 p.

¹⁵⁸ ČIHÁK, Jiří, *et al.* Recognition of breathing pattern by a photogrammetric method. En: Research Reports of Center For Machine Perception, Czech Technical University in Prague. Enero, 2005, vol. 32, no. 32, p. 1–9.

¹⁵⁹ ROSS, Russell y HELMS, Peter. Evaluation of three different techniques used to measure chest wall movements in children. En: European Respiratory Journal. Noviembre, 1994, vol. 7, no. 11, p. 2073–2076.

¹⁶⁰ LOULA, Carla, *et al.* Análise de volumes parciais do tronco durante a respiração por videogrametria. En: Revista brasileira de biomecânica. Abril, 2004, vol. 9, p. 21–27.

inspiración. Al activarse, mueven un imán cercano y el resultado es la generación de una pequeña corriente, la cual se amplifica para producir una señal respiratoria. Por último, la pletismografía puede ser de varios tipos: la de inductancia, la de cuerpo completo, y la pletismografía opto-electrónica¹⁵⁹.

Ross y col.¹⁵⁹ compararon estos tres métodos de fotogrametría, y reportaron que los tres mostraban formas de onda similar en términos generales, aunque las mediciones derivadas no fueron intercambiables entre los dispositivos. En este trabajo, se evaluaron 10 niños que se encontraban en recuperación de cuidados intensivos, y los autores discuten sus resultados resaltando a la pletismografía respiratoria inductiva (RIP) como una técnica adecuada para detectar cambios globales en el tamaño de la pared torácica, pero que identifica distorsiones locales. Por su parte, los magnetómetros y otros dispositivos similares, pueden reflejar cambios mucho más locales en la forma de la pared torácica¹⁵⁹.

De forma general, la pletismografía respiratoria o pulmonar busca describir cualitativa y cuantitativamente los volúmenes contenidos en el tórax durante la respiración, de forma no invasiva¹⁶¹. La estimación de los volúmenes puede realizarse siguiendo varios métodos, entre ellos tenemos la RIP¹⁵⁷ y la pletismografía optoelectrónica¹²⁰.

Las mediciones cuantitativas obtenidas por la RIP se basan en la detección de cambios en el volumen del tórax y del abdomen durante la respiración, esto se logra por la medición del área de corte transversal del tórax^{15,159}. La suma de estas mediciones se ha demostrado que proporciona una estimación de volumen tidal si se mantiene la calibración del sistema¹⁶¹. Al igual que la magnetometría, ignora pequeñas pero sistemáticas distorsiones de la reja costal, lo que constituye una importante desventaja¹⁵.

¹⁶¹ CARRY, Pierre, *et al.* Evaluation of respiratory inductive plethysmography. accuracy for analysis of respiratory waveforms. En: Chest. Abril, 1997, vol. 111, no. 4, p. 910–915.

Con el paso del tiempo, se fueron mejorando las estrategias para calibrar las señales obtenidas y en la actualidad el sistema consta de dos sensores ubicados en la reja costal y el abdomen, un circuito oscilador, un demodulador y un microprocesador^{162,163}. La RIP se ha utilizado para la evaluación del patrón respiratorio en personas sanas para analizar la influencia de la edad, el género y la postura sobre la mecánica de la respiración¹³⁷; en asmáticos¹⁶⁴ y para medir la respuesta de la bronco-constricción en esta población ante ciertos medicamentos¹⁶⁵.

La pletismografía optoelectrónica es un recurso utilizado para medir los cambios en el volumen total de la reja costal durante la respiración, y en sus diferentes compartimentos (caja torácica pulmonar, la caja torácica en contacto con el diafragma y el abdomen). La medición se realiza sobre la base de medidas ópticas de un número finito de desplazamientos de puntos ubicados en la superficie externa de la caja torácica. Es un método no invasivo que no está limitado por el número de grados de libertad del tórax, que no requiere una boquilla, un clip nasal o cualquier dispositivo similar, y que tiene un procedimiento de calibración relativamente sencillo que no necesita de la participación del sujeto^{120,166}.

La pletismografía optoelectrónica también permite realizar la monitorización de la respiración durante diferentes situaciones, incluso dinámicas. Además, las mediciones del volumen no están influenciados por factores ambientales (temperatura, humedad, y la composición de gas); el monitoreo que facilita, se

¹⁶² STOCKS, Jeffry, *et al.* Respiratory Inductive Plethymography. En: Infant Respiratory Function Testing. Canadá: Wiley-Liss, 1996. p. 193–163.

¹⁶³ CLARENBACH, Christian, *et al.* Monitoring of ventilation during exercise by a portable respiratory inductive plethysmograph. En: Chest. Septiembre, 2005, vol. 128, no. 3, p. 1282–1290.

¹⁶⁴ STRÖMBERG, Nelson y GUSTAFSSO, Peter. Hyperventilation during bronchial challenges in asthmatics: reproducibility and assessment of contributing factors. En: Respiratory Medicine. Mayo, 1996, vol. 90, no. 5, p. 297–306.

¹⁶⁵ HOUGHTON, Catherine; Woodcock A y Singh D. A comparison of plethysmography, spirometry and oscillometry for assessing the pulmonary effects of inhaled ipratropium bromide in healthy subjects and patients with asthma. En: British Journal of Clinical Pharmacology. Febrero, 2004, vol. 59, no. 2, p. 152–159.

¹⁶⁶ PERREIRA, Verônica, *et al.* Optoelectronic plethysmography: a review of the literature. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Diciembre, 2012, vol. 16, no. 6, p. 439–453.

puede combinar con la medición de presión, del flujo de aire, de la concentración de gas, entre otros; por último, este tipo de pletismografía permite el análisis de los volúmenes de cada hemitórax por separado¹⁶⁶. Adicionalmente, demostró adecuada correlación al compararse con la ultrasonografía, para la evaluación de la excursión diafragmática, tanto durante una respiración superficial como una profunda (coeficiente de correlación de Pearson de 0,97)¹⁶⁷.

Adicionalmente, se ha utilizado para evaluar la hiperinflación pulmonar dinámica, para analizar las asimetrías en el plano sagital del tronco y para evaluar la presencia de asincronía entre los tres compartimentos del tórax y el abdomen. Sumado a lo anterior, la pletismografía optoelectrónica se puede utilizar en diferentes posturas (de pie, sentado, en posición supina, y prono), diversas condiciones (descanso, ejercicio físico, sueño y ventilación mecánica) y en varias disfunciones (espondilitis anquilosante, EPOC, asma, en niños en proceso de recuperación del cuidado intensivo, entre otras)^{77,159,166,168,169}.

Al analizar la relación de los volúmenes calculados mediante éste método con los volúmenes obtenidos a través de un neumotacógrafo como en el caso de la espirometría, se han reportado coeficientes de correlación por encima de 0,8^{15,120,170,171,172}; sumado a ello, se ha establecido un adecuado nivel de acuerdo evaluado para esta prueba en diferentes condiciones^{120,170,172}.

¹⁶⁷ WANG, Hsing, *et al.* Relationship between chest wall motion and diaphragmatic excursion in healthy adults in supine position. En: Journal of the Formosan Medical Association. Julio, 2009, vol. 108, no. 7, p. 577–586.

¹⁶⁸ ROMAGNOLI, Isabella, *et al.* Chest wall kinematics and respiratory muscle action in ankylosing spondylitis patients. En: European Respiratory Journal. Septiembre, 2004, vol. 24, no. 3, p. 453-460.

¹⁶⁹ BIANCHI, Roberto, *et al.* Chest wall kinematics and breathlessness during pursed-lip breathing in patients with COPD. En: Chest. Febrero, 2004, vol. 125, no. 2, p. 459-465.

¹⁷⁰ ALIVERTI, Andrea, *et al.* Optoelectronic plethysmography in intensive care patients. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Mayo, 2000, vol. 161, no. 5, p. 1546–1552.

¹⁷¹ VOGIATZIS, Ioannis, *et al.* Patterns of dynamic hyperinflation during exercise and recovery in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. En: Thorax. Septiembre, 2005, vol. 60, no. 9, p. 723–729.

¹⁷² DELLACÀ, Raffaele, *et al.* Measurement of total and compartmental lung volume changes in newborns by optoelectronic plethysmography. En: Pediatric Research. Enero, 2010, vol. 67, no. 1, p. 11–16.

Otra aplicación de la fotogrametría fue propuesta en 1999, por Gorini y col.¹⁶, quienes evaluaron a siete personas con asma en un periodo de bronco-constricción inducida, utilizando un sistema de análisis de movimiento utilizando el reflejo óptico (ELITE) para estimar el cambio en el volumen pulmonar durante la respiración, mediante el cálculo de las tres dimensiones de las coordenadas de marcadores pasivos colocados en el tórax. Los autores concluyen que este sistema permite mejores estimaciones del VC en estas condiciones, cuando se compara con la medición con magnetómetros o la RIP; sin embargo, en el análisis sólo se relaciona el VC medido con el sistema ELITE con el medido mediante un neumotacógrafo, para cada participante. La relación reportada se encuentra entre 0,98 y 0,99 durante la máxima bronco-constricción para todos los sujetos¹⁶.

Dentro de este mismo estudio, se reconocen ciertas limitaciones en los métodos de evaluación aplicados, como el movimiento que se puede presentar en los marcadores durante la respiración que llevaría a imprecisiones del cálculo del volumen movilizado en cada compartimento de la reja costal. Esta limitación podría afectar el análisis que se haga durante la bronco-constricción aguda, ya que al final de la espiración el volumen pulmonar aumenta, y en consecuencia, el límite superior del diafragma que está en contacto con la caja torácica puede cambiar. Por lo tanto, si los marcadores sufren algún desplazamiento el resultado de la medición no podría ser atribuido únicamente al cambio de la zona de aposición entre el diafragma y la reja costal, secundario a la hiperinflación¹⁶.

Las imágenes en tercera dimensión (3D) son otro recurso para la medición de la movilidad del tórax durante la respiración. Dentro de este grupo se han descrito la tomografía computarizada con rayos X en 3D, los sistemas ópticos basados en luz y el procesamiento y computarización en paralelo. Dentro de las limitantes de la tomografía se encuentra la necesidad de altas dosis de radiación ionizada y se limita su uso al registro en posición supino; en tanto que, los sistemas ópticos tienen como desventajas la baja resolución de las imágenes y el tiempo prolongado para realizar el análisis. Por lo tanto, dentro de este grupo se destaca

el procesamiento y computarización en paralelo de imágenes, que permite hacer un análisis de múltiples puntos en la superficie corporal, utilizando un sistema de análisis de movimiento por reflejo óptico (OR)¹⁵.

El sistema OR constituye un sistema de visión digitalizado, diseñado para identificar objetos de una forma predeterminada y para monitorizar sus trayectorias en 3D en tiempo real. Ha sido utilizado para analizar el movimiento automático en biomecánica, ortopedia y neurología. En 1994, este método fue adaptado para el análisis cinemático del movimiento de la pared costal por Ferrigno y col.¹¹⁹, con el fin de estimar directamente el cambio del volumen de la caja costal durante la respiración por la computarización coordinada en 3D, de marcadores ubicados en la caja costal y en el abdomen, en tiempo real.

Siguiendo con esta misma línea de investigación, Cala y col.¹⁵ incrementaron el número de marcadores para lograr mayor precisión en la estimación del volumen pulmonar utilizando este método; y reportaron una correlación excelente entre el volumen censado a través de la espirometría con el volumen calculado por el análisis OR, con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,995¹⁵.

En general, un sistema fotogramétrico requiere básicamente de cámaras fotográficas o de video, de marcadores ubicados en la piel del tórax y de un sistema que permita el procesamiento de las imágenes obtenidas y la medición del desplazamiento de acuerdo al ciclo respiratorio. Sin embargo, los aspectos técnicos para el registro pueden variar de un estudio a otro; incluyendo el número y las características de las cámaras utilizadas, las características de los marcadores utilizados, la manera en la cual se adquieren las imágenes, y el protocolo para la captura de la imagen en cada fase de la respiración¹⁵⁸.

Para la localización de los marcadores, se siguen líneas dispuestas a lo largo y ancho del tórax, o puntos anatómicos específicos. El número de marcadores varía en función del sistema utilizado, así, para la pletismografía los puntos anatómicos que se seleccionan son más, para permitir la predicción más precisa de los

volúmenes pulmonares. Pero en todos los sistemas, es necesario realizar normalización de las mediciones, orientando la ubicación del sujeto en un plano con ejes x , y y z ¹⁵⁸.

La utilidad del análisis hecho por la fotogrametría es amplia y abarca la descripción del tipo de patrón respiratorio en personas sin ningún tipo de patología¹⁵⁸ y la evaluación de niños con asma¹⁷³. El asma como patología de origen pulmonar, debe ser analizada desde la cinemática para sustentar los cambios fisiopatológicos a nivel biomecánico y muscular. En este sentido la fotogrametría, constituye una herramienta objetiva para cuantificar la cinemática en las personas con esta patología¹⁵⁵.

En el presente trabajo, para el procesamiento de la información se utilizó el Software de Evaluación Postural (SAPO), que permite la medición de distancias y de ángulos, en imágenes digitalizadas. Se basa en la identificación de los marcadores definidos, lo que permite realizar la calibración de la imagen y la cuantificación de las mediciones¹⁷⁴.

Ferreira y col. evaluaron la reproducibilidad intra y entre-evaluadores del SAPO. Para la reproducibilidad intra-evaluador, los CCI fueron variables (entre 0,47 y 0,99); sin embargo, cuatro de los cinco evaluadores participantes obtuvieron una reproducibilidad entre buena y excelente¹⁷⁵. El software también ha demostrado excelente reproducibilidad intra y entre-evaluadores para las mediciones angulares de los segmentos corporales (CCI de 0,99)¹⁷; para la descripción postural de niños

¹⁷³ BARAÚNA, Mario y BALDO, María. Método fotogramétrico de rastreamento do ângulo de Charpy em crianças asmáticas e não asmáticas. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Diciembre, 2000, vol. 1, p. 75–84.

¹⁷⁴ GONÇALVES, Rafael; DEL CASTILLO y Fabiano, AZEVEDO, Gustavo. Confiabilidade e validade de medidas angulares por meio do software para avaliação postural. En: Fisioterapia em Movimento. Septiembre, 2008, vol. 21, no. 3, p. 117–126.

¹⁷⁵ FERREIRA, Elizabeth, *et al.* Postural Assessment Software (PAS/SAPO): validation and reliability. En: Clinics. Julio, 2010, vol. 65, no. 7, p. 675-681.

sanos, la reproducibilidad es buena (CCI entre 0,84 y 0,99)¹⁷⁶; por su parte, en la evaluación postural en universitarios, de las 22 mediciones realizadas sólo cuatro reportaron CCI no aceptables, los demás estuvieron entre aceptables y excelentes (CCI entre 0,71 y 0,99)¹⁵⁶.

Otra utilidad de la fotogrametría es la predicción de los volúmenes que circulan por las vías respiratorias (tales como el CVF, VEF₁ y VC), sin embargo, las ecuaciones para realizar estas predicciones pueden llegar a tener una variabilidad hasta del 20% del valor real, especialmente para FVC y FEV₁^{177,178}.

Debido a su amplia aplicabilidad, la fotogrametría se ha utilizado en estudios con diversidad de objetivos: para la descripción de los cambios posturales y de la excursión diafragmática en niños con respiración bucal¹⁷⁹; en infantes de 1 a 12 meses, con antecedentes de prematurez, con el fin de determinar sus propiedades psicométricas para la detección de anormalidades²⁰; y para describir la postura en atletas de alto rendimiento¹⁸⁰.

2.4 VALORACIÓN DE LA FUNCIÓN MUSCULAR RESPIRATORIA EN EL ASMA

2.4.1 Generalidades de los músculos respiratorios. El sistema respiratorio puede ser dividido en tres componentes: un sistema de regulación neural (cerebro, médula espinal y plexos periféricos), un órgano encargado del intercambio de

¹⁷⁶ SANTOS, Mateo, *et al.* Análise postural fotogramétrica de crianças saudáveis de 7 a 10 anos: confiabilidade interexaminadores. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Agosto, 2009, vol. 13, no. 4, p. 350-355.

¹⁷⁷ KULICH, Michal, *et al.* Disease specific reference equations for lung function in patients with Cystic Fibrosis. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Octubre, 2005, vol. 172, no. 7, p. 885–891.

¹⁷⁸ WU, Yonghui, *et al.* Predictive equations for lung function based on a large occupational population in North China. En: Journal of Occupational Health. Septiembre, 2009, vol. 51, no. 6, p. 471–477.

¹⁷⁹ CHIAO, Liu, *et al.* The relationship between excursion of the diaphragm and curvatures of the spinal column in mouth breathing children. En: Journal of Pediatrics. Abril, 2008, vol. 84, no. 2, p. 171–177.

¹⁸⁰ PERES, Simone, *et al.* Evaluación bidimensional de la postura de atletas de alto rendimiento. En: Fitness & Performance Journal. Agosto, 2007, vol. 6, no. 4, p. 247-250.

gases con el medio (pulmón) y una bomba contráctil, responsable de establecer el flujo aéreo (músculos respiratorios). Si se altera la función del diafragma y demás músculos respiratorios (por fatiga o debilidad), se produce la insuficiencia ventilatoria y ocasionalmente la muerte^{123,126,181,182,183,184,185}.

Los músculos respiratorios son los encargados de generar las diferencias en las presiones intra-torácicas necesarias para la ventilación, por lo tanto, la debilidad en ellos predispone al desarrollo de falla respiratoria. La disfunción muscular que hace parte de la debilidad, debe ser diferenciada de las alteraciones a nivel pulmonar y por lo tanto, deben ser medidas de forma separada^{121,126,178,182,183}.

Los músculos de la respiración pueden ser clasificados en músculos inspiratorios y espiratorios. Estos músculos presentan un diámetro de fibra pequeño y una alta resistencia a la fatiga pues poseen como fuente principal de energía la vía oxidativa; además, representan el 3% de la masa muscular, siendo el diafragma el 0,5% de esta masa y el responsable de aproximadamente dos tercios del volumen de ventilación pulmonar. Los músculos inspiratorios trabajan principalmente contra resistencia, ya que deben vencer la elasticidad de la caja torácica conferida por los cartílagos costales, la resistencia elástica pulmonar, la fuerza de gravedad y el contenido abdominal, para poder llevar a cabo su acción. El reclutamiento muscular ventilatorio (inspiratorio y espiratorio) depende del tipo de respiración que se desarrolle, de la postura, del nivel de conciencia, de la resistencia al flujo aéreo y de las características de la pared torácica^{123,183,185}.

¹⁸¹ LAYTON, Aimee, *et al.* Exercise ventilatory kinematics in endurance trained and untrained men and women. En: Respiratory Physiology & Neurobiology. Septiembre, 2011, vol. 178, no. 2, p. 223–229.

¹⁸² TROOSTERS, Thierry; GOSSELINK, Rick y DECRAMER, Marc. Respiratory muscle assessment. En: European Respiratory Monograph. Mayo, 2005, vol. 31, p. 57–71.

¹⁸³ KENDALL'S, Florence, *et al.* Tronco y músculos respiratorios. En: Kendall's Músculos pruebas funcionales, postura y dolor. Madrid: Marbán Libros, S.L, 2007. p. 167–186.

¹⁸⁴ WILKINS, Robert; STOLLER, James y SCALAN, Craig. The respiratory system. En: Fundamentals of Respiratory Care. St Louis: Mosby, 2003. p. 137–186.

¹⁸⁵ CUTTER, Nancy y KEVORKIAN, Charles. Muscles of respiration. En: Handbook of manual muscle testing. New York: McGraw-Hill, 1999. p. 259–267.

Los principales músculos inspiratorios son el diafragma y los intercostales externos, los cuales promueven el incremento de los diámetros torácicos durante la respiración en reposo. Entre de los músculos accesorios de la inspiración se encuentran los escalenos (anterior, medio y posterior) que estabilizan y elevan la reja costal; los esternocleidomastoideos, que elevan el esternón; los elevadores costales o supracostales, los pectorales y los serratos mayores y menores, los cuales participan en la inspiración forzada o cuando se presentan episodios de dificultad respiratoria, cualquiera que sea su causa^{123,128,184,185}.

El diafragma está innervado por los nervios frénicos, raíces C₃ a C₅, que proporcionan innervación tanto sensitiva como motora. El papel que desempeña este músculo en la acción respiratoria lo ubica como el principal músculo ventilatorio, responsable de movilizar cerca del 80% del volumen de aire inspirado. Su forma de cúpula (cuya porción central es tendón carente de inserción ósea) y sus fibras musculares (que se originan en la cara visceral del extremo inferior del esternón, en los cartílagos costales y las costillas, así como en la cara anterior de los tres primeros cuerpos vertebrales lumbares), le permiten desarrollar su particular acción mecánica, que la diferencian de la acción de cualquier otro músculo corporal^{37,123,128,183,185}.

Cuando el diafragma se contrae, su tendón central desciende por el acortamiento de las fibras musculares que tiende a aplanar la convexidad de la cúpula diafragmática. Este descenso incrementa el tamaño y el volumen de la cavidad torácica, lo que trae como consecuencia inmediata la disminución de la presión intra-torácica y facilita el ingreso del aire atmosférico al medio pulmonar. Sin embargo, el descenso diafragmático se ve rápidamente limitado por el contenido visceral abdominal, lo cual provoca su compresión y la reducción de la cavidad abdominal y, por ende, un ligero incremento de presión. En este instante, el diafragma invierte la dirección de su contracción por medio de la tracción que ejerce el tendón central sobre los cartílagos, las costillas y el esternón (estructuras con las que se contacta por medio de la zona de aposición), haciendo que éstas

se eleven y se incrementen los diámetros torácicos (transverso, antero-posterior y sobretodo, longitudinal). A este movimiento toraco-abdominal del diafragma se denomina “en asa de balde”^{38,121,122,124,125,128,183,184}.

Si la cúpula del diafragma se aplanar, como sucede en las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, sus fibras tiran horizontalmente de las costillas y no hacia arriba y hacia afuera. Por lo tanto, la capacidad del diafragma para aumentar las dimensiones de la caja torácica está limitada. Esta alteración en el desempeño diafragmático justifica la evaluación de la función muscular en personas con estas patologías^{38,121}.

Debido a que el diafragma se evalúa en diferentes posiciones, es necesario diferenciar su trabajo. En posición vertical, el descenso del centro frénico conlleva a un aumento del diámetro vertical del tórax y deja la columna lumbar como único punto fijo del diafragma; durante la exhalación, el diafragma se relaja, su cúpula se eleva, se reduce el volumen y se aumenta la presión en la cavidad torácica, mientras aumenta el volumen y disminuye la presión intra-abdominal. En decúbito (supino, prono y lateral), el diafragma sigue funcionando según las presiones que recibe; en una respiración en reposo en decúbito lateral, el hemidiafragma situado del lado de apoyo es empujado por la presión intra-abdominal, por lo que cumple un papel más espiratorio que en las otras posiciones y permite una ventilación de las fibras basales¹²⁴.

Durante la inspiración en reposo en individuos asintomáticos, los músculos respiratorios se contraen de manera coordinada: mientras que el diafragma desciende, las costillas se mueven hacia arriba y hacia afuera. Dentro de este proceso, los músculos intercostales externos actúan como músculos inspiratorios principales que estabilizan la caja torácica superior, elevan las primeras costillas,

ensanchan la reja costal superior y permiten que el retroceso elástico de los pulmones y de la pared torácica suceda de forma controlada^{38,124,183,186}.

Las fuerzas que se aplican a las costillas por medio de los músculos intercostales, se transmiten a través de las articulaciones y del cartílago a los otros huesos. Como resultado, la relación entre la fuerza muscular y el desplazamiento del hueso para los músculos intercostales se vuelve más complicada de lo que es para la mayoría de los músculos esqueléticos; por lo tanto, el efecto respiratorio de un músculo intercostal es el resultado de diferentes momentos que el músculo ejerce en la parte superior e inferior de las costillas que delimitan su espacio intermedio^{38,124,183,186}.

Contrario a la inspiración, la espiración es un proceso pasivo durante la respiración en reposo, y ocurre debido a la elasticidad del pulmón y de la pared torácica. Cuando la respiración se hace más vigorosa, tal como en el ejercicio o en una patología respiratoria, la exhalación ya no es una función pasiva, sino que intervienen los intercostales internos y los abdominales (oblicuos menores y mayores, el recto abdominal y los transversos) para aumentar la presión intra-pleural. Además, otros músculos accesorios entran en juego durante la respiración vigorosa incluyendo el esternocleidomastoideo y los músculos escalenos en el cuello, los músculos de la región del hombro, los músculos pectorales, el cuadrado dorsal y lumbar^{121-124,179,183}.

Los abdominales más importantes al final de la inspiración y en el comienzo de la espiración son aquellos con poca o ninguna acción flexora; en especial, las fibras inferiores de los oblicuos menores y el transversos son más activos, junto con las fibras laterales de los oblicuos mayores. El transversos se origina a partir de los cartílagos de las seis costillas inferiores, y se entrelaza con el diafragma. El

¹⁸⁶ WILSON, Theodore y DE TROYER, Andre. The two mechanisms of intercostal muscle action on the lung. En: Journal of Applied Physiology. Febrero, 2004, vol. 96, vol. 2, p. 483-488.

cuadrado lumbar, a través de su inserción en la doceava costilla, fija la caja torácica y contribuye de este modo a la acción diafragmática, tanto en la inspiración como en la espiración. Los músculos oblicuos mayores cubren una gran porción de la parte inferior del tórax y contribuyen a la fluctuación en el volumen de la caja torácica y ayuda a mantener constante la presión^{123,183}.

Se debe reconocer la disposición de esta musculatura en la pared abdominal. En la parte anterior se encuentra el recto anterior o recto abdominal, un músculo longitudinal, grueso, con fibras musculares cortas; a nivel de los flancos (derecho e izquierdo), se ubican músculos anchos y finos con fibras musculares largas (oblicuos y transversos). Los rectos del abdomen están situados en el eje longitudinal, en paralelo a un lado y al otro de la línea media anterior, y se extienden hasta el pubis en una sucesión de fibras musculares entrecortadas por láminas conjuntivas de conexión. Se debe anotar que ninguna lámina conjuntiva intermedia separa al músculo en su totalidad, y que las separaciones en la cara profunda del músculo no se hacen al mismo nivel que en la cara superficial¹³⁰.

Respecto a los oblicuos abdominales (externos e internos), se consideran dos láminas musculares que ocupan toda la parte lateral del abdomen. Son carnosas posterior y lateralmente y se vuelven tendinosas y aponeuróticas anteriormente. El oblicuo mayor presenta una dirección en general oblicua hacia abajo y adelante, esta dirección cruza la del oblicuo menor, que en conjunto se dispone hacia abajo y hacia atrás. Por último, el más profundo de los tres músculos abdominales es el transversos del abdomen, el cual gracias a su trayecto horizontal, se puede contraer cerrando la circunferencia abdominal. Para palparlo, es necesario presionar a través de la masa carnosa de los músculos oblicuos, lo que hace la apreciación imperfecta y difícil¹³⁰.

Además de su función espiratoria, la tensión de los músculos abdominales en reposo complementa la acción inspiratoria del diafragma, ya que facilita un incremento en la presión abdominal y evita que se presente protrusión abdominal

durante la inspiración. Esta función es preponderante en bipedestación y sedente, y se cumple gracias a la presión que ejercen las vísceras sobre la musculatura abdominal^{38,121,184}.

2.4.2 Evaluación de la función muscular respiratoria. Debido a las diferencias anatómica y funcional entre los músculos respiratorios y los músculos de las extremidades, algunos aspectos de las pruebas deben ser abordadas de forma diferente. La principal diferencia radica en la ubicación anatómica de los músculos inspiratorios en la cavidad torácica. Los músculos intercostales, rodean el tórax y cruzan varias las articulaciones; mientras que el diafragma, se encuentra dentro de la “bóveda” del tórax. Por esta razón, se utiliza comúnmente la medición de las presiones respiratorias para determinar la fuerza de estos músculos^{38,183,185}.

La medición de la función de los músculos respiratorios se debe realizar como parte de un proceso de diagnóstico completo que incluye la anamnesis, el examen físico, el análisis de gases arteriales y las técnicas de imagen. La espirometría, los volúmenes pulmonares estáticos y los estudios técnicos de difusión de gases respiratorios, constituyen estudios más avanzados que también pueden hacer parte de la evaluación de la función pulmonar. Por lo tanto, las mediciones de la fuerza muscular no deben ser interpretadas sin tener en cuenta este proceso diagnóstico completo^{182,185}.

La medición de la fuerza muscular respiratoria es en la actualidad aplicada de forma rutinaria en la práctica clínica, sin embargo, su interpretación puede ser más compleja que la mayoría de las mediciones de fuerza de los demás músculos esqueléticos, por las razones descritas a continuación:

- En la práctica, la fuerza muscular respiratoria clínica se mide indirectamente a través de la presión generada durante la inspiración o la espiración. La fuerza muscular respiratoria es generalmente expresada en kilopascales (kPa) o en centímetros de agua (1kPa = 10,2cmH₂O). Estas presiones reflejan los cambios en

el sistema respiratorio en contra de la presión atmosférica. La presión es generada por todos los músculos (inspiratorios y espiratorios), y por lo tanto, el resultado no es específico para un solo grupo muscular^{182,185}.

- Otra variable que puede influir en el resultado de la medición de la presión inspiratoria y espiratoria es el volumen pulmonar relativo en el que se obtiene, ya que éste influye en la relación longitud-tensión del músculo a evaluar. Por lo tanto, para su evaluación, se deben estandarizar el volumen al cual se aplicará la prueba¹⁸².

- Al momento de valorar a los músculos respiratorios, se debe tener en cuenta que el resultado de las pruebas que se apliquen depende de la biomecánica de la pared torácica y de la mecánica pulmonar¹⁸².

Las pruebas que se realizan para la evaluación funcional de los músculos respiratorios se pueden clasificar en función del concepto fisiopatológico estudiado: exploración de la fuerza, de la resistencia y de la reserva funcional o riesgo de fatiga¹⁸². En el contexto de la función respiratoria, la fatiga muscular se define como la incapacidad para mantener la ventilación alveolar precisa¹⁸⁷. En cuanto a la fuerza, como en cualquier músculo estriado, la fuerza de contracción será determinada por la longitud del músculo (relación longitud-tensión), por la relación fuerza-velocidad, por la fuerza y la frecuencia de estimulación (relación fuerza-frecuencia), y por la integridad del aparato contráctil^{37,182}.

La resistencia muscular respiratoria se ha definido y se mide como la capacidad de mantener altos niveles de ventilación en condiciones isocápnicas. También puede ser medida por la inhalación contra una resistencia conocida. La capacidad de resistencia de los músculos ventilatorios depende de la interacción entre la impedancia del sistema respiratorio y el máximo disponible de fuerza muscular.

¹⁸⁷ HERRERA, Albert y RÍO, Francisco. Exploración funcional de los músculos respiratorios. En: Archivos de Bronconeumología. Julio, 2000, vol. 36, p. 146-158.

Un aumento de la capacidad de resistencia, en presencia de una enfermedad respiratoria crónica progresiva, demuestra la capacidad de los músculos para adaptarse a las cambiantes demandas funcionales^{37,182}.

Esta propiedad de los músculos ventilatorios es determinada por la composición de la fibra muscular, el suministro de sangre, y la integridad del aparato contráctil. También está influenciada por la fuerza y la duración de la contracción y la velocidad de acortamiento durante la contracción. Debido a que la fuerza de contracción se expresa en relación con su valor máximo, la fuerza muscular tendrá una incidencia importante en la resistencia³⁷.

2.4.3 Valoración muscular manual (VMM). Se lleva a cabo mediante la observación, la palpación, la movilización y la resistencia aplicada a la contracción muscular. El resultado se presenta utilizando una escala ordinal, que varía para los músculos inspiratorios y espiratorios. En el ámbito clínico la valoración se correlaciona con los signos clínicos de debilidad muscular; cuando esta debilidad es severa y afecta a toda la musculatura respiratoria, se observa disnea y taquipnea^{40,48,183,187}.

En el examen, el hallazgo característico de una profunda debilidad o parálisis bilateral del diafragma es el movimiento paradójico de “succión” o de retracción abdominal en inspiración, y de “abombamiento” en espiración, que se hacen más evidentes con el paciente en supino. Como consecuencia de la mala actividad del diafragma, la contractilidad de los músculos accesorios aumenta en gran medida cuando se aumenta la ventilación. En posición vertical, los músculos abdominales pueden ser visiblemente reclutados durante la espiración, lo que sirve para elevar el diafragma y permitir el posterior descenso asistido por la fuerza de gravedad, durante la inspiración. Sin embargo, estas características clínicas son rara vez observables hasta que la fuerza del diafragma se reduce a aproximadamente un

cuarto de lo normal; por lo tanto, la debilidad sustancial diafragma puede ser pasada por alto en el examen clínico⁴⁰.

Los signos clínicos o síntomas que pueden ser indicativos de la debilidad muscular respiratoria pueden resumirse así: 1) reducción de la capacidad vital inexplicable; 2) retención de CO₂, específicamente en la ausencia de obstrucción grave del flujo aéreo; 3) dificultad para respirar; 4) ortopnea (falta de aire en posición supina) o disnea durante el baño o la natación; 5) frases cortas durante el habla; 6) taquipnea; 7) movimiento paradójico de la pared abdominal o torácica; 8) tos débil (con presencia o no de infecciones respiratorias recurrentes), y 9) debilidad muscular generalizada¹⁸².

En la exploración física, también se debe considerar la frecuencia respiratoria. Cuánto más alta es ésta, con más facilidad se presentará la fatiga muscular. En todo paciente con dificultad respiratoria es necesario un examen cuidadoso de la contracción de los músculos respiratorios. Un desplazamiento inspiratorio importante de la caja torácica, especialmente de su parte superior, en decúbito supino, debe hacer sospechar una debilidad diafragmática o un trabajo respiratorio elevado; y su ausencia en bipedestación, una debilidad de los músculos de la caja torácica¹⁸².

Una asincronía en los movimientos toraco-abdominales puede deberse a que los movimientos del diafragma y de los otros músculos inspiratorios no sean simultáneos o a que se contraigan con distinta intensidad. La alternancia de respiraciones con la caja torácica y respiraciones con desplazamientos abdominales es signo de fatiga de los músculos inspiratorios e indica que se reclutan y desreclutan alternativamente los músculos de la caja costal y el diafragma¹⁸².

El estudio de la fuerza de los músculos respiratorios valora la máxima tensión que son capaces de generar en una inspiración forzada. Como ya se ha mencionado, la fuerza muscular depende de la masa muscular, de la contractilidad, de la carga

mecánica, de la longitud muscular y de la velocidad de acortamiento. Las maniobras requeridas para efectuar un esfuerzo respiratorio máximo pueden ser estáticas, si se realizan sin flujo aéreo, por lo que reflejan la contracción a isovolumen pulmonar; o dinámicas, cuando se llevan a cabo con flujo aéreo¹⁸².

La VMM se realiza con base en la escala ordinal del Medical Research Council (MRC), utilizada clínicamente y que ha sido aplicada en múltiples estudios con objetivos diversos^{22–26,188}. El test del diafragma presenta cierta subjetividad ya que es indirecto y realizado manualmente, sin embargo, es la prueba más práctica para determinar su fuerza de contracción. Cuando se realiza correctamente, es una herramienta eficaz dentro de la inspección clínica o de medición kinesiológica del trabajo diafragmático. Las condiciones básicas para garantizar la eficacia de la prueba son la relajación de los músculos abdominales, la postura al momento del examen y los contactos manuales adecuados, que garanticen la sensibilidad táctil de la contracción muscular^{48,128,183}.

La prueba para los músculos intercostales externos, se fundamenta en el grado de horizontalización y verticalización de las costillas, la modificación en los espacios intercostales y el ensanchamiento del ángulo condro-esternal (ángulo de Sharpy), durante las fases de la respiración. Para evaluar los músculos costales, se debe garantizar que la musculatura accesoria esté relajada y observar los movimientos torácicos. Durante el examen, el evaluador confirma los hallazgos de la observación mediante la palpación, y detecta cualquier deficiencia en la contracción muscular¹²⁸. Sin embargo, la exploración de los espacios intercostales posteriores es muy difícil y cerca de las articulaciones costo-vertebrales, la modificación del ancho del espacio intercostal es poco visible, aun

¹⁸⁸ JAMES, Michelle. Use of the Medical Research Council muscle length grading system in the upper extremity. *En: Journal of Hand Surgery*. Febreo, 2007, vol. 32, no. 2, p. 154–156.

radiológicamente. Por esta razón, en este proyecto, estos músculos serán evaluados únicamente en la cara anterior del tórax^{130,183,189,190}.

Los músculos abdominales evaluados en este proyecto fueron el recto abdominal y los oblicuos, siguiendo las recomendaciones de Hislop y col.⁴⁸ y de Dofour y col.¹³⁰, las cuales se fundamentan en la ubicación de esta musculatura en la pared del tórax^{48,130,183}.

2.4.4 Presiones respiratorias estáticas (PIM y PEM). Las mediciones cuantitativas de la función de los músculos respiratorios se obtienen generalmente a partir de las presiones obtenidas por la activación voluntaria o por la estimulación eléctrica o magnética del nervio frénico o de las raíces de motor. La presión puede medirse en la nariz, en la boca, en el esófago, o a través del diafragma^{14,37-41,181,182,191,192}.

Las PIM y PEM son probablemente las estimaciones no invasivas más frecuentes de la fuerza muscular. Desde que Blacky Hyatt¹⁹³ describieron esta técnica no invasiva a finales de los años 1960, ha sido ampliamente utilizada en personas sanas de diferentes edades, atletas, y en diversas patologías. De acuerdo a sus creadores, la presión se debe registrar durante un momento breve cuasi-estático en inspiración (maniobra de Müller) y en espiración (maniobra de Valsalva)^{33,39,182,193,194}; partiendo de un volumen residual para la PIM, y desde la capacidad pulmonar total para la PEM^{33,39,182,193}. Debido a la exigencia de las

¹⁸⁹ VOSS, Dorothy; IONTA, Marjorie y MYERS, Beverly. Estimulación de funciones vitales y afines. En: Facilitación neuromuscular propioceptiva. Patrones y técnicas. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2004. p. 424-441.

¹⁹⁰ DOFOUR, Michel, *et al.* Kinesioterapia activa. En: Kinesioterapia. Tronco y cabeza. Paris: Editorial Médica Panamericana, 1987.p. 144-226.

¹⁹¹ MAILLARD, Jean, *et al.* Reproducibility of twitch mouth pressure, sniff nasal inspiratory pressure, and maximal inspiratory pressure. En: European Respiratory Journal. Abril, 1998, vol. 11, no. 4, p. 901-905.

¹⁹² STEIR, Joerg, *et al.* The value of multiple tests of respiratory muscle strength. En: Thorax. Junio, 2007, vol. 62, p. 975-980.

¹⁹³ BLACK, Leo y HYATT, Robert. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. En: American Review of Respiratory Disease. Mayo, 1969, vol. 99, no. 5, p. 696-702.

¹⁹⁴ FIZ, Jean, *et al.* How many manoeuvres should be done to measure maximal inspiratory mouth pressure in patients with chronic airflow obstruction?. En:s Thorax. Mayo, 1989, vol. 44, no. 5, p. 419-421.

mediciones, debe evitar realizarse en condiciones como la presencia de aneurisma, hipertensión no controlada e incontinencia urinaria¹⁸².

Nava y col.¹⁹⁵ al comparar tres métodos para la realización de la prueba (la máxima inspiración contra la vía aérea cerrada, o maniobra de Müller; la inspiración máxima seguida por la máxima espiración, o maniobra combinada; y la maniobra inspiratoria máxima a través de la nariz), recomiendan las tres para la práctica clínica, y las fundamentan en las interacciones complejas que se dan entre varios grupos musculares. Sin embargo, la maniobra de Müller y la inspiración nasal las recomiendan para evaluar la reserva funcional, en tanto que para detectar la fuerza diafragmática aconsejan utilizarlas en forma combinada¹⁹⁵.

La medición de la PIM y PEM ha sido aplicada en gran cantidad de estudios; de ellos, los desarrollados en la época de los 80' y 90' fueron en su mayoría de tipo descriptivo, encaminados a estandarizar la técnica^{191,194,195,196,197}. Desde ese entonces, esta medición ha permitido mostrar el desempeño de los participantes en condiciones específicas (obstrucción crónica al flujo aéreo^{33,34}, obesidad¹³¹, leucemia¹³², insuficiencia renal crónica¹⁴⁸, fatiga¹⁹⁸ y esclerosis múltiple^{199,200}). Dentro de las limitaciones de estos trabajos se encuentra la falta del cálculo del tamaño de muestra, lo que hace que el número de participantes sea muy variable (entre 8 y 178 personas); además, el análisis descriptivo es el más utilizado en su mayoría.

¹⁹⁵ NAVA, Stefano, *et al.* Recruitment of some respiratory muscles during three maximal inspiratory manoeuvres. *En: Thorax*. Julio, 1993, vol. 48, no. 7, p. 702-707.

¹⁹⁶ KOULOURIS, Nicolaos, *et al.* Comparison of two different mouthpieces for the measurement of Pmax and Pmin in normal and weak subjects. *En: European Respiratory Journal*. Octubre, 1988, vol. 1, no. 9, p. 863-867.

¹⁹⁷ WEN, Andrew; WOO, Marilyn y KEENS, Thomas. How many maneuvers are required to measure maximal inspiratory pressure accurately?. *En: Chest*. Julio, 1997, vol. 111, p. 802-807.

¹⁹⁸ GANDEVIA, Simon; KILLIAN, Kieran y CAMPBELL, Eleanor. The effect of respiratory muscle fatigue on respiratory sensations. *En: Clinical Science*. Abril, 1981, vol. 60, no. 4, p. 463-466.

¹⁹⁹ SMELTZER, Suzanne y LAVIETES, Marc. Reliability of maximal respiratory pressures in multiple sclerosis. *En: Chest*. Junio, 1999, vol. 115, p. 1546-1552.

²⁰⁰ TANTUCCI, Claudio, *et al.* Control of breathing and respiratory muscle strength in patients with multiple sclerosis. *En: Chest*. Febrero, 1994, vol. 105, p. 1163-1170.

La aplicación de la PIM y PEM ha permitido correlacionar la medición de la fuerza muscular respiratoria con los volúmenes y las capacidades pulmonares, en patologías obstructivas y restrictivas. Smeltzer y col.¹⁹⁹ evaluaron este aspecto en 40 adultos con esclerosis múltiple, y encontraron que el VC y la capacidad inspiratoria eran las variables pulmonares que tenían mayor relación con la PIM (coeficientes de correlación de Pearson de 0,62 y 0,56, respectivamente; $p < 0,05$). Por su parte, la PEM se relacionaba en mayor proporción con la capacidad inspiratoria (Pearson de 0,61; $p < 0,05$), seguido por el VC (Pearson de 0,56; $p < 0,05$)¹⁹⁹.

Para la correcta evaluación de la fuerza de los músculos respiratorios mediante la PIM y la PEM, en cualquier condición, se debe tener en cuenta sus determinantes, dentro de los cuales se destacan el género y la edad. La PIM disminuye con el aumento de la edad tanto en hombres como en mujeres, siendo siempre mayor para los hombres^{193,201,202}.

De forma específica para el asma, la relevancia de la medición de la PIM fue abordada en la revisión sistemática desarrollada por Cavalcante y col.²⁰³. Los autores concluyen que la mayoría de los artículos revisados (25 en total), utilizaron la PIM como la técnica de elección para la evaluación de la fuerza muscular respiratoria en pacientes con asma; en esos trabajos, la PIM fue aplicada para relacionar la fuerza muscular inspiratoria con el consumo de medicamentos β_2 agonistas, el estado nutricional, los signos y los síntomas y el entrenamiento muscular²⁰³.

²⁰¹ HARIK-KHAN, Raida; WISE, Robert y FOZARD, James. Determinants of maximal inspiratory pressure the Baltimore longitudinal study of aging. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Noviembre, 1998, vol. 158, p. 1459–1464.

²⁰² NEDER, José, *et al.* Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. En: Brazilian Journal Of Medical and Biological Research. Junio, 1999, vol. 32, no. 6, p. 719-727.

²⁰³ CAVALCANTE, Alessandra y JUSTINO, Hilton. Papel da pressão inspiratória máxima na avaliação da força muscular respiratória em asmáticos – Revisão sistemática. En: Revista Portuguesa de Pneumologia. Junio, 2010, vol. 16, no. 3, p. 463–470.

Las propiedades psicométricas de la PIM y PEM en el asma fueron determinadas por Laviates y col.³¹, quienes evaluaron a 20 personas con crisis de asma y encontraron que la PIM se correlacionó inversamente con la capacidad residual funcional (coeficiente de correlación de Pearson de 0,616; $p < 0,01$). Además, el análisis de regresión múltiple mostró que sólo el porcentaje de peso corporal ideal modificaba la correlación entre estas dos variables (coeficiente de correlación de Pearson de 0,637; $p < 0,01$); es decir, que cuanto mayor era el volumen pulmonar al final de la espiración, y cuanto más exceso de peso tenía el sujeto, los músculos inspiratorios eran más propensos a presentar debilidad³¹.

Laviates y col.³¹ también propusieron la evaluación de la reproducibilidad, para ello realizaron cuatro mediciones (separadas por cinco minutos de reposo), en nueve de los participantes; sin embargo, no aplicaron la prueba estadística pertinente (CCI) y el tamaño de muestra fue pequeño. A pesar de ello, los resultados mostraron que las mediciones variaron entre tres y ocho unidades (cmH₂O), siendo la última -9cmH₂O mayor que la inicial³¹.

Otra utilidad de la medición de las presiones respiratorias, es evaluar la efectividad de diversas estrategias fisioterapéuticas utilizadas comúnmente en el ámbito clínico, dentro de las cuales se encuentran las técnicas de facilitación neuromuscular propioceptiva¹³⁹, los ejercicios de reeducación postural¹⁴⁷, los programas de rehabilitación pulmonar^{204,205} y el entrenamiento de los músculos respiratorios⁹⁹.

²⁰⁴ BURIANOVÁ, Kateřina; VAŘEKOVÁ, Radka y VAŘEKA, Ivan. The effect of 8 week pulmonary rehabilitation programme on chest mobility and maximal inspiratory and expiratory mouth pressure in patients with bronchial asthma. En: Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Agosto, 2008, vol. 38, p. 55-60.

²⁰⁵ PATROCÍNIO, Ariadne, *et al.* Efeitos da intervenção fisioterapêutica no pico de fluxo expiratório e nas pressões inspiratória e expiratória máximas em um grupo de pacientes asmáticos. En: Revista Funcional. Febrero, 2009, vol. 2, p. 1-10.

Para el presente trabajo, la medición de la PIM y PEM se realizó siguiendo las recomendaciones de la Sociedad Neumológica Colombiana²⁰⁶, que a su vez se fundamentan en el protocolo de Black y Hyatt¹⁹³ y en las guías de la ATS y la ERS¹⁴.

²⁰⁶ FUNDACIÓN NEUMOLÓGICA COLOMBIANA. Manual de procedimientos del laboratorio de función pulmonar. Presiones inspiratorias y espiratorias máximas (PIM-PEM). [Internet] 2007 [Acceso el 20 de febrero de 2012]. Disponible en: <http://www.neumologica.org/Archivos/pimypem.pdf>.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DISEÑO DEL ESTUDIO

Para atender a los objetivos planteados, se realizó un estudio de evaluación de pruebas diagnósticas^{108,109}.

3.2 POBLACIÓN DE ESTUDIO

3.2.1 Descripción. Estuvo conformada por adultos de género masculino y femenino con diagnóstico médico de asma según la definición propuesta por la GINA⁵⁶, residentes en el área metropolitana de Bucaramanga. Los participantes convocados fueron usuarios de los servicios de salud de Bienestar Universitario de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y del servicio de consulta externa de Neumología del Hospital Universitario de Santander. Además, participaron miembros de la comunidad universitaria de la UIS en general y sus familiares y amigos. Las mediciones se llevaron a cabo en el transcurso de los años 2013 y 2014, en el Laboratorio de Análisis de Movimiento de la Escuela de Fisioterapia, en la Facultad de Salud de la UIS.

3.2.2 Criterios de inclusión.

- Tener diagnóstico médico de asma (con o sin reporte espirométrico)^{12,56,72,207}, según las claves diagnósticas presentadas por la Asociación Colombiana de Neumología y Cirugía de Tórax (anexo B)¹².
- Estar en la fase estable de la patología los días de las mediciones^{12,63,70}.

²⁰⁷ KAPLAN, Alan, *et al.* Diagnosis of asthma in adults. En: Canadian Medical Association Journal. Noviembre, 2009, vol. 181, no. 10, p.: E210–E220.

3.2.3 Criterios de exclusión.

- Participantes con enfermedades o condiciones que tuvieran como contraindicación la realización de las pruebas, tales como: infarto agudo al miocardio o angina inestable, aneurisma de la aorta, hipertensión arterial no controlada, neumotórax, post operatorio de biopsia pulmonar, lesión espinal, lesión ocular, traqueostomía, cirugías o traumatismo sobre las vías aéreas superiores, problemas bucales, parálisis facial, náuseas por la boquilla del medidor de presiones respiratorias estáticas, inestabilidad hemodinámica, embarazo, infecciones respiratorias¹⁸².
- Secuelas o enfermedades tanto musculo-esqueléticas como neurológicas, que comprometieran la movilidad del tórax, el control muscular y por tanto el desempeño durante las pruebas¹⁸².
- Falta de esfuerzo voluntario durante la espirometría: medido mediante el Pico Flujo Espiratorio (PEF) y el Flujo Espiratorio Forzado al 25% (FEF 25%) de la CVF, en la curva flujo volumen. El PEF se forma en la curva espiratoria, como un ascenso abrupto y vertical, antes de 0,1 segundo de la espiración. El FEF_{25%} mide el flujo del aire por las vías aéreas de mayor tamaño, por lo cual ha sido relacionado con el esfuerzo voluntario. En este sentido, se consideró un esfuerzo adecuado cuando el PEF o el FEF_{25%} se encontraron por encima del 60% del valor predicho, excepto en los casos de obstrucción severa, donde un PEF por encima del 40% del predicho indica un esfuerzo adecuado^{43,44,208,209}.

La relevancia de este criterio radica en que la realización adecuada de las pruebas que se aplicaron en este trabajo, requería del máximo esfuerzo respiratorio

²⁰⁸ MAESTÚ, Luis y GARCÍA, Julia. Lung function tests in clinical decision-making. En: Archivos de Bronconeumología. Febrero, 2012, vol. 48, no. 5, p. 161–169.

²⁰⁹ VÁZQUEZ, Juan y PÉREZ, Rogelio. Manual para el uso y la interpretación de la espirometría, 2007. [Citado el 03, septiembre, 2013] Disponible en: http://www.alatorax.org/index.php?option=com_content&view=article&id=335%3Amanual-para-el-uso-y-la-interpretacion-de-la-espirometria&catid=38%3Ahome-entertainment&Itemid=97&lang=es.

(inspiraciones y espiraciones máximas) de los participantes^{15,17,28,39,48,49,194-197,202,203,206,208}.

Para quienes no cumplieron con los criterios, les fueron dadas orientaciones respecto al uso adecuado de los inhaladores para el manejo de su patología, con apoyo de un material impreso tipo folleto (anexo C). Sin embargo, todos los participantes que realizaron la espirometría cumplieron los requisitos de ingreso y ninguno fue excluido del estudio.

3.2.4 Tamaño de la muestra y muestreo. Se realizó el cálculo para determinar el tamaño de la muestra para demostrar la reproducibilidad y validez de las evaluaciones aplicadas. El cálculo se fundamentó en los resultados de estudios anteriores en los que se evaluaron las propiedades psicométricas de las pruebas analizadas en este estudio y que fueron desarrollados en poblaciones con características semejantes a las del presente trabajo^{18,28,35}.

El tipo de muestreo que se aplicó en este trabajo es de tipo corte transversal, en el cual a todos los participantes le fueron aplicadas todas las pruebas. De esta forma se obtuvieron datos para todos los participantes en cada prueba, para el análisis de la reproducibilidad y validez¹¹³.

- Reproducibilidad. En la literatura revisada se encontraron datos de la reproducibilidad para el IAT^{18,28} y para las presiones respiratorias estáticas^{35,213}, con CCI entre 0,84 y 0,95 para el IAT. Para las PIM y PEM, los CCI reportados estuvieron entre 0,90 y 0,93. Para la cinemática del tórax en asmáticos y para la VMM no se encontraron reportes, por lo tanto, no se fue posible realizar el cálculo del tamaño de muestra para estas variables. Con base en estos datos, se esperaba que un tamaño de muestra (N) entre 10 – 33 personas permitiera encontrar CCI adecuados; considerando que se realizaron dos réplicas,

asumiendo un poder del 80%, un nivel de significancia del 5% y un porcentaje de pérdidas del 20%^{210,211}.

El cálculo contempló una hipótesis nula entre 0,4 y 0,6; con CCI esperados entre 0,69 y 0,95^{210,211}. Una información más detallada del cálculo del tamaño de muestra se encuentra en la tabla 5. El análisis se hizo utilizando el paquete estadístico STATA versión 12,1²¹².

- Validez. Tres trabajos relacionaron la PIM con variables espirométricas en personas con asma³¹⁻³³. Lavietes y col.³¹ reportaron una relación inversa entre la capacidad residual funcional y la PIM (coeficiente de correlación de Pearson de -0,61; $p < 0,01$). En tanto que Gorman y col.³² y Newell y col.³³, encontraron una relación inversa entre la capacidad pulmonar total y la PIM, sin presentar en sus resultados los coeficientes de correlación. Respecto a la movilidad del tórax, Malaguti y col.¹⁸ establecieron una correlación entre la capacidad inspiratoria y la movilidad abdominal del tórax, en personas con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (coeficiente de correlación de Pearson de 0,65; $p < 0,05$). Para las otras variables no se encontraron resultados que demuestren su validez.

Partiendo de estos datos y teniendo en cuenta que las dos mediciones propuestas para movilidad del tórax (IAT y cinemática del tórax), y las dos pruebas para evaluar la fuerza de los músculos respiratorios (VMM y PIM y PEM), evalúan el mismo constructo (movilidad costal y fuerza de los músculos respiratorios, respectivamente), la validez que se buscó establecer en este proyecto es de

²¹⁰ KRAEMER, Helena y KUPFER, David. Size of treatment effects and their importance to clinical research and practice. En: Biological Psychiatry. Junio, 2006, vol. 59, no. 11, p. 990-996.

²¹¹ FERNÁNDEZ, Pita. Determinación del tamaño muestral. En: Cuadernos de Atención Primaria. [online]. Septiembre, 1996. [Citado 25, febrero, 2013] Disponible en http://ciede.net/econometrias/umsa/tamano_muestral.pdf.

²¹² STATA CORP, 2011 [online]. Stata Statistical Software: Release 12. College Station, TX: StataCorp LP.

constructo externa convergente¹¹⁶. Por lo anterior, se esperaba encontrar coeficientes de correlación entre 0,4 – 0,6 para los dos grupos de variables.

Tabla 5. Cálculo de tamaño de muestra para la reproducibilidad del IAT y presiones respiratorias estáticas^{18,28,35,213}

Variables	Hipótesis nula	Hipótesis alterna	Tamaño de muestra	Tamaño de muestra incluyendo un 20% de pérdidas
IAT^{18,28}	0,4	0,84	12	10 - 30
		0,90	8	
		0,95	5	
	0,5	0,84	16	
		0,90	9	
		0,95	6	
	0,6	0,84	24	
		0,90	12	
		0,95	7	
Presiones respiratorias estáticas^{35,213}	0,4	0,83	13	10 - 33
		0,9	8	
		0,93	6	
	0,5	0,83	17	
		0,9	9	
		0,93	7	
	0,6	0,83	27	
		0,9	12	
		0,93	9	

El cálculo del tamaño de muestra para la validez, se realizó asumiendo una hipótesis nula entre 0,1 y 0,2, con un poder del 80% y un nivel de significancia del 5%. El procesamiento de estos datos se realizó por medio del software Stata versión 12,1²¹², encontrando un tamaño de muestra entre 25 y 35 personas,

²¹³ MORAN, Fidelma, *et al.* Respiratory muscle pressures in non-CF bronchiectasis: Repeatability and reliability. *En: Chronic Respiratory Disease*. Agosto, 2010, vol. 7, no. 3, p. 165–171.

incluyendo un 20% adicional de posibles pérdidas durante las mediciones (tabla 6).

Tabla 6. Cálculo de tamaño de muestra para validez de constructo externa convergente¹⁸

Variable	Coeficiente de correlación	Tamaño de muestra incluyendo un 20% de pérdidas
Capacidad residual funcional y PIM	0,61	25 – 30
IAT a nivel abdominal y capacidad inspiratoria	0,65	

- Cálculo del tamaño de muestra a partir de los resultados de la prueba piloto. Con base en los resultados de la prueba piloto (anexo D), se recalculó el tamaño de muestra, quedando estipulada en 30 participantes. Una descripción detallada de este análisis se presenta en las tablas 7 y 8.

Tabla 7. Cálculo de tamaño de muestra para reproducibilidad, a partir de los resultados de la prueba piloto

Variables	Hipótesis nula	Hipótesis alterna	Tamaño de muestra	Tamaño de muestra incluyendo un 20% de pérdidas
IAT	0,5	0,90	9	5 – 15
		0,96	5	
		0,85	14	
		0,89	10	
Presiones respiratorias estáticas	0,5	0,96	5	5
		0,97	5	
	0,7	0,96	7	7
		0,97	6	

Tabla 8. Cálculo de tamaño de muestra para validez convergente, a partir de los resultados de la prueba piloto

Variable	Coeficiente de correlación	Tamaño de muestra	Tamaño de muestra incluyendo un 20% de pérdidas
IAT y cinemática	0,98	6	6 - 22
	0,96	7	
	0,84	20	
VMM y presiones respiratorias estáticas	0,73	26	30

3.3 VARIABLES DE ESTUDIO

Todas las variables fueron consignadas en el formato de ingreso (anexo E) y en el formato de monitorización y de evaluación de la movilidad torácica y de la fuerza de los músculos respiratorios de cada participante (anexo F). Una descripción completa de las variables de estudio respecto a su definición, instrumento de medición, escala de medición y unidades de medida se presenta como anexo G.

3.3.1 Variables sociodemográficas. Inicialmente se categorizó a la población teniendo en cuenta las variables de edad (medida en años cumplidos a la fecha de la evaluación), género (masculino o femenino), escolaridad (nivel de estudios culminado: primaria, bachillerato, técnico, tecnológico, profesional, posgrado)¹⁰⁵.

3.3.2 Variables antropométricas. Se realizó medición de la talla¹⁰⁵ en metros (m) y el peso¹⁰⁵ en kilogramos (Kg); con los cuales se calculó el índice de masa corporal (IMC, peso/talla²)^{214,215}.

3.3.3 Variables relacionadas con la enfermedad. Se tuvo en cuenta el tiempo de evolución del asma en años, desde el momento en que le fue diagnosticada; la severidad de la enfermedad, de acuerdo con la tabla 2; y el nivel de control del asma, siguiendo lo establecido en la tabla 1. Adicionalmente, se registraron las comorbilidades, el tratamiento actual y los antecedentes de cada participante.

3.3.4 Variables de monitorización. Se monitorizaron los signos vitales (frecuencia cardiaca en latidos por minuto, frecuencia respiratoria expresada en respiraciones por minuto, y tensión arterial reportada en milímetros de Mercurio), el porcentaje de saturación de oxígeno mediante la pulsoximetría, los hallazgos a la auscultación pulmonar y la dificultad respiratoria evaluada por medio de la escala de Borg y por los signos de dificultad respiratoria observados; antes y después de la realización de las pruebas (anexo F).

3.3.5 Variables de movilidad de la reja costal. La movilidad costal fue medida mediante el IAT y mediante el análisis cinemático utilizando marcadores pasivos.

- Índice de amplitud torácica. Se midió la excursión torácica o IAT, con una cinta métrica no extensible en los niveles axilar, xifoideo y umbilical. El resultado (dato

²¹⁴ CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2013 [online]. [Citado el 24, abril, 2013] Disponible en: http://www.cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/adult_bmi/index.html#Interpreted.

²¹⁵ NATIONAL HEALTH AND NUTRITION EXAMINATION SURVEY, 2009 [online]. Anthropometry Procedures Manual. Estados Unidos: Centers for Disease Control and Prevention, 2009. [Citado el 12, febrero, 2012]. Disponible en: <http://www.cdc.gov/>.

en centímetros, cm) se obtuvo por la diferencia entre el diámetro obtenido en la máxima inspiración (al nivel de la capacidad pulmonar total) y diámetro correspondiente a la máxima espiración (hasta el volumen residual)^{17,18,28,126-128}.

- Cinemática del tórax. Se ubicaron los marcadores pasivos y fueron registradas las imágenes fotográficas de los participantes en inspiración y espiración máximas. Las fotos fueron procesadas en el software SAPO, y se midió el desplazamiento toraco-abdominal en cm, a nivel axilar, xifoideo y abdominal^{149,158,175}.

3.3.6 Variables de fuerza de los músculos respiratorios. Se evaluaron los músculos inspiratorios (diafragma e intercostales externos) y los espiratorios (recto abdominal y oblicuos), utilizando la VMM y las PIM y PEM^{48,130}.

- Valoración muscular manual (VMM). La medición de la fuerza muscular con la VMM se realizó mediante la palpación, la observación de la movilidad del tórax y la resistencia manual aplicada contra la contracción muscular, con base en la escala ordinal del MRC¹⁸⁸. La escala de valoración varió para la musculatura inspiratoria y espiratoria. Para el diafragma y los intercostales externos se utilizaron las valoraciones: normal, bueno, regular, malo, vestigios y nulo. Para los abdominales se utilizaron los términos: funcional, débilmente funcional, no funcional y nulo^{48,183}.

- Presiones respiratorias estáticas (PIM y PEM). La evaluación de las presiones respiratorias (PIM y PEM), medidas en la boca, se llevó a cabo con un equipo tipo manómetro. La PIM se considera la máxima presión sub-atmosférica realizada con oclusión de la vía aérea partiendo desde el volumen residual (maniobra de Müller), mantenida durante un segundo. La PEM fue medida partiendo de la capacidad pulmonar total y ejerciendo la máxima presión espiratoria contra la vía aérea ocluida (maniobra de Valsalva) durante un segundo^{34,41,97,182,187,191-197,201-203,206}.

3.4 PROCEDIMIENTO

Para la ejecución de los procedimientos se realizaron dos fases, inicialmente se desarrolló la prueba piloto para la estandarización de las técnicas de medición y el ajuste del cálculo del tamaño de muestra. Posteriormente, se reclutaron los participantes para la recolección de la información de las variables del estudio.

3.4.1 Fase I: Prueba piloto. Tuvo como propósito que los evaluadores adquieran la destreza para la aplicación de los protocolos de las variables antropométricas y de monitorización; estimar los tiempos requeridos para el registro de la información y la aplicación completa de las pruebas; y estandarizar el protocolo para la medición de la movilidad costal y de la fuerza muscular. La estandarización incluyó variables relacionadas con la iluminación del laboratorio, la localización de los referentes anatómicos por género y por composición corporal, la ubicación de la cámara fotográfica y la calidad de la imagen para el análisis cinemático, y los comandos del evaluador.

Se incluyeron adultos de ambos géneros, sanos y con diagnóstico médico de asma, con diferentes características antropométricas que pudieran influir en los resultados de la prueba. Cada participante diligenció el consentimiento informado escrito antes de iniciar las mediciones (anexo H), y cumplió con las siguientes recomendaciones los días de las evaluaciones:

- Asistir con ropa cómoda que no sea ajustada: para facilitar la adopción del sedente y decúbito sin inconvenientes, y permitir el máximo esfuerzo respiratorio requerido por las pruebas^{15,17,28,39,48,49,194-197,202,203,206,208}.
- Evitar la ejecución de actividad física intensa el día de las pruebas: aquella que requiere una gran cantidad de esfuerzo y provoca una respiración rápida y un aumento sustancial de la frecuencia cardíaca. Dentro de los ejercicios vigorosos se encuentran el ascenso a paso rápido por una ladera, los desplazamientos

rápidos en bicicleta, los aeróbicos, la natación rápida, los deportes y los juegos competitivos (por ejemplo el fútbol, el voleibol, el hockey o el baloncesto), el trabajo intenso con pala o excavación de zanjas; el desplazamiento de cargas pesadas (> 20 kg)²¹⁶.

- Evitar la aplicación de cremas humectantes en el tronco y abdomen: para facilitar la fijación a la piel de los marcadores utilizados en el análisis fotogramétrico. Este aspecto es relevante, debido a que cambios en la posición de los marcadores, pueden crear errores en la medición que distorsionarían el análisis de la reproducibilidad y de la validez de esta prueba¹⁶.

- Evitar la utilización de esmalte de uñas: para garantizar que la monitorización realizada mediante la pulsoximetría sea confiable, ya que se ha demostrado interferencia de estas sustancias y el registro obtenido^{217,218,219}.

Los equipos utilizados en esta fase fueron:

- Cinta métrica inextensible: con precisión de 1mm²²⁰.
- Báscula digital portátil: marca Soehnle, con precisión de 100gr²²⁰.
- Tallímetro: se utilizó una cinta métrica inextensible de 1mm de precisión²²⁰.
- Tensiómetro: marca ALPK2, que tiene una precisión que oscila entre 5 y 15mmHg²²¹.
- Estetoscopio: marca Sprague Rappapot.

²¹⁶ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2013 [online]. Estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud. [Citado, 21, agosto, 2013]. Disponible en: http://www.who.int/dietphysicalactivity/physical_activity_intensity/es/.

²¹⁷ ANTONELLO, Marc y DELPLANQUE, Dominique. Pulsoximetría. En: Fisioterapia respiratoria, del diagnóstico al proyecto terapéutico. . Barcelona: Masson, 2002. p. 36–43.

²¹⁸ WILKINS, Robert; STOLLER, James y SCALAN, Craig. Analysis and monitoring of gas exchange. En: Fundamentals of Respiratory Care. St Louis: Mosby, 2003. p. 379–383.

²¹⁹ BOOKER, Rachel. Pulse Oximetry. En: Nursing Standard. Abril, 2008, vol. 30, p. 22 – 30.

²²⁰ GIL, Ángel. Valoración del estado nutricional en el adulto y en el niño. En: Tratado de nutrición. Nutrición humana en el estado de salud. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2010. p. 67-98.

²²¹ HEYWARD, Vivian. Evaluación preliminar de la salud y clasificación del riesgo. En: Evaluación y prescripción del ejercicio. Barcelona: Paidotribo, 2001. p. 15–33.

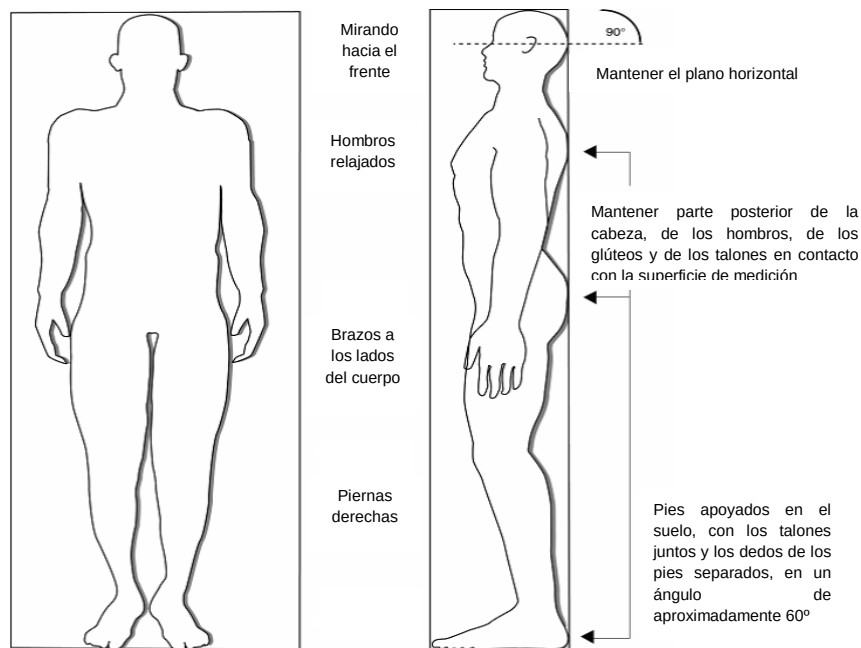
- Pulsoxímetro: marca Mediald Palco, modelo 100; que cuenta con una precisión de 2% si el porcentaje de saturación oscila entre 100 – 70%, y del 3% si la saturación se registra entre 69 – 60%²²².
- Cámara fotográfica: marca Sony, referencia DSC-W100, de 8,1 Mega pixeles; 2,5 LCD monitor; flash 10,5 m. Con trípode de altura ajustable.
- Medidor de presiones respiratorias estáticas (PIM y PEM): con marcador de máxima presión, doble escala de 0 a 60cmH₂O y de 0 a - 60cmH₂O, marca Instrumentación, INC.
- Espirómetro: marca Spirobank G, perteneciente a la serie de espirómetro MIR SRL con un rango de flujo de ± 16 L/s; con una precisión para la medición de volumen de $\pm 3\%$ o 50ml, y una precisión para la medición de flujo de $\pm 5\%$ o 200ml/sg.

Protocolo para la realización del tamizaje: variables antropométricas y espirometría. Como parte del tamizaje inicial de los participantes del estudio, se realizó la medición de las variables antropométricas y la realización de una espirometría.

- Variables antropométricas: se midieron al ingreso del participante al laboratorio. Se siguieron las recomendaciones consignadas en el manual de procedimientos antropométricos del Estudio Nacional de Salud y Nutrición, elaborado por el Centro de Control y Prevención de la Enfermedad (CDC, por sus siglas en inglés). Antes de cada medición, se instruyó a cada participante con la siguiente frase: “*a continuación se tomarán sus mediciones corporales: su talla y su peso*”. Se utilizó la báscula clínica y una cinta métrica inextensible fijada en la pared, y a partir del resultado de la talla y del peso se calculó el IMC^{214,215}. Una información más detallada del procedimiento se encuentra en el anexo I, y en la figura 4 se ilustra la posición correcta para la medición de la talla.

²²² VILLASEVIL, Francesc y LOPEZ, Antonio. Medición no invasiva de la saturación de oxígeno en la sangre. En: Información Tecnológica. Marzo, 1999, vol. 10, p. 335-340.

Figura 4. Posición correcta para la medición de la talla en posición de pie.



NATIONAL HEALTH AND NUTRITION EXAMINATION SURVEY. Anthropometry procedures manual. En: Centers for Disease Control and Prevention. 2009.

- Protocolo para la realización de la espirometría. La investigadora principal realizó una espirometría, siguiendo las guías de la ATS y de la ERS^{43,44} (anexo I), con el propósito de cuantificar el esfuerzo (a través del FEF 25%, y del PEF), y determinar el patrón espirométrico del participante (anexo I). En caso de que el PEF y/o el FEF 25% fueran menores al 60% del valor predicho^{43,44,208,209}, el participante quedaría excluido del estudio y recibiría las orientaciones respecto a la utilización apropiada de los medicamentos aplicados por vía inhalatoria (anexo C).

- Protocolo para la medición de las variables de monitorización.

Signos vitales: los signos vitales comprenden la temperatura corporal, la frecuencia cardiaca, la frecuencia respiratoria y la presión arterial; brindan

información acerca de la condición clínica general de la persona^{134,223,224}. Para este estudio, se evaluaron la frecuencia cardíaca y la frecuencia respiratoria utilizando un cronómetro, y la presión arterial utilizando un tensiómetro y un estetoscopio. En el anexo I se encuentra una descripción detallada del protocolo seguido para cada una de estas variables.

Pulsoximetría: se utiliza para medir la saturación de oxígeno en los tejidos. Fue medida por medio de un pulsoxímetro portátil, ubicado en el índice de la mano derecha. Se considera como límite de normalidad inferior 92%, que se corresponde con una saturación de oxígeno en sangre arterial de 90%²¹⁷⁻²¹⁹ (anexo I).

Auscultación pulmonar: es el proceso de escuchar e interpretar los sonidos producidos dentro del tórax. Se utilizó un estetoscopio para amplificar los sonidos y facilitar la localización de cualquier anomalía. El laboratorio permaneció en silencio y el participante estuvo en sedente con el tórax descubierto (totalmente para el caso de los hombres, y parcialmente para las mujeres, cubierta la región mamaria)^{133,134} (anexo I).

Dificultad respiratoria: fue medida por la disnea (entendida como la sensación subjetiva de falta de aire) cuantificada mediante la escala de Borg modificada, y la observación de signos de dificultad respiratoria en el adulto (anexo I)^{134,223}.

- Variables de movilidad torácica

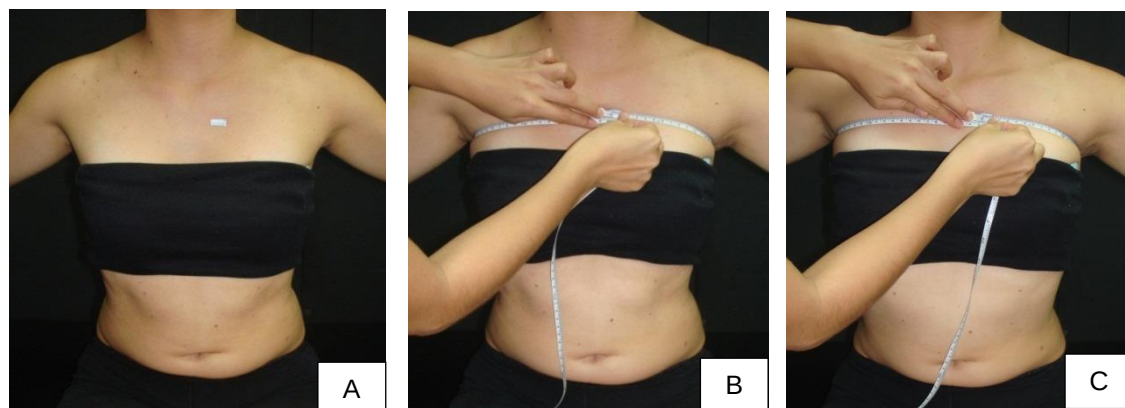
Índice de amplitud torácica: Se realizó con base en los protocolos de Malaguti y col.¹⁷, Romei y col.¹⁸, entre otros¹²⁹⁻¹³² (anexo I). En las figuras 5, 6 y 7 se muestra

²²³ HEYWARD, Vivian. Valoración del fitness cardiorrespiratorio. En: Evaluación y prescripción del ejercicio. Barcelona: Paidotribo, 2001. p. 25–28.

²²⁴ ACSM. Resource manual for guidelines for exercise: testing and prescription. 8 ed. Lipincott: William & Wilkins, 2009. 868 p.

la medición a nivel axilar para mujer, y a nivel xifoideo y abdominal para hombre, respectivamente. Se realizaron dos tentativas de medición en cada nivel y fue registrado el valor máximo obtenido en ellas y el promedio de las dos. Debido a que en la búsqueda realizada no se encontraron valores de referencia en la población colombiana, los valores que se tomaron de referencia para el IAT en el presente estudio, se fundamentan en los resultados de estudios descriptivos que evaluaron la movilidad de la reja costal en adultos en población brasilera, con características antropométricas similares a la población del contexto local (anexo J)^{27,225}.

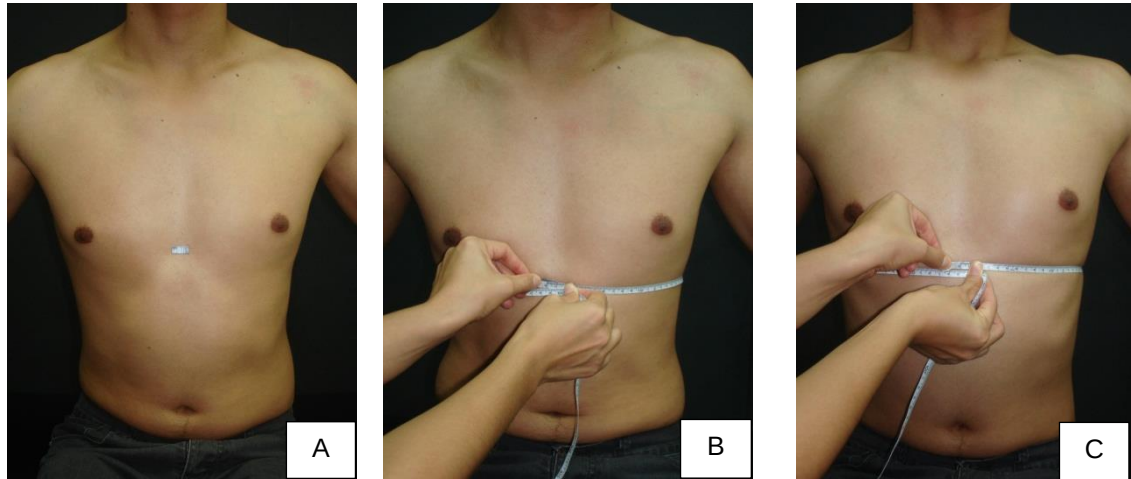
Figura 5. IAT a nivel axilar.



A: Referente externo. B: Medición en espiración. C: Medición en inspiración.

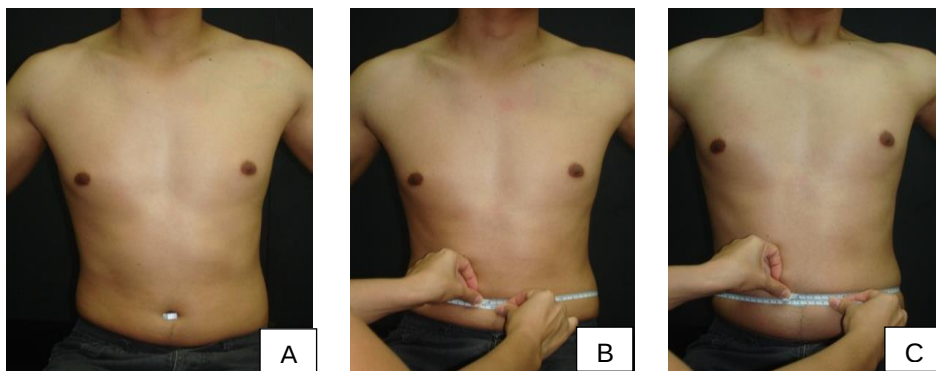
²²⁵ OBSERVATORIO DE SALUD PÚBLICA DE SANTANDER. Secretaría de Salud de Santander. En: Factores de riesgo para enfermedades crónicas en Santander. Método STEPwise. Bucaramanga: División de Publicaciones UIS, 2011. 167 p.

Figura 6. IAT a nivel xifoideo.



A: Referente externo. B: Medición en espiración. C: Medición en inspiración.

Figura 7. IAT a nivel abdominal.

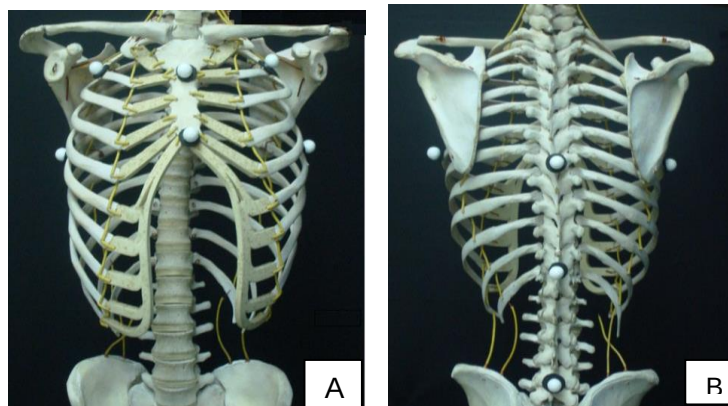


A: Referente externo. B: Medición en espiración. C: Medición en inspiración.

Cinemática del tórax: Para la realización del análisis cinemático del tórax se emplearon marcadores pasivos, cuya ubicación fue adaptada de estudios previos en los que se ha analizado el movimiento de la pared del tórax (anexo I)^{15,154,155,174,175,181}. En las figuras 8, 9, 10, 11 se representa la ubicación de los referentes anatómicos en un esqueleto, en un hombre y en una mujer, respectivamente. En la figura 12 se observa la medición de las distancias entre los marcadores, mediante el software SAPO^{174,175}.

Se tomaron dos registros fotográficos correspondientes a dos tentativas de medición y se realizó el procesamiento en el software para cada tentativa, obteniendo el valor máximo y el promedio de este procedimiento.

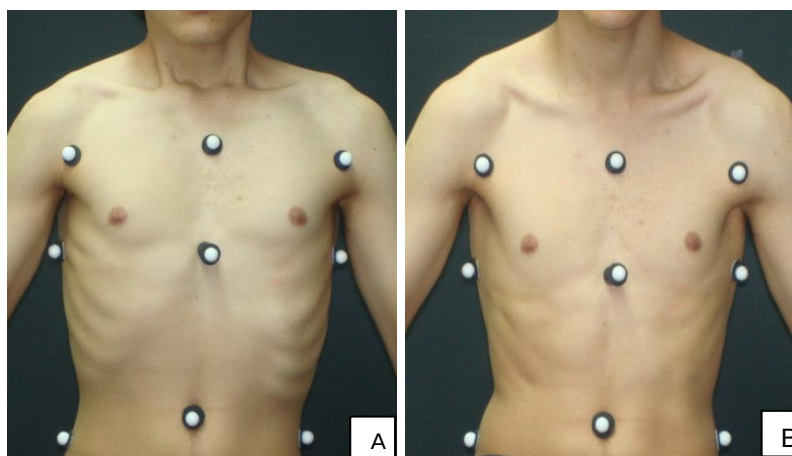
Figura 8. Referentes óseos.



A: Vista anterior.

B: Vista posterior.

Figura 9. Marcadores anatómicos en la vista anterior.



A: Espiración.

B: Inspiración.

Figura 10. Marcadores anatómicos en la vista lateral.

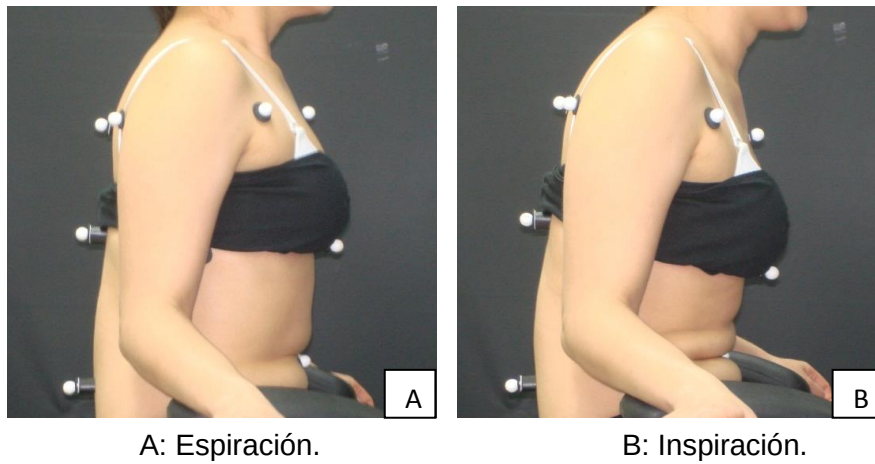


Figura 11. Marcadores anatómicos en la vista posterior.

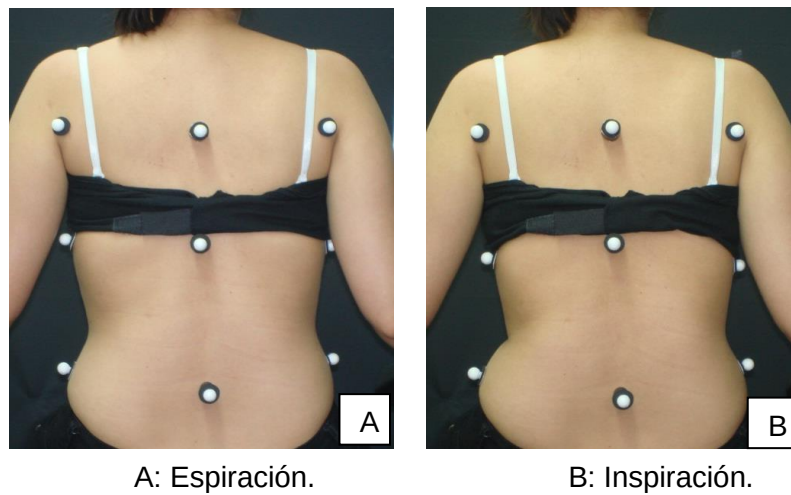
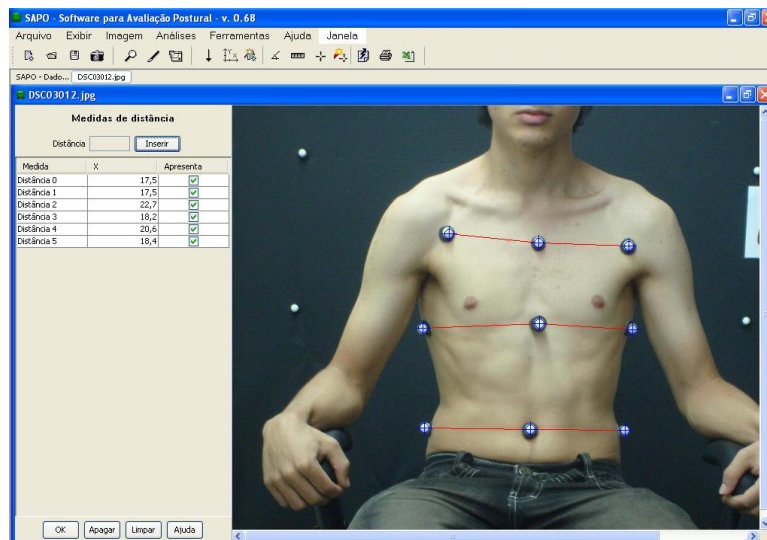


Figura 12. Análisis fotogramétrico mediante el SAPO.



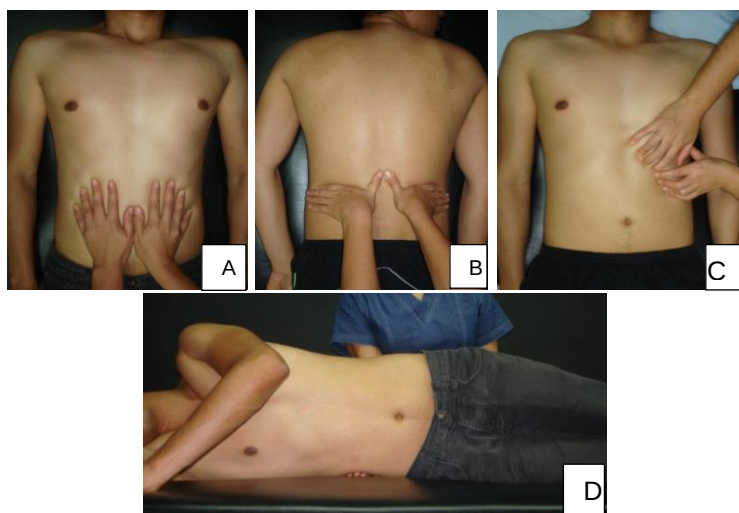
- Variables de fuerza muscular

Valoración muscular manual (VMM): Con el fin de estandarizar esta evaluación, se adoptó un protocolo que tiene en cuenta la posición del sujeto evaluado y del evaluador, los contactos manuales aplicados, la presión de la palpación y el movimiento solicitado o comando verbal emitido. Las pruebas para cada músculo se realizaron dos veces, con un periodo de un minuto de descanso entre cada esfuerzo, y se registró el mayor resultado. Inicialmente, el evaluador dio el comando verbal respectivo, mientras observaba la contracción muscular; posteriormente, posicionó sus manos en los sitios indicados para palpar la contracción, sin ejercer resistencia al movimiento; para facilitar la palpación, se sugiere realizarla en espiración. Por último, el evaluador resistió el movimiento de forma manual^{48,128,183}.

De forma específica, la evaluación de los intercostales externos en este trabajo, se fundamenta en las estrategias de estimulación costal propuestas por Voss y col.¹⁸⁹ y Dofour y col.¹⁹⁰, y en las evaluaciones planteadas por Costa¹²⁸ y Dofour y col.¹³⁰. Se realizó a nivel superior (segundo, tercero y cuarto espacio intercostal) e inferior (sexto, séptimo y noveno espacio intercostal)^{128,130,183}. La descripción detallada del procedimiento se encuentra en el anexo I.

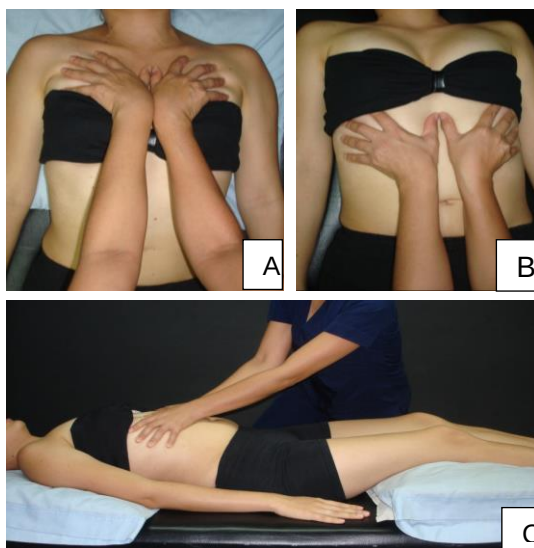
Las imágenes de la evaluación del diafragma, de los intercostales externos y de los abdominales se presentan en las figuras 13, 14 y 15, respectivamente. La escala de valoración se fundamenta en la descripción de Hislop y col.⁴⁸ y Costa¹²⁸, y se especifica en el anexo J.

Figura 13. Evaluación del diafragma.



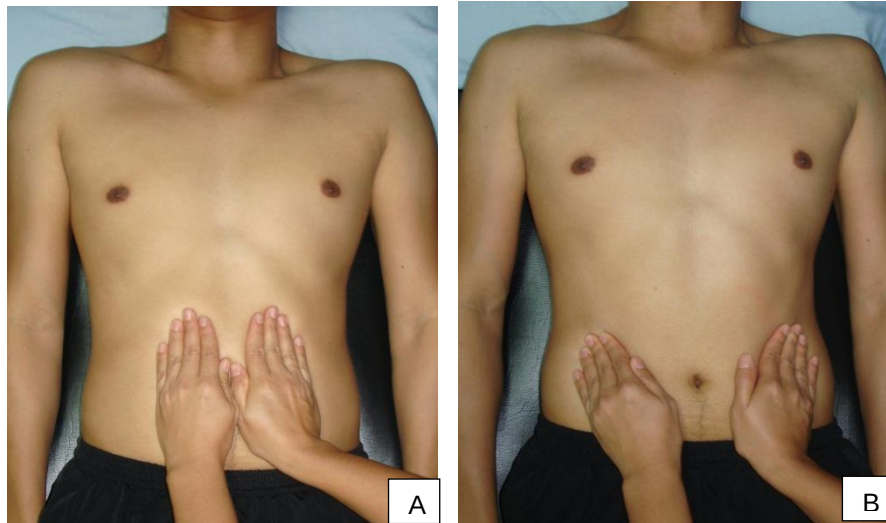
A: Fibras esternas. B: Fibras lumbares.
C: Palpación de las fibras débiles. D: Fibras laterales.

Figura 14. Evaluación de los intercostales externos.



A: Superiores. B: Inferiores. C: Postura para la evaluación.

Figura 15. Evaluación de los abdominales.



A: Recto abdominal.

B: Oblicuos.

Presiones respiratorias estáticas: La medición de las PIM y PEM se hizo utilizando un manómetro que consta de una boquilla y válvulas que censan los cambios en las presiones; adicionalmente, consta de una pequeña fuga de aire para prevenir el cierre glótico durante la PIM y evitar la acción de los músculos bucales durante la PEM.

La PIM es considerada la máxima presión sub-atmosférica realizada con oclusión de la vía aérea partiendo desde el volumen residual (maniobra de Müller), mantenida durante un segundo. La PEM fue medida partiendo de la capacidad pulmonar total y ejerciendo la máxima presión espiratoria contra la vía aérea ocluida (maniobra de Valsalva) durante un segundo^{34,41,97,182,187,191-197,201-203,206} (figura 16). En el anexo I se puntualiza el protocolo de medición de esta variable, y en el anexo J se presenta los valores de normalidad en población colombiana²²⁶.

²²⁶ GIL, Lida; LÓPEZ, Alexandra y ÁVILA, Carmen. Normal values of the maximal respiratory pressures in healthy people older than 20 years old in the city of Manizales – Colombia. En: Colombia Médica. June, 2012, vol. 43, p. 119–125.

Figura 16. Manómetro para la medición de las PIM y PEM



Una vez estandarizados los protocolos de medición del IAT y del análisis cinemático de la ventilación en personas sanas, se aplicaron los protocolos en una muestra de seis adultos de ambos géneros con asma, que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión descritos previamente. Cada participante diligenció el consentimiento informado escrito antes de iniciar las mediciones (anexo H). En la figura 17 se muestra el flujograma del desarrollo del proyecto, que se llevó a cabo en prueba piloto, y se replicó en la fase de recolección de la información.

Dos evaluadoras fueron responsables de las mediciones en el presente proyecto: ambas fueron fisioterapeutas, una de ellas (la investigadora principal o evaluadora 1) con especialización en Fisioterapia en Cuidado Crítico y cuatro años de experiencia en el área clínica en unidades de cuidados intensivos, servicios de hospitalización y servicios ambulatorios; la segunda evaluadora (evaluadora 2), con 10 años de experiencia en la atención de usuarios en servicios de hospitalización y servicios ambulatorios. Ambas evaluadoras se entrenaron en la adecuada ejecución de las mediciones, durante la estandarización del protocolo.

Como se describe en el flujograma del proyecto (figura 17), luego del diligenciamiento del consentimiento informado se realizó la sesión de tamizaje (medición de variables antropométricas y realización de espirometría), la cual estuvo a cargo de la evaluadora 1. Si el participante cumplía con los criterios

espirométricos para realizar las pruebas del estudio, se realizaba la familiarización con las variables de movilidad torácica y fuerza muscular; en caso contrario, recibía las orientaciones respecto a la utilización apropiada de los medicamentos aplicados por vía inhalatoria (anexo C).

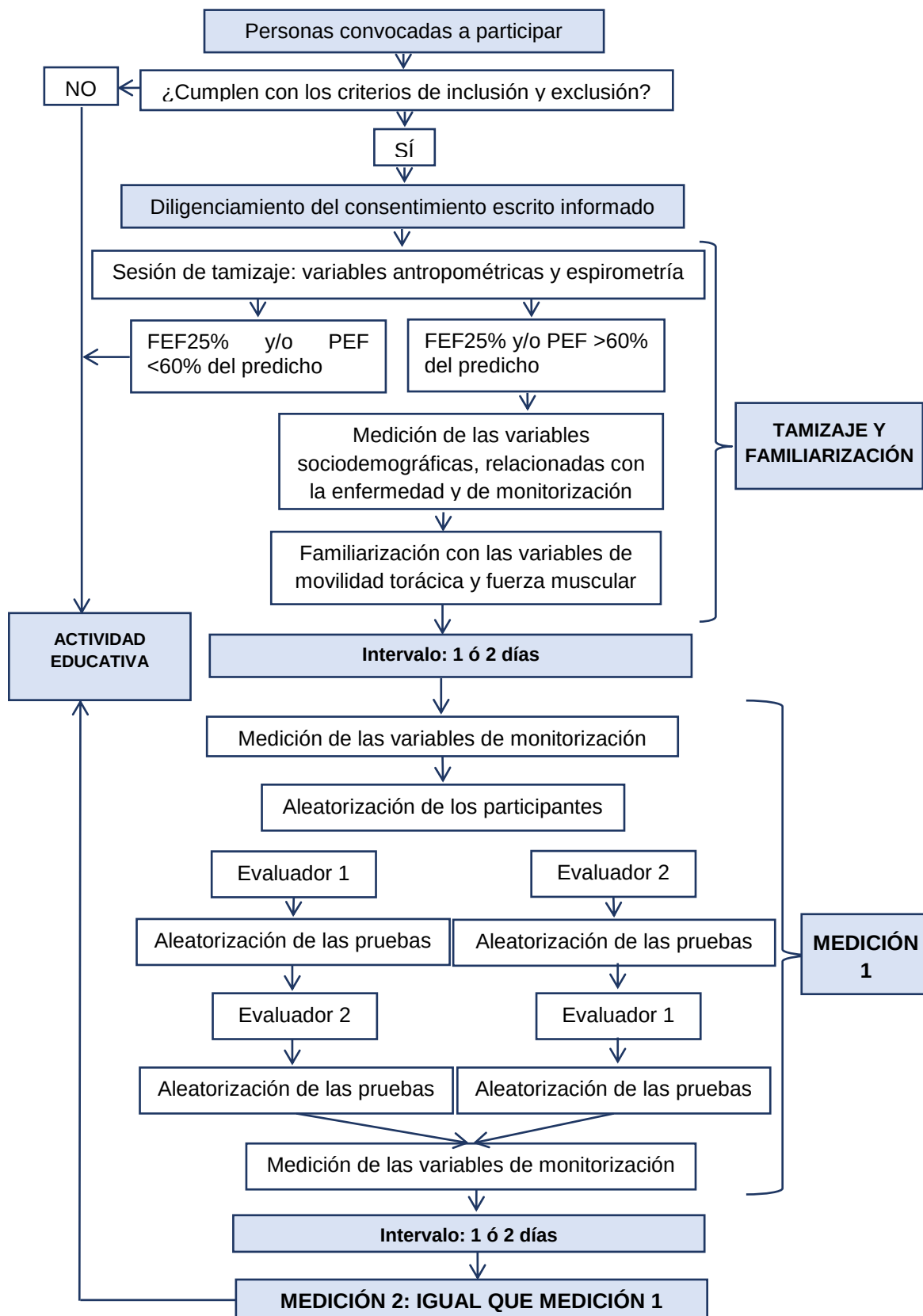
En la misma sesión de tamizaje, se diligenció el formato de ingreso (anexo E) donde quedaron consignadas las variables sociodemográficas, relacionadas con la enfermedad y antecedentes.

Transcurridos uno o dos días luego de la familiarización (máximo ocho), se desarrolló la Medición 1 de las variables de movilidad torácica y fuerza muscular, a cargo de las dos evaluadoras. El orden de realización de las pruebas y el orden de aplicación por parte de cada evaluadora fueron aleatorizados, con el fin de evitar que la ejecución de cada prueba influenciara el resultado de la siguiente.

La Medición 2 fue llevada a cabo con un intervalo mínimo de uno y dos días (máximo ocho), luego de la Medición 1 (figura 17). Los resultados de la medición del IAT y de las PIM y PEM fueron consignados en el formato de ingreso, así como el resultado de la cinemática y de la VMM fue consignado por cada evaluadora, sin observar las demás mediciones. De esta forma, se garantizó la independencia de las mediciones¹¹⁰.

Al inicio y al final de la Medición 1 y de la Medición 2, la investigadora principal midió las variables de monitorización. Adicionalmente, al finalizar las pruebas en la Medición 2, se realizó una actividad edu-comunicativa que fue planeada, diseñada y ejecutada con el fin de orientar a los participantes respecto a la utilización apropiada de los medicamentos aplicados por vía inhalatoria (anexo C) (figura 17).

Figura 17. Flujograma del proyecto



Los resultados obtenidos de esta fase fueron analizados para determinar los últimos ajustes a los protocolos de medición, el tiempo empleado por participante para completar las pruebas, y establecer los promedios y las desviaciones estándar de las variables de movilidad torácica y presiones respiratorias estáticas; con el fin de garantizar que en esta muestra la variabilidad de la medición fuera mínima. Las conclusiones derivadas de este análisis sirvieron para realizar un ajuste al cálculo del tamaño de muestra definitivo.

Una vez realizados los ajustes a las mediciones, se inició la recolección de la información con el reclutamiento de los participantes y la aplicación del protocolo definitivo. Finalmente, se realizó la elaboración y validación de las bases de datos en Excel, para luego exportarla al software Stata versión 12,1 para el análisis definitivo²¹².

3.4.2 Fase II: Recolección y análisis de la información

- Reclutamiento de los participantes. En esta fase se incluyó la población definitiva del estudio, que fue convocada por medio de varias estrategias:

Avisos a través del correo institucional de la Escuela de Fisioterapia y de la Facultad de Salud, UIS: dirigidos a las personas de la comunidad UIS, que tenían el diagnóstico de asma y se encontraban en la fase estable de la enfermedad.

Contacto con médicos neumólogos y alergólogos de la ciudad, para favorecer la remisión de los usuarios tratados por ellos hacia el proyecto.

Participación de los estudiantes de Fisioterapia de la UIS en el proceso de dar a conocer el proyecto entre sus familiares y conocidos.

- Aplicación de los protocolos de medición estandarizados. Se siguió el flujograma de ejecución propuesto en la figura 17, de acuerdo con los ajustes derivados de los resultados de la prueba piloto (anexo D).

3.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

3.5.1 Elaboración y validación de la base de datos. En primer lugar se identificaron y codificaron las variables de estudio y se realizó la digitación doble de la base de datos en Excel, codificando los campos de cada celda; de Excel, fue exportada a Stata versión 12,1²¹² para su validación y análisis.

3.5.2 Análisis univariado. Se aplicaron medidas de tendencia central y de dispersión para caracterizar la población, según la naturaleza y la distribución de las variables. Así mismo, a las variables medidas en escala de razón, les fueron aplicadas pruebas estadísticas para conocer su condición de normalidad en la distribución:

- Análisis gráfico (histograma).
- Test de normalidad (sesgo y kurtosis y Shapiro Wilk).

3.5.3 Análisis de la confiabilidad intra–evaluador y entre-evaluadores. El análisis de la confiabilidad incluyó la determinación del nivel de acuerdo y de la reproducibilidad, tanto intra como entre evaluadoras. Debido a que en la prueba piloto se observaron diferencias al realizar el análisis utilizando el valor máximo obtenido en cada tentativa de medición y utilizando el promedio entre- las dos tentativas (anexo D), se decidió realizar el análisis utilizando los dos valores.

- Análisis del nivel de acuerdo para la movilidad del tórax. Para el IAT (variable medida en escala de razón), se aplicó el método de los límites de acuerdo de Bland y Altman¹¹⁰ para determinar el nivel de acuerdo intra-evaluador y entre-evaluadores, calculando y graficando la diferencia y el promedio de las dos mediciones (Medición 1 y 2).

La amplitud de los límites de acuerdo considerados aceptables para este estudio, se fundamentaron en los resultados del trabajo de Malaguti y col.¹⁸, quienes reportaron niveles de acuerdo para el IAT de -2,5 a 2,5cm a nivel axilar y xifoideo; y entre -3,5 a 5cm, a nivel abdominal. Sin embargo, este punto de corte fue ajustado de acuerdo con los resultados de la prueba piloto (anexo D).

- Análisis de la reproducibilidad para la movilidad del tórax y la VMM.

La reproducibilidad intra-evaluador y entre-evaluadores del IAT fue evaluada a través del CCI, estableciendo su respectivo Intervalo de Confianza al 95% (IC95%). El tipo de CCI aplicado fue el CCI (2,k), ya que el mismo evaluador tomó dos veces la medición y se analizó el promedio de las mismas¹¹⁰.

La reproducibilidad intra-evaluador y entre-evaluadores para la VMM, medida en escala ordinal, se determinó aplicando la kappa ponderada, ya que el tipo de muestreo es de corte transversal. En este caso se presentaron dos opciones: aplicar una kappa nominal dicotómica, cuando los datos se distribuyeron de esta manera; o aplicar una kappa ponderada cuando la valoración muscular fue muy variable entre los participantes.

Se consideró una reproducibilidad buena cuando se encontró entre 0,8–1,0; aceptable, si se encontraba entre 0,6-0,79; pobre, cuando fue menor a 0,6; y clínicamente aceptable, cuando fue mayor de 0,8¹⁸. De igual forma, estos puntos de corte se ajustaron de acuerdo a los resultados de la prueba piloto (anexo D).

3.5.4 Análisis de la validez de constructo externa convergente. Se ejecutó entre los resultados de del IAT y los de la cinemática costal; y, entre los resultados de la VMM y las PIM y PEM; tomando los datos de la medición 2 (figura 17).

- Análisis de la reproducibilidad del análisis cinemático. Debido a que el análisis de la validez externa se fundamentó en el procesamiento cinemático realizado de las dos tentativas de medición, fue necesario determinar la reproducibilidad de este análisis antes de comparar sus resultados con los del IAT.

La reproducibilidad evaluada fue intra-evaluador mediante el CCI, estableciendo su respectivo Intervalo de Confianza al 95% (IC95%). El tipo de CCI aplicado fue el CCI (2,k), ya que el mismo evaluador tomó dos veces la medición¹¹⁰.

- Análisis de correlación. Se correlacionaron así las variables:

IAT y cinemática: se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson, ya que al menos una de las dos mostró una distribución normal.

VMM y PIM y PEM: como las PIM y PEM son medidas en escala de razón y tuvieron una distribución normal, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson. Se correlacionaron los resultados de la VMM de los músculos inspiratorios (intercostales externos y diafragma) con los resultados de la PIM, y de los músculos espiratorios (abdominales) con los datos de la PEM.

El nivel de correlación esperado se clasificó con base en lo presentado por Carter y col.¹⁰⁷: pequeña ($r=0 - 0,25$); baja ($r=0,26-0,49$); moderada ($r=0,50-0,69$); alta ($r=0,70-0,89$); muy alta ($r=0,90-1$).

3.5.5 Valores de referencia para analizar la confiabilidad y la validez del IAT y de la VMM. Con los resultados de la prueba piloto (anexo D), se ajustaron los puntos de corte establecidos por otros autores para analizar los datos de todo el proyecto, un resumen de este aspecto se encuentra en la tabla 9.

Tabla 9. Valores de referencia para establecer la confiabilidad y validez del IAT y de la VMM

LÍMITES DE ACUERDO			
Variable	Trabajos previos¹⁸	Prueba piloto	Valores de referencia definitivos
IAT			
Axilar	-2,5 a 2,5	-1,1 a 2,1	-2,0 a 2,5
Xifoideo	-2,5 a 2,5	-3,1 a 1,8	-3,0 a 2,0
Abdominal	-3,5 a 5,0	-3,5 a 4,2	-3,5 a 4,5

REPRODUCIBILIDAD			
Variable	Trabajos previos	Prueba piloto	Valores de referencia definitivos
IAT	CCI ¹⁸ Bueno: 0,8–1,0 Aceptable: 0,6-0,79 Pobre: < 0,6 Clínicamente aceptable: > 0,8	CCI ^a Nivel axilar: 0,87– 0,95 Nivel xifoideo: 0,65–0,97 Nivel abdominal: 0,60–0,80	CCI Bueno: 0,8–1,0 Aceptable: 0,6-0,79 Pobre: < 0,6 Clínicamente aceptable: > 0,7
VMM	Kappa ¹¹⁴ Ligera: 0,0-0,2 Aceptable: 0,21-0,40 Moderada: 0,41-0,60 Sustancial: 0,61-0,80 Casi perfecta: 0,8-1,00	Kappa Diafragma anterior: 0,64–0,84 Diafragma lateral: 0,64–0,84 Diafragma posterior: 0,4–0,64 IC superiores: 0,28–1,0 ^b IC inferiores: 0,4–0,5 ^b Recto abdominal: 0,0–1,0 Oblicuos: 0,55–1,0	Kappa Casi perfecta: 0,8-1,00 Sustancial: 0,61-0,80 Moderada: 0,41-0,60 Aceptable: 0,21-0,40 Ligera: 0,0-0,2

Tabla 9. (Continuación)

VALIDEZ			
Variable	Trabajos previos ^{18,107}	Prueba piloto	Valores de referencia definitivos
IAT y cinemática costal	Muy alta $r=0,90-1$ Alta $r=0,70-0,89$ Moderada $r=0,50-0,69$	Nivel axilar: 0,84–0,96 Nivel xifoideo: 0,84–0,98 Nivel abdominal: 0,68–0,81	Nivel axilar: 0,84–0,96 Nivel xifoideo: 0,84–0,98 Nivel abdominal: 0,68 – 0,81
VMM y presiones respiratorias estáticas	Baja $r=0,26-0,49$ Pequeña $r=0-0,25$	Músculos inspiratorios y PIM: 0,15–0,65 Músculos espiratorios y PEM: 0,171–0,994	Músculos inspiratorios y PIM: 0,4–0,65 Músculos espiratorios y PEM: 0,171–0,994

3.6 CONTROL DE POSIBLES SESGOS:

3.6.1 Sesgo de selección. Se controló el sesgo de selección por el espectro de la enfermedad, por las comorbilidades y por la verificación. El primero fue controlado al incluir personas en diferentes niveles de severidad, control y evolución²²⁷.

El control de las comorbilidades se realizó calculando las propiedades psicométricas por grupos de patologías (rinitis, reflujo gastroesofágico, tabaquismo, etc); en este sentido, se reconoce que debido al pequeño tamaño de muestra y que el cálculo no se realizó para un análisis estratificado, este sesgo potencial pueda ser una de las limitaciones del estudio. Otra forma de resolver este aspecto se fundamenta en la mayor prevalencia de dos comorbilidades

²²⁷ OROZCO, Luis. Validez de los estudios de validez o de los sesgos, cómo evitarlos y algo más. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 199–213.

principalmente (rinitis y reflujo gastroesofágico)^{12,29,56,228,229,230,231,232,233}, así las propiedades psicométricas que se establezcan en este estudio serían para la población de adultos con asma que se acompañe de estas frecuentes comorbilidades.

Por último, se controló el sesgo de selección por verificación al realizar un muestreo de tipo corte transversal en el que se aplicaron ambas mediciones a todos los participantes. De esta forma se obtuvo información de todos los participantes para cada una de las variables.

3.6.2 Sesgo de clasificación. Fue controlado al garantizar, en la medida de lo posible, la independencia de las mediciones¹¹⁰; para lo cual se propusieron estrategias como:

Los resultados de las mediciones fueron registrados por cada fisioterapeuta. De esta forma, se garantiza la independencia de las mediciones.

El tiempo entre cada Medición (mínimo entre uno y dos días) disminuyó la probabilidad de que las evaluadoras recordaran las mediciones previas.

²²⁸ PÉREZ DEL LLANO, Luis, *et al.* Relación entre presencia de comorbilidad y control del asma. En: Archivos de Bronconeumología. Julio, 2010, Vol. 46, p. 508–513.

²²⁹ CHAUDHURI, Rekha, *et al.* Effects of smoking cessation on lung function and airway inflammation in smokers with asthma. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Abril, 2006, vol. 174, p. 127–133.

²³⁰ TAYLOR, Brian, *et al.* Body mass index and asthma severity in the National Asthma Survey. En: Thorax. 2008, vol. 63, p. 14–20.

²³¹ MOSEN, David, *et al.* The relationship between obesity and asthma severity and control in adults. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Junio, 2008, vol. 122, p. 507–511.

²³² HASELKORN, Tmirah, *et al.* Effect of weight change on asthma-related health outcomes in patients with severe or difficult-to-treat asthma. En: Respiratory Medicine. 2009, vol. 103, p. 274–283.

²³³ LAVOIE, Kim, *et al.* What's worse for asthma control and quality of life: depressive disorders, anxiety disorders, or both. En: Chest. 2006, vol. 130, p. 1039–1047.

3.7 CONSIDERACIONES ÉTICAS

De acuerdo con la Resolución 8430 de 1993, del Ministerio de Protección Social de Colombia²³⁴ este estudio es una investigación con riesgo mínimo que implica mediciones no invasivas. El riesgo mínimo lo impuso el esfuerzo que el participante debe hacer durante la prueba y la repetición de ciclos respiratorios profundos, lo que podría llevar a sensaciones incómodas momentáneas como mareo y fatiga. Se esperaba, de que en caso de presentarse, serían transitorias, con rápida recuperación con reposo y no conllevan al detrimento de la función respiratoria de los participantes.

Sumado a lo anterior, fueron respetados los principios de la ética biomédica mediante las siguientes estrategias:

- Principio de autonomía: sólo participaron personas adultas que accedieran a incluirse de forma voluntaria al estudio, para dejar constancia de este hecho todos diligenciaron el consentimiento escrito informado (Anexo H). Se les informó a cabalidad la justificación, los objetivos, los posibles riesgos y beneficios que se podrían obtener del proyecto.
- Principio de no maleficencia: las valoraciones realizadas no interfirieron con las intervenciones que los participantes estaban recibiendo por parte de las entidades prestadoras de salud.
- Principio de beneficencia: cada participante recibió un informe en medio físico de los resultados de sus mediciones, lo que puede contribuir a mejorar el manejo que se le está brindando. Adicionalmente, fueron educados en cuanto al apropiado manejo de la inhaloterapia, intervención fundamental para el control de la patología.

²³⁴ MINISTERIO DE SALUD DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Resolución N° 008430 del 4 de octubre de 1993. [Internet] 1993 [Acceso el 25 de octubre de 2012]. Disponible en: http://www.dib.unal.edu.co/promocion/etica_res_8430_1993.pdf.

- Justicia: todas las personas fueron tratadas de forma similar, siguiendo un protocolo estándar. El estudio fue desarrollado con herramientas de medición actualizadas²³⁴.

Adicionalmente, este estudio fue sometido a evaluación y obtuvo el aval del Comité de Ética de la Universidad Industrial de Santander (anexo K).

3.8 PRESUPUESTO

Tabla 10. Presupuesto del proyecto

RUBROS	RECURSOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		RECURSOS DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL
	Efectivo	Especie	
Personal			
- Auxiliar de laboratorio: un salario mínimo legal vigente al semestre, durante dos semestres	\$ 1'200.000	\$ 0	\$ 0
- Investigador principal: cuatro salarios mínimos legales vigentes al semestre, durante cuatro semestres	\$ 24'000.000		
Compra de equipos			
- Medidor de PIM y PEM	\$ 487.200	\$ 0	\$ 0
Equipos disponibles			
- Cámara fotográfica, trípode, computador, sillas, camillas, entre otros.	\$ 0	\$ 10'000.000	\$ 0
Material bibliográfico	\$ 0	\$ 2'000.000	\$ 0
Licencias de Software	\$ 0	\$ 0	\$ 410.000
Materiales			
- Insumos: marcadores, Tintura de Benjui, alcohol, entre otros.	\$ 0	\$ 0	\$ 100.000
Publicación y divulgación	\$ 0	\$ 0	\$ 500.000
Salidas de campo			
- Participación en evento académico	\$ 0	\$ 0	\$ 3'600.000
Papelería	\$ 1'500.000	\$ 0	\$ 0
Servicios técnicos (mantenimiento equipos)	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Construcción / Infraestructura	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Subtotal	\$ 27'187.200	\$ 12'000.000	\$ 4.610.000
TOTAL	\$ 43'797.200		

3.9. CRONOGRAMA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 11. Cronograma del proyecto

ACTIVIDAD	II SEMESTRE DE 2012		I SEMESTRE DE 2013		II SEMESTRE DE 2013		I SEMESTRE DE 2014		I SEMESTRE DE 2015
	I	II	I	II	I	II	I	II	I
Desarrollo de la propuesta									
Entrenamiento en el análisis cinemático									
Fase I									
Estudio por parte del comité de ética									
Recolección de la muestra y mediciones									
Digitación y sistematización de la información									
Discusión									
Elaboración del informe									
Sustentación final									

4. RESULTADOS ESPERADOS

De acuerdo con los objetivos y la metodología propuesta para el desarrollo de la propuesta de investigación, los resultados esperados son:

- Sustentación previa, defensa y un documento del desarrollo de la tesis de Maestría titulada: “Confiabilidad y validez de la evaluación de la movilidad costal y de la fuerza de los músculos respiratorios en adultos con asma”.
- Una publicación científica en una revista nacional o internacional indexadas y una ponencia nacional o internacional de los resultados del proyecto.
- Una pasantía en la Universidad Federal de São Carlos como cooperación científica internacional para la discusión de los resultados del proyecto.
- Consolidación del Grupo de Investigación, Movimiento Armonía y Vida de la Escuela de Fisioterapia de la Universidad Industrial de Santander, en la línea de evaluación de tecnologías diagnósticas.

Para todos estos resultados/productos, se anexan al informe final la documentación de soporte y verificación.

5. IMPACTO ESPERADO

Tabla 12. Impacto esperado.

Impacto esperado	Plazo (años) después de finalizado el proyecto	Indicador verificable	Supuestos
Generación de nuevos proyectos de investigación en el área cardiorrespiratoria	Corto (1-4 años)	Proyectos de investigación aprobados como Proyectos de grado de Maestría en Fisioterapia y/o aprobados para financiación interna	Fortalecimiento de la Maestría en Fisioterapia
Contribución en la oferta de la Maestría en Fisioterapia	Corto (1-4 años)	Desarrollo de un Proyecto de grado de Maestría	Consolidación de la Maestría en Fisioterapia
Divulgación del conocimiento derivado de la investigación	Corto (1–4 años)	Publicación de artículos y ponencias internacionales	Mejoramiento de la visibilidad del programa de Maestría. Aporte en la fundamentación científica de la profesión.
Posicionamiento del Grupo Movimiento Armonía y Vida-MAV	Corto (1 – 4 años)	Sostenimiento de la categoría del Grupo y visibilidad internacional	Ampliación de la productividad académica

6. RESULTADOS

6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN

Participaron en el estudio 29 adultos que cumplieron con los criterios de inclusión, tres de ellos no completaron su participación en el proyecto, ya que no tuvieron disponibilidad de tiempo para asistir a las tres mediciones. En total fueron evaluados 26 adultos con asma y las variables sociodemográficas se incluyen en la tabla 10. En general, los participantes fueron adultos jóvenes (mediana de edad=24,5 años, percentil 25%=20, percentil 75%=32), de los cuales 16 (61,54%) fueron de género femenino²³⁵. La media del IMC demostró sobrepeso ($25,56 \pm 5,24$)²¹⁵; y el nivel educativo estuvo alrededor de los 15 años aprobados.

Tabla 13. Características sociodemográficas y antropométricas de la muestra (N=26)

Variable	Promedio (DE ^a)
Peso (Kg)	69,42 (16,11)
Talla (m)	1,64 (0,08)
IMC ^b (Kg/m ²)	25,56 (5,24)
Nivel educativo (años aprobados)	14,69 (3,43)

a: Desviación estándar

b: Índice de masa corporal

6.2 CARACTERÍSTICAS ESPIROMÉTRICAS

En general, el patrón espirométrico fue normal para todos los participantes, evidenciado por VEF₁ y CVF por encima del 80% del predicho y por la relación VEF₁/CVF por encima del 70% del predicho⁴³. Las variables espirométricas que obtuvieron valores por encima del 90% del predicho fueron el PEF y la CVF. La relación VEF₁/CVF y el VEF₁ que permiten evaluar el grado de obstrucción de la

²³⁵ PANKA, Giselle, *et al.* Ventilatory and muscular assessment in healthy subjects during an activity of daily living with unsupported arm elevation. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Julio, 2010, vol. 14, p. 337–343.

vía aérea fueron normales, pero estuvieron por debajo del 90% del predicho. El FEF_{25%} fue la variable espirométrica con menor valor y con la mayor desviación estándar (74,19% ± 23,66), cuyos resultados están influenciados por el grado de esfuerzo voluntario realizado durante la prueba y por los cambios en las vías aéreas de mayor tamaño²³⁶. Este comportamiento se ve graficado en la figura 18.

En la tabla 11 se presentan el promedio y la desviación estándar (DE) para cada variable espirométrica. Por tanto, estos resultados ratifican que los participantes cumplieron con uno de los criterios para continuar en el estudio y realizar las mediciones de la movilidad costal y de la fuerza muscular, con esfuerzo apropiado (anexo L).

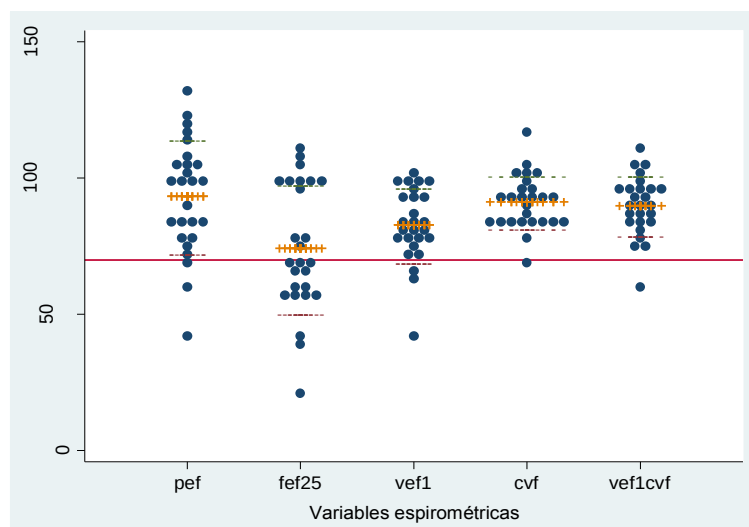
Tabla 14. Características espirométricas de la muestra (N=26)

Valores espirométricos (% del predicho)	Promedio (DE)
PEF ^a	93,30 (20,88)
FEF _{25%} ^b	74,19 (23,66)
VEF ₁ ^c	82,80 (13,82)
CVF ^d	91,27 (9,79)
VEF ₁ /CVF	89,88 (10,92)

a: Flujo espiratorio pico; b: Flujo espiratorio forzado al 25% de la CVF; c: Volumen espiratorio forzado al primer segundo; d: Capacidad vital forzada

²³⁶ TZELEPIS, George, *et al.* Expiratory effort enhancement and peak expiratory flow in humans. En: European Journal of Applied Physiology. Mayo, 2005, vol. 94, p. 11–16.

Figura 18. Características espirométricas de la muestra.



La línea roja demarca el 70% del porcentaje del predicho.

6.3 CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON LA ENFERMEDAD

En relación con la patología, los participantes presentaron un curso crónico con un promedio de evolución de $18,19 \pm 9,31$ años. El tiempo desde la última crisis fue variable con una mediana de 7 meses y un rango de 25-75% entre 4 y 36, respectivamente. En la tabla 15 se presentan las variables relacionadas con el asma, en el 65,38% de los participantes la patología se encontraba parcialmente controlada, y en el 50% con un nivel de severidad intermitente. Respecto al tratamiento farmacológico, el 57,69% de los participantes utilizaron medicamentos controladores y aliviadores, y el 23,08% no estaba recibiendo ningún tratamiento.

Dentro de los antecedentes toxicológicos, la mayoría de la muestra no era fumador (92,31%), no tenía antecedentes de fumador (73,08%), ni había estado expuesto de forma pasiva al humo del tabaco (80,77%). El 38,46% de los participantes no estuvo expuesto a otros agentes desencadenantes del asma; en el 23,08% se encontró la exposición por contacto con animales domésticos, y otro 23,08% estuvo expuesto a agentes químicos y polvo de construcción.

Adicionalmente, la comorbilidad más frecuente fue la rinitis en el 46,15% de los participantes.

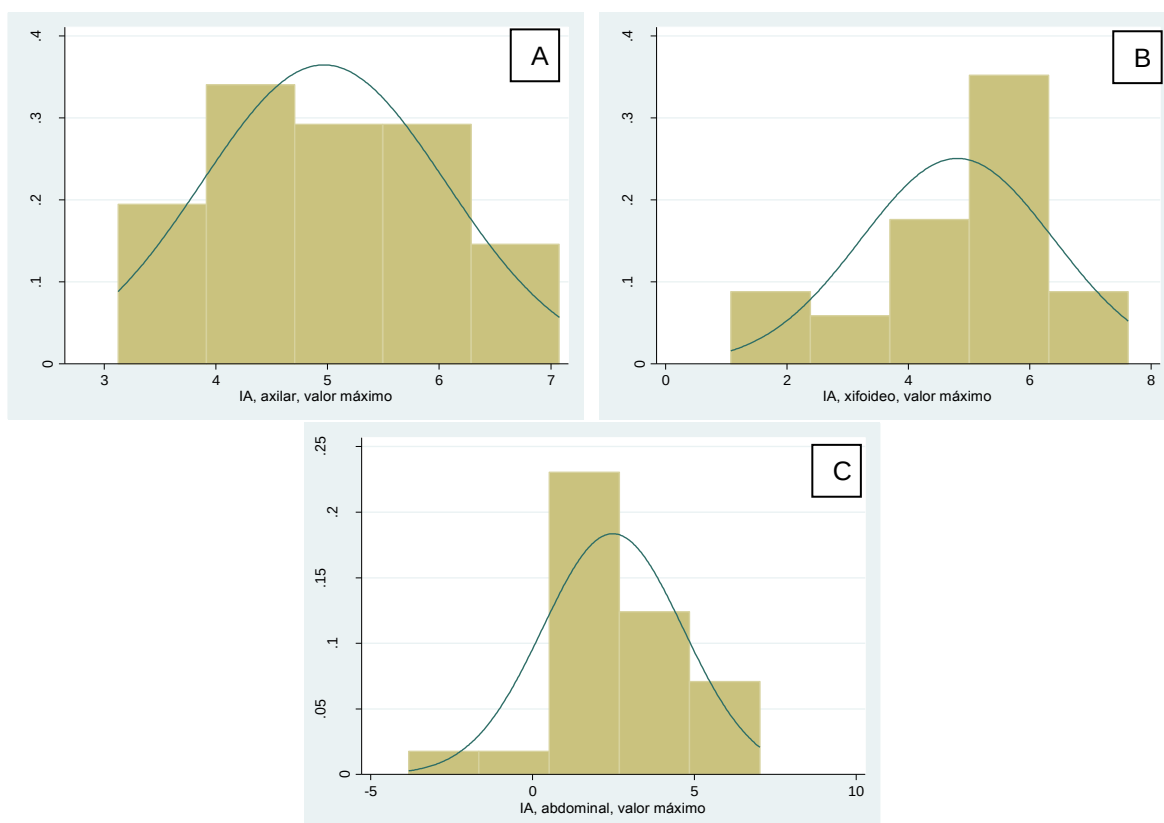
Tabla 15. Variables relacionadas con el asma (N=26)

Variable	N (%)
Nivel de Control	
Controlada	6 (23,08)
Parcialmente controlada	17 (65,38)
No controlada	3 (11,54)
Nivel de severidad	
Intermitente	13 (50)
Persistente leve	8 (30,77)
Persistente moderada	3 (11,54)
Persistente grave	2 (7,69)
Tratamiento farmacológico	
Ninguno	6 (23,08)
Aliviadores	4 (15,38)
Controladores	1 (3,85)
Aliviadores y controladores	15 (57,69)
Fumador actual	
No	24 (92,31)
Sí	2 (7,69)
Antecedente de tabaquismo	
No	19 (73,08)
Sí	7 (26,92)
Exposición pasiva al tabaco	
No	21 (80,77)
1 año	3 (11,54)
4,5 años	1 (3,85)
18 años	1 (3,85)
Exposición a otros agentes	
Ninguno	10 (38,46)
Animales	6 (23,08)
Otros (Químicos, polvo de construcción)	6 (23,08)
Animales y otros	4 (15,38)
Comorbilidades	
Ninguna	3 (11,54)
Rinitis	12 (46,15)
Rinitis y reflujo gastroesofágico	3 (11,54)
Rinitis y otros	3 (11,54)
Rinitis, reflujo gastroesofágico y otros	3 (11,54)
Otros (Sinusitis, dermatitis, otitis)	2 (7,69)

6.4 RESULTADOS DE LA CONFIABILIDAD PARA EL IAT

Los valores máximo y promedio del IAT mostraron una distribución normal en todos los niveles (figura 19). La mayor movilidad se observó a nivel axilar ($4,97 \pm 1,09\text{cm}$ y $4,63 \pm 0,99\text{cm}$, valor máximo y promedio respectivamente), con una disminución a nivel xifoideo y abdominal (tabla 16).

Figura 19. Distribución del IAT, valor máximo.



A. Nivel axilar. B. Nivel xifoideo. C. Nivel abdominal

Tabla 16. Descripción del IAT en la muestra (N=26)

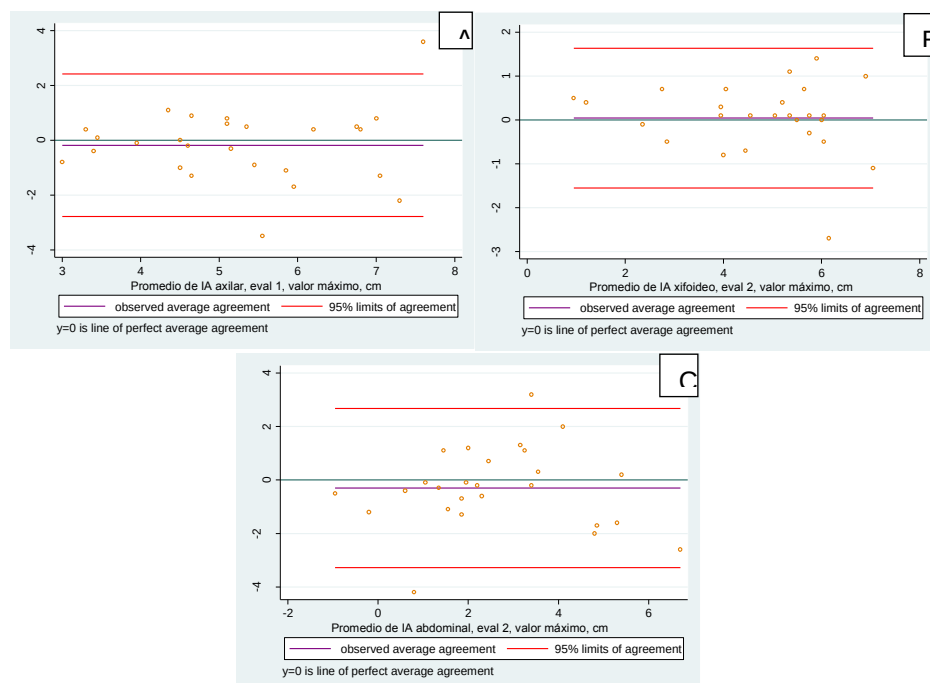
Niveles de medición	Valor máximo [Promedio (DE)]	Valor promedio [Promedio (DE)]
Axilar	4,97 (1,09)	4,63 (0,99)
Xifoideo	4,81 (1,59)	4,53 (1,54)
Abdominal	2,48 (2,17)	2,16 (2,10)

6.4.1 Nivel de acuerdo del IAT. El nivel de acuerdo intra y entre evaluadoras para el IAT se evaluó con el método de Bland y Altman¹¹⁰. El promedio de las diferencias entre los métodos, la desviación estándar y los límites de acuerdo del 95% se observan en las tablas 14 y 15. A continuación, en los gráficos 20 a 22 se presenta el acuerdo intra y entre evaluadoras, utilizando el valor máximo y el promedio.

- Nivel de acuerdo del IAT intra-evaluadores. En general, al utilizar el valor máximo y el promedio, los límites de acuerdo fueron aceptables para las dos evaluadoras, con un promedio de las diferencias cercano a 0 (cero) (tabla 14). Este comportamiento fue similar en los tres niveles de medición, tanto axilar, xifoideo y abdominal (figura 20).

Para las dos evaluadoras los límites de acuerdo (valor promedio) fueron más estrechos a nivel xifoideo (Evaluadora 1: -1,892 y 1,576; Evaluadora 2: -1,006 y 1,206) y más amplios a nivel abdominal (Evaluadora 1: -3,519 y 2,888; Evaluadora 2: -3,038 y 2,415) (tabla 14).

Figura 20. Nivel de acuerdo intra-evaluadoras del IAT, valor máximo.



A. Evaluadora 1, nivel axilar; B. Evaluadora 2, nivel xifoideo;
C. Evaluadora 2, nivel abdominal.

Tabla 17. Límites de acuerdo intra-evaluadores del IAT (N=26)

Nivel de medición	Valor máximo				Valor promedio			
	Diferencia		95% Límites de acuerdo ¹¹⁰		Diferencia		95% Límites de acuerdo ¹¹⁰	
	Ā	DE			Ā	DE		
Evaluadora 1								
Axilar	-0,181	1,328	-2,783	2,422	-0,242	1,009	-2,220	1,735
Xifoideo	-0,177	0,920	-1,979	1,626	-0,158	0,885	-1,892	1,576
Abdominal	-0,281	1,862	-3,929	3,368	-0,315	1,634	-3,519	2,888
Evaluadora 2								
Axilar	-0,050	1,058	-2,124	2,024	-0,004	0,894	-1,756	1,748
Xifoideo	0,042	0,813	-1,552	1,637	0,100	0,564	-1,006	1,206
Abdominal	-0,296	1,520	-3,276	2,683	-0,312	1,391	-3,038	2,415

X: Promedio

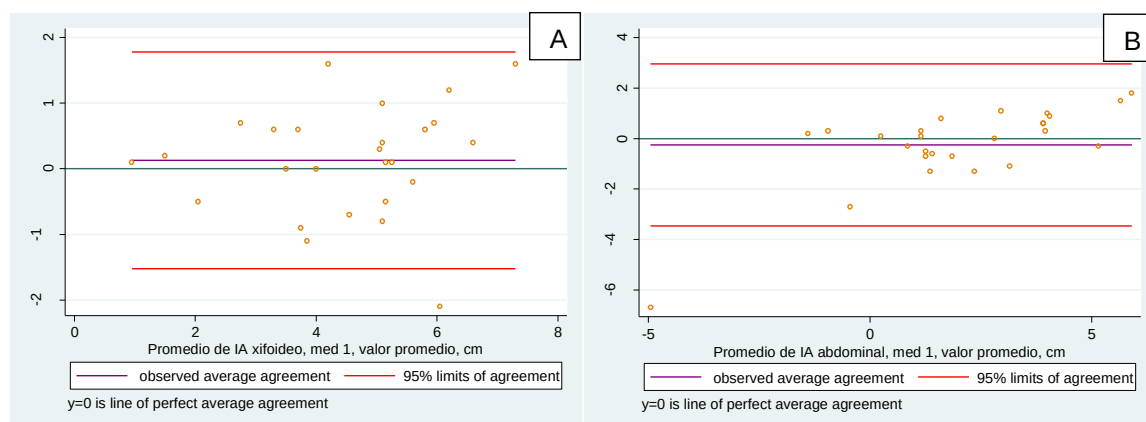
- Nivel de acuerdo entre-evaluadores. El promedio de las diferencias del IAT estuvo más cercano a 0 (cero) a nivel xifoideo, tanto con el valor máximo como con el promedio; con pequeñas desviaciones estándar en los tres niveles de medición. Los límites de acuerdo (valor máximo) fueron muy buenos para los dos días de medición, siendo más estrechos a nivel xifoideo (medición 1: -1,787 y 1,917; medición 2: -1,773 y 2,342) y más amplios a nivel abdominal (medición 1: -3,638 y 3,100; medición 2: -2,659 y 2,090) (tabla 15).

Solamente el 3,23% del total de datos se encontró por fuera de los límites de acuerdo, el cual corresponde a un participante a nivel xifoideo y a otro participante a nivel abdominal, en el primer día de medición. En los demás gráficos se observó una distribución similar de los datos, sin un sesgo significativo (figuras 21 y 22).

Tabla 18. Límites de acuerdo entre-evaluadores del IAT (N=26)

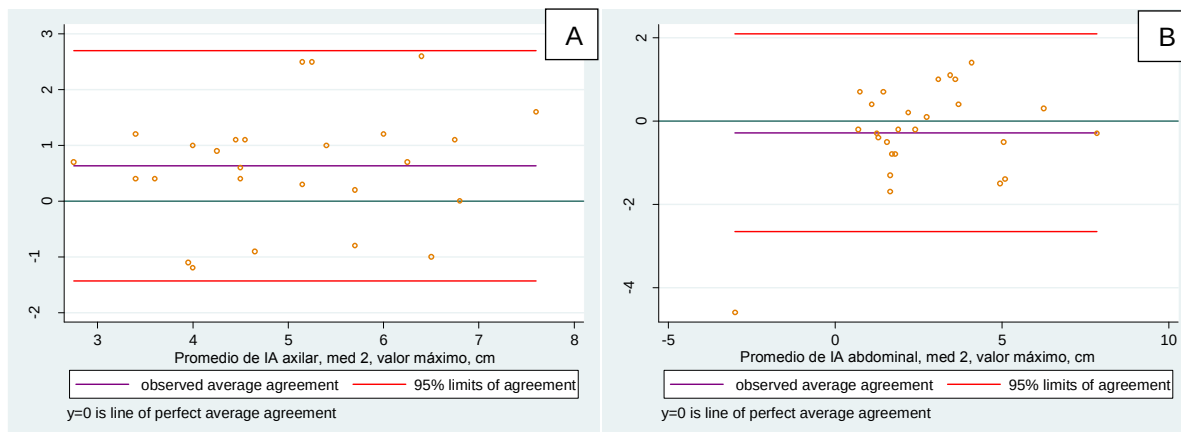
Nivel de medición	Valor máximo				Valor promedio			
	Diferencia		95% Límites de acuerdo ¹¹⁰		Diferencia		95% Límites de acuerdo ¹¹⁰	
	Promedio	DE			Promedio	DE		
Medición 1								
Axilar	0,504	1,014	-1,485	2,492	0,358	0,893	-1,392	2,107
Xifoideo	0,065	0,945	-1,787	1,917	0,131	0,843	-1,521	1,783
Abdominal	-0,269	1,719	-3,638	3,100	-0,254	1,638	-3,464	2,956
Medición 2								
Axilar	0,635	1,053	-1,429	2,698	0,596	0,915	-1,197	2,389
Xifoideo	0,285	1,050	-1,773	2,342	0,388	0,809	-1,196	1,973
Abdominal	-0,285	1,212	-2,659	2,090	-0,250	1,188	-2,578	2,078

Figura 21. Nivel de acuerdo entre-evaluadores del IAT, valor promedio, medición 1.



A. Nivel xifoideo; B. Nivel abdominal

Figura 22. Nivel de acuerdo entre-evaluadores del IAT, valor máximo, medición 2.



A. Nivel axilar; B. Nivel abdominal

En general, el acuerdo fue bueno tanto intra como entre evaluadoras, en los tres niveles de medición¹⁸ y fue aceptable de acuerdo a los referentes establecidos por la prueba piloto (tabla 9).

6.4.2 Reproducibilidad del IAT. La reproducibilidad intra-evaluadora y entre-evaluadoras del IAT fue evaluada a través del CCI, estableciendo el Intervalo de Confianza del 95% (IC95%), cuyos resultados se encuentran en las tablas 16 y 17.

- Reproducibilidad del IAT intra-evaluadores. La reproducibilidad de la medición a nivel axilar utilizando el valor máximo fue pobre (CCI Evaluadora 1: 0,57 y CCI Evaluadora 2: 0,59), y aceptable para el valor promedio (CCI Evaluadora 1: 0,68 y CCI Evaluadora 2: 0,63). A nivel xifoideo fue buena (CCI entre 0,85 y 0,93), y a nivel abdominal estuvo entre aceptable y buena (CCI entre 0,70 y 0,82). Los intervalos de confianza fueron amplios a nivel axilar y abdominal.

Tabla 19. Reproducibilidad intra-evaluador del IAT (N=26)

Nivel de medición	Evaluadora 1		Evaluadora 2	
	CCI [2,k]	IC 95%	CCI [2,k]	IC 95%
Valor máximo				
Axilar	0,596	0,279 – 0,796	0,571	0,237 – 0,783
Xifoideo	0,856	0,708 – 0,933	0,885	0,760 – 0,947
Abdominal	0,784	0,577 – 0,897	0,704	0,446 – 0,855
Valor promedio				
Axilar	0,688	0,422 – 0,846	0,631	0,324 – 0,817
Xifoideo	0,858	0,711 – 0,933	0,935	0,863 – 0,970
Abdominal	0,820	0,641 – 0,914	0,718	0,469 – 0,862

- Reproducibilidad del IAT entre-evaluadores. La reproducibilidad entre evaluadoras fue aceptable a nivel axilar, tanto con el valor máximo como con el promedio (CCI entre 0,62 y 0,66); y buena a nivel xifoideo y abdominal (CCI entre 0,78 y 0,85). Los intervalos de confianza fueron más amplios a nivel axilar (tabla 17).

Tabla 20. Reproducibilidad entre-evaluadores del IAT (N=26)

Nivel de medición	Medición 1		Medición 2	
	CCI [2,k]	IC 95%	CCI [2,k]	IC 95%
Valor máximo				
Axilar	0,644	0,324 – 0,827	0,629	0,261 – 0,825
Xifoideo	0,845	0,684 – 0,927	0,806	0,618 – 0,908
Abdominal	0,787	0,583 – 0,898	0,850	0,696 – 0,929
Valor promedio				
Axilar	0,664	0,376 – 0,835	0,634	0,243 – 0,832
Xifoideo	0,865	0,724 – 0,937	0,853	0,668 – 0,935
Abdominal	0,793	0,592 – 0,901	0,841	0,680 – 0,925-

6.5 RESULTADOS DE LA REPRODUCIBILIDAD DE LA VMM DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS

6.5.1 Descripción de la VMM. Las categorías que se establecieron en el presente trabajo para la VMM de los músculos inspiratorios fueron normal, bueno, regular, malo, vestigios y nulo; y para los músculos espiratorios fue funcional, débilmente funcional, no funcional y nulo^{48,128,130,183} (anexo J).

En general, el diafragma recibió valoraciones entre “regular” y “bueno” en sus tres porciones. Los músculos intercostales externos fueron valorados entre “buenos” y “normales”. Y los abdominales en su mayoría se encontraron “débilmente funcionales” (tabla 21).

Adicionalmente, se analizó la VMM para el diafragma, los intercostales y los músculos abdominales en general, para cada evaluador y para cada día de medición. Se tuvo en cuenta el “valor promedio absoluto”, definido como la valoración que en promedio se le asignó a todo el grupo muscular sin dividirlo por sus fibras o porciones. Los resultados de este análisis se describen en la tabla 22, y evidenciaron que para el diafragma la valoración más común fue “bueno”, los intercostales estuvieron entre “regulares” y “buenos”, mientras que los abdominales fueron clasificados principalmente como “débilmente funcionales”.

Tabla 21. Descripción de la VMM en las mediciones 1 y 2, N=26

Músculo / Grupo muscular	Evaluadora 1, Medición 1 [n (%)]	Evaluadora 1, Medición 2 [n (%)]	Evaluadora 2, Medición 1 [n (%)]	Evaluadora 2, Medición 2 [n (%)]
Diafragma, fibras anteriores				
Malo	---	---	1 (3,85)	---
Regular	7 (26,92)	11 (42,31)	9 (34,62)	13 (50,00)
Bueno	14 (53,85)	12 (46,15)	11 (42,31)	10 (38,46)
Normal	5 (19,23)	3 (11,54)	5 (19,23)	3 (11,54)
Diafragma, fibras laterales				
Malo	---	---	---	1 (3,85)
Regular	11 (42,31)	14 (53,85)	10 (38,46)	10 (38,46)
Bueno	12 (46,15)	9 (34,62)	12 (46,15)	12 (46,15)
Normal	3 (11,54)	3 (11,54)	4 (15,38)	3 (11,54)
Diafragma, fibras posteriores				
Regular	7 (26,92)	6 (23,28)	8 (30,77)	4 (15,38)
Bueno	16 (61,54)	16 (61,54)	13 (50)	19 (73,08)
Normal	3 (11,54)	4 (15,38)	5 (19,23)	3 (11,54)
Intercostales externos superiores				
Regular	---	---	1 (3,85)	1 (3,85)
Bueno	6 (23,08)	5 (19,23)	20 (76,92)	20 (76,92)
Normal	20 (76,92)	21 (80,77)	5 (19,23)	5 (19,23)
Intercostales externos inferiores				
Regular	---	---	1 (3,85)	1 (3,85)
Bueno	12 (46,15)	13 (50)	20 (76,92)	22 (84,62)
Normal	14 (53,85)	13 (50)	5 (19,23)	3 (11,54)
Recto abdominal				
Débilmente funcional	19 (73,08)	21 (80,77)	24 (92,31)	23 (88,46)
Funcional	7 (26,92)	5 (19,23)	2 (7,69)	3 (11,54)
Oblicuos abdominales				
Débilmente funcional	19 (73,08)	21 (80,77)	24 (92,31)	23 (88,46)
Funcional	7 (26,92)	5 (19,23)	2 (7,69)	3 (11,54)

Tabla 22. Descripción de la VMM (promedio absoluto), N=26

Grupo muscular	Evaluadora 1 [n (%)]	Evaluadora 2 [n (%)]	Medición 1 [n (%)]	Medición 2 [n (%)]
Diafragma				
Regular	9 (34,62)	8 (30,77)	8 (30,77)	8 (30,77)
Bueno	14 (53,85)	15 (57,69)	14 (53,85)	15 (57,69)
Normal	3 (11,54)	3 (11,54)	4 (15,38)	3 (11,54)
Intercostales externos				
Bueno	6 (23,08)	21 (80,77)	12 (46,15)	13 (50,00)
Normal	20 (76,92)	5 (19,23)	14 (53,85)	13 (50,00)
Abdominales				
Débilmente funcional	19 (73,08)	23 (88,46)	19 (73,08)	21 (80,77)
Funcional	7 (26,92)	3 (11,54)	7 (26,92)	5 (19,23)

6.5.2 Reproducibilidad intra-evaluadores de la VMM. La reproducibilidad fue similar para las dos evaluadoras en todos los grupos musculares. La reproducibilidad intra-evaluador fue sustancial para los músculos intercostales externos superiores y los músculos abdominales (kappa entre 0,78 y 0,88). Para las dos evaluadoras, la reproducibilidad fue moderada para el diafragma anterior y posterior (kappa entre 0,45 y 0,59). En el diafragma lateral, la reproducibilidad fue sustancial para la evaluadora 1 (kappa: 0,79) y moderada para la evaluadora 2 (kappa: 0,54). En los intercostales externos inferiores, fue moderada para las dos evaluadoras (kappa entre 0,53 y 0,57). Para toda la musculatura evaluada, los intervalos de confianza fueron amplios, para ambas evaluadoras (tablas 20 y 21).

Tabla 23. Reproducibilidad intra-evaluador de la VMM para la evaluadora 1, N=26

Músculo	Acuerdo (%)	Acuerdo esperado (%)	Kappa	IC ^a 95% Normal
Diafragma anterior	90,38	76,18	0,5963	0,267 – 0,925
Diafragma lateral	95,19	76,70	0,7937	0,577 – 1,000
Diafragma posterior	92,31	81,36	0,5873	0,283 – 0,892
IC ^b superiores	96,15	66,57	0,8850	0,613 – 1,000
IC ^b inferiores	76,92	50,30	0,5357	0,212 – 0,859
Recto abdominal	92,31	64,20	0,7851	0,469 – 1,000
Oblicuos	92,31	64,20	0,7851	0,469 – 1,000

a: Intervalo de confianza; b: Intercostales

Tabla 24. Reproducibilidad intra-evaluador de la VMM para la evaluadora 2, N=26

Músculo	Acuerdo (%)	Acuerdo esperado (%)	Kappa	IC 95% Normal
Diafragma anterior	93,16	87,44	0,4555	0,080 – 0,831
Diafragma lateral	94,87	88,76	0,5439	0,180 – 0,907
Diafragma posterior	91,35	80,10	0,5651	0,278 – 0,852
IC superiores	98,08	89,64	0,8143	0,508 – 1,000
IC inferiores	96,15	90,98	0,5738	0,128 – 1,000
Recto abdominal	96,15	82,54	0,7797	0,226 – 1,000
Oblicuos	96,15	82,54	0,7797	0,226 – 1,000

6.5.3 Reproducibilidad entre-evaluadores de la VMM. En el primer día de medición, la reproducibilidad fue sustancial para el diafragma lateral (kappa: 0,75); moderada para el diafragma anterior y posterior (kappa de 0,58 y 0,47, respectivamente); aceptable para los abdominales (kappa: 0,36) y ligera para los intercostales (kappa: 0,0930 y 0,1078, porción superior e inferior, respectivamente) (tabla 22).

En el segundo día de medición, la reproducibilidad entre-evaluadoras fue sustancial para el diafragma anterior y lateral, así como para los músculos abdominales (kappa: 0,74, 0,73 y 0,70, respectivamente); fue moderada para el diafragma posterior (kappa: 0,58); aceptable para los intercostales externos inferiores (kappa: 0,24) y ligera para los intercostales externos superiores (kappa: 0,07) (tabla 22).

Para los dos días de medición, los intervalos de confianza entre evaluadores fueron amplios, siendo menores para el diafragma lateral (IC 95%: 0,530–0,976; IC 95%: 0,494–0,972, para la medición 1 y 2, respectivamente).

Tabla 25. Reproducibilidad entre-evaluadoras de la VMM en la Medición 1, N=26

Músculo	Acuerdo (%)	Acuerdo esperado (%)	Kappa	IC 95% Normal
Diafragma anterior	94,87	87,57	0,5873	0,287 – 0,888
Diafragma lateral	94,23	76,63	0,7532	0,530 – 0,976
Diafragma posterior	88,46	78,11	0,4730	0,097 – 0,849
IC superiores	82,69	80,92	0,0930	-0,055 – 0,241
IC inferiores	86,54	84,91	0,1078	-0,178 – 0,394
Recto abdominal	80,77	69,53	0,3689	-0,030 – 0,768
Oblicuos	80,77	69,53	0,3689	-0,030 – 0,768

Tabla 26. Reproducibilidad entre-evaluadoras de la VMM en la Medición 2, N=26

Músculo	Acuerdo (%)	Acuerdo esperado (%)	Kappa	IC 95% Normal
Diafragma anterior	94,23	77,07	0,7484	0,487 – 1,000
Diafragma lateral	97,01	88,79	0,7331	0,494 – 0,972
Diafragma posterior	93,27	83,80	0,5845	0,258 – 0,911
IC superiores	81,73	80,25	0,0749	-0,056 – 0,206
IC inferiores	88,46	84,76	0,2427	0,035 – 0,450
Recto abdominal	92,31	73,67	0,7079	0,265 – 1,000
Oblicuos	92,31	73,67	0,7079	0,265 – 1,000

Adicionalmente, se analizó la reproducibilidad general entre evaluadores, teniendo en cuenta el valor promedio obtenido en las dos valoraciones (tabla 27). Incluyendo las evaluaciones de las dos evaluadoras, se encontró que la reproducibilidad entre los dos días fue sustancial para el diafragma (kappa: 0,758), ligera para los intercostales (kappa: 0,133) y moderada para los abdominales (kappa: 0,427).

Tabla 27. Reproducibilidad general entre evaluadoras, N=26

Músculo	Acuerdo (%)	Acuerdo esperado (%)	Kappa	IC 95% Normal
Diafragma	95,19	80,10	0,7584	0,490 – 1,000
Intercostales	42,31	33,43	0,1333	-0,016 – 0,283
Abdominales	80,77	66,42	0,4273	0,065 – 0,790

Finalmente, se analizó la reproducibilidad entre los dos días de medición teniendo en cuenta el valor promedio obtenido en las dos valoraciones de cada evaluadora (tabla 28). Encontrando que la reproducibilidad fue sustancial para el diafragma, los intercostales y los abdominales (kappa de 0,767, 0,769 y 0,785, respectivamente).

Tabla 28. Reproducibilidad general entre los dos días de medición, N=26

Músculo	Acuerdo (%)	Acuerdo esperado (%)	Kappa	IC 95% Normal
Diafragma	95,19	79,36	0,7670	0,549 – 0,985
Intercostales	88,46	50,00	0,7692	0,513 – 1,000
Abdominales	92,31	64,20	0,7851	0,469 – 1,000

6.6 RESULTADOS DE VALIDEZ EXTERNA ENTRE EL IAT Y LA CINEMÁTICA DEL TÓRAX

- Resultado de la reproducibilidad del análisis cinemático. La reproducibilidad intra evaluador del análisis cinemático fue aceptable a nivel axilar y xifoideo y buena a nivel abdominal (CCI de 0,676, 0,697 y 0,88, respectivamente) y los intervalos de confianza fueron más estrechos a nivel abdominal (tabla 26).

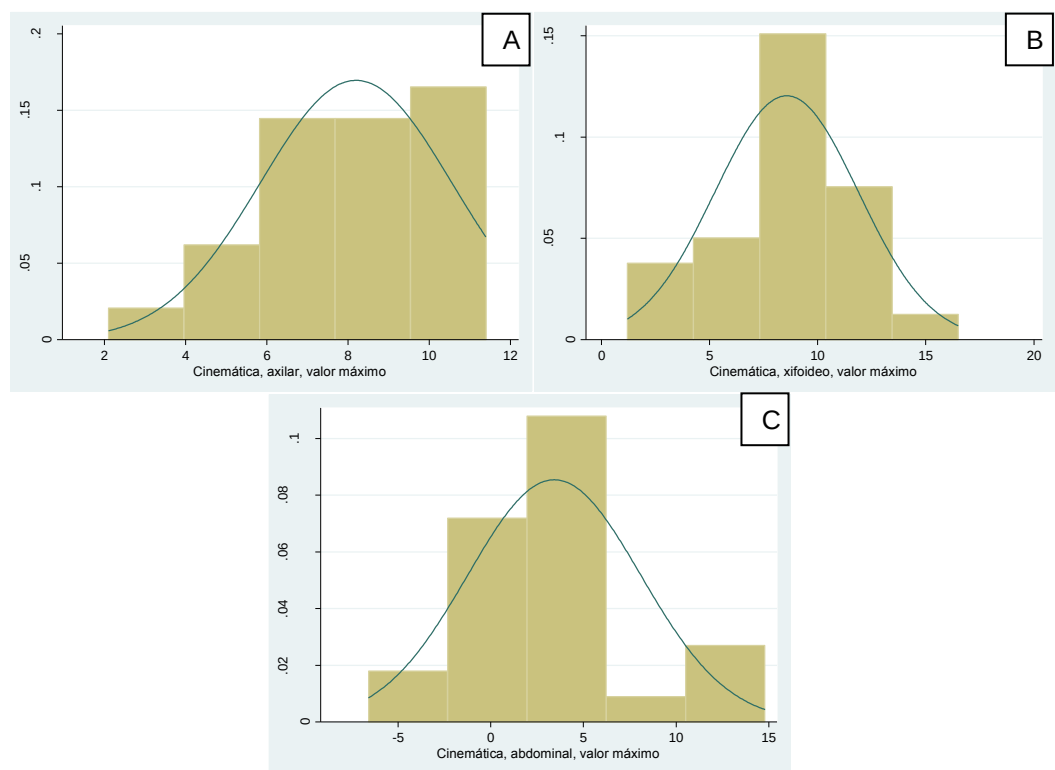
Tabla 29. Reproducibilidad intra-evaluador del análisis cinemático (N=26)

Nivel de medición	CCI [2,k]	IC 95%
Valor máximo		
Axilar	0,676	0,393 – 0,841
Xifoideo	0,697	0,431 – 0,852
Abdominal	0,883	0,758 – 0,945

6.6.1 Validez externa entre el IAT y la cinemática del tórax, valor máximo.

- Distribución de las variables. Para conocer la condición de normalidad en la distribución de la cinemática costal, se realizó un análisis gráfico (histograma) y se aplicó el test de normalidad (sesgo y kurtosis y Shapiro Wilk) (anexo M); con lo que se mostró que la cinemática tuvo una distribución normal en los tres niveles de medición (figura 23).

Figura 23. Distribución de la cinemática utilizando el valor máximo



A. Nivel axilar. B. Nivel xifoideo. C. Nivel abdominal

- Descripción de la cinemática en la población de estudio. La movilidad del tórax medida mediante la cinemática fue mayor a nivel xifoideo (7,71cm, valor promedio), seguida por el nivel axilar (7,35cm, valor promedio) y menor a nivel abdominal (2,67cm, valor promedio), y se mantuvo el mismo comportamiento con el valor máximo (tabla 26).

Tabla 30. Descripción de la cinemática en la muestra, N=26

Niveles de medición	Valor máximo [Promedio (DE ^a)]	Valor promedio [Promedio (DE ^a)]
Axilar	8,2 (2,35)	7,44 (2,25)
Xifoideo	8,57 (3,32)	7,71 (3,49)
Abdominal	3,42 (4,67)	2,67 (4,82)

- Análisis de correlación. Debido a que en todos los niveles al menos una de las dos variables tuvo una distribución normal, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson. Para establecer la correlación se promediaron los valores máximos del IAT los dos días de medición de ambas evaluadoras, y se comparó este promedio con el valor máximo de movilidad medido a través del análisis cinemático.

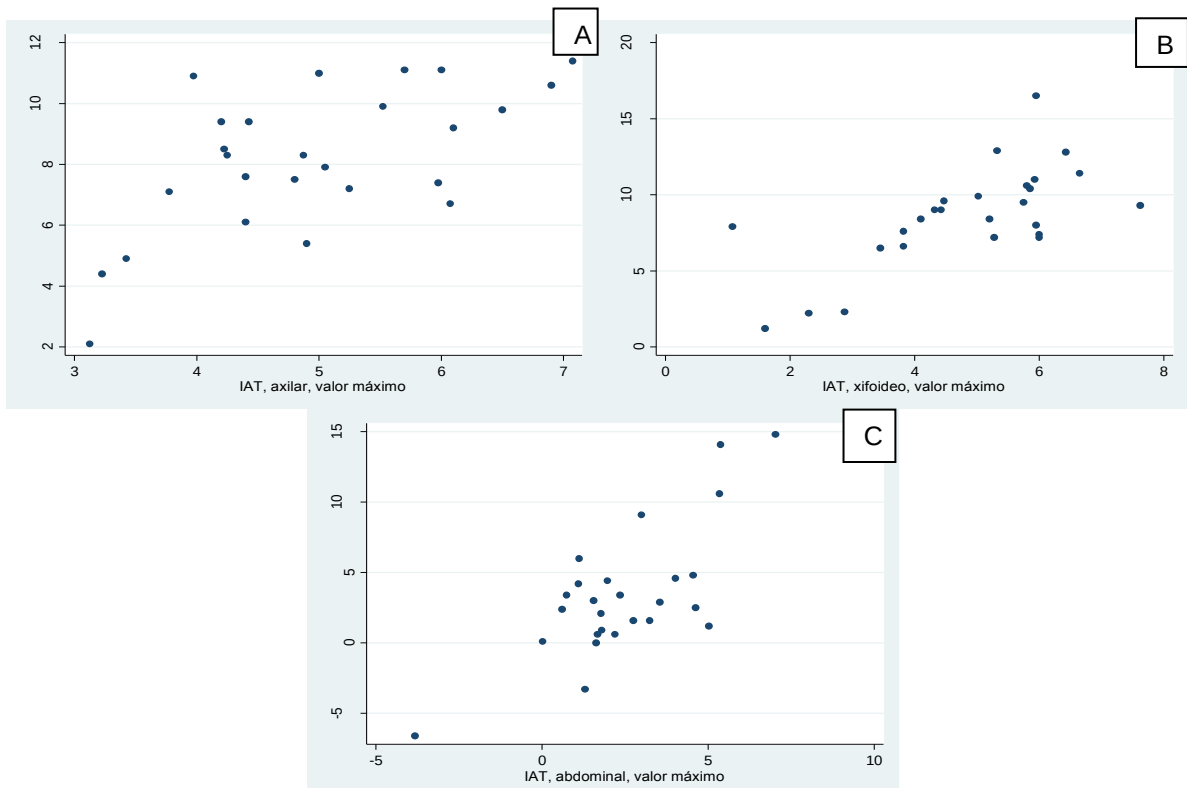
A nivel axilar y xifoideo se encontró una correlación moderada y a nivel abdominal, alta (tabla 27). Los intervalos de confianza fueron amplios en los tres niveles, siendo más estrechos a nivel abdominal. Una representación gráfica de esta correlación en los tres niveles, se muestra en la figura 24.

Tabla 31. Correlación entre la cinemática y el IAT, utilizando los valores máximos, N=26

Nivel de medición	r	IC (95%)
Axilar	0,621	0,307 – 0,813
Xifoideo	0,668	0,379 – 0,839
Abdominal	0,733	0,483 – 0,873

r= Coeficiente de correlación de Pearson

Figura 24. Relación de la cinemática y el IAT, valor máximo.

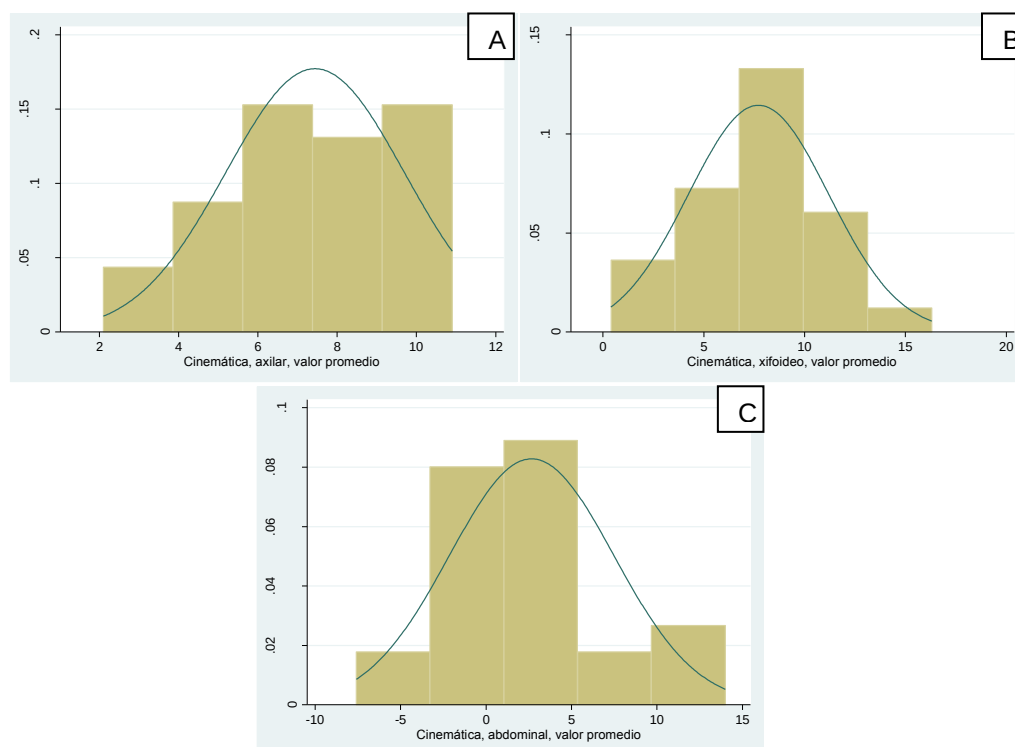


A. Nivel axilar. B. Nivel xifoideo. C. Nivel abdominal

6.6.2 Validez externa entre el IAT y la cinemática del tórax, valor promedio.

- Distribución de las variables. Se realizó el análisis para conocer la condición de normalidad en la distribución de la cinemática, teniendo en cuenta su valor promedio, encontrando que fue normal en los tres niveles de medición, su representación gráfica se presenta como figura 25.

Figura 25. Distribución de la cinemática utilizando el valor promedio



A. Nivel axilar. B. Nivel xifoideo. C. Nivel abdominal

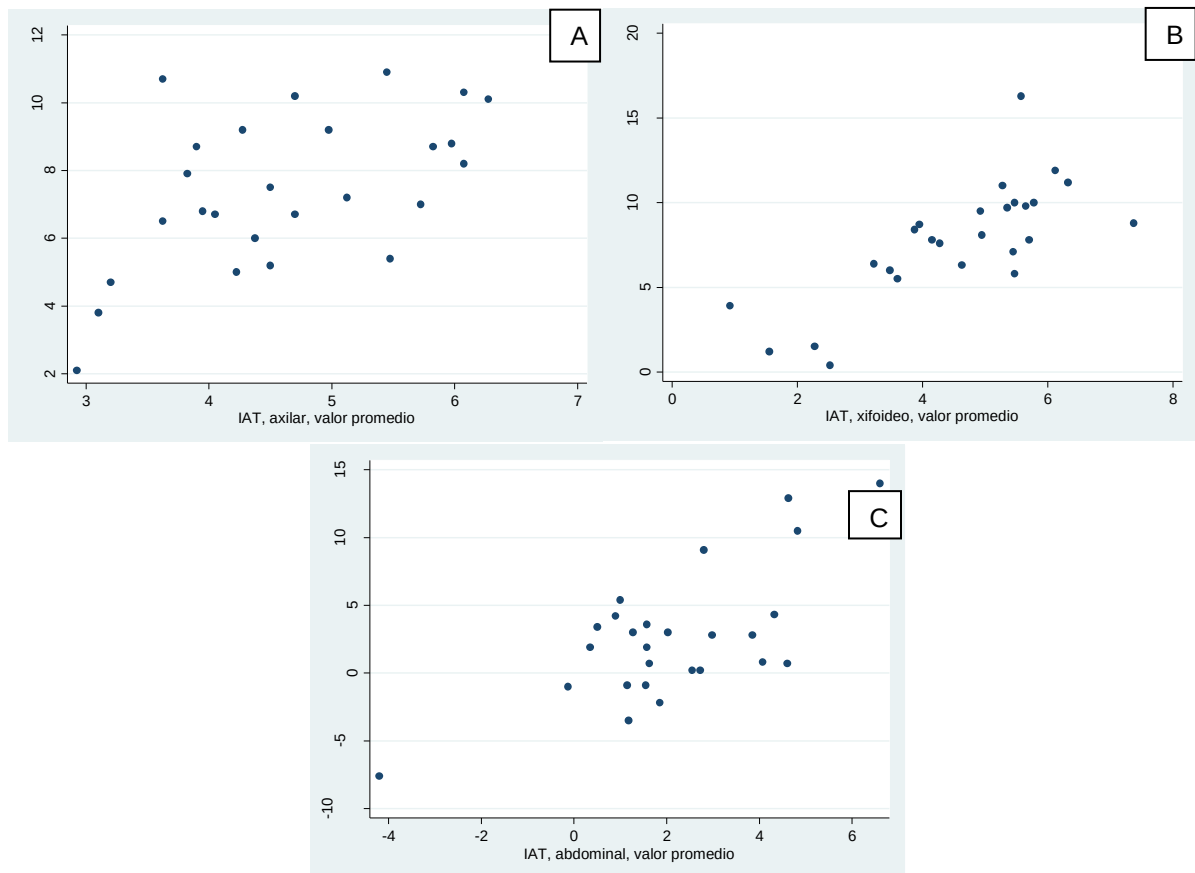
- Análisis de correlación. Se evaluó la correlación utilizando el coeficiente de correlación de Pearson, debido a que en todos los niveles la cinemática costal tuvo una distribución normal. A nivel axilar se encontró una correlación moderada, y a nivel xifoideo y abdominal fue alta (tabla 28). Los intervalos de confianza fueron amplios en los tres niveles, siendo más estrechos a nivel xifoideo. Una representación gráfica de esta correlación en los tres niveles, se muestra en la figura 26.

Tabla 32. Correlación entre la cinemática y el IAT, utilizando el promedio, N=26

Nivel de medición	r	IC (95%)
Axilar	0,555	0,213 – 0,775
Xifoideo	0,757	0,523 – 0,885
Abdominal	0,696	0,423 – 0,854

r= Coeficiente de correlación de Pearson

Figura 26. Correlación entre la cinemática y el IAT utilizando el valor promedio



A. Nivel axilar. B. Nivel xifoideo. C. Nivel abdominal

6.7 RESULTADOS DE VALIDEZ EXTERNA ENTRE LA VMM Y LAS PRESIONES RESPIRATORIAS ESTÁTICAS

6.7.1 Distribución y descripción de las presiones respiratorias. Se analizó la condición de normalidad de la PIM y de la PEM, encontrando normalidad en la distribución de ambas variables (figura 27). La PEM fue mayor ($35 \pm 9,60 \text{ cmH}_2\text{O}$) que la PIM ($28,77 \pm 9,67 \text{ cmH}_2\text{O}$), y ambas presentaron desviaciones estándar similares (tabla 29).

Figura 27. Distribución de las presiones respiratorias estáticas.

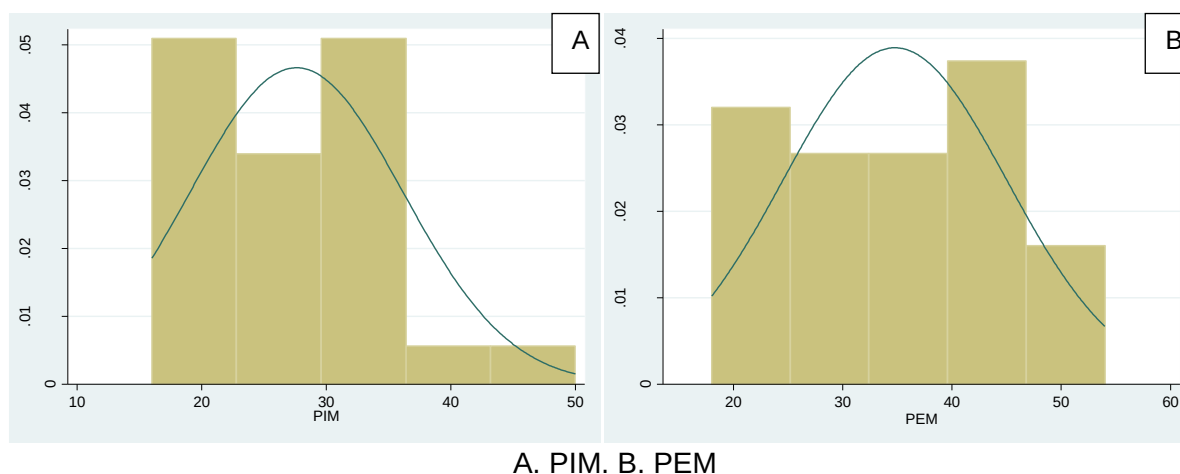


Tabla 33. Descripción de las presiones respiratorias estáticas, N=26

Presión respiratoria	Promedio (DE)
PIM	27,62 (8,56)
PEM	34,77 (10,25)

6.7.2 Análisis de correlación. Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson, ya que las presiones respiratorias tuvieron una distribución normal. En general, se encontró una correlación baja entre las presiones respiratorias estáticas y la VMM, tanto para los músculos inspiratorios como para los espiratorios (tabla 33).

Tabla 34. Correlación entre las presiones respiratorias estáticas y la VMM, N=26

Grupo muscular	r	IC (95%)
Inspiratorios (promedio absoluto)		
PIM y diafragma	0,252	-0,150 – 0,583
PIM e intercostales externos	0,489	0,126 – 0,737
PIM y músculos inspiratorios	0,395	0,009 – 0,678
Espiratorios (promedio absoluto)		
PEM y abdominales	0,207	-0,196 – 0,550

r= Coeficiente de correlación de Pearson

7. DISCUSIÓN

La calidad de las mediciones aplicadas determina la calidad de los resultados de investigaciones y las decisiones en el manejo clínico de un usuario. De forma específica, para el fisioterapeuta es importante contar con herramientas de evaluación confiables y válidas, que en el ámbito clínico le permitan realizar una valoración objetiva, plantear el diagnóstico e implementar una intervención apropiada. Adicionalmente, en el ámbito investigativo la calidad de las pruebas diagnósticas es útil para garantizar la veracidad de sus conclusiones^{13,18}.

En el área cardiorrespiratoria, el fisioterapeuta debe contar con estrategias de medición que le permitan determinar la condición de la función pulmonar y de la mecánica ventilatoria en los individuos con diversas patologías, incluyendo el asma. Diversos trabajos han demostrado la alteración de la mecánica ventilatoria en personas con asma^{38,56-60}, por lo tanto su evaluación debería ser rutinaria en este tipo de pacientes.

La mecánica ventilatoria en personas con asma, puede ser evaluada a través de diferentes pruebas, dentro de las cuales se encuentran el IAT y la valoración de los músculos respiratorios, cuyas propiedades psicométricas no se han establecido con certeza^{17,27,18,28,49}.

7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO

Los resultados de este estudio de pruebas diagnósticas están influenciados por las características del individuo y del entorno.

Los participantes fueron en su mayoría adultos jóvenes, con una edad mínima de 18 años y una máxima de 57 años; se encontraban en la fase estable de la enfermedad, lo cual les permitió tener un adecuado desempeño durante las mediciones sin presentar ninguna complicación. Sin embargo, el 26,92% de la

muestra presentó sobrepeso y obesidad el 19,23%²¹⁵; esta característica pudo dificultar la medición de las variables principalmente a nivel abdominal y podría encontrarse relacionado con los bajos niveles de actividad física que han sido descritos en esta población¹⁰¹.

El nivel educativo alrededor de 15 años de estudios aprobados indicó que la mayoría de los participantes había alcanzado cierto nivel de educación superior o universitaria al momento de la medición, sin embargo, no se considera este aspecto como un requisito para la comprensión de las indicaciones dadas durante las evaluaciones; ya que los comandos emitidos eran de baja complejidad, utilizando un lenguaje sencillo (anexo I).

Los participantes se encontraban en la fase estable de la enfermedad, hallazgo corroborado por las variables espirométricas que se encontraron por encima del 70% del predicho, por lo tanto los hallazgos del presente estudio se limitan a esta fase. El PEF fue la variable espirométrica con mayor valor registrado y se ha planteado que puede ser disminuido por mecanismos que limiten el flujo aéreo, más que por la velocidad y la fuerza de acortamiento de los músculos respiratorios

De otro lado, el FEF_{25%} obtuvo el menor valor y es influenciado por el esfuerzo de cada participante⁴³ y por la condición de las vías aéreas de mayor diámetro²⁰⁸. En conjunto, el PEF y FEF_{25%} permitieron evaluar el grado de esfuerzo voluntario y la condición de los bronquios principales y garantizar que el flujo de aire a través de las vías aéreas fuera adecuado y permitiera la realización de las mediciones de movilidad y fuerza muscular.

Lanza y col.²³⁷ encontraron correlaciones moderadas entre la función pulmonar medida a través de la espirometría, la movilidad costal y la fuerza de los músculos respiratorios en adultos sanos ($r=0,47$ entre la cirtometría torácica y el volumen de reserva espiratorio; $r=0,48$ entre la cirtrometría axilar y la PIM; $p<0,001$). La

²³⁷ LANZA, Fernanda de Cordoba, *et al.* Chest wall mobility is related to respiratory muscle strength and lung volumes in healthy subjects. *En: Respiratory Care*. Mayo, 2013, vol. 58, p. 2107 - 2112.

cirtometría del tórax se correlacionó de forma significativa ($p < 0,001$) con la CVF, el VEF₁ y la capacidad inspiratoria, es decir, que a mayor volumen respiratorio, mayor era la movilidad torácica medida mediante la cirtometría. La fuerza de los músculos respiratorios se relacionó con la movilidad de la pared torácica; por lo tanto, a mayor fuerza de los músculos respiratorios, mayor expansión de la reja costal²³⁷.

De forma específica, la correlación entre los flujos y volúmenes espiratorios, la cirtometría y los músculos espiratorios fue atribuida a su inserción en la reja costal inferior que les permiten reducir el diámetro torácico durante las maniobras espiratorias, acumulando energía elástica y facilitando una mayor expansión en la siguiente inspiración, lo cual resulta en un incremento en la movilidad costal²³⁷.

Apoyando los resultados de Lanza y col.²³⁷, Layton y col.²³⁸ correlacionaron la movilidad del tórax medida mediante pletismografía con la medición del volumen corriente, durante ejercicio máximo y submáximo; y reportaron una muy buena correlación entre ambas mediciones (ejercicio submáximo $R=0,963$ con $p < 0,001$; ejercicio máximo $R=0,982$ con $p < 0,001$). Con base en sus resultados, los autores recomiendan utilizar estas herramientas para analizar los cambios en el volumen de la reja costal y la mecánica respiratoria.

7.2 CONFIABILIDAD PARA EL IAT

7.2.1 Descripción del IAT. El IAT está dado por la diferencia entre el perímetro torácico medido en inspiración y espiración máximas, este proceso de ventilación se da gracias a la elasticidad de los cartílagos costales y a los movimientos de las

²³⁸ LAYTON, Aimee, *et al.* Optoelectronic plethysmography compared to spirometry during maximal exercise. *En: Respiratory Physiology & Neurobiology*. Enero, 2013, vol. 185, p. 362–368.

costillas, que son una combinación de cambios geométricos que se dan a nivel de las costillas y del manubrio del esternón^{121,123,124}. Estos cambios a su vez suceden gracias a las características de los tejidos que conforman la reja costal (óseo, cartilaginoso y muscular), los cuales son deformables, y le permiten moverse a lo largo del ciclo respiratorio^{121,123,125}.

Adicionalmente, la inspiración máxima toraco-abdominal obedece a los cambios entre la presión intra-torácica en relación con la atmosférica, que a su vez son secundarios a la contracción de los músculos inspiratorios; en tanto que para la exhalación forzada, los intercostales internos y el recto abdominal se contraen con el fin de aumentar la presión intrapleurales^{37,121,123,126,127}. Para que los dos compartimentos trabajen de forma coordinada y máxima, los músculos respiratorios deben ejercer un trabajo efectivo²³⁹.

Durante las inspiraciones profundas, se presenta un incremento de la presión transpulmonar, seguido de una pausa inspiratoria, con un aumento en la capacidad residual funcional y una mayor estabilidad alveolar^{240,241}. Al expulsar el aire de forma máxima luego de una inspiración profunda, se moviliza el aire a nivel de la capacidad vital, para lo cual es necesario que los músculos inspiratorios y espiratorios tengan una activación máxima y generen flujos aéreos que se vean reflejados en mayor movilidad del tórax¹⁸⁷.

No hay estudios para la población colombiana que permitan comparar los resultados del presente estudio en el contexto local. Por lo tanto, el IAT fue comparado con los resultados en población brasilera adulta saludable, con

²³⁹ COURTNEY, Rosalba. The functions of breathing and its dysfunctions and their relationship to breathing therapy. En: International Journal of Osteopathic Medicine. Abril, 2009, vol. 12, p. 78–85.

²⁴⁰ TOMICH, Georgia, *et al.* Breathing pattern, thoracoabdominal motion and muscular activity during three breathing exercises. En: Brazilian Journal Of Medical and Biological Research. Julio, 2007, vol. 40, p. 1409 – 1417.

²⁴¹ RESTREPO, Ruben, *et al.* Incentive Spirometry: 2011. AARC Clinical Practice Guideline. En: Respiratory Care. Octubre, 2011, vol. 56, p.1600 –1604.

características antropométricas similares a los participantes de este estudio, siendo menores los valores hallados en asmáticos^{27,129,136} (anexo N).

A nivel abdominal la movilidad fue menor, lo que puede explicarse en primer lugar por el IMC y su relación con la mecánica ventilatoria; otro aspecto podría ser el patrón respiratorio predominante en la población asmática; en tercer lugar, la diferencia entre la fuerza de los músculos costales (o patrón de activación muscular) y la musculatura abdominal; por último, la especificidad del comando para la maniobra (no se explicaba hacia dónde debía ser dirigido el aire).

Respecto al patrón respiratorio en personas con asma, se han descrito cambios en la mecánica ventilatoria durante las crisis que pueden llevar a un aumento del volumen de aire en la reja costal que está en contacto con los pulmones y el diafragma; mientras que a nivel abdominal se minimiza el volumen espiratorio final, mediante la contracción de los músculos de la pared abdominal. Lo cual puede ser un mecanismo adaptativo que explique la mayor movilidad del tórax a nivel costal superior. Posterior a la crisis, el patrón respiratorio puede ser variable entre cada individuo y se relaciona con la condición de los músculos respiratorios^{16,60}.

Los trabajos revisados que evaluaron la movilidad costal en personas con asma reportaron rangos variables de la movilidad costal^{49,204,242}. La variabilidad en los resultados pudo deberse a la diferencia en la edad de los participantes de los tres estudios (desde adolescentes hasta adultos) y a la localización del referente anatómico para la ubicación de la cinta métrica en el nivel axilar (tercer o cuarto espacio intercostal)^{49,204,242}. (anexo N).

²⁴² BOCKENHAUER, Susan, *et al.* Measuring thoracic excursion: reliability of the cloth tape measure technique. En: The Journal of the American Osteopathic Association. Mayo, 2007, vol. 107, no.5, p. 19-196.

7.2.2 Nivel de acuerdo del IAT. Se encontraron límites de acuerdo más estrechos en todos los niveles de medición que los reportados en la literatura revisada¹⁸, lo que puede explicarse por el control que se hizo sobre los aspectos del participante y del ambiente. La estandarización de la prueba constituyó un aspecto importante para los resultados alcanzados, ya que se tuvo en cuenta la postura del participante y del evaluador, la ubicación de la cinta métrica, los comandos verbales, el registro de la información y las condiciones del laboratorio.

Los límites considerados aceptables luego de la prueba piloto se mantuvieron tanto para el acuerdo intra-evaluadoras como entre-evaluadoras, utilizando el valor máximo y el promedio (valores entre -2,0 a 2,5cm a nivel axilar; de -3,0 a 2,0cm a nivel xifoideo y de -3,5 a 4,5cm a nivel abdominal).

La comparación entre los resultados del presente trabajo y los encontrados en el artículo de Malaguti y col.¹⁸ se muestran en el anexo N. El estudio de Malaguti y col.¹⁸ fue realizado en personas con EPOC, sin embargo, se utiliza como referencia debido a que el asma y la EPOC, comparten un comportamiento obstructivo crónico y las consecuencias sobre la mecánica ventilatoria son similares^{16,38,60}. En todos los niveles de medición, el acuerdo fue mejor en el presente trabajo, con un promedio de las diferencias cercano a cero, con lo cual se muestra el control de un sesgo en las mediciones; derivado posiblemente de la sesión de familiarización del participante con la medición.

De igual forma, en ambos estudios, los límites de acuerdo fueron más estrechos a nivel xifoideo, y más amplios a nivel abdominal. Malaguti y col.¹⁸ atribuyeron la mayor variabilidad de la medición a nivel abdominal a las diferencias en el tipo de patrón respiratorio de cada participante durante la inspiración máxima.

Adicionalmente, en la postura sedente la variabilidad a nivel abdominal se debe analizar teniendo en cuenta la distribución de los volúmenes pulmonares. Lee y col.¹⁴⁴, en adultos sanos concluyeron que cambios sutiles en la posición del tronco, pueden alterar la configuración y el movimiento de la pared torácica, así

como la distribución del volumen respiratorio; cambios que pueden ser atribuidos a modificaciones en la activación muscular^{45,123,130,183,239}.

En los músculos del cuello y del tronco, estas modificaciones se relacionan con la doble función que cumplen en el ciclo respiratorio y en el control postural^{123,130,183}; especialmente a nivel abdominal. Los ajustes posturales en sedente pueden influir en el patrón respiratorio debido a la alternancia en dichas funciones. De esta manera pequeños cambios en la postura pueden provocar que predomine la función postural o la respiratoria^{45,239}. Por lo anterior, a pesar de haber estandarizado la postura sedente para cada participante (anexo I), pequeños ajustes posturales pudieron influir en la variabilidad de la medición.

Romei y col.¹⁹ en adultos sanos encontraron que la cinemática costal se afecta significativamente por la posición del tronco y el género. Un aumento gradual en la inclinación del tronco determinó una reducción progresiva del desplazamiento de la reja costal y un aumento de la contribución abdominal sobre el VC. Por lo tanto, estos hallazgos también pueden explicar la variabilidad en el IAT entre cada sujeto, y evidencian aspectos que no pueden ser controlados por el evaluador.

De otra parte, se ha utilizado la medición de la movilidad costal para determinar la efectividad de las intervenciones fisioterapéuticas en personas con asma. Burianová y col.²⁰⁴ evaluaron el efecto de un tratamiento fisioterapéutico sobre la movilidad torácica y reportaron una mejoría estadísticamente significativa, con incrementos totales para hombres de 1,5cm y 2,1cm, a nivel de la cuarta costilla y a nivel xifoideo, respectivamente, y para mujeres de 2cm en ambos niveles. Sin embargo, con los resultados del presente estudio se plantea el interrogante si un aumento estadísticamente significativo en la movilidad torácica, se traduce en un aumento clínico.

Otros estudios previos^{17,27} evaluaron la reproducibilidad de la cirtometría del tórax en adultos sanos sugirieron que incrementos mayores a 0,6cm y su desviación

estándar deben ser considerados como cambios estadísticamente significativos en la excursión torácica. Sin embargo, en el presente trabajo la desviación estándar presentó un rango entre 0,99cm a 2,10cm (promedio 3,8cm); por tanto, un aumento mayor o igual a 2,10cm permite detectar cambios después de las intervenciones.

7.2.3 Reproducibilidad del IAT.

- Reproducibilidad intra evaluadoras. En el presente estudio, la reproducibilidad intra-evaluadoras del IAT con el valor máximo a nivel axilar fue pobre (CCI Evaluadora 1: 0,596 y CCI Evaluadora 2: 0,571); y aceptable tomando en cuenta el promedio (CCI Evaluadora 1: 0,688 y CCI Evaluadora 2: 0,631). A nivel xifoideo fue buena (CCI entre 0,85 y 0,93), y a nivel abdominal estuvo entre aceptable y buena (CCI entre 0,70 y 0,82), tanto con el valor máximo como con el promedio.

Al contrastar los resultados del presente proyecto con los de Malaguti y col.¹⁸, se encontró buena reproducibilidad en el caso de dicho estudio, excepto para el evaluador 1 a nivel abdominal, que fue aceptable; sin embargo, los IC del 95% fueron amplios al igual que en el presente trabajo.

La amplitud en los IC95% se debe analizar considerando las condiciones patológicas de los participantes. Malaguti y col.¹⁸ evaluaron pacientes con EPOC, con compromiso de la movilidad costal asociada a la hiperinflación⁸⁷. En el asma, la hiperinflación se presenta durante la crisis y en los periodos de recesión de la enfermedad el patrón respiratorio puede variar de persona a persona⁸⁸. Por lo tanto, en los sujetos con asma se pueden presentar variaciones principalmente en la movilidad costal superior en mayor proporción que en los individuos con EPOC, lo cual puede explicar la menor reproducibilidad a nivel axilar en el presente trabajo.

La comparación de los resultados de los dos trabajos debe considerar que las diferencias en la reproducibilidad intra-evaluadores puede atribuirse a variaciones en el protocolo de medición. Otro aspecto que puede influir en los resultados de la movilidad costal es el género, ya que en el estudio de Malaguti y col.¹⁸ sólo participaron hombres y se ha demostrado que tienen mayor movilidad (hombres entre $7,97 \pm 1,82$ y $8,13 \pm 1,96$ cm; mujeres entre $6,52 \pm 1,55$ y $6,80 \pm 1,63$ cm)¹³⁶. Romei y col.¹⁹ mostraron que las mujeres tienen una menor contribución abdominal sobre el VC, por lo tanto al incluir sujetos de ambos géneros en el presente trabajo posiblemente se agregó una fuente adicional de variabilidad en la medición.

La postura de los participantes durante la evaluación constituyó otra diferencia entre los estudios. Malaguti y col.¹⁸ realizaron la medición del IAT en supino, mientras que en el presente estudio la postura fue sedente. Investigaciones previas han demostrado el efecto de la postura sobre el movimiento toraco-abdominal^{19,137}. Específicamente, Verschekelen y col.¹³⁷ describieron una mayor contribución del nivel costal superior cuando las maniobras respiratorias se hicieron en bipedestación al nivel de la capacidad vital, comparadas con la medición en supino a nivel del VC. Estos hallazgos también podrían explicar la variabilidad en el resultado obtenido a nivel axilar, ya que en sedente (con el tronco erguido), se espera una mayor amplitud en el movimiento costal superior.

En la revisión de la literatura científica se encontraron cuatro publicaciones que establecieron como objetivo la evaluación de la reproducibilidad del IAT^{17,18,27,28}. Dos de ellos fueron realizados en población adulta sana^{17,27}, por lo cual sus resultados no son extrapolables a individuos con patología respiratoria; el trabajo de Custer y col.²⁸ evaluó población infantil; y Malaguti y col.¹⁸ evaluaron el IAT en adultos con problemas respiratorios obstructivos. Sin embargo, en este último trabajo no se especificó el cálculo del tamaño de muestra ni el tipo de CCI fue aplicado; aspectos que son relevantes para determinar si el número de

participantes fue suficiente para alcanzar los objetivos trazados y si el análisis estadístico era coherente con la variabilidad de los datos¹¹⁰.

- Reproducibilidad entre evaluadoras. A pesar de las diferencias metodológicas descritas anteriormente, la reproducibilidad entre-evaluadores tuvo un comportamiento similar en este proyecto y en el desarrollado por Malaguti y col.¹⁸. Los CCI fueron aceptables a nivel axilar y buenos a nivel xifoideo y abdominal, con IC95% amplios.

La activación muscular de los miembros superiores pudo influenciar en la menor reproducibilidad a nivel axilar. En sujetos sanos, la elevación del brazo durante actividades de la vida diaria conduce a un aumento ventilatorio, ya que los músculos involucrados en el posicionamiento del brazo disminuyen su participación en la ventilación y esto conlleva a un cambio en el trabajo ventilatorio²⁴³. Estos ajustes podrían aplicarse a los participantes del presente trabajo, con lo que se podría explicar la reproducibilidad aceptable a nivel axilar.

En conclusión, se recomienda utilizar la postura sedente para medir el IAT, sin embargo, en quienes así lo requieran pueden ser evaluados en supino, considerando las limitaciones de la posición en la prueba.

²⁴³ BROWN, Peter; JOHNSON, Michael y SHARPE, Graham. Determinants of inspiratory muscle strength in healthy humans. En: Respiratory Physiology & Neurobiology. Febrero, 2014, vol.196, p. 50–55.

7.3 REPRODUCIBILIDAD DE LA VMM DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS

7.3.1 Descripción de la VMM de los músculos respiratorios. En el presente trabajo no se encontraron todas las categorías de la escala de valoración; para el caso de los músculos inspiratorios la menor valoración encontrada fue “mala” para las fibras anteriores y laterales del diafragma en un solo participante por una de las evaluadoras; en tanto que en la mayoría de la muestra la valoración osciló entre regular y normal para el diafragma y los músculos intercostales. La condición de los músculos inspiratorios en el asma varía de acuerdo al periodo en el que se realice la evaluación, pudiendo presentar una fuerza significativamente comprometida en la etapa aguda hasta un incremento en la resistencia muscular entre las crisis^{34,35}.

La VMM en este proyecto fue realizada en un periodo en el que la patología se encontraba estable y la fuerza muscular se encontró conservada en la mayoría de la población estudiada, lo que podría explicarse por el posible efecto de entrenamiento que las crisis asmáticas imponen sobre la musculatura inspiratoria^{34,88,98,99}. Este efecto de entrenamiento puede producirse por los mecanismos adaptativos en la mecánica ventilatoria, como la prolongación activa del tiempo espiratorio y la hiperinflación⁶⁰.

Durante las crisis, estos mecanismos afectan a los músculos inspiratorios, al colocarlos en una situación mecánica desfavorable por el acortamiento de las fibras musculares ocasionado por la hiperinflación³⁸. Además, el trabajo inspiratorio se intensifica porque la hiperinflación aumenta el trabajo elástico, y porque se debe anular la presión positiva espiratoria antes de crear una presión sub-atmosférica generadora de volumen inspiratorio⁶⁰.

Posterior a la crisis, los músculos inspiratorios podrían recuperarse del estrés producido por las exacerbaciones¹³ y quedar en mejores condiciones para afrontar

el trabajo respiratorio habitual. Consecuentemente, el desempeño muscular en las crisis posteriores se mantendría sin cambios. Un estudio que podría fundamentar esta hipótesis, mostró que a pesar del incremento significativo en el volumen pulmonar posterior a la inhalación de histamina, el desempeño del diafragma no se vio afectado³².

Para la musculatura abdominal la valoración más común fue “débilmente funcional”, lo que podría obedecer a diversos mecanismos fisiopatológicos, que interactúan entre sí y se manifiestan en mayor o menor proporción de acuerdo a las características individuales y al curso de la enfermedad¹³. Dentro de estos mecanismos se encuentran la hiperinflación pulmonar que conlleva a una activación de los músculos espiratorios, con el fin de disminuir el volumen de aire contenido a nivel abdominal y desplazar el volumen de la hiperinflación pulmonar hacia la caja costal^{13,87}.

Adicionalmente, la restricción de algunos nutrientes esenciales en la dieta, como las proteínas, las vitaminas y los minerales⁹⁰⁻⁹², y la utilización crónica de corticoides pueden producir una reducción de la masa muscular y la cantidad de proteína en las miofibrillas, contribuyendo a la disfunción de la musculatura espiratoria en el asma⁹³.

7.3.2 Reproducibilidad intra-evaluadores de la VMM de los músculos respiratorios. La reproducibilidad intra-evaluadoras incluyendo los datos de las dos evaluadoras, fue sustancial de forma general para el diafragma al analizarlo como un todo (kappa: 0,7670); para los intercostales externos, sin diferenciar superiores e inferiores (kappa: 0,7692); y para los músculos abdominales, incluyendo el recto abdominal y los oblicuos (kappa: 0,7851).

Esta reproducibilidad sustancial puede atribuirse a la estandarización del protocolo de medición. Estos resultados no son comparables con otros trabajos, ya que en

la literatura revisada hasta el momento no se han encontrado estudios que evalúen la reproducibilidad de la VMM en músculos respiratorios, y generalmente la fuerza muscular respiratoria es evaluada a través de herramientas cuantitativas¹⁸².

El nivel de reproducibilidad fue diferente al analizar de forma específica cada grupo muscular por fibras o por subgrupos musculares. Así, para los músculos intercostales externos superiores la reproducibilidad intra-evaluadoras fue casi perfecta (kappa de 0,885 y 0,814, para las evaluadoras 1 y 2, respectivamente). Se encontró una reproducibilidad sustancial para los músculos abdominales para ambas evaluadoras (kappa entre 0,779 y 0,794), y para el diafragma en sus fibras laterales para la evaluadora 1 (kappa 0,794). Para los demás grupos musculares, la reproducibilidad fue moderada para ambas evaluadoras (kappa entre 0,596 y 0,455).

El tiempo transcurrido entre las mediciones estuvo comprendido entre dos y ocho días, periodo en el cual no se esperan cambios significativos en la fuerza muscular en la población evaluada; por lo tanto, las diferencias en la reproducibilidad no deben atribuirse a cambios reales en la fuerza muscular^{13,32}. Por el contrario, estas diferencias se pueden explicar por medio de un análisis de la biomecánica de la caja costal y de la acción de los músculos respiratorios.

La reproducibilidad intra-evaluador casi perfecta para los intercostales externos superiores y sustancial para los abdominales puede ser explicada por la localización más superficial de estos grupos musculares, lo que hace que su palpación sea más sencilla^{38,130,183}.

La reproducibilidad entre sustancial y moderada para el diafragma se debe analizar teniendo en cuenta su función y su disposición anatómica. Cuando el diafragma se contrae, su tendón central desciende por el acortamiento de las fibras musculares que tiende a aplanar la convexidad de la cúpula diafragmática^{37,123,128,183,185}. Estas características hacen compleja su palpación

para la evaluación, a pesar de la estandarización previa de la maniobra de evaluación y de la escala de medición.

Adicionalmente, cuando la cúpula del diafragma se aplana, como sucede en las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, sus fibras tiran horizontalmente de las costillas y no hacia arriba y hacia afuera. Por lo tanto, la capacidad del diafragma para aumentar las dimensiones de la caja torácica está limitada. Esta alteración en el desempeño diafragmático haría más complejo el cumplimiento adecuado de la maniobra de evaluación por parte de los participantes, y constituiría un aspecto que no puede ser controlado por el evaluador^{38,121}.

De otra parte, la menor reproducibilidad de los músculos intercostales externos inferiores se puede relacionar con la interferencia de la acción diafragmática con la acción de los músculos costales a este nivel. La acción del diafragma depende de su unión a las seis últimas costillas y de la zona de aposición, que comprende el área en que el diafragma se yuxtapone a la zona interna del reborde costal; así, la contracción diafragmática hace que las seis últimas costillas se eleven en sentido cefálico⁸⁸.

7.3.3 Reproducibilidad entre-evaluadores de la VMM. Como resultado del análisis de la reproducibilidad general entre evaluadoras, se encontró un nivel sustancial para el diafragma, incluyendo sus tres porciones (kappa: 0,7558); un nivel moderado para los abdominales, uniendo el recto abdominal y los oblicuos (kappa: 0,427); y una reproducibilidad ligera para los intercostales superiores e inferiores (kappa: 0,133).

La reproducibilidad entre evaluadores es influenciada por el entrenamiento que hayan recibido los evaluadores y por la estandarización del protocolo de medición. Estos dos factores fueron controlados en el presente estudio, sin embargo, la VMM comprende una valoración subjetiva del constructo evaluado (fuerza

muscular), por lo tanto, la variabilidad en las observaciones entre evaluadoras puede atribuirse a la resistencia aplicada sobre el músculo evaluado y la calificación del desempeño percibido.

A pesar de la estandarización de los contactos manuales, la resistencia manual no fue cuantificada, por lo que pudo variar entre las dos evaluadoras. Esta variación puede afectar principalmente a los músculos intercostales externos debido a que las fuerzas que ejercen sobre las costillas, se transmiten a través de las articulaciones y del cartílago a la reja costal. Debido a lo anterior, no se puede aislar la acción de cada uno de los músculos intercostales, del trabajo de otros músculos respiratorios (ejemplo: pectorales), tal como sucede en la mayoría de los músculos esqueléticos de las extremidades, donde las pruebas musculares manuales intentan diferenciar cada acción muscular.

Además, una pequeña modificación en la resistencia manual aplicada por las evaluadoras sobre ellos afectaría su desempeño, ya que éste es el resultado de diferentes momentos que cada músculo costal ejerce en la parte superior e inferior de las costillas^{38,124,183,186}. Este aspecto también puede explicar la ligera reproducibilidad para este grupo muscular.

De otra parte, la reproducibilidad entre evaluadoras aceptable para los abdominales en el primer día de medición, podría atribuirse a la falta de separación entre los dos niveles de evaluación “funcional” y “débilmente funcional”, lo que pudo llevar a una diferencia entre el criterio de evaluación de las dos evaluadoras. La calificación “funcional” se aplica cuando la contracción muscular logra una expulsión vigorosa del aire, con la producción de un volumen sostenido y audible; mientras que la valoración “débilmente funcional” se reserva para los casos en los que la disfunción muscular afecta el grado de movimiento o de resistencia activa, produciendo una disminución del volumen del aire y ocasionando mayor dificultad para completar el test (anexo J).

De acuerdo a esta descripción, sólo el volumen de aire espirado se contempla en ambos niveles, siendo sostenido y audible para la valoración “funcional”, y de menor magnitud para el nivel “débilmente funcional”. Los demás aspectos que orientan la evaluación del músculo no son equiparables, para el nivel “funcional” se tiene en cuenta la expulsión del aire; en tanto que para el grado de movimiento o de resistencia y el nivel de dificultad percibido son los criterios para clasificar el desempeño muscular como “débil”. Por lo tanto, es posible que cada evaluadora haya fundamentado su evaluación en criterios diferentes.

Al comparar los dos días de medición, la reproducibilidad entre evaluadoras fue mayor en la segunda medición para la mayoría de los músculos, excepto para los intercostales externos superiores. El incremento en la reproducibilidad podría atribuirse al efecto del aprendizaje de la prueba de evaluación por parte de los participantes.

En este sentido, Lavietes y col.³¹ describieron un efecto derivado del entrenamiento que se presentaba al realizar de forma repetida la medición de la PIM en adultos con asma aguda, es posible que este fenómeno se presente en la VMM ya que ambos métodos evalúan la fuerza de los músculos respiratorios. De esta forma, con cada ejecución de la medición se logra un mejor desempeño muscular porque se tiene el referente de la experiencia anterior y se modifica el patrón respiratorio.

Los intervalos de confianza en las mediciones entre evaluadoras fueron amplios ambos días de medición, lo que refleja la variabilidad propia del constructo evaluado y la subjetividad de la VMM de los músculos respiratorios. La variabilidad en la medición puede atribuirse a las características de estos grupos musculares, dentro de las que se encuentran su ubicación en la cavidad torácica^{38,183,185} y la influencia que tiene sobre ellos la biomecánica de la reja costal y pulmonar¹⁸².

La fuerza de contracción es determinada por la longitud del músculo (relación longitud-tensión), por la relación fuerza-velocidad, por la fuerza y la frecuencia de

estimulación (relación fuerza-frecuencia), y por la integridad del aparato contráctil^{37,182}. Por lo tanto, pequeños cambios en alguno de estos factores conllevarían a variaciones en la fuerza muscular percibida mediante la palpación.

La variabilidad en la reproducibilidad para las fibras del diafragma (kappa entre 0,473 y 0,748) podría estar influenciada por la relajación de los músculos abdominales, la postura al momento del examen y los contactos manuales^{48,128,183}. Adicionalmente, en el asma, las alteraciones en la mecánica ventilatoria afectan especialmente al diafragma³⁸. Estos cambios musculares no fueron evaluados en la presente investigación, por lo tanto, pueden haber contribuido en la variabilidad de la fuerza muscular.

Por otra parte, la prueba para los músculos intercostales externos se fundamenta en el grado de horizontalización y verticalización de las costillas, la modificación en los espacios intercostales y el ensanchamiento del ángulo condro-esternal, durante el ciclo respiratorio. Para evaluar los músculos costales, el diafragma y la musculatura accesoria deben estar relajados y se deben observar cuidadosamente los movimientos torácicos¹²⁸; por lo tanto, cualquier cambio en estos requisitos incrementa la variabilidad en la medición.

Por último, los músculos abdominales son evaluados teniendo en cuenta su capacidad de generar flujos espiratorios y su ubicación en la pared del tórax^{48,130,183}.

7.4 VALIDEZ CONVERGENTE DEL IAT CON LA CINEMÁTICA COSTAL

7.4.1 Resultado de la reproducibilidad del análisis cinemático. La reproducibilidad del análisis cinemático en las dos tentativas de procesamiento fue sustancial a nivel axilar y xifoideo, y casi perfecta a nivel abdominal (CCI de 0,676, 0,697 y 0,88, respectivamente). Estos datos son comparables con los resultados de otros trabajos que han evaluado la reproducibilidad del software SAPO utilizado en este estudio. Ferreira y col.¹⁷⁵ evaluaron la reproducibilidad intra y entre-evaluadores del SAPO, y encontraron reproducibilidad intra-evaluador variable (CCI entre 0,47 y 0,99). Las mediciones realizadas con el software SAPO también han demostrado excelente reproducibilidad intra y entre-evaluadores para las mediciones angulares de los segmentos corporales (CCI de 0,99)¹⁷.

El alto nivel en la reproducibilidad del análisis cinemático encontrado en este trabajo, sustentó su comparación con una medición más sencilla como el IAT ya que se garantizó que los hallazgos en la correlación entre las dos mediciones no fueran influenciados por la variabilidad en el análisis fotogramétrico.

7.4.2 Descripción de la cinemática del tórax. La movilidad del tórax medida mediante la cinemática fue mayor a nivel xifoideo, seguida por el nivel axilar y fue menor a nivel abdominal; mientras que el IAT mostró una disminución de la movilidad en sentido céfalo-caudal. En el anexo N se presenta una comparación entre los resultados de las dos variables, utilizando el valor promedio.

En los tres niveles la movilidad torácica fue mayor cuando fue medida mediante la cinemática torácica, comparada con el IAT. Estas diferencias deben analizarse desde la técnica de medición en cada caso; en el IAT el resultado se obtiene al finalizar la medición, en tanto que la cinemática permite reconstruir la posición, la

orientación, la forma y el tamaño de los objetos a partir del registro fotográfico, y el resultado se obtuvo posterior al análisis de la fotografía¹⁴⁹.

Para la realización del IAT, la cinta métrica se ajustó al tórax con el fin de deprimir los tejidos blandos y garantizar que la medición correspondiera al movimiento de la reja costal^{128,130}, sin embargo, esta presión pudo significar una restricción al movimiento costal; por el contrario, los marcadores pasivos utilizados en la cinemática costal no imponían ningún tipo de contacto manual, lo que pudo resultar en una mayor libertad para el movimiento¹⁵⁸.

Adicionalmente, se ha descrito la cinemática como un método más utilizado en investigación, por ser cuantitativo e indirecto, que permite mediante el uso de software reconstruir la geometría del tórax, localizando las estructuras óseas de referencia, y delimitando los compartimientos, torácico y abdominal¹⁵⁷. En ambas mediciones, se sugiere estandarizar el patrón respiratorio durante la evaluación de la movilidad torácica, independientemente del método aplicado (IAT o cinemática), con el fin de reducir al mínimo las diferencias en el desplazamiento en los compartimientos torácico y abdominal¹⁸.

7.4.3 Correlación entre el IAT y la cinemática del tórax. Al realizar el análisis utilizando el valor máximo de las dos tentativas de medición del IAT y de la cinemática, la correlación a nivel axilar y xifoideo fue moderada ($r=0,621$ y $0,668$, respectivamente), y alta a nivel abdominal ($r=0,733$). Los intervalos de confianza fueron amplios en los tres niveles, siendo más estrechos a nivel abdominal. Cuando se evaluó la correlación con el valor promedio, ésta fue moderada a nivel axilar ($r=0,555$) y alta a nivel xifoideo y abdominal ($r=0,757$ y $0,696$, respectivamente); con intervalos de confianza más estrechos a nivel xifoideo.

Esta correlación positiva entre el análisis cinemático y el IAT se fundamenta en que ambas pruebas evalúan el mismo constructo, la movilidad costal, y se

conservan similitudes en las maniobras empleadas en ambos casos. La movilidad costal es resultado de la distensibilidad de los tejidos, por lo tanto, se puede inferir que ambos métodos midieron esta propiedad biomecánica en los tres niveles. Estudios anteriores¹⁸ han demostrado que la distensibilidad es mayor a nivel abdominal, lo cual podría explicar la correlación alta observada en este trabajo a ese nivel.

La menor correlación a nivel costal (axilar y xifoideo) puede abordarse partiendo de las modificaciones en la distribución del aire en esta zona, secundarias al patrón respiratorio individual y a las consecuencias de la hiperinflación intermitente. Respecto al tipo de patrón empleado, se consideró relevante evaluar la correlación permitiendo que cada sujeto realizara la máxima respiración de forma espontánea, por lo cual se pudieron presentar modificaciones en la distribución del volumen de aire entre cada prueba.

Las consecuencias de la hiperinflación sobre la distribución del aire en la caja torácica han sido estudiadas por otros autores^{16,60} y se ha establecido que el volumen de aire atrapado se localiza principalmente a nivel costal superior, lo que disminuye la distensibilidad²³⁹, y sumado al aumento en el tiempo de vaciamiento y a la limitación local del flujo espiratorio, terminan produciendo hiperinflación en las demás regiones del pulmón⁷⁷.

7.5 VALIDEZ CONVERGENTE DE LA VMM CON LAS PRESIONES RESPIRATORIAS ESTÁTICAS

7.5.1 Descripción de las presiones respiratorias estáticas. Las presiones respiratorias estáticas ofrecen una visión cuantitativa de la fuerza de los músculos respiratorios, que complementa la valoración de la función muscular a través de una medición no invasiva. En este estudio, la activación muscular se obtuvo por el esfuerzo voluntario^{14,191,192}, evaluado en la sesión de tamizaje mediante el PEF y el FEF_{25%}.

La PIM es considerada la máxima presión sub-atmosférica realizada con oclusión de la vía aérea partiendo desde el volumen residual, mantenida durante un segundo. La PEM fue medida partiendo de la capacidad pulmonar total y ejerciendo la máxima presión espiratoria contra la vía aérea ocluida durante un segundo^{34,41,97,182,187,191-197,201-203,206}.

Los valores de referencia establecidos en este proyecto se fundamentaron en los resultados de un estudio descriptivo realizado en población colombiana en el año 2012²²⁶, en el cual se utilizó un equipo con una escala y un rango de medición de 0 a 300cmH₂O; mientras que el medidor de presiones respiratorias estáticas en el presente trabajo contaba con un marcador de máxima presión de 0 a 60cmH₂O. Debido a que los valores absolutos no eran comparables, se pueden expresar los resultados como porcentaje del máximo valor posible dentro de la escala de medición.

Con base en esto, en el presente trabajo la PEM fue en promedio de $34,77 \pm 10,25$ cmH₂O, es decir que en promedio los participantes obtuvieron una PEM de un 57,95% del máximo posible; y la PIM fue en promedio de $27,62 \pm 8,56$ cmH₂O, es decir, se logró un 46,03% del máximo valor posible. En tanto que Gil y col.²²⁶ obtuvieron valores promedio de $96,4 \pm 36,0$ cmH₂O para la

PEM y de $75,0 \pm 26,9 \text{ cmH}_2\text{O}$ para la PIM, que corresponden al 32,14% y al 25%, del valor máximo respectivamente.

La mayor capacidad de los abdominales de ejercer presión, podría atribuirse a la mayor activación de este grupo muscular secundaria al atrapamiento de aire, con el fin de disminuir el volumen de aire contenido a nivel abdominal. Al final de la exhalación, la porción de la caja torácica en contacto con los pulmones, y la porción en contacto con el diafragma, se desplazan a lo largo de la reja costal, llegando a su posición de reposo. Así, se distribuye proporcionalmente la hiperinflación a nivel costal, y se minimiza la distorsión del volumen espiratorio final^{13,87}.

7.5.2 Correlación entre la VMM y las presiones respiratorias estáticas. El análisis de correlación se realizó entre la PIM y la valoración promedio del diafragma y de los intercostales externos; y entre la PIM y la valoración que en promedio obtuvieron todos los músculos inspiratorios. De igual forma, se estableció la correlación entre la PEM y la valoración promedio para los abdominales. El análisis no se realizó específicamente para cada porción o subgrupo muscular debido a que las presiones respiratorias no discriminan la fuerza por grupo muscular, y el resultado es general para los músculos inspiratorios o espiratorios, según corresponda^{193,194}.

La baja correlación general (r entre 0,207 y 0,489) se debe analizar partiendo del protocolo de medición de ambas variables. Para la VMM la postura de los participantes fue el supino, en tanto que las presiones fueron medidas en sedente; la postura tiene un efecto sobre el desempeño de los músculos respiratorios, principalmente sobre los inspiratorios, ya que éstos deben trabajar mayormente contra resistencia, para vencer la elasticidad de la caja torácica conferida por los cartílagos costales, la resistencia elástica pulmonar, la fuerza de gravedad y el contenido abdominal^{123,183,185}.

El reclutamiento muscular ventilatorio (inspiratorio y espiratorio) depende del tipo de respiración que se desarrolle, de la postura, del nivel de conciencia, de la resistencia al flujo aéreo y de las características de la pared torácica^{123,183,185}. Específicamente, el trabajo del diafragma y de los intercostales como principales músculos inspiratorios se puede diferenciar en diversas posiciones.

El diafragma en posición vertical (como es medida la PIM), presenta un descenso del centro frénico que conlleva a un aumento del diámetro vertical del tórax y deja la columna lumbar como su único punto fijo; durante la exhalación, se relaja, su cúpula se eleva, se reduce el volumen y se aumenta la presión en la cavidad torácica, mientras aumenta el volumen y disminuye la presión intra-abdominal. En decúbito (supino, prono y lateral; postura en la que se realizó la VMM), el diafragma sigue funcionando según las presiones que recibe. En una respiración en reposo en decúbito lateral, el hemidiafragma situado del lado de apoyo es empujado por la presión intra-abdominal, por lo que cumple un papel más espiratorio que en las otras posiciones y permite una ventilación de las fibras basales¹²⁴⁻¹²⁶.

El trabajo de los músculos intercostales es influenciado por la postura de las costillas, ya que la fuerza generada por ellos se transmite a través de las articulaciones y del cartílago a los otros huesos. Como resultado, la relación entre la fuerza muscular y el desplazamiento del hueso para los músculos intercostales se vuelve más complicada de lo que es para la mayoría de los músculos esqueléticos; por lo tanto, el efecto respiratorio de un músculo intercostal es el resultado de diferentes momentos que el músculo ejerce en la parte superior e inferior de las costillas que delimitan su espacio intermedio^{38,124,183,186}.

La acción espiratoria de los abdominales puede explicarse por dos aspectos biomecánicos. El primero considera la influencia de la postura del tronco, ya que en flexión se facilita la salida del aire¹⁸³. El segundo aspecto está definido por la especificidad en la activación muscular, ya que los abdominales que tienen menor

trabajo durante la flexión del tronco (oblicuos menores, transverso abdominal y fibras laterales de los oblicuos mayores) son los que tienen mayor participación al final de la inspiración y al inicio de la espiración^{123,183}. Adicionalmente, en bipedestación y sedente, la tensión de los abdominales complementa la acción inspiratoria del diafragma, ya que facilita un incremento en la presión abdominal y evita que se presente protrusión abdominal durante la inspiración^{38,121,184}.

Otra diferencia entre las maniobras de evaluación para las presiones respiratorias y la VMM fue la resistencia aplicada sobre la acción muscular. El manómetro utilizado para evaluar las presiones, proporciona una oclusión al flujo de aire que impone una resistencia bucal al trabajo muscular^{182,192-197}; en tanto que durante la VMM la resistencia que debía vencer el participante era la impuesta de forma manual por el evaluador, por lo que no fue posible cuantificarla.

La baja correlación entre las presiones respiratorias estáticas y la VMM también puede ser explicada por la activación de los grupos musculares durante estas maniobras. Otros autores han determinado que durante los esfuerzos inspiratorios máximos, que se dan a mayores longitudes musculares, los músculos de la pared torácica son activados de forma máxima, en tanto que el diafragma como principal músculo inspiratorio no es activado de forma submáxima²⁴³.

Es decir, que el esfuerzo medido a través de la PIM es el resultado de una activación conjunta de los músculos inspiratorios²⁴³; en tanto, que la VMM discrimina el esfuerzo de cada grupo muscular. Por lo tanto, la baja correlación puede mostrar una ventaja de la VMM frente a las presiones respiratorias; sin embargo, debido a que en el presente trabajo no fue medida la actividad electromiográfica durante la VMM, esta posible ventaja no se pudo corroborar.

De todos los hallazgos de la discusión, podemos resumir que en relación a los objetivos propuestos:

1. La confiabilidad del IAT involucra los límites de acuerdo y la reproducibilidad. En el presente estudio, se encontraron límites de acuerdo más estrechos en todos los niveles de medición que los reportados en la literatura revisada¹⁸; y la reproducibilidad se encontró entre aceptable y buena tanto intra como entre-evaluadoras. Estos resultados fueron similares utilizando el valor máximo y el promedio de las mediciones.

La adecuada confiabilidad encontrada puede atribuirse a la estandarización de la prueba y a la implementación de una sesión de familiarización. Sin embargo, se deben tener presente algunos aspectos que no pueden ser controlados por el evaluador, tales como el género o la postura de la persona evaluada^{18,19,45,137,239}.

2. La reproducibilidad intra-evaluadores de la VMM fue mayor para los músculos que tienen una disposición más superficial, lo que hace que su palpación sea más sencilla^{38,130,183} (intercostales externos superiores y abdominales); y fue ligera para los músculos intercostales externos inferiores, que a pesar de tener una ubicación superficial, son influenciados de forma importante por la acción del diafragma y por la biomecánica costal a este nivel⁸⁸. Para el diafragma, la reproducibilidad osciló entre sustancial y moderada, lo que se puede atribuir a su localización más profunda en la caja torácica y su acción biomecánica particular^{123,128,183,185}.

La reproducibilidad entre-evaluadores de la VMM es influenciada por el entrenamiento que hayan recibido los evaluadores y por la estandarización del protocolo de medición; en los cuales la diferenciación clara de los niveles de evaluación dentro de la escala utilizada, la cantidad de resistencia aplicada sobre los grupos musculares y la posibilidad de aislar la acción de cada músculo, son factores relevantes para una menor variabilidad en las observaciones^{38,124,183,186}. No obstante, existen factores que no pueden ser modificados como el efecto del

aprendizaje que se logra con cada prueba³¹, la subjetividad propia de la maniobra y la función y localización de cada grupo muscular^{48,130,183}.

3. La correlación entre moderada y alta para el IAT comparado con la cinemática de la respiración, se deriva de que el constructo evaluado por ambas pruebas (movilidad costal) es el mismo, el cual depende de la distensibilidad de los tejidos¹⁸. Los elementos que afectan esta correlación y que no son susceptibles de ser controlados son el patrón respiratorio individual y las consecuencias de la patología en la mecánica ventilatoria^{16,60,77,239}.

4. La baja correlación general entre la VMM y las presiones respiratorias estáticas puede corresponderse con las diferencias en la realización de cada prueba, incluyendo la postura y la resistencia aplicada sobre la acción muscular, que modifican el funcionamiento y reclutamiento muscular^{123-126,183,185,192-197}.

7.6 RECOMENDACIONES E IMPLICACIONES PARA LA PRÁCTICA CLÍNICA

Los resultados de este proyecto mostraron que la confiabilidad y la validez del IAT, presentan un comportamiento similar utilizando el valor máximo y el promedio de las mediciones. El valor máximo corresponde al mayor esfuerzo que la persona puede desarrollar al movilizar volúmenes y capacidades pulmonares dentro y fuera de la reja costal; en tanto que el valor promedio, evidencia la forma en la que regularmente se comporta la movilidad costal cuando se solicita un esfuerzo por encima del basal^{18,129,135,136}.

Por lo anterior, en la práctica clínica el IAT se puede utilizar en personas que puedan tener un desempeño máximo, con la ejecución de un único intento; y quienes requieran dos o más tentativas para obtener un resultado. En ambos casos, se debe considerar un protocolo estandarizado que incluya todos los niveles de medición, con énfasis en la explicación de la maniobra y en comandos que favorezcan el máximo esfuerzo.

Para la evaluación del IAT existen factores que no pueden ser controlados por el evaluador, como el género, la postura, el patrón respiratorio y la activación muscular durante la prueba¹⁹, pero que deben ser considerados en el escenario clínico cuando se analicen los efectos de la enfermedad o los resultados de la evaluación y del manejo fisioterapéutico. En este sentido, la evaluación de los efectos de una intervención en la movilidad costal debe incluir todos estos factores y debe siempre ser analizada teniendo en cuenta que cambios estadísticamente significativos se deben reflejar en mejoría de la condición clínica.

La reproducibilidad entre sustancial y moderada de la VMM apoyaría la aplicación clínica de esta prueba indirecta y manual, ya que a pesar de su subjetividad constituye la herramienta más práctica para determinar la fuerza de contracción de los músculos respiratorios. Cuando se realiza correctamente, es eficaz dentro de la inspección clínica del trabajo muscular; siempre que se garanticen las condiciones básicas para la eficacia del examen como el entrenamiento específico del evaluador, la relajación de la musculatura adyacente, la postura, los contactos manuales adecuados y los comandos verbales estandarizados, que garanticen la sensibilidad táctil de la contracción muscular^{48,128,183}.

Adicionalmente, y con base en la correlación entre moderada y alta entre la VMM y la PIM y PEM, se recomienda utilizar la VMM en el ámbito clínico e investigativo como una forma de medición de la fuerza de los músculos respiratorios por ser una prueba de bajo costo económico, de sencilla aplicación, que permite valorar los grupos musculares diferenciando sus fibras y que se correlaciona de forma significativa con las presiones respiratorias estáticas.

8. FORTALEZAS DEL ESTUDIO

Con base en la literatura revisada, este trabajo es el primero en evaluar la validez y la reproducibilidad del IAT y de la VMM de los músculos respiratorios en adultos con asma, durante la fase estable de la enfermedad. Por lo tanto, permite establecer las propiedades psicométricas de estas herramientas de evaluación, que pueden ser aplicadas para evaluar la mecánica ventilatoria por profesionales de la salud en el ámbito clínico e investigativo.

Adicionalmente, la realización de la prueba piloto permitió garantizar la estandarización de las mediciones y recalcular el tamaño de muestra, para asegurar que el número de participantes fuera el suficiente para el logro de los objetivos propuestos. Sumado a ello, se realizó una caracterización completa de la condición de los participantes, teniendo en cuenta las variables antropométricas, espirométricas, relacionadas con la enfermedad y antecedentes personales.

Durante la fase de recolección de la muestra, la sesión de familiarización de los participantes con las pruebas permitió minimizar los efectos de la falta de experiencia sobre el desempeño y el esfuerzo máximo, lo cual puede afectar la calidad de la ejecución y los resultados obtenidos.

La población incluida en el estudio presentó características antropométricas homogéneas, a pesar de que la edad no tuvo una distribución normal. Por lo tanto, las propiedades psicométricas fueron evaluadas para una población homogénea.

De otra parte, el establecimiento de los límites de acuerdo para el IAT es un paso inicial para establecer puntos de corte de la movilidad torácica esperada para adultos con asma, en población colombiana.

9. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO

Las propiedades psicométricas del IAT y de la VMM fueron establecidas para adultos con asma en fase estable, por lo tanto los resultados se limitan a personas con estas características. En este sentido, se recomienda evaluar las propiedades psicométricas de estas evaluaciones en otros grupos etarios, en diferentes fases de la enfermedad y en otras patologías.

No se encontró en la literatura revisada, valores de referencia del IAT y de la VMM en adultos saludables en el contexto nacional que permitieran comparar los resultados encontrados en la población estudiada. Por lo tanto, se recomienda la realización de estudios descriptivos en la población colombiana donde sean medidas la movilidad del tórax a través del IAT y la fuerza de los músculos respiratorios mediante la VMM en personas sanas, con el fin de establecer rangos de referencia al momento de evaluar a personas con patologías respiratorias.

Las mediciones del IAT y de la cinemática costal se realizaron promoviendo un máximo esfuerzo respiratorio; sin embargo, no se midieron los volúmenes y capacidades pulmonares de forma objetiva, a través de herramientas como la pletismografía. Por lo cual no fue posible estandarizar de forma cuantitativa el volumen exacto en el que se realizaba la medición. Por tanto, se recomienda para futuras investigaciones la cuantificación de los volúmenes y capacidades pulmonares mediante la pletismografía para disminuir la variabilidad en la medición del IAT.

Durante la medición de la VMM no fue cuantificada la resistencia manual aplicada por los evaluadores. La cuantificación de la fuerza muscular por medio de la dinamometría podría facilitar precisión en la medición, sin embargo, su aplicación en los músculos respiratorios (principalmente en los intercostales) es compleja debido a la disposición anatómica de estos músculos en la reja costal.

Adicionalmente, la utilización de la dinamometría es limitada en el ámbito clínico, por falta de disponibilidad del equipo en los servicios hospitalarios y ambulatorios. Se recomienda en futuros proyectos investigativos cuantificar la respuesta muscular mediante la dinamometría; y en el ámbito clínico, en el que su acceso es limitado, es recomendable estandarizar el protocolo para subsanar esta limitación.

La escala de valoración de los músculos abdominales empleada en este proyecto no diferencia claramente las categorías de evaluación. Por lo que es recomendable, ajustar dicha escala, diferenciando de forma clara y precisa las características de cada categoría; con el fin de facilitarle al evaluador, la asignación adecuada de la valoración a cada grupo muscular. Este aspecto es relevante especialmente entre los dos niveles superiores (“funcional” y “débilmente funcional”), entre los cuales la diferenciación se dificulta por la similitud aparente en el desempeño muscular durante la prueba.

Los resultados de la fuerza muscular medidos a través de las presiones respiratorias estáticas son de difícil comparación, porque otros trabajos han utilizado equipos con diferentes escalas. A pesar de ello, el medidor utilizado permitió evaluar de forma adecuada el máximo esfuerzo voluntario inspiratorio y espiratorio. Con base en ello, se recomienda reportar en porcentaje el esfuerzo medido, para que sea más sencilla la comparación de los resultados, independientemente del equipo utilizado.

10. CONCLUSIONES

La confiabilidad del IAT estuvo entre aceptable y buena; con límites de acuerdo intra-evaluadores aceptables en los tres niveles de medición, utilizando el valor máximo y el promedio de las mediciones. De igual forma, la reproducibilidad intra-evaluadores estuvo entre aceptable y buena; excepto a nivel axilar utilizando el valor máximo, en el que fue pobre. Los intervalos de confianza fueron amplios a nivel axilar y abdominal. Los límites de acuerdo entre-evaluadores fueron buenos en los dos días de medición, siendo más estrechos a nivel xifoideo y más amplios a nivel abdominal. La reproducibilidad entre-evaluadores estuvo entre aceptable y buena en los dos días de medición y para los tres niveles, con intervalos de confianza más amplios a nivel axilar.

La reproducibilidad intra y entre-evaluadores para la VMM estuvo entre sustancial y moderada; con excepción de la reproducibilidad entre-evaluadores de los intercostales superiores en el segundo día de medición, que fue clasificada como ligera. En todos los casos, se encontraron intervalos de confianza amplios.

Se encontró una correlación entre moderada y alta, entre las variables de movilidad costal y fuerza muscular, con lo que se pudo establecer la validez de constructo externa convergente para el IAT y la VMM de los músculos respiratorios.

El IAT y la VMM son mediciones válidas y reproducibles que pueden ser utilizadas por profesionales de salud durante el examen físico del tórax, para evaluar la movilidad del tórax y la fuerza de los músculos respiratorios en adultos con asma; y ampliar de esta manera, el análisis de la mecánica ventilatoria en cada caso. Adicionalmente, estas pruebas pueden aplicarse en ensayos clínicos controlados con el fin de determinar los efectos de intervenciones terapéuticas tendientes a optimizar el trabajo respiratorio en personas con esta patología.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSM. Resource manual for guidelines for exercise: testing and prescription. 8 ed. Lipincott: Williamn & Wilkins, 2009. 868 p.

AKKOCA, Öznur, *et al.* Inhaled and systemic corticosteroid therapies: do they contribute to inspiratory muscle weakness in asthma?. En: Respiration. Febrero, 1999, vol. 66, no. 4, p. 332–337.

ALARCÓN, Ana, MUÑOZ, Sergio. Medición en salud: Algunas consideraciones metodológicas. En: Revista Médica de Chile. Enero, 2008, vol. 136, no. 1, p. 125–130.

ALIVERTI, Andrea, *et al.* Compartmental analysis of breathing in the supine and prone positions by optoelectronic plethysmography. En: Annals of Biomedical Engineering. 2001; 29: 60–70.

ALIVERTI, Andrea, *et al.* Optoelectronic plethysmography in intensive care patients. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Mayo, 2000, vol. 161, no. 5, p. 1546–1552.

ALVARENGA, Emmanuel, *et al.* Mobilidade torácica em estudantes na faixa etária de 8 a 14 anos de ambos os sexos: uma análise descritiva. En: VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Revista Univap. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba , 2004. p. 435–439.

AMERICAN THORACIC SOCIETY, Board of directors y EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY, Executive committee. ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Agosto, 2002, vol. 166, p. 518–624.

AMERICAN THORACIC SOCIETY. Pulmonary Rehabilitation 1999. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Noviembre, 1999, vol. 159, p.1666–1682.

ANTONELLO, Marc, DELPLANQUE, Dominique. Disfunciones de la mecánica ventilatoria. En: Fisioterapia respiratoria, del diagnóstico al proyecto terapéutico. Barcelona: Masson, 2002. p. 24–35.

ANTONELLO, Marc, DELPLANQUE, Dominique. Intercambios gaseosos. Relación ventilación/perfusión. En: Fisioterapia respiratoria, del diagnóstico al proyecto terapéutico. Barcelona: Masson, 2002. p. 36–43.

ANTONELLO, Marc, DELPLANQUE, Dominique. Pulsoximetría. En: Fisioterapia respiratoria, del diagnóstico al proyecto terapéutico. Barcelona: Masson, 2002. p. 36–43.

APARECIDA, Marlene, *et al.* Efeito de um programa de alongamento muscular pelo método de Reeducação Postural Global sobre a força muscular respiratória e a mobilidade toracoabdominal de homens jovens sedentários. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. Diciembre, 2007, vol. 33, no. 6, p. 679–686.

APARECIDA, Marlene, *et al.* Efeito de um programa de treinamento de facilitação neuromuscular propioceptiva sobre a mobilidade torácica. En: Revista Fisioterapia e Pesquisa. Junio, 2009, vol. 16, no. 2, p. 161–165.

APTER, Andrea. Advances in adult asthma diagnosis and treatment and health outcomes, education, delivery, and quality in 2011: What goes around comes around. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Enero, 2012, vol. 129, p. 69-75.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE NEUMOLOGÍA Y CIRUGÍA DE TÓRAX. Comité Nacional Conjunto de Asma. Asma. Guías para diagnóstico y manejo. En: Revista Colombiana de Neumología. Septiembre, 2003, vol. 15, p. S1-S84.

ATKINSON, Greg, NEVILL, Allan. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. En: Sports Medicine. Octubre, 1998, vol. 26, p. 217–238.

BAINES, Katherine, *et al.* Transcriptional phenotypes of asthma defined by gene expression profiling of induced sputum samples. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Febrero, 2011, vol. 127, p. 153-160.

BARAÚNA, Mario, BALDO, María. Método fotogramétrico de rastreamento do ângulo de Charpy em crianças asmáticas e não asmáticas. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Diciembre, 2000, vol. 1, p. 75–84.

BARAÚNA, Mário, *et al.* Avaliação do equilíbrio estático em indivíduos amputados de membros inferiores através da biofotogrametria computadorizada. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Enero, 2006, vol. 10, no. 1, p. 83–90.

BARNES, Peter. Pathophysiology of asthma. En: Journal of Clinical Pharmacology. Julio, 1996, vol. 42, p. 3–10.

BATEMAN, Eric, BOUSQUET, Jean, BRAUSTEIN Gary. Is overall asthma control being achieved? A hypothesis-generating study. En: European Respiratory Journal. Abril, 2001, vol. 17, p. 589–595.

BATEMAN, Eric, *et al.* Can guideline-defined asthma control be achieved? the gaining optimal asthma control study. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Julio, 2004, vol. 170, p. 836–844.

BEASLEY, Richard. *et al.* Prevalence and etiology of asthma. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Febrero, 2000, vol. 105, p. S466-S472.

BELLEMARE, François, JEANNERET, Alphonse, COUTURE, Jacques. Sex differences in thoracic dimensions and configuration. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Agosto, 2003, vol. 168, no. 3, p. 305–312.

BELLEMARE, Marc, GRASSINO, Alex. Effect of pressure and timing of contraction on human diaphragm fatigue. *Journal of Applied Physiology*. Noviembre, 1982, vol. 53, p. 1190-1195.

BIANCHI, Roberto, *et al.* Chest wall kinematics and breathlessness during pursed-lip breathing in patients with COPD. En: *Chest*. Febrero, 2004, vol. 125, no. 2, p. 459-465.

BLACK, Leo, HYATT, Robert. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. En: *American Review of Respiratory Disease*. Mayo, 1969, vol. 99, no. 5, p. 696–702.

BOCKENHAUER, Susan, *et al.* Measuring thoracic excursion: reliability of the cloth tape measure technique. En: *The Journal of the American Osteopathic Association*. Mayo, 2007, vol. 107, no. 5, p. 19-196.

BOCKENHAUER, Susan, *et al.* Measuring thoracic excursion: reliability of the cloth tape measure technique. En: *The Journal of the American Osteopathic Association*. Mayo, 2007, vol. 107, no.5, p. 19-196.

BOOKER, Rachel. Pulse Oximetry. En: *Nursing Standard*. Abril, 2008, vol. 30, p. 22 – 30.

BOUSQUET, Jean, *et al.* Prioritized research agenda for prevention and control of chronic respiratory diseases. En: *European Respiratory Journal*. Marzo, 2010, vol. 36, no. 5, p. 995-1001.

BOUSQUET, Jean, *et al.* Uniform definition of asthma severity, control, and exacerbations: Document presented for the World Health Organization Consultation on severe asthma. En: *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. Octubre, 2010, vol. 126, no. 5, p. 926-938.

BROWN, Peter; JOHNSON, Michael y SHARPE, Graham. Determinants of inspiratory muscle strength in healthy humans. En: Respiratory Physiology & Neurobiology. Febrero, 2014, vol.196, p. 50–55.

BRUTON, Anne, CONWAY, Joy, HOLGATE, Stephen. Reliability: What is it and how is it measured?. En: Physiotherapy. Febrero, 2000, vol. 86, p. 94-99.

BURIANOVÁ, Kateřina, VAŘEKOVÁ, Radka, VAŘEKA, Ivan. The effect of 8 week pulmonary rehabilitation programme on chest mobility and maximal inspiratory and expiratory mouth pressure in patients with bronchial asthma. En: Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Agosto, 2008, vol. 38, p. 55-60.

BUTLER, Jane, MCKENZIE, David, GANDEVIA, Simon. Impaired reflex responses to airway occlusion in the inspiratory muscles of asthmatic subjects. En: Thorax. Mayo, 1996, vol. 51, p. 490-495.

CALA, Stephen, *et al.* Chest wall and lung volume estimation by optical reflectance motion analysis. En: Journal of Applied Physiology. Diciembre, 1996, vol. 81, p. 2680-2689.

CALDEIRA, Valéria da Silva, *et al.* Precisão e acurácia da cirtometria em adultos saudáveis. En: Jornal Brasileiro de Pneumologia. Enero, 2007, vol. 33, p. 519–526.

CANTANI, Arnaldo. Asthma. En: Pediatric allergy, asthma and immunology. oma: Springer, 2008. p. 725-873.

CARRY, Pierre, *et al.* Evaluation of respiratory inductive plethysmography. accuracy for analysis of respiratory waveforms. En: Chest. Abril, 1997, vol. 111, no. 4, p. 910–915.

CARTER, Russell, LUBINSKY, Jae, DOMHOLDT, Elizaabeth. Measurement theory. En: Rehabilitation Research. Principles and applications. St. Louis, Missouri: Elseviers Saunders, 2011. p. 229–244.

CARVALHO, Rebecca, *et al.* Análise da mobilidade torácica e força da musculatura respiratória em pacientes com insuficiência renal crônica. En: Revista do UNIPÊ. Diciembre, 2010, vol. 14, no. 2, p. 38-40.

CAVALCANTE, Alessandra, JUSTINO, Hilton. Papel da pressão inspiratória máxima na avaliação da força muscular respiratória em asmáticos – Revisão sistemática. En: Revista Portuguesa de Pneumologia. Junio, 2010, vol. 16, no. 3, p. 463–470.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2013 [online]. [Citado el 24, abril, 2013] Disponible en: http://www.cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/adult_bmi/index.html#Interpreted.

CHAUDHURI, Rekha, *et al.* Effects of smoking cessation on lung function and airway inflammation in smokers with asthma. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Abril, 2006, vol. 174, p. 127–133.

CHIAO, Liu, *et al.* The relationship between excursion of the diaphragm and curvatures of the spinal column in mouth breathing children. En: Journal of Pediatrics. Abril, 2008, vol. 84, no. 2, p. 171–177.

ČIHÁK, Jiří, *et al.* Recognition of breathing pattern by a photogrammetric method. En: Research Reports of Center For Machine Perception, Czech Technical University in Prague. Enero, 2005, vol. 32, no. 32, p. 1–9.

CLANTON, Thomas, DIAZ, Philip. Clinical assessment of the respiratory muscles. En: Physical Therapy. Noviembre, 1995, vol. 75, p. 983–995.

CLARENBACH, Christian, *et al.* Monitoring of ventilation during exercise by a portable respiratory inductive plethysmograph. En: Chest. Septiembre, 2005, vol. 128, no. 3, p. 1282–1290.

COCHRANE, Ludovic, CLARK, Cheryl. Benefits and problems of a physical training programme for asthmatic patients. En: Thorax. Mayo, 1990, vol. 45, no. 5, p. 345–351.

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 528 de 1999. (20, septiembre, 1999). Por la cual se reglamenta el ejercicio de la profesión de fisioterapia, se dictan normas en materia ética profesional y otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, 1999. no. 43.711. 11p.

COOPER, Philip, *et al.* Asthma in Latin America: a public health challenge and research opportunity. En: Allergy. Enero, 2009, vol. 64, p. 5–17.

CORRIGAN, Chris. Mechanisms of asthma. En: Medicine. Abril, 2008, vol. 40, p. 5–10.

COSTA, Dirceu, *et al.* Avaliação da força muscular respiratória e amplitudes torácicas e abdominais após a RFR em indivíduos obesos. Revista Latino-Americana de Enfermagem. Abril, 2003, vol. 1, no. 2, p. 156–160.

COSTA, Dirceu. Avaliação em fisioterapia respiratória. En: Fisioterapia respiratória básica. São Paulo: Atheneu, 1999. p. 11–44.

COSTA, Dirceu. Organização anatomofuncional no sistema respiratório. En: Fisioterapia respiratória básica. São Paulo: Atheneu, 1999. p. 1–9.

COSTA, Kátia, *et al.* Força muscular respiratória e mobilidade torácica em crianças e adolescentes com leucemia aguda e escolares saudáveis. Revista Brasileira de Cancerologia. Junio, 2011, vol 57, no. 5, p. 511–517.

COURTNEY, Rosalba. The functions of breathing and its dysfunctions and their relationship to breathing therapy. En: International Journal of Osteopathic Medicine. Abril, 2009, vol. 12, p. 78–85.

CUSTERS, Jane, *et al.* Thoracic excursion measurement in children with cystic fibrosis. En: Journal of Cystic Fibrosis. Mayo, 2005, vol. 4, p. 129–133.

CUTHBERT, Scott y GOODHEART, George Jr. On the reliability and validity of manual muscle testing: a literature review. En: Chiropractic & Osteopathy. Marzo, 2007, vol. 15, p. 1–23.

CUTTER, Nancy, KEVORKIAN, Charles. Muscles of respiration. En: Handbook of manual muscle testing. New York: McGraw-Hill, 1999. p. 259–267.

DAVIDSON, Josy, *et al.* Photogrammetry: an accurate and reliable tool to detect thoracic musculoskeletal abnormalities in preterm infants. En: Physiotherapy. Septiembre, 2012, vol. 98, p. 243–249.

DAZA, Javier. Examen clínico-funcional del sistema respiratorio. En: Daza J. Evaluación clínico funcional del movimiento corporal humano. Bogotá: Editorial Médica Panamericana, 2007. p. 72–95.

DE BRUIN, Peter, *et al.* Size and strength of the respiratory and quadriceps muscles in patients with chronic asthma. En: European Respiratory Journal. Enero, 1997, vol. 10, p. 59 – 64.

DECRAMER, Marc. Hyperinflation and respiratory muscle interaction. European Respiratory Journal. Abril, 1997, vol. 10, p. 934–941.

DELLACÀ, Raffaele, *et al.* Measurement of total and compartmental lung volume changes in newborns by optoelectronic plethysmography. En: Pediatric Research. Enero, 2010, vol. 67, no. 1, p. 11–16.

DEMET, Gerald, *et al.* Movilidad torácica y abdominal en adultos jóvenes de ambos sexos sin patología conocida. En: Scientia. Mayo, 2011, vol. 16, no. 3, p. 85-94.

DENNIS VERANO, Rodolfo José, *et al.* Prevalence of asthma and other allergic conditions in Colombia 2009–2010: a cross-sectional study. En: BMC Pulm Med. Mayo, 2012, vol. 12, p. 17–26.

DENNY, Sara, THOMPSON, Rachel, MARGETTS, Barrie. Dietary factors in the pathogenesis of asthma and chronic obstructive pulmonary disease. En: Current Allergy and Asthma Reports. Marzo, 2003, vol. 3, p. 130–136.

DÍAZ, José Luis, *et al.* Cambios en la función muscular respiratoria y periférica en niños asmáticos: efectos de los corticoides inhalados. En: Anales de Pediatría. Enero, 2010, vol. 72, no. 1, p. 42–48.

DOFOUR, Michael, *et al.* Evaluación de la cabeza y del tronco. En: Kinesioterapia. Tronco y cabeza. Paris: Editorial Médica Panamericana, 1987. p. 11–106.

DOFOUR, Michel, *et al.* Kinesioterapia activa. En: Kinesioterapia. Tronco y cabeza. Paris: Editorial Médica Panamericana, 1987.p. 144–226.

DOLEN, William. Asthma: Clinical descriptions and definitions. En: Pawankar R, Holgate R, Rosenwasser L. Allergy frontiers: diagnosis and health economics. Tokyo: Springer, 2009. p. 247–256.

DVORKIN, Mario, CARDINALI, Daniel, IERMOLI, Roberto. Bases fisiológicas de la práctica médica: mecánica de la ventilación. 14 ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2010. p. 149–166.

ENGELLEN, Marielle, *et al.* Nutritional depletion in relation to respiratory and peripheral skeletal muscle function in out-patients with COPD. En: European Respiratory Journal. Octubre, 1994, vol. 7, p. 1793–1797.

FAN, Eddy, *et al.* Inter-rater reliability of manual muscle strength testing in ICU survivors and simulated patients. En: Intensive Care Medicine. Marzo, 2010, vol. 36, p. 1038–1043.

FERNÁNDEZ, Pita. Determinación del tamaño muestral. En: Cadernos de Atención Primaria. [online]. Septiembre, 1996. [Citado 25, febrero, 2013] Disponible en http://ciede.net/econometrias/umsa/tamano_muestral.pdf.

FERREIRA, Elizabeth, *et al.* Postural Assessment Software (PAS/SAPO): validation and reliability. En: Clinics. Julio, 2010, vol. 65, no. 7, p. 675-681.

FERRIGNO, Gary, *et al.* Three-dimensional optical analysis of chest wall motion. En: Journal of Applied Physiology. Septiembre, 1994, vol. 77, no. 3, p. 1224–1231.

FILIPPELLI, Mario, *et al.* Overall contribution of chest wall hyperinflation to breathlessness in asthma. En: Chest. Diciembre, 2003, vol. 124, p. 2164–2170.

FIZ, Jean, *et al.* How many manoeuvres should be done to measure maximal inspiratory mouth pressure in patients with chronic airflow obstruction?. En:s Thorax. Mayo, 1989, vol. 44, no. 5, p. 419-421.

FUNDACIÓN NEUMOLÓGICA COLOMBIANA. Manual de procedimientos del laboratorio de función pulmonar. Presiones inspiratorias y espiratorias máximas (PIM-PEM). [Internet] 2007 [Acceso el 20 de febrero de 2012]. Disponible en: <http://www.neumologica.org/Archivos/pimypem.pdf>.

GANDEVIA, Simon, KILLIAN, Kieran, CAMPBELL, Eleanor. The effect of respiratory muscle fatigue on respiratory sensations. En: Clinical Science. Abril, 1981, vol. 60, no. 4, p. 463-466.

GANDEVIA, Simon, MCKENZIE, David, PLASSMAN, Bob. Activation of human respiratory muscles during different voluntary maneuvers. The Journal of Physiology. Septiembre, 1990, vol. 428, p. 387-403.

GARCÍA DE TENA, Jaime. Avances en el tratamiento del asma y de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Aplicaciones a la práctica clínica. En: Medicine. Diciembre, 2009, vol. 10, p. 3055–3064.

GELB, Arthur, ZAMEL, Noel. Unsuspected pseudophysiologic emphysema in chronic persistent asthma. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Noviembre, 2000, vol. 162, p. 1778–1782.

GIL, Ángel. Valoración del estado nutricional en el adulto y en el niño. En: Tratado de nutrición. Nutrición humana en el estado de salud. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2010. p. 67-98.

GIL, Lida, LÓPEZ, Alexandra, ÁVILA, Carmen. Normal values of the maximal respiratory pressures in healthy people older than 20 years old in the city of Manizales – Colombia. En: Colombia Médica. June, 2012, vol. 43, p. 119–125.

GLOBAL STRATEGY FOR ASTHMA MANAGEMENT AND PREVENTION, Global Initiative for Asthma (GINA). Enero, 2011.

GLOBAL STRATEGY FOR ASTHMA MANAGEMENT AND PREVENTION, Global Initiative for Asthma (GINA). Junio, 2012.

GOLDSTEIN, Marc, *et al.* The revised research agenda for Physical Therapy. En: Physical Therapy. Febrero, 2011, vol. 91, no. 2, p. 165-174.

GONÇALVES, Rafael, DEL CASTILO, Fabiano, AZEVEDO, Gustavo. Confiabilidade e validade de medidas angulares por meio do software para avaliação postural. En: Fisioterapia em Movimento. Septiembre, 2008, vol. 21, no. 3, p. 117–126.

GORINI, Massimo, *et al.* Chest wall hyperinflation during acute bronchoconstriction in asthma. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Marzo, 1999, vol. 160, p. 808–816.

GORMAN, Robert, *et al.* Inspiratory muscle strength and endurance during hyperinflation and histamine induced bronchoconstriction. En: Thorax. Noviembre, 1992, vol. 47, p. 922-927.

GREGSON, Janine, *et al.* Reliability of measurements of muscle tone and muscle power in stroke patients. En: Age Ageing. Septiembre, 2000, vol. 29, p. 223–228.

GRUPO RESPIRATORIO DE ATENCIÓN PRIMARIA, Sociedad Española de Medicina Rural y Generalista, Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica, Sociedad Española de Neumología Pediátrica, Asociación Asmatológica Catalana. En: Guía Española para el Manejo del Asma (GEMA). Enero, 2009.

HANANIA, Nicola. Revisiting asthma control: How should it best be defined?. En: Pulmonary Pharmacology and Therapeutics. Abril, 2007, vol. 20, p. 483–492.

HARIK-KHAN, Raida, WISE, Robert, FOZARD, James. Determinants of maximal inspiratory pressure the Baltimore longitudinal study of aging. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Noviembre, 1998, vol. 158, p. 1459–1464.

HASELKORN, Tmirah, *et al.* Effect of weight change on asthma-related health outcomes in patients with severe or difficult-to-treat asthma. En: Respiratory Medicine. 2009, vol. 103, p. 274–283.

HERRERA, Albert, RÍO, Francisco. Exploración funcional de los músculos respiratorios. En: Archivos de Bronconeumología. Julio, 2000, vol. 36, p. 146-158.

HEYWARD, Vivian. Evaluación preliminar de la salud y clasificación del riesgo. En: Evaluación y prescripción del ejercicio. Barcelona: Paidotribo, 2001. p. 15–33.

HEYWARD, Vivian. Valoración del fitness cardiorrespiratorio. En: Evaluación y prescripción del ejercicio. Barcelona: Paidotribo, 2001. p. 25–28.

HILL, Nicholas. Pulmonary Rehabilitation. En: Proceedings of the American Thoracic Society. Marzo, 2006, vol. 3, no. 1, p.: 66–74.

HISLOP, Helen, MONTGOMERY Jacqueline, CONNOLLY, Barbara. Examen de los músculos del tronco. En: Pruebas funcionales musculares. 4 ed. Madrid: Marbán Libros, 2002. p. 41–55.

HOCHMAN, Bernardo, XERFAN, Fabio, MASAKO, Lydia. Fotografia aplicada na pesquisa clínico-cirúrgica. En: Photography in medical research. Acta Cirúrgica Brasileira. Marzo, 2005, vol. 20, p. 19–25.

HOPKINS, William. Measures of reliability in Sports Medicine and Science. En: Sports Medicine. Julio, 2000, vol. 30, no. 2, p. 1–15.

HOUGH, Catherine; LIEU, Binh y CALDWELL, Ellen. Manual muscle strength testing of critically ill patients: feasibility and interobserver agreement. En: Critical Care. Enero, 2011, vol. 15, no. 1, p. R43–R50.

HOUGHTON, Catherine, Woodcock A, Singh D. A comparison of plethysmography, spirometry and oscillometry for assessing the pulmonary effects of inhaled ipratropium bromide in healthy subjects and patients with asthma. En: British Journal of Clinical Pharmacology. Febrero, 2004, vol. 59, no. 2, p. 152–159.

IUNES, Denise, *et al.* Confiabilidade intra e interexaminadores e repetibilidade da avaliação postural pela fotogrametria. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Diciembre, 2005, vol. 9, no. 3, p. 327–334.

JAMES, Michelle. Use of the Medical Research Council muscle öength grading system in the upper extremity. En: Journal of Hand Surgery. Febreo, 2007, vol. 32, no. 2, p. 154–156.

JARDIM, José, MAYER, Ana, CAMELIER, Aquiles. Músculos respiratorios y rehabilitación pulmonar en asmáticos. Archivos de Bronconeumología. Abril, 2002, vol. 38, p. 181–188.

JIA, Chun, *et al.* The asthma control test and asthma control questionnaire for assessing asthma control: systematic review and meta-analysis. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Agosto, 2013, vol. 13, p. 695-703.

KAPANDJI, Adalbert. Tronco y raquis. En: Fisiología Articular. España: MacGraw Hill, 2001. p. 132–168.

KAPLAN, Alan, *et al.* Diagnosis of asthma in adults. En: Canadian Medical Association Journal. Noviembre, 2009, vol. 181, no. 10, p.: E210–E220.

KENDALL'S, Florence, *et al.* Tronco y músculos respiratorios. En: Kendall's Músculos pruebas funcionales, postura y dolor. Madrid: Marbán Libros, S.L, 2007. p. 167–186.

KERKOSKI, Edilaine, *et al.* Comportamento da mobilidade torácica nos desempenhos da força muscular respiratória. En: VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Revista Univap. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba , 2004. p. 424 – 427.

KERKOSKI, Edilaine, *et al.* Mobilidade torácica em adultos: comparação entre duas técnicas de cirtometria. En: VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Revista Univap. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba , 2004. p. 467–470.

KISPERS, Claire. Clinical measurements to assess cardiopulmonary function. En: Physical Therapy. Diciembre, 1987, vol. 67, p. 1886–1890.

KOULOURIS, Nicolaos, *et al.* Comparison of two different mouthpieces for the measurement of Pamax and Pemax in normal and weak subjects. En: European Respiratory Journal. Octubre, 1988, vol. 1, no. 9, p. 863–867.

KRAEMER, Helena, KUPFER, David. Size of treatment effects and their importance to clinical research and practice. En: Biological Psychiatry. Junio, 2006, vol. 59, no. 11, p. 990-996.

KULICH, Michal, *et al.* Disease specific reference equations for lung function in patients with Cystic Fibrosis. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Octubre, 2005, vol. 172, no. 7, p. 885–891.

LAGHI, Franco y TOBIN, Martin. Disorders of the respiratory muscles. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Marzo, 2003, vol. 168, p. 10–48.

LANDIS, Richar, KOCH, Gary. The measurement of observer agreement for categorical data. En: Revista Virtual Biometrics. [online]. Marzo, 1977. [Citado 20, mayo, 2012]. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/2529310?seq=1>.

LANZA, Fernanda de Cordoba, *et al.* Chest wall mobility is related to respiratory muscle strength and lung volumes in healthy subjects. En: Respiratory Care. Mayo, 2013, vol. 58, p. 2107 - 2112.

LAVIETES, Marc, *et al.* Inspiratory muscle strength in asthma. En: Chest. Mayo, 1988, vol. 93, p. 1043–1048.

LAVOIE, Kim, *et al.* What's worse for asthma control and quality of life: depressive disorders, anxiety disorders, or both. En: Chest. 2006, vol. 130, p. 1039–1047.

LAYTON, Aimee, *et al.* Exercise ventilatory kinematics in endurance trained and untrained men and women. En: Respiratory Physiology & Neurobiology. Septiembre, 2011, vol. 178, no. 2, p. 223–229.

LAYTON, Aimee, *et al.* Optoelectronic plethysmography compared to spirometry during maximal exercise. En: Respiratory Physiology & Neurobiology. Enero, 2013, vol. 185, p. 362–368.

LEE, Linda, *et al.* Changes in sitting posture induce multiplanar changes in chest wall shape and motion with breathing. En: Respiratory Physiology & Neurobiology. Enero, 2010, vol. 170, p. 236–245.

LEHMKUHL, Elaine, *et al.* A Mobilidade torácica avaliada em diferentes regiões através da técnica de cirtometria em indivíduos saudáveis. En: IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação (10: 19 – 20, outubro, 2006, São José dos Campos). Revista Univap. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2006. p. 1589–1592.

LEYNAERT, Bénédicte, *et al.* Quality of life in allergic rhinitis and asthma, a population-based study of young adults. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Outubro, 2000, vol. 162, no. 4, p. 1391–1396.

LINDER, Wilfried. Introduction. En: Digital photogrammetry. Berlin: Springer, 2009. p. 1–3.

LOPES, Erica, *et al.* Assesment of musculature shorting and static posture in children with persistent asthma. En: European Journal of Pediatrics. Julio, 2007, vol. 166, no. 7, p. 715–721.

LÖTVALL, Jan, *et al.* Asthma endotypes: A new approach to classification of disease entities within the asthma syndrome. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Febrero, 2011, vol. 127, p. 355-360.

LOULA, Carla, *et al.* Análise de volumes parciais do tronco durante a respiração por videogrametria. En: Revista brasileira de biomecânica. Abril, 2004, vol. 9, p. 21–27.

LUCAS, Sean, PLATTS-MILLS, Thomas. Physical activity and exercise in asthma: Relevance to etiology and treatment. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Mayo, 2005, vol. 115, no. 5, p. 928–934.

MAARSINGH, Eric, *et al.* Respiratory muscle activity measured with a noninvasive EMG technique: technical aspects and reproducibility. En: Journal of Applied Physiology. Junio, 2000, vol. 88, p. 1955–1961.

MAESTÚ, Luis, GARCÍA, Julia. Lung function tests in clinical decision-making. En: Archivos de Bronconeumología. Febrero, 2012, vol. 48, no. 5, p. 161–169.

MAILLARD, Jean, *et al.* Reproducibility of twitch mouth pressure, sniff nasal inspiratory pressure, and maximal inspiratory pressure. En: European Respiratory Journal. Abril, 1998, vol. 11, no. 4, p. 901–905.

MAK, Vince, BUGLER, James, SPIRO, Stephen. Sternum muscle fatigue and twitch maximum relaxation rate in patients with steroid dependent asthma. En: Thorax. Octubre, 1993, vol. 48, p. 979–984.

MALAGUTI, Carla, *et al.* Reliability of chest wall mobility and its correlation with pulmonary function in patients with chronic obstructive pulmonary disease. En: Respiratory Care. Diciembre, 2009, vol. 54, no. 12, p. 1703–1711.

MASOLI, Matthew, *et al.* The global burden of asthma: executive summary of the GINA dissemination committee report. En: Allergy. Mayo, 2004, vol. 59, p. 469–478.

MILLER, Martin, *et al.* Standardization of spirometry. En: European Respiratory Journal. Agosto, 2005, vol. 26, p. 319–338.

MINISTERIO DE SALUD DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Resolución N° 008430 del 4 de octubre de 1993. [Internet] 1993 [Acceso el 25 de octubre de

2012].

Disponível

em:

http://www.dib.unal.edu.co/promocion/etica_res_8430_1993.pdf.

MITSUBU, Fumihito, *et al.* Influence of age and disease severity on high resolution CT lung densitometry in asthma. En: Thorax. Novembro, 2001, vol. 56, p. 851–856.

MORAN, Fidelma, *et al.* Respiratory muscle pressures in non-CF bronchiectasis: Repeatability and reliability. En: Chronic Respiratory Disease. Agosto, 2010, vol. 7, no. 3, p. 165–171.

MOSEN, David, *et al.* The relationship between obesity and asthma severity and control in adults. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Junho, 2008, vol. 122, p. 507–511.

MOY, Marilyn, *et al.* Quality of dyspnea in bronchoconstriction differs from external resistive loads. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Agosto, 2000, vol. 162, p. 451–455.

MUELLER, Gabi, *et al.* Reproducibility of assessing rib cage mobility from computed tomography images. En: Clinical Physiology and Functional Imaging. Fevereiro, 2012, vol. 32, p. 282–287.

MURIEL, Karen, FIORAVANTI, Martha. Avaliação da mobilidade torácica em crianças saudáveis do sexo masculino pela medição do perímetro torácico. En: Revista Fisioterapia e Pesquisa. Abril, 2006, vol. 13, no. 2, p. 6–12.

NATIONAL ASTHMA EDUCATION AND PREVENTION PROGRAM EXPERT PANEL REPORT 2. Guidelines for the diagnosis and management of Asthma. Bethesda, National Heart, Lung, and Blood Institute, 1997.

NATIONAL HEALTH AND NUTRITION EXAMINATION SURVEY, 2009 [online]. Anthropometry Procedures Manual. Estados Unidos: Centers for Disease Control

and Prevention, 2009. [Citado el 12, febrero, 2012]. Disponible en: <http://www.cdc.gov/>.

NATIONAL HEART, LUNG, AND BLOOD INSTITUTE NATIONAL ASTHMA EDUCATION AND PREVENTION PROGRAM EXPERT PANEL. Report 3: Guidelines for the diagnosis and management of Asthma. Full report. 2007.

NAVA, Stefano, *et al.* Recruitment of some respiratory muscles during three maximal inspiratory manoeuvres. En: Thorax. Julio, 1993, vol. 48, no. 7, p. 702–707.

NEDER, José, *et al.* Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. En: Brazilian Journal Of Medical and Biological Research. Junio, 1999, vol. 32, no. 6, p. 719-727.

NEWELL, Sean, MCKENZIE, David, GANDEVIA, Simon. Inspiratory and skeletal muscle strength and endurance and diaphragmatic activation in patients with chronic airflow limitation. En: Thorax. Noviembre, 1989, vol. 44, p. 903–912.

NORKIN, Cynthia, LEVANGIE, Pamela. The thorax and chest wall. En: Joint: structure and function. A comprehensive analysis. Philadelphia: F.A Davis Company, 1992. p. 178–192.

OBSERVATORIO DE SALUD PÚBLICA DE SANTANDER. Secretaría de Salud de Santander. En: Factores de riesgo para enfermedades crónicas en Santander. Método STEPwise. Bucaramanga: División de Publicaciones UIS, 2011. 167 p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2013 [online]. Estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud. [Citado, 21, agosto, 2013]. Disponible en: http://www.who.int/dietphysicalactivity/physical_activity_intensity/es/

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Global surveillance, prevention and control of chronic respiratory diseases. A comprehensive approach. Switzerland: WHO Library, 2007. p. 15–21.

OROZCO, Luis. ¿Medición del cambio, sensibilidad al cambio? ¿o de cuándo nos pondremos de acuerdo en éste aspecto? En: Orozco L. Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 199–213.

OROZCO, Luis. Confiabilidad o de la consistencia, reproducibilidad, acuerdo y algo más. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados: un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 73-103.

OROZCO, Luis. Fases y muestreos, o de cómo tomar las personas de una población para hacer el estudio. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados: un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 63-72.

OROZCO, Luis. Introducción. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 17–25.

OROZCO, Luis. Medición o de cómo se hacen “metros”. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 35–62.

OROZCO, Luis. Validación de criterio o de la sensibilidad específica para predecir la calidad de las probabilidades. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 115–157.

OROZCO, Luis. Validez de los estudios de validez o de los sesgos, cómo evitarlos y algo más. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 199–213.

OROZCO, Luis. Validez y validación o de cómo construir la validez de un constructo. En: Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2010. p. 105–114.

PANKA, Giselle, *et al.* Ventilatory and muscular assessment in healthy subjects during an activity of daily living with unsupported arm elevation. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Julio, 2010, vol. 14, p. 337–343.

PAPIRIS, Spyros, *et al.* Clinical review: Severe asthma. En: Critical Care. Febrero, 2002, vol. 6, no. 1, p. 30–44.

PATROCÍNIO, Ariadne, *et al.* Efeitos da intervenção fisioterapêutica no pico de fluxo expiratório e nas pressões inspiratória e expiratória máximas em um grupo de pacientes asmáticos. En: Revista Funcional. Febrero, 2009, vol. 2, p. 1-10.

PEDROLONGO, Renata, *et al.* Relação da medida da amplitude tóraco-abdominal de adolescentes asmáticos e saudáveis com seu desempenho físico. En: Fisioterapia em Movimento. Marzo, 2011, vol. 24, p. 107-114.

PELLEGRINO, Riccardo, *et al.* Interpretative strategies for lung function tests. En: European Respiratory Journal. Noviembre, 2005, vol. 26, p. 948–968.

PERES, Simone, *et al.* Evaluación bidimensional de la postura de atletas de alto rendimiento. En: Fitness & Performance Journal. Agosto, 2007, vol. 6, no. 4, p. 247-250.

PÉREZ DEL LLANO, Luis, *et al.* Relación entre presencia de comorbilidad y control del asma. En: Archivos de Bronconeumología. Julio, 2010, Vol. 46, p. 508–513.

PERPIÑÁ, Miguel. Asma. En: Medicine. Abril, 2010, vol. 10, p. 4400–4407.

PERREIRA, Verônica, *et al.* Optoelectronic plethysmography: a review of the literature. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Diciembre, 2012, vol. 16, no. 6, p. 439–453.

PIANOSI, Paul, DAVIS, Heather. Determinants of physical fitness in children with asthma. En: Pediatrics. Marzo, 2004, vol. 113, no. 3, p. e225-e229.

PICADO, César, *et al.* Validation of the spanish version of the Asthma Control Questionnaire. En: Clinical Therapeutics. Octubre, 2008, vol. 30, no. 10: 1918–193.

POLKEY, Michael, GREEN, Malcom, MOXHAM, Jhon. Measurement of respiratory muscle strength. En: Thorax. Febrero, 1995, vol. 50, p. 1131-1135.

PRIDE, Neil. Pulmonary physiology. En: BARNES, Peter, *et al.* Asthma and COPD. London: Academic Press, 2002. p. 43-56.

PRYOR, Jennifer, PRASAD, Ammani. Assesment and investigation of patient's problems. En: Physiotherapy for respiratory and cardiac problems. London: Churchill Livingstone, 2002. p. 3–20.

RATNOVSKY, Anat, *et al.* Integrated approach for in vivo evaluation of respiratory muscles mechanics. En: Journal of Biomechanics. Diciembre, 2003, vol. 36, p. 1771–1784.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2001 [online]. Diccionario de la Lengua Española, vigésima segunda edición. Madrid: Espasa Libros, 2001. [Citado el 12, febrero, 2012]. Disponible en: <http://lema.rae.es/drae/?val=medici%C3%B2n>.

REDDEL, Helen, *et al.* An official American Thoracic Society/European Respiratory Society Statement: Asthma control and exacerbations. Standardizing endpoints for clinical asthma trials and clinical practice. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Julio, 2009, vol. 180, p. 59–99.

REID, Darlene, DECHMAN, Gail. Considerations when testing and training the respiratory muscles. En: Physical Therapy. Noviembre, 1995, vol. 75, p. 971-982.

RESTREPO, Ruben, *et al.* Incentive Spirometry: 2011. AARC Clinical Practice Guideline. En: Respiratory Care. Octubre, 2011, vol. 56, p.1600 –1604.

RICIERI, Denise, ROSÁRIO, Nelson, COSTA, Jecilene. Chest diameter ratios for detecting static hyperinflation in children using photogrammetry. En: Jornal de Pediatria. Octubre, 2008, vol. 84, no.5, p. 410–415.

RICIERI, Denise, ROSÁRIO, Nelson. Impacto de fatores externos sobre a mecânica respiratória avaliada por um modelo fotogramétrico específico: biofotogrametria. En: Jornal Brasileiro de Pneumologia. Enero, 2008, vol. 34, no. 9, p. 702–706.

RIPKA, Wagner. Análise fotogramétrica para predição de volume e comportamento respiratórios em adolescentes. Tesis de Maestría en Ingeniería Eléctrica e Informática Industrial. Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial). Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. 75 p.

ROCHE, Nicolas, *et al.* Clinical practice guidelines: Medical follow-up of patients with asthma—adults and adolescents. En: Respir Med. Septiembre, 2005, vol. 99, p. 793–815.

RODRÍGUEZ VILLAMIZAR, Laura Andrea, *et al.* Diagnóstico de salud en Santander. Edición Especial. En: Revista del Observatorio de Salud Pública de Santander. Abril, 2012, vol. 1, p. 46–110.

RODRIGUEZ, José, DE LUCAS, Pilar, MARTÍNEZ, Yolanda. Función de los músculos respiratorios en la desnutrición y en el enfermo crítico. En: Archivos de Bronconeumología. Marzo, 2002, vol. 38, no. 3, p.131–136.

ROMAGNOLI, Isabella, *et al.* Chest wall kinematics and respiratory muscle action in ankylosing spondylitis patients. En: European Respiratory Journal. Septiembre, 2004, vol. 24, no. 3, p. 453-460.

ROMEI, Marianna, *et al.* Effects of gender and posture on thoraco-abdominal kinematics during quiet breathing in healthy adults. En: Respiratory Physiology & Neurobiology. Mayo, 2010, vol. 172, p. 184–191.

ROSS, Russell, HELMS, Peter. Evaluation of three different techniques used to measure chest wall movements in children. En: European Respiratory Journal. Noviembre, 1994, vol. 7, no. 11, p. 2073–2076.

SACCO, Isabel, *et al.* Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Octubre, 2007, vol. 11, no.5, p. 411–417.

SANTOS, Mateo, *et al.* Análise postural fotogramétrica de crianças saudáveis de 7 a 10 anos: confiabilidade interexaminadores. En: Revista Brasileira de Fisioterapia. Agosto, 2009, vol. 13, no. 4, p. 350-355.

SAULEDA, Jaume. Consecuencias clínicas de la disfunción muscular en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. En: Nutrición Hospitalaria. Mayo, 2006, vol. 21, p. 69–75.

SERÓN, Pamela, *et al.* Efecto del entrenamiento muscular inspiratorio sobre la fuerza muscular y la calidad de vida en pacientes con limitación crónica del flujo aéreo. Ensayo clínico aleatorizado. En: Archivos de Bronconeumología. Noviembre, 2005; vol. 41, no. 11, p. 601–606.

SHAFFER, Thomas, WOLFSON, Marla, BHUTANI, Vinod. Respiratory muscle function, assessment, and training. En: Physical Therapy. Diciembre, 1981, vol. 61, p. 1711-1723.

SHIM, Yum, *et al.* Physical deconditioning as a cause of breathlessness among obese adolescents with a diagnosis of asthma. En: PLoS ONE. Abril, 2013, vol. 8, no.4, p. 1-7 .

SIROUX, Valérie, *et al.* Phenotypic determinants of uncontrolled asthma. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Agosto, 2009, vol. 124, p. 681-687.

SMELTZER, Suzanne, LAVIETES, Marc. Reliability of maximal respiratory pressures in multiple sclerosis. En: Chest. Junio, 1999, vol. 115, p. 1546–1552.

SMITH, Laura, *et al.* En: Brunnstrom's clinical kinesiology. Philadelphia: F.A Davis Company, 1996. p. 363–400.

SODERBERG, Gary. Trunk. En: Kinesiology: Application to pathological Motion. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins, 1997. p. 374–383.

STATACORP, 2011 [online]. Stata Statistical Software: Release 12. College Station, TX: StataCorp LP.

STEIR, Joerg, *et al.* The value of multiple tests of respiratory muscle strength. En: Thorax. Junio, 2007, vol. 62, p. 975–980.

STELL Ian, *et al.* Inspiratory muscle strength in acute asthma. En: Chest. Septiembre, 2001, vol. 120, p. 757–764.

STOCKS, Jeffry, *et al.* Respiratory Inductive Plestimography. En: Infant Respiratory Function Testing. Canadá: Wiley-Liss, 1996. p. 193–163.

STRÖMBERG, Nelson, GUSTAFSSO, Peter. Hyperventilation during bronchial challenges in asthmatics: reproducibility and assessment of contributing factors. En: Respiratory Medicine. Mayo, 1996, vol. 90, no. 5, p. 297–306.

SURÓS, Antonio, SURÓS, Juan. Generalidades. En: Semiología médica y técnica exploratoria. Barcelona: Elsevier Doyma, 2001. p. 1–62.

SURÓS, Antonio, SURÓS, Juan. Neumología. En: Surós A, Surós J. Semiología médica y técnica exploratoria. Barcelona: Elsevier Doyma, 2001. p. 63–186.

SYABBALO, Nightingale. Assessment of respiratory muscle function and strength. En: Postgraduate Medical Journal. Abril, 1998, vol. 74, p. 208–215.

TANTUCCI, Claudio, *et al.* Control of breathing and respiratory muscle strength in patients with multiple sclerosis. En: Chest. Febrero, 1994, vol. 105, p. 1163-1170.

TAYLOR, Brian, *et al.* Body mass index and asthma severity in the National Asthma Survey. En: Thorax. 2008, vol. 63, p. 14–20.

TAYLOR, Robin, *et al.* A new perspective on concepts of asthma severity and control. En: European Respiratory Journal. Septiembre, 2008, vol. 32, p. 545–554.

TEMBA, Plínio. Fundamentos da Fotogrametria. En: Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2000. p. 1-23.

TOMICH, Georgia, *et al.* Breathing pattern, thoracoabdominal motion and muscular activity during three breathing exercises. En: Brazilian Journal Of Medical and Biological Research. Julio, 2007, vol. 40, p. 1409 – 1417.

TROOSTERS, Thierry, GOSSELINK, Rick, DECRAMER, Marc. Respiratory muscle assessment. En: European Respiratory Monograph. Mayo, 2005, vol, 31, p. 57–71.

TZELEPIS, George, *et al.* Expiratory effort enhancement and peak expiratory flow in humans. En: European Journal of Applied Physiology. Mayo, 2005, vol. 94, p. 11–16.

VAN BALKOM, Roland, *et al.* Corticosteroid effects on isotonic contractile properties of rat diaphragm muscle. En: Journal of Applied Physiology. Octubre, 1997, vol. 83, p. 1062-1067.

VANHOUTTE, Els Karla, *et al.* Modifying the Medical Research Council grading system through Rasch analyses. En: Brain. Enero, 2012, vol. 135, p. 1639–1649.

VARRASO, Raphaëlle. Nutrition and asthma. En: Current Allergy and Asthma Reports. Marzo, 2012, vol. 12, p. 201–210.

VÁZQUEZ, Juan, PÉREZ, Rogelio. Manual para el uso y la interpretación de la espirometría, 2007. [Citado el 03, septiembre, 2013] Disponible en: http://www.alatorax.org/index.php?option=com_content&view=article&id=335%3Amanual-para-el-uso-y-la-interpretacion-de-la-espirometria&catid=38%3Ahome-entertainment&Itemid=97&lang=es.

VERGARA, Candelaria y CARABALLO, Luis. Asthma mortality in Colombia. En: Annals of Allergy, Asthma & Immunology. Enero, 1998, vol. 80, p. 55–60.

VERLAET, Annelies, *et al.* Physical activity in adults with controlled and uncontrolled asthma as compared to healthy adults: a cross-sectional study. En: Clinical and Translational Allergy. Enero, 2013, vol. 3, no.1, p. 1–8.

VERLATO, Giuseppe, *et al.* Is the prevalence of adult asthma and allergic rhinitis still increasing? Results of an Italian study. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Junio, 2003, vol. 111, p. 1232–1238.

VERSCHAKELEN, Johny, DEMEDTS, Maurits. Normal thoracoabdominal motions. Influence of sex, age, posture, and breath size. En: American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Febrero, 1995, vol. 151, p. 399-405.

VILLASEVIL, Francesc, LOPEZ, Antonio. Medición no invasiva de la saturación de oxígeno en la sangre. En: Información Tecnológica. Marzo, 1999, vol. 10, p. 335-340.

VOGIATZIS, Ioannis, *et al.* Patterns of dynamic hyperinflation during exercise and recovery in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. En: Thorax. Septiembre, 2005, vol. 60, no. 9, p. 723–729.

VOSS, Dorothy, IONTA, Marjorie, MYERS, Beverly. Estimulación de funciones vitales y afines. En: Facilitación neuromuscular propioceptiva. Patrones y técnicas. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2004. p. 424-441.

WANG, Hsing, *et al.* Relationship between chest wall motion and diaphragmatic excursion in healthy adults in supine position. En: Journal of the Formosan Medical Association. Julio, 2009, vol. 108, no. 7, p. 577–586.

WEINER, Paltiel, *et al.* Specific inspiratory muscle training in patients with mild asthma with high consumption of inhaled β_2 -agonists. En: Chest. Marzo, 2000, vol. 117, no. 3, p. 722–727.

WEISS, Kevin y SULLIVAN, Sean. The health economics of asthma and rhinitis. I. Assessing the economic impact. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Enero, 2001, vol. 107, p. 3-8.

WEN, Andrew, WOO, Marlyn, KEENS, Thomas. How many maneuvers are required to measure maximal inspiratory pressure accurately?. En: Chest. Julio, 1997, vol. 111, p. 802-807.

WEST, Jhon. Ventilación, cómo llega el aire a los alvéolos. En: Fisiología respiratoria. San Diego: Editorial Médica Panamericana, 2005. p. 13–23.

WIESCH, Denise, MEYERS, Deborah, BLEECKER, Eugene. Genetics of asthma. En: Journal of Allergy and Clinical Immunology. Noviembre, 1999, vol. 104, no. 5, p. 895-901.

WILKINS, Robert, STOLLER, James, SCALAN, Craig. Analysis and monitoring of gas exchange. En: Fundamentals of Respiratory Care. St Louis: Mosby, 2003. p. 379–383.

WILKINS, Robert, STOLLER, James, SCALAN, Craig. Bedside assesment of the patient. En: Fundamentals of Respiratory Care. St Louis: Mosby, 2003. p. 309–330.

WILKINS, Robert, STOLLER, James, SCALAN, Craig. The respiratory system. En: Fundamentals of Respiratory Care. St Louis: Mosby, 2003. p. 137–186.

WILSON, Theodore, DE TROYER, Andre. The two mechanisms of intercostal muscle action on the lung. En: Journal of Applied Physiology. Febrero, 2004, vol. 96, vol. 2, p. 483-488.

WU, Yonghui, *et al.* Predictive equations for lung function based on a large occupational population in North China. En: Journal of Occupational Health. Septiembre, 2009, vol. 51, no. 6, p. 471–477.

Anexo A. Síntesis de los artículos publicados sobre el IAT

AUTORES	POBLACIÓN	EVALUADOR	DISEÑO	MEDICIONES	RESULTADOS
Costa¹³¹	29 adultos son sobrepeso u obesidad, con edad de 43 ± 13 años.	No se especifica	Experimental	- PIM y PEM - IAT a nivel axilar, xifoideo y abdominal	Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre la evaluación inicial y la intervención, para la PIM y para el IAT (en cm) a nivel xifoideo y abdominal: - IAT axilar pre: $0,9 \pm 0,7$ - IAT axilar post: $2,3 \pm 1,4$ - IAT abdominal pre: $-1,0 \pm 1,6$ - IAT abdominal post: $4,0 \pm 1,9$
Alvarenga¹³⁸	139 niños y adolescentes sanos de ambos géneros, con edades entre 8 a 14 años.	Un evaluador	Descriptivo	- IAT estática y dinámica, a nivel axilar, xifoideo y basal (en la doceava costilla) - Coeficiente respiratorio (CR): diferencia entre la inspiración y la espiración máximas	- Los perímetros torácicos estáticos tendieron a ser mayores en los participantes de mayor edad, en ambos géneros, como ejemplo se presenta el perímetro axilar y xifoideo en los niños de 8 años, comparados con los adolescentes de 14 años (en cm): - o Perímetro axilar en niños de 8 años: $69,22 \pm 11,61$ - o Perímetro axilar en adolescentes de 14 años: $84,00 \pm 9,27$ - o Perímetro xifoideo en niños de 8 años: $64,61 \pm 10,08$ - o Perímetro xifoideo en adolescentes de 14 años: $72,60 \pm 8,67$ - El CR en los varones presentó una tendencia al aumento con el aumento en la edad, excepto para la edad de 12 años donde se presenta una disminución. Para las mujeres, no se observa una tendencia clara. - Independientemente de la edad, los perímetros torácicos estáticos y el coeficiente respiratorio (en cm), disminuyeron desde la región axilar hasta la basal; siendo mayores para las mujeres: - o CR axilar hombres: $3,74 \pm 0,98$ - o CR axilar mujeres: $3,88 \pm 1,24$

					○ CR xifoideo hombres: $3,26 \pm 1,18$ ○ CR xifoideo mujeres: $3,28 \pm 1,08$ ○ CR basal hombres: $2,88 \pm 0,94$ ○ CR basal mujeres: $2,95 \pm 0,98$ - NOTA: no se aplicaron pruebas estadísticas que demostraran que estas diferencias fueron significativas.
Kerkoski¹³⁵	199 adultos jóvenes sanos. 49,75% hombres y 50,25% mujeres, con edades entre 18 y 25 años.	No se especifica	Descriptivo	CR a nivel axilar, xifoideo y basal	- Se encontraron mayores coeficientes respiratorios (en cm) cuando se utilizó el incentivo verbal, en todos los niveles, tanto en hombres como en mujeres ($p < 0,05$): ○ CR axilar sin incentivo: $8,45 \pm 2,19$ ○ CR axilar con incentivo: $9,63 \pm 2,19$ ○ CR xifoideo sin incentivo: $7,95 \pm 2,03$ ○ CR xifoideo con incentivo: $9,19 \pm 2,07$ ○ CR basal sin incentivo: $7,84 \pm 1,97$ ○ CR basal con incentivo: $9,06 \pm 1,87$
Kerkoski¹⁴⁶	182 adultos jóvenes sanos, 81 de género masculino, con edades entre 18 y 25 años.	No se especifica	Descriptivo	- CR a nivel axilar, xifoideo y basal - PIM	- El coeficiente respiratorio fue disminuyendo desde el nivel axilar hasta el nivel basal, para ambos géneros: ○ CR (medido entre el 60 y el 100% del desempeño en la PIM) para hombres: a nivel axilar 7,05 – a nivel xifoideo 7,44 – a nivel basal 5,88 ○ CR (medido entre el 60 y el 100% del desempeño en la PIM) para mujeres: a nivel axilar 7,30 – a nivel xifoideo 7,19 – a nivel basal 5,36 - Independientemente del género, los mayores coeficientes respiratorios se obtuvieron en quienes obtuvieron mejor desempeño al realizar la PIM. - El 70,37% de los hombres y el 74,25% de las mujeres fueron clasificados en un nivel 2 de rendimiento en la fuerza de los músculos respiratorios, es decir, mostraron PIM entre 60 y 100% de los resultados esperados para edad y género.
Lehmkuhl¹²⁹	137 adultos jóvenes de ambos género, con	No se especifica	Descriptivo	Coeficiente respiratorio, a nivel axilar, xifoideo, basal	- El coeficiente respiratorio (en cm) disminuye desde el nivel axilar hasta el nivel umbilical, tanto en hombres como en mujeres. ○ CR para hombres: $9,60 \pm 2,95$ – $9,00 \pm 2,32$ – $7,70 \pm 2,09$ – $5,97 \pm 2,64$ (a nivel axilar, xifoideo, basal y

	edades entre 18 y 25 años.			(en la doceava costilla) y umbilical	umbilical, respectivamente) ○ CR para mujeres: $8,23 \pm 2,22 - 8,14 \pm 2,35 - 6,43 \pm 2,06 - 5,27 \pm 2,44$ (a nivel axilar, xifoideo, basal y umbilical, respectivamente) - El coeficiente respiratorio fue mayor para los participantes de género masculino en todos los niveles ($p < 0,05$).
Aparecida¹⁴⁷	20 hombres jóvenes sanos, sedentarios	Un evaluador	ECC	- PIM y PEM - Cirtometría axilar, xifoidea y abdominal	- En el grupo intervenido tanto la PIM y PEM como la movilidad toraco-abdominal medida a través de la cirtometría, fueron estadísticamente significativas en la medición realizada al finalizar la intervención. - En el grupo intervenido, la PIM pasó de 105,5 a 146,6 cmH₂O, y la PEM incrementó de 136 a 186,5 cmH₂O ($p < 0,05$). - Luego de la intervención, los valores de la cirtometría incrementaron entre 1 y 1,7 cm en los 3 niveles, siendo estos hallazgos estadísticamente significativos ($p < 0,05$).
Aparecida¹³⁹	24 mujeres jóvenes, sanas, sedentarias	Un evaluador	ECC	Cirtometría en las regiones axilar y xifoidea	La cirtometría a nivel axilar y xifoideo fue mayor en el grupo que fue intervenido comparado con el grupo control ($p < 0,05$).
Carvalho¹⁴⁸	13 personas con Insuficiencia Renal Crónica, 7 hombres.	No especificado	Descriptivo	- PIM y PEM - Cirtometría a nivel axilar, xifoideo y abdominal.	- La PIM tuvo un promedio para los hombres de $37,8 \pm 14,39$ cmH₂O y para las mujeres de $25 \pm 12,24$ cmH₂O. - Los valores de la PEM para los hombres fueron en promedio $62,1 \pm 21,18$ cmH₂O y para las mujeres fue de $41,6 \pm 20,16$ cmH₂O. La prueba de Wilcoxon mostró diferencia significativa entre los valores obtenidos con los predichos ($p < 0,001$).
Costa¹³²	Niños entre 5 y 14 años, 16 de ellos con Leucemia Aguda y 32 saludables.	No especificado	Descriptivo	- PIM y PEM - Cirtometría axilar y xifoidea	Se encontraron menores valores para el grupo con Leucemia aguda al medir PIM y al realizar la cirtometría en ambos niveles ($p < 0,05$).
Demet¹³⁶	90 personas sanas, 58	No	Descriptivo	Toracometría a nivel axilar,	- La movilidad costal a nivel axilar fue de $8,13 \pm 1,96$ cm para hombres, comparada con $6,80 \pm 1,63$ cm para

	mujeres y 32 hombres, con promedio de edad de $21,87 \pm 4,20$.	especificado		costal medio y abdominal.	mujeres ($p < 0,002$). - Los resultados de la toracometría a nivel xifoideo fueron en promedio de $7,97 \pm 1,82$ cm para los hombres, contrastado con $6,52 \pm 1,55$ cm para las mujeres ($p < 0,001$). - El coeficiente de correlación de Pearson determinó una correlación significativa ($p < 0,05$) entre la toracometría y la talla y el Índice de Masa Corporal: - o Medida axilar y la talla: 0,32 - o Medida xifoidea y la talla: 0,27 - o Medida xifoidea y el Índice de Masa Corporal: - 0,26 - o Medida abdominal y el Índice de Masa Corporal: 0,22
--	--	--------------	--	---------------------------	---

Trabajos en los que se evalúan las propiedades psicométricas del IAT durante la respiración

AUTORES	POBLACIÓN	EVALUADOR	PROPIEDAD PSICOMÉTRICA EVALUADA	MEDICIONES	RESULTADOS
Custer²⁸	30 niños y adolescentes con fibrosis quística. 15 de ellos fueron de género femenino y 15 de género masculino, con edades entre 5,9 y 18 años.	Dos evaluadores	- Reproducibilidad y el nivel de acuerdo dentro y entre evaluadores - Validez de constructo externa convergente entre la excursión torácica y la función pulmonar.	- Excursión torácica a nivel axilar y xifoideo	- Buen límites de acuerdo intra-evaluador: $0,03 \pm 0,86$ - Límites de acuerdo inter-evaluador aceptables: $0,12 \pm 1,55$ - Reproducibilidad intra-evaluador: ICC 0,95 - Reproducibilidad inter-evaluador: ICC 0,85 - Correlación entre la excursión y los parámetros de función pulmonar ($p < 0,05$): - o Correlación moderada entre la excursión y la capacidad vital forzada: 0,44 - o Correlación moderada entre la excursión y el volumen espiratorio forzado al primer

					segundo: 0,41 ○ Correlación leve entre la excursión y la capacidad pulmonar total: 0,19 ○ Correlación inversa moderada entre la excursión y el porcentaje entre volumen residual y capacidad pulmonar total: -0,45
Caldeira²⁷	40 adultos sin patología pulmonar, con una edad promedio de 28 ± 7 años (21 a 50 años), 31 sujetos del sexo femenino (77,5%) y 9 varones	Dos evaluadores	Validez de constructo externa convergente	- Cirtometría a nivel axilar, xifoideo y umbilical - Plestimografía respiratoria por inductancia	Correlación significativa entre el volumen corriente medido a través de la plestimografía y la cirtometría a nivel xifoideo y umbilical ($p < 0,05$): ○ A nivel xifoideo en reposo: 0,34 ○ A nivel abdominal en inspiración máxima: 0,23
Bockenhauer¹⁷	6 adultos sanos, de género masculino, con un rango de edad entre 24 y 54 años (promedio: 36 ± 11,7 años)	Dos evaluadores	Reproducibilidad entre los evaluadores	Excursión torácica a nivel torácico superior e inferior	- ICC inter-evaluador a nivel torácico superior en la primera evaluación: 0,91 (Intervalo de confianza del 95%: 0,69 - 0,99). - ICC inter-evaluador a nivel torácico inferior en la primera evaluación: 0,84 (Intervalo de confianza del 95%: 0,69 - 0,99). - ICC inter-evaluador a nivel torácico superior en la segunda evaluación: 0,86 (Intervalo de confianza del 95%: 0,69 - 0,99). - ICC inter-evaluador a nivel torácico inferior en la segunda evaluación: 0,81 (Intervalo de confianza del 95%: 0,69 - 0,99).

Malaguti¹⁸	26 hombres con EPOC, con un promedio de edad de $67,7 \pm 7,4$ años	Dos evaluadores	- Reproducibilidad dentro y entre los evaluadores - Validez de constructo externa divergente	Mediciones de las circunferencias a nivel axilar, xifoideo y abdominal	- Buena reproducibilidad dentro de cada evaluador en ambas mediciones: ICC entre 0,84 y 0,95 - Los gráficos de Bland y Altman para el análisis de los límites de acuerdo mostraron los siguientes resultados para cada nivel y evaluador (en cm): ○ Nivel axilar: Evaluador 1: $-0,43 \pm 1,41$ Evaluador 2: $-0,52 \pm 2,23$ ○ Nivel xifoideo: Evaluador 1: $0,13 \pm 1,86$ Evaluador 2: $-0,60 \pm 2,31$ ○ Nivel abdominal: Evaluador 1: $-0,39 \pm 2,21$ Evaluador 2: $0,50 \pm 4,17$
Pedrolongo⁴⁹	38 adolescentes, distribuidos equitativamente en un grupo de asmáticos y en otro grupo saludable. Edades entre 11 y 15 años	Un evaluador	Validez de constructo externa divergente	- Test de marcha seis minutos - Cirtometría a nivel axilar, xifoideo y abdominal	La correlación entre el índice de amplitud y el test de marcha seis minutos, medida a través del coeficiente de correlación de Pearson, fue la siguiente: ○ Nivel axilar: 0,57 ○ Nivel xifoideo: 0,50

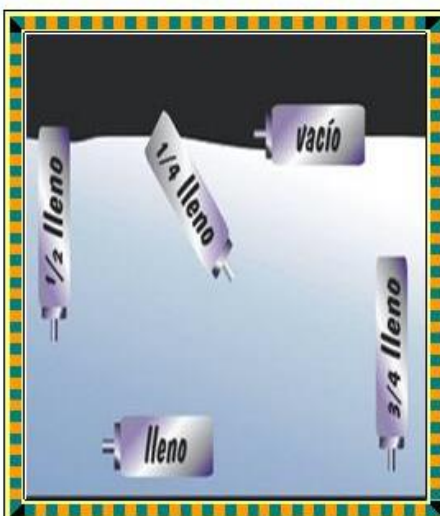
CR: Coeficiente respiratorio; IAT: Índice de Amplitud Torácica; PIM: Presión Inspiratoria Máxima; PEM: Presión Espiratoria Máxima; ICC: Coeficiente de Correlación Intraclass; ECC: Ensayo Clínico Controlado; EPOC: Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica.

Anexo B. Diagnóstico del asma en fase estable en adultos

SÍNTOMAS	SIGNOS
Episódicos / variables - Sibilancias. - Dificultad para respirar. - Opresión torácica. - Tos, con o sin expectoración.	- Ninguno (común). - Sibilancias (difusas, bilaterales). - Taquipnea.
INFORMACIÓN ADICIONAL DE UTILIDAD	
- Antecedentes familiares o personales de asma o atopia (eczema, rinitis alérgica). - Exclusión de diagnósticos alternativos. - Empeoramiento después de utilizar aspirina, antiinflamatorios no esteroides o betabloqueadores (incluyendo gotas oftálmicas). - Factores desencadenantes reconocidos: polen, polvos, animales, ejercicio, enfermedades virales. - Patrón de presentación clínica y severidad de las crisis.	
PRUEBAS FUNCIONALES	
- Aumento del VEF₁ mayor del 12% y de 200 ml, después de la administración de un broncodilatador (400 mcgs de un β₂ agonista de acción corta). - Una variabilidad > 20% utilizando el mínimo valor de la mañana dividido entre el máximo valor de la tarde expresado en porcentaje.	

¿CÓMO SABER CUANTO MEDICAMENTO TIENE EL INHALADOR?

Depositar agua en un recipiente transparente, introducir el inhalador, observar lo que sucede y comparar con la siguiente gráfica.

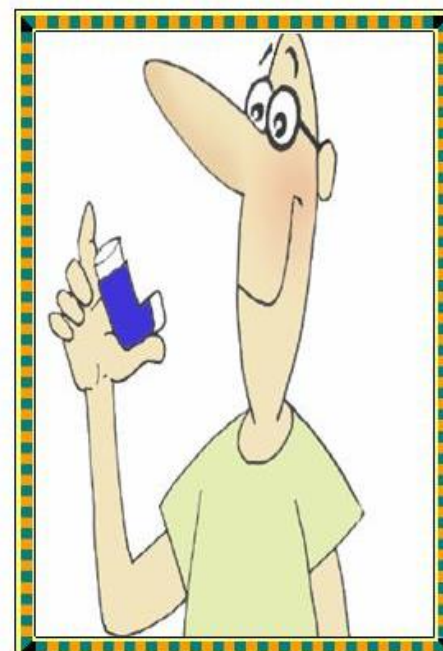


RECOMENDACIONES

- ♦ No aplicar más de la dosis recomendada por el médico.
- ♦ Verificar periódicamente la cantidad de medicamento que contiene el inhalador, cómo lo muestra.
- ♦ No suspender el tratamiento sin consultar el médico.

MEDICAMENTO	HORARIO	Nº DE DISPAROS

MANEJO DE INHALADORES



ESCUELA DE FISIOTERAPIA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

2014

Anexo C. Material educativo “Manejo de inhaladores” y “Manejo de la inhalocámara

¿CÓMO SE USA?

En posición sentado o de pie.



1. Ubicar el inhalador en forma de L.

2. Retirar la tapa del inhalador.



3. Agitar el inhalador por 20 segundos.

4. Botar el aire lentamente por la boca.



5. Ubicar el inhalador en la boca. Evitar que queden espacios por donde pueda escapar el medicamento.



6. Llevar la cabeza ligeramente hacia atrás y realizar un puff y tomar aire rápidamente y mantenerlo dentro del pulmón por 10 segundos.



7. Botar el aire lentamente por la nariz.

OJO: Si va a realizar un segundo puff, esperar 1 minuto y seguir nuevamente el procedimiento.

8. Al finalizar enjuagar la boca con agua.



Anexo C. Material educativo “Manejo de los inhaladores y “Manejo de la inhalocámara”

LAVADO DE LA INHALOCÁMARA



1. En una tasa con agua agregar un poco de detergente.
2. Desarmar la inhalocámara, introducirle en la tasa durante 20 minutos.
3. Enjuagar con abundante agua.
4. Luego, en una tasa con agua agregar 3 cucharadas de limpiador, introducir la inhalocámara por 20 minutos.
5. Enjuagar con abundante agua y dejar secando sobre un paño limpio.

RECUERDE: la inhalocámara debe lavarse cada 15 días.

RECOMENDACIONES

- ♦ No aplicar más de la dosis recomendada por el médico.
- ♦ Verificar periódicamente la cantidad de medicamento que contiene el inhalador
- ♦ No suspender el tratamiento sin consultar el médico.

MEDICAMENTO	HORARIO	Nº DE DISPAROS

USO DE LA INHALOCÁMARA



ESCUELA DE FISIOTERAPIA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

2014

Anexo C. Material educativo “Manejo de los inhaladores” y “Manejo de la inhalocámara”

¿CÓMO SE USA?

En posición sentado o de pie.



Ubicar el inhalador en forma de L.

Retirar la tapa del inhalador.



Agitar el inhalador por 20 segundos.



Acoplar el inhalador al extremo de la inhalocámara.



Botar el aire lentamente por la boca.

Ubicar los labios alrededor de la boquilla.



Si va a usar mascarilla ubicarla cubriendo la nariz y la boca.



Realizar un puff y tomar aire profundo al tiempo, mantener el aire dentro del pulmón por 10 segundos.

Botar el aire lentamente por la nariz.



¿CÓMO SABER CUANTO MEDICAMENTO TIENE EL INHALADOR?

Depositar agua en un recipiente transparente, introducir el inhalador, observar lo que sucede y comparar con la siguiente gráfica.

Anexo D. Resultados de la estandarización y de la prueba piloto

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Para la estandarización de las mediciones se incluyeron cinco adultos sin patologías respiratorias, tres de ellos (correspondiente al 60% de la muestra) fueron mujeres. Para la prueba piloto se evaluaron cinco adultos con asma, tres de ellos de género femenino (60% de la muestra). Las características generales de ambos grupos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los participantes incluidos en la estandarización y en la prueba piloto (N=10)

Variable	Sanos (N=5) Promedio (DE)	Con asma (N=5) Promedio (DE)
Edad (años)	24,6 (3,6)	33,8 (11,6)
Peso (Kg)	58,4 (6,9)	69,2 (11,8)
Talla (mt)	1,6 (0,1)	1,6 (0,7)
IMC (Kg/mt ²)	22,4 (1,9)	27,4 (3,3)
Valores espirométricos		
PEF	102 (10,1)	88,8 (9,7)
FEF _{25%}	98 (10,1)	68,6 (17,2)
VEF ₁	103,2 (11,4)	96,4 (20,3)
CVF	105,6 (10,0)	113,2 (29,6)
VEF ₁ /CVF	96,4 (6,4)	85,6 (8,5)
Nivel educativo (años aprobados)	15 (0,9)	11,4 (6,8)
Tiempo de evolución del asma (años)	---	13,6 (2,9)
Tiempo desde la última crisis (meses)	---	13 (19,6)
Índice de amplitud torácica		
Axilar día 1	3,9 (0,6)	4,6 (1,3)
Axilar día 2	4,1 (0,7)	4,3 (1,5)
Xifoideo día 1	4,9 (2,1)	3,0 (0,9)
Xifoideo día 2	5,2 (2,3)	3,1 (1,3)
Abdominal día 1	1,3 (1,8)	0,1 (1,7)
Abdominal día 2	1,7 (1,2)	0,4 (1,5)
Cinemática torácica		
Axilar día 1	10,2 (2,3)	9,7 (4,1)
Axilar día 2	9,2 (1,5)	10,0 (3,2)
Xifoideo día 1	12,4 (2,9)	10,2 (6,2)
Xifoideo día 2	12,1 (4,7)	9,6 (6,6)
Abdominal día 1	5,5 (4,0)	4,1 (3,2)
Abdominal día 2	5,8 (4,2)	4,0 (2,5)

Tabla 1. Continuación

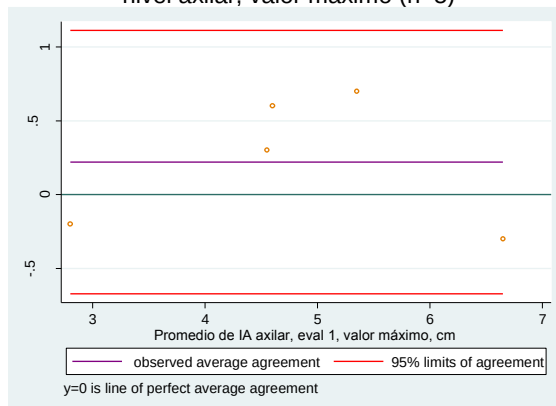
Presiones respiratorias estáticas		
PIM día 1	32,2 (18,3)	31,2 (13,6)
PIM día 2	19,8 (14,0)	32,4 (11,4)
PEM día 1	37,4 (11,0)	33,2 (10,4)
PEM día 2	33,6 (10,5)	35,2 (11,2)
Clasificación del asma		Total (%)
Nivel de control		
Asma controlada	---	2 (40%)
Asma parcialmente controlada	---	2 (40%)
Asma no controlada	---	1 (20%)
Nivel de severidad		
Intermitente	---	2 (40%)
Persistente leve	---	1 (20%)
Persistente moderada	---	2 (40%)
DE: Desviación estándar; IMC: Índice de masa corporal; PEF: Flujo espiratorio pico; VEF ₁ : Volumen espiratorio forzado al primer segundo; CVF: Capacidad vital forzada; PIM: Presión inspiratoria máxima; PEM: Presión espiratoria máxima		

2. ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD PARA EL IAT EN ADULTOS CON ASMA

Se realizó el análisis utilizando el valor máximo obtenido en cada medición y utilizando el promedio entre las dos mediciones, a continuación se presentan los resultados.

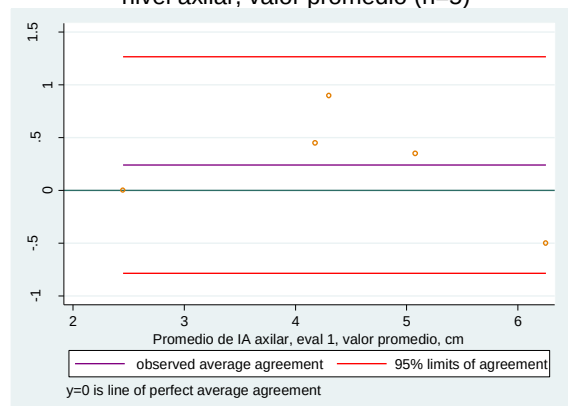
2.1 Nivel de acuerdo intra-evaluador del IAT para la evaluadora 1:

Figura 1. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 1 a nivel axilar, valor máximo (n=5)



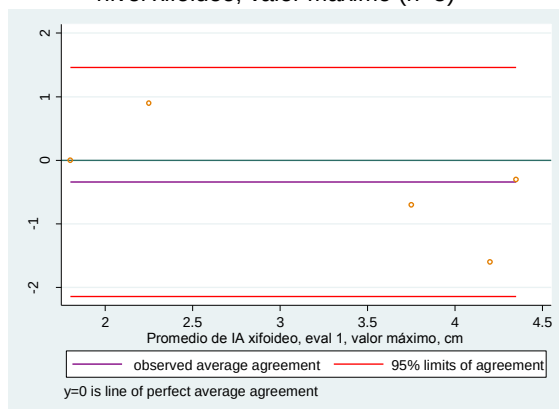
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,22	0,46	-0,67	1,11

Figura 2. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 1 a nivel axilar, valor promedio (n=5)



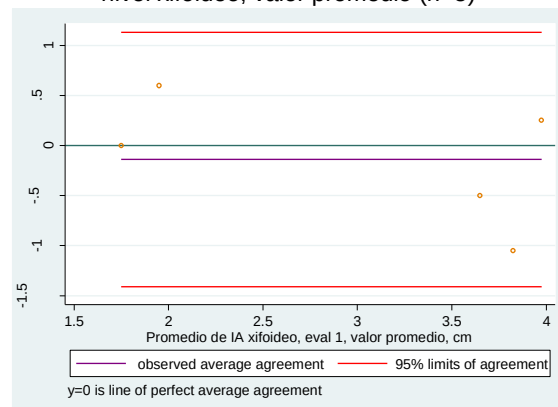
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,24	0,52	-0,79	1,27

Figura 3. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 1 a nivel xifoideo, valor máximo (n=5)



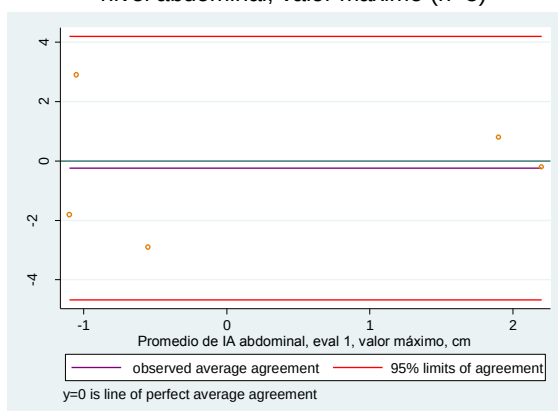
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
-0,34	0,92	-2,14	1,46

Figura 4. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 1 a nivel xifoideo, valor promedio (n=5)



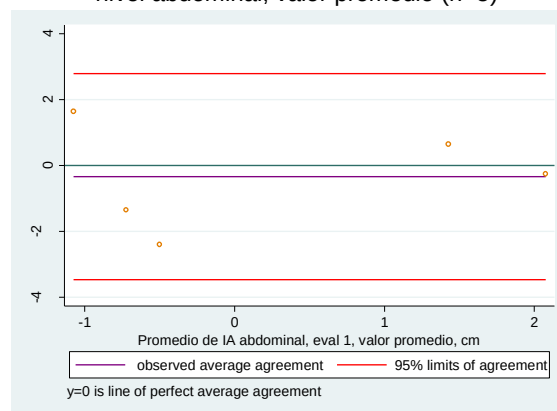
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
-0,14	0,65	-1,41	1,13

Figura 5. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 1 a nivel abdominal, valor máximo (n=5)



Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
-0,24	2,26	-4,67	4,19

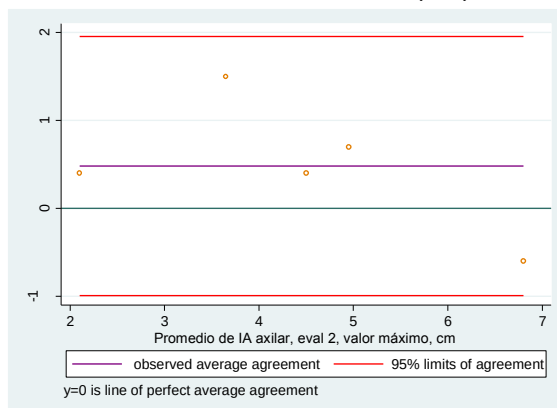
Figura 6. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 1 a nivel abdominal, valor promedio (n=5)



Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
-0,34	1,59	-3,47	2,79

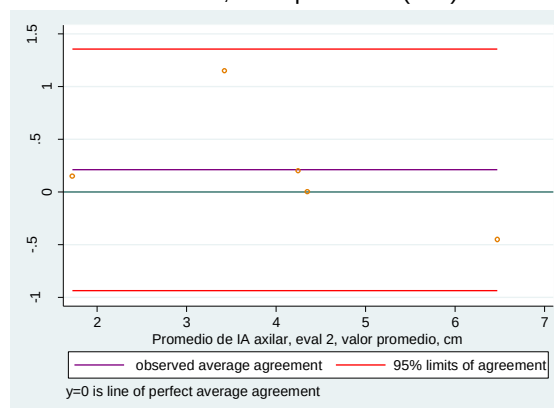
2.2 Nivel de acuerdo intra-evaluador del IAT para la evaluadora 2:

Figura 7. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 2 a nivel axilar, valor máximo (n=5)



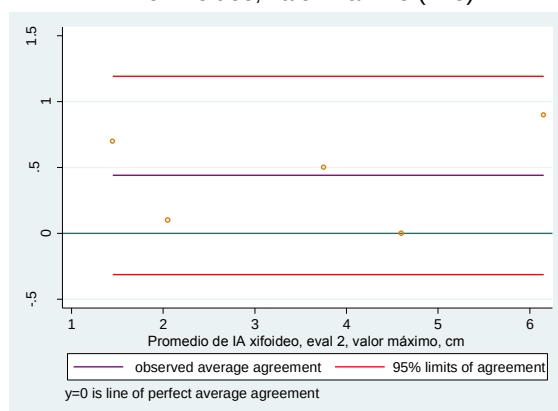
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,480	0,753	-0,996	1,956

Figura 8. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 2 a nivel axilar, valor promedio (n=5)



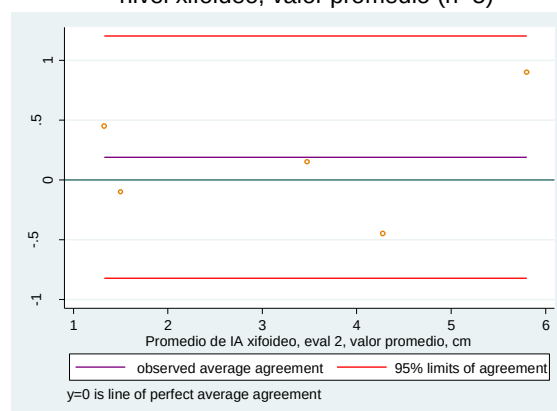
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,210	0,585	-0,936	1,356

Figura 9. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 2 a nivel xifoideo, valor máximo (n=5)



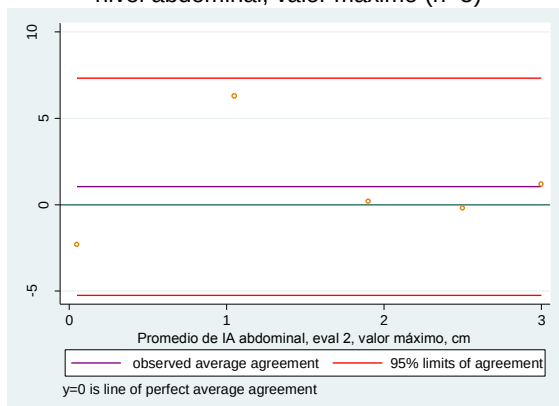
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,440	0,385	-0,314	1,194

Figura 10. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 2 a nivel xifoideo, valor promedio (n=5)



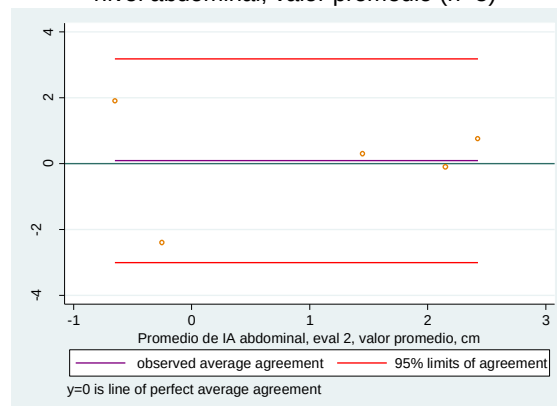
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,190	0,516	-0,822	1,202

Figura 11. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 2 a nivel abdominal, valor máximo (n=5)



Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedi	DE	(Bland & Altman, 1986)	
o			
1,040	3,205	-5,242	7,322

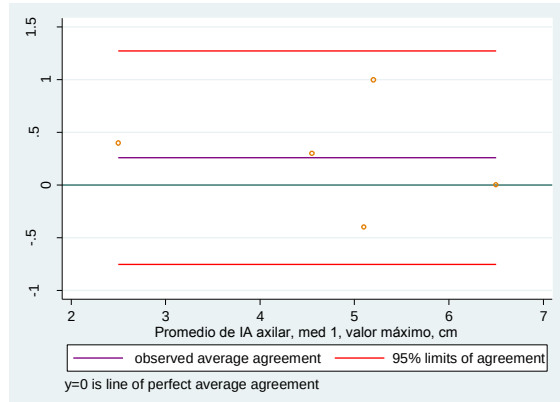
Figura 12. Acuerdo intra-evaluador, evaluadora 2 a nivel abdominal, valor promedio (n=5)



Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedi	DE	(Bland & Altman, 1986)	
o			
0,090	1,581	-3,008	3,188

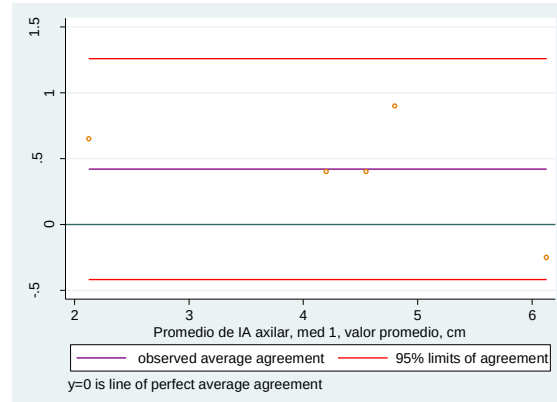
2.3 Nivel de acuerdo entre evaluadoras del IAT en el primer día de medición:

Figura 13. Acuerdo entre evaluadores a nivel axilar utilizando el valor máximo, primer día de medición (n=5)



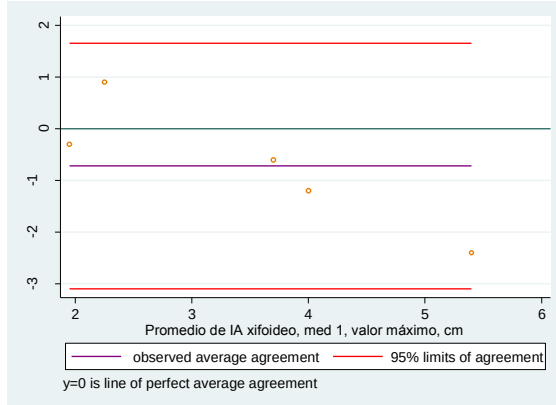
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,26	0,51	-0,76	1,28

Figura 14. Acuerdo entre evaluadores a nivel axilar utilizando el promedio, primer día de medición (n=5)



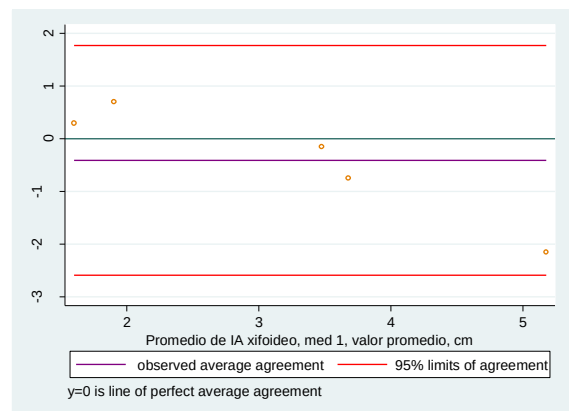
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,42	0,42	-0,42	1,26

Figura 15. Acuerdo entre evaluadores a nivel xifoideo utilizando el valor máximo, primer día de medición (n=5)



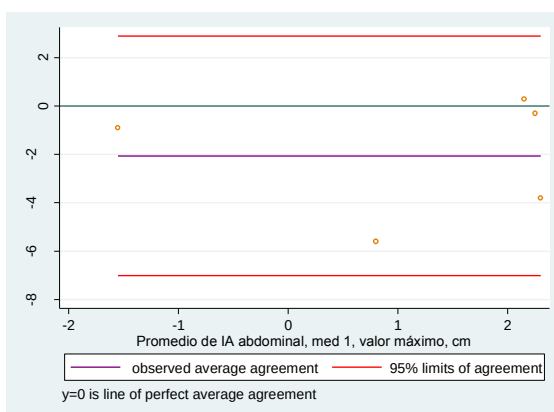
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
-0,72	1,21	-3,09	1,65

Figura 16. Acuerdo entre evaluadores a nivel xifoideo utilizando el promedio, primer día de medición (n=5)



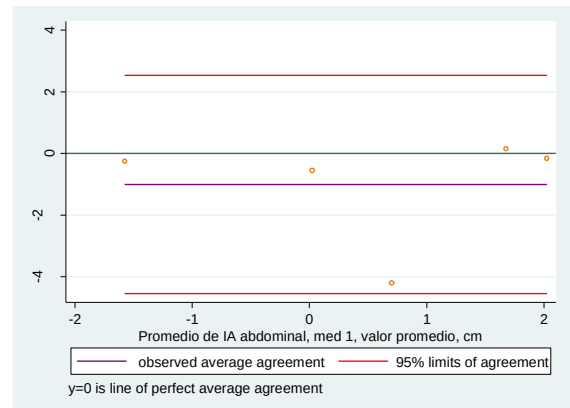
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
-0,41	1,11	-2,59	1,77

Figura 17. Acuerdo entre evaluadores a nivel abdominal utilizando el valor máximo, primer día de medición (n=5)



Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
-2,06	2,52	-7,02	2,89

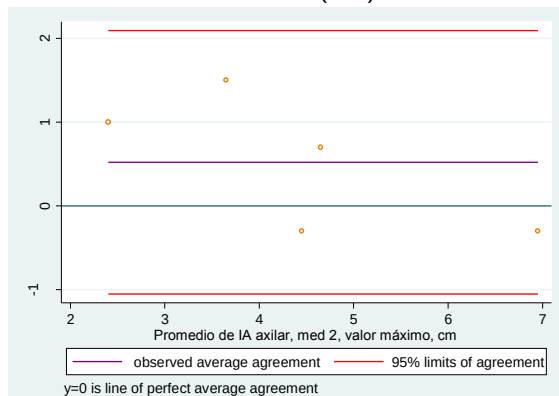
Figura 18. Acuerdo entre evaluadores a nivel abdominal utilizando el promedio, primer día de medición (n=5)



Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
-1,00	1,80	-4,54	2,54

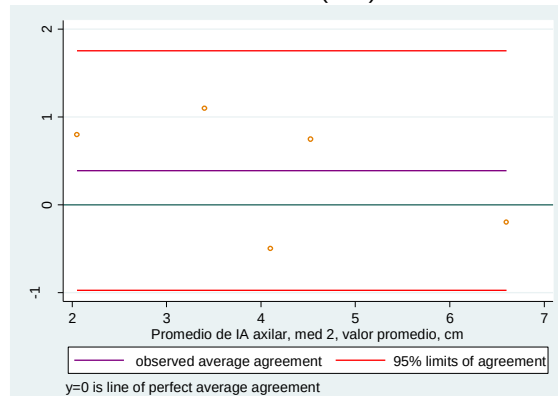
2.4 Nivel de acuerdo entre evaluadoras del IAT en el segundo día de medición:

Figura 19. Acuerdo entre evaluadores a nivel axilar utilizando el valor máximo, segundo día de medición (n=5)



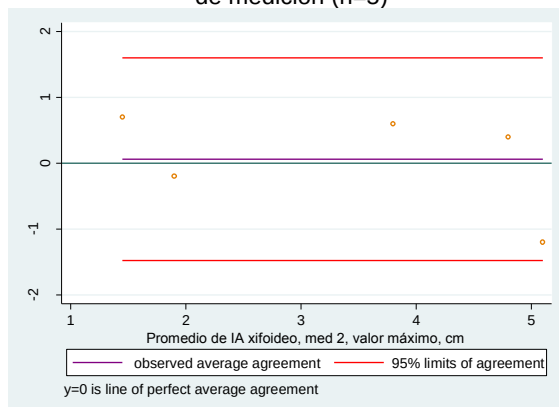
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,52	0,80	-1,05	2,09

Figura 20. Acuerdo entre evaluadores a nivel axilar utilizando el promedio, segundo día de medición (n=5)



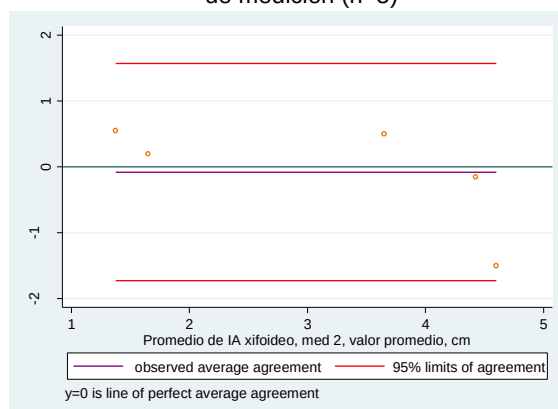
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,39	0,69	-0,97	1,76

Figura 21. Acuerdo entre evaluadores a nivel xifoideo utilizando el valor máximo, segundo día de medición (n=5)



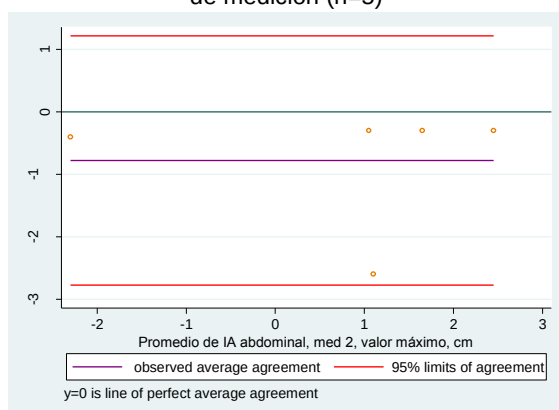
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,06	0,79	-1,48	1,60

Figura 22. Acuerdo entre evaluadores a nivel xifoideo utilizando el promedio, segundo día de medición (n=5)



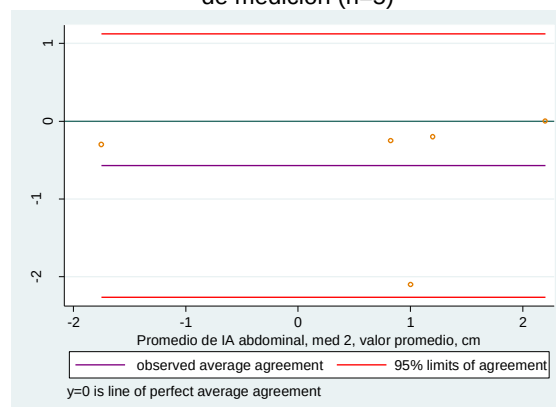
Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
-0,08	0,84	-1,73	1,57

Figura 23. Acuerdo entre evaluadores a nivel abdominal utilizando el valor máximo, segundo día de medición (n=5)



Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
0,78	1,02	-2,78	1,21

Figura 24. Acuerdo entre evaluadores a nivel abdominal utilizando el promedio, segundo día de medición (n=5)



Diferencia		95% Límites de acuerdo	
Promedio	DE	(Bland & Altman, 1986)	
-0,57	0,86	-2,26	1,12

2.5 Reproducibilidad intra-evaluador del IAT para la evaluadora 1, en cinco participantes con asma:

Tabla 2. Reproducibilidad intra-evaluador del IAT (n=5)

	Evaluadora 1		Evaluadora 2	
Valor máximo	CCI [2,k]	IC 95%	CCI [2,k]	IC 95%
Nivel axilar	0,95	0,66 – 0,99	0,89	0,39 – 0,99
Nivel xifoideo	0,75	-0,10 – 0,97	0,96	0,43 – 0,99
Nivel abdominal	0,40	-0,92 – 0,92	-0,34	-1,13 – 0,70
Valor promedio	CCI [2,k]	IC 95%	CCI [2,k]	IC 95%
Nivel axilar	0,93	0,59 – 0,99	0,95	0,66 – 0,99
Nivel xifoideo	0,86	0,16 – 0,99	0,97	0,77 – 0,99
Nivel abdominal	0,56	-0,62 – 0,95	0,57	-0,72 – 0,95

CCI: Coeficiente de correlación intraclase; IC: Intervalo de confianza

2.6 Reproducibilidad entre evaluadoras del IAT en cinco participantes con asma:

Tabla 3. Reproducibilidad entre evaluadores del IAT utilizando valores máximos (n=5)

Primer día de medición	CCI [2,k]	IC 95%
Nivel axilar	0,94	0,61 – 0,99
Nivel xifoideo	0,65	-0,14 – 0,96
Nivel abdominal	0,20	-0,36 – 0,84
Segundo día de medición	CCI [2,k]	IC 95%
Nivel axilar	0,87	0,31 – 0,99
Nivel xifoideo	0,91	0,36 – 0,99
Nivel abdominal	0,81	0,12 – 0,98
CCI: Coeficiente de correlación intraclase; IC: Intervalo de confianza		

Tabla 4. Reproducibilidad entre evaluadoras del IAT utilizando promedios (n=5)

Primer día de medición	CCI [2,k]	IC 95%
Nivel axilar	0,93	0,35 – 0,99
Nivel xifoideo	0,76	-0,1 – 0,97
Nivel abdominal	0,41	-0,43 – 0,91
Segundo día de medición	CCI [2,k]	IC 95%
Nivel axilar	0,91	0,47 – 0,99
Nivel xifoideo	0,88	0,21 – 0,99
Nivel abdominal	0,81	0,15 – 0,98
CCI: Coeficiente de correlación intraclase; IC: Intervalo de confianza		

3. ANÁLISIS DE REPRODUCIBILIDAD PARA LA VALORACIÓN MUSCULAR MANUAL (VMM) EN ADULTOS CON ASMA

3.1 Reproducibilidad intra-evaluador de la VMM en cinco participantes con asma:

Tabla 5. Reproducibilidad intra-evaluador de la VMM para la evaluadora 1 (n=5)

Músculo	Acuerdo (%)	Acuerdo esperado (%)	Kappa	IC95% Normal
Diafragma anterior	100	72	1,0	1,0 – 1,0
Diafragma lateral	95	69	0,8387	0,234 – 1,000
Diafragma posterior	90	80	0,4472	-0,376 – 1,00
Intercostales superiores	60	44	0,2857	-0,289 – 0,860
Intercostales inferiores	85	75	0,4000	-0,005 – 0,805
Recto abdominal	80	80	0,0000	0,000 – 0,000
Oblicuos	80	56	0,5455	-0,203 – 1,000
DE: Desviación estándar				

Tabla 6. Reproducibilidad intra-evaluador de la VMM para la evaluadora 2 (n=5)

Músculo	Acuerdo (%)	Acuerdo esperado (%)	Kappa	IC95% Normal
Diafragma anterior	95	69	0,8387	0,244 – 1,000
Diafragma lateral	95	69	0,8687	0,244 – 1,000
Diafragma posterior	90	72	0,6429	-0,223 – 1,000
Intercostales superiores	100	68	1,0000	1,000 – 1,000
Intercostales inferiores	85	75	0,4000	-0,550 – 1,000
Recto abdominal	100	68	1,000	1,000 – 1,000
Oblicuos	100	68	1,000	1,000 – 1,000
DE: Desviación estándar				

3.2 Reproducibilidad entre evaluadoras de la VMM en cinco participantes con asma:

Tabla 7. Reproducibilidad entre evaluadoras de la VMM (n=5)

Primer día de medición	Acuerdo (%)	Acuerdo esperado (%)	Kappa	IC95% Normal
Diafragma anterior	95	69	0,8387	0,244 – 1,000
Diafragma lateral	90	72	0,6429	-0,215 – 1,000
Diafragma posterior	85	75	0,4000	-0,550 – 1,000
Intercostales superiores	40	32	0,1176	-0,227 – 0,462
Intercostales inferiores	85	75	0,4000	-0,005 – 0,805
Recto abdominal	100	68	1,0000	1,000 – 1,000
Oblicuos	80	56	0,5455	-0,203 – 1,000
Segundo día de medición	Acuerdo (%)	Acuerdo esperado (%)	Kappa	IC95% Normal
Diafragma anterior	90	72	0,6429	-0,215 – 1,000
Diafragma lateral	90	68	0,6875	-0,289 – 1,000
Diafragma posterior	85	75	0,4000	-0,551 – 1,000
Intercostales superiores	80	56	0,5455	-0,222 – 1,000
Intercostales inferiores	85	75	0,4000	-0,550 – 1,000
Recto abdominal	80	80	0,0000	0,000 – 0,000
Oblicuos	100	68	1,0000	1,000 – 1,000
DE: Desviación estándar				

4. ANÁLISIS DE REPRODUCIBILIDAD PARA LA PIM Y PEM: en cinco participantes con asma.

Tabla 8. Reproducibilidad de la PIM y PEM (n=5)

	CCI [2,k]	IC 95%
PIM	0,97	0,80 – 0,99
PEM	0,96	0,67 – 0,99
PIM: Presión inspiratoria máxima		
PEM: Presión espiratoria máxima		

5. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN MOVILIDAD DEL TÓRAX: en cinco participantes con asma

Tabla 9. Correlación entre el IAT y la cinemática costal (n=5)

Valor máximo	r
Nivel axilar	0,84
Nivel xifoideo	0,98
Nivel abdominal	0,68
Valor promedio	r
Nivel axilar	0,96
Nivel xifoideo	0,84
Nivel abdominal	0,81
r: Coeficiente de correlación de Pearson	

6. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN FUERZA MUSCULAR: en cinco participantes con asma

Tabla 10. Correlación entre VMM y Presiones respiratorias (PIM y PEM) (n=5)

Músculos inspiratorios y PIM	r	IC 95%
Diafragma anterior	0,65	-0,124 – 0,990
Diafragma lateral	0,34	-0,509 – 0,976
Diafragma posterior	0,23	-0,742 – 0,948
Intercostales superiores	0,15	-0,751 – 0,946
Intercostales inferiores	0,46	-0,386 – 0,982
Músculos espiratorios y PEM	r	IC 95%
Recto abdominal	0,73	0,171 – 0,994
Oblicuos	0,73	0,171 – 0,994

VMM: Valoración muscular manual; PIM: Presión inspiratoria máxima; PEM: Presión espiratoria máxima; r: Coeficiente de correlación de Spearman

AJUSTES REALIZADOS A PARTIR DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO

1. Procedimentales:

- a. Movilidad del tórax: se determinó que a los participantes se les solicitaría utilizar la misma indumentaria para la parte inferior del cuerpo los dos días de medición.
- b. Postura del evaluador para el IAT: cambiar bípedo por sedente, a la altura del tórax del participante.
- c. Respecto a la cinemática, se decidió cambiar la superficie de colocación de los marcadores de calibración, por una que fuera estable y permitiera que los marcadores permanecieran en la misma posición para todos los participantes. Adicionalmente, se observó la importancia de la sincronización entre el momento en el que es tomada la fotografía y el momento del ciclo respiratorio en el que se encuentre el participante. Por último, se determinó que la posición del marcador esternal a nivel axilar debía ser ajustada de acuerdo al biotipo del participante, para que coincidiera con el pliegue axilar anterior.
- d. Se decidió realizar la medición de la cinemática y las presiones respiratorias el segundo día de medición, ya que la correlación entre las variables de movilidad y fuerza fue mejor en ese día.

2. Del análisis de los datos:

- a. El análisis de los resultados del IAT y de la cinemática costal se decidió realizarlo utilizando los valores máximos de cada tentativa y el promedio de ellas, con el fin de comparar el comportamiento de las propiedades psicométricas.
- b. Debido a que la regresión lineal simple, mostró que el IAT predijo los resultados de la cinemática en por lo menos un 50%, no se incluyeron otras variables que explicaran esta correlación.
- c. Se realizó el cálculo del tamaño de muestra los resultados obtenidos, y se concluyó que el tamaño de muestra definitivo fuera de 25 participantes.
- d. Se redefinieron los valores de referencia para establecer la confiabilidad y la validez de constructo del IAT y la valoración muscular manual (VMM).

Anexo E. Formato de Ingreso

INICIALES _____ REGISTRO _____



ESCUELA DE FISIOTERAPIA

FECHA	dd	mm	aaaa

VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS Y DATOS PERSONALES						
NOMBRE COMPLETO						
TELEFONOS						
CORREO ELECTRÓNICO						
DIRECCIÓN RESIDENCIA						
MUNICIPIO						
DATOS DE CONTACTO (Nombre, teléfono, correo electrónico)						
FECHA DE NACIMIENTO	dd	mm		aaaa		
GÉNERO (M=1 / F=0)	1			0		
ESCOLARIDAD (años aprobados en cada nivel)	Primaria	Bachillerato	Técnico - tecnológico	U	Post grado	TOTAL

VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS	Peso (Kg)	Talla (mt)	IMC (peso / talla²)

ESPIROMETRÍA	Resultado (% del predicho)
PEF	
FEF 25%	
VEF ₁	
CVF	
VEF ₁ /CVF	
Observaciones	

VARIABLES RELACIONADAS CON EL ASMA Y EXPOSICIÓN A FACTORES DE RIESGO							
TIEMPO DE EVOLUCIÓN	Fecha de diagnóstico (MES – AÑO)			Tiempo de evolución (AÑOS)			
TRATAMIENTO ACTUAL							
FUMADOR ACTUAL	No	Sí	Años Fumando	Cigarrillos fumados al día	Índice de tabaquismo (Nº cigarrillos al día x Nº años fumando)/20		
ANTECEDENTE DE TABAQUISMO	No	Sí	Años Fumando	Años desde que fumó por última vez	Cigarrillos fumados al día	Índice de tabaquismo	
EXPOSICIÓN PASIVA AL HUMO DE TABACO	No	Sí	Años expuesto				

EXPOSICIÓN PASIVA A OTROS AGENTES	No	Sí	¿Cuál?	Años expuesto
COMORBILIDADES	No			Sí
Rinitis				
Reflujo gastroesofágico				
Otra _____				
NIVEL DE CONTROL DEL ASMA	Controlada	Parcialmente controlada	No controlada	
En las últimas 4 semanas, ¿cuántas veces sintió dificultad para respirar, chillidos en el pecho, el pecho apretado y/o tos?	≤ 2 días a la semana, pero no más de una vez al día	> 2 días a la semana, o más de una vez por día pero ≤ 2 días por semana	Durante todo el día	
En las últimas 4 semanas, ¿cuántas veces se despertó por la noche porque sintió dificultad para respirar, chillidos en el pecho, el pecho apretado y/o tos?	Ninguno	≤ 2 noches por semana	> 2 noches por semana	
En las últimas 4 semanas, ¿cuántas actividades que realiza a diario estuvieron limitadas por el asma?	Ninguna	Mínimo una actividad	Extremadamente limitado	
En las últimas 4 semanas, ¿cuántas veces necesitó utilizar el inhalador que alivia rápidamente su dificultad para respirar?	≤ 2 días por semana	>2 días por semana	Varias veces al día	

En el último año, ¿cuántas crisis tuvo? Exacerbaciones (que hayan requerido el uso oral o sistémico de corticosteroides)	0 – 1	2	>2
¿Estuvo hospitalizado en el último año a causa de una crisis asmática?	No	Sí	
¿Ingresó a cuidados intensivos debido al asma en el último año?	No	Sí	
¿Cuándo fue la última crisis?	Fecha (dd-mm-aaa)		
	Tiempo de evolución (meses)		

NIVEL DE SEVERIDAD DEL ASMA	Intermitente	Persistente leve	Persistente moderada	Persistente grave
Normalmente, ¿cuántas veces siente dificultad para respirar, chillidos en el pecho, el pecho apretado y/o tos?	≤ 1 vez por semana	< 1 vez por semana y >1 vez por día	Necesidad diaria de medicamentos β 2-agonistas inhalados, de acción corta	A lo largo de todo el día
Usualmente, ¿qué tan seguidas son las crisis?, ¿cuánto tiempo duran?	Crisis cortas (pocas horas)	Pueden afectar las actividades diarias y nocturnas	Crisis >2 veces por semana, que pueden durar días	Crisis frecuentes (≥ 3 veces por semana)

Anexo F. Formato de monitorización y de evaluación de la movilidad torácica y fuerza de los músculos respiratorios

INICIALES _____ REGISTRO _____



ESCUELA DE FISIOTERAPIA

FECHA	dd	mm	aaaa
EVALUADOR	1		2
MEDICIÓN	1		2

MONITORIZACIÓN	PRE			POST		
HORA						
Signos vitales	FR: _____ rpm FC: _____ lpm TA: _____ mmHg			FR: _____ rpm FC: _____ lpm TA: _____ mmHg		
Saturación O ₂	_____ %			_____ %		
Hallazgos a la auscultación pulmonar	Ruidos respiratorios normales			Ruidos respiratorios normales		
	Sí		No	Sí		No
	Ruidos sobreagregados			Ruidos sobreagregados		
	No	Sí	¿Cuáles?	No	Sí	¿Cuáles?
Borg modificada						

Signos de dificultad respiratoria	Aleteo nasal		Aleteo nasal	
	No	Sí	No	Sí
	Tirajes		Tirajes	
	No	Sí	No	Sí
	Uso de músculos accesorios		Uso de músculos accesorios	
	No	Sí	No	Sí
	Cianosis		Cianosis	
	No	Sí	No	Sí
Observaciones				

Anexo G. Definición operacional de las variables de estudio

Variable	Definición	Instrumento de medición	Escala de medición	Unidades
VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS				
Edad	Tiempo que ha vivido una persona	Registro de ingreso	Razón	Años
Género	Condición orgánica masculina o femenina	Registro de ingreso	Nominal dicotómica	Masculino Femenino
Escolaridad	Nivel de estudios culminado	Registro de ingreso	Nominal	Primaria, bachillerato, educación técnica y/o universitario
VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS				
Peso	Fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre un cuerpo	Báscula	Razón	Kilogramos
Talla	Estatura o altura de las personas	Tallímetro	Razón	Metros
Índice de Masa Corporal	Relación entre el peso y la talla corporal	Calculado	Razón	Kg/mt ²
VARIABLES RELACIONADAS CON LA ENFERMEDAD				
Tiempo de evolución de la enfermedad	Tiempo desde el momento en que le fue diagnosticada la enfermedad a la fecha	Registro de ingreso	Razón	Años
Nivel de gravedad de la enfermedad	Dificultad para alcanzar el control de la enfermedad, y que puede resultar en riesgo de exacerbaciones severas frecuentes (o en la muerte), y/o en la cronicidad de la morbilidad	Registro de ingreso	Ordinal	Intermitente, persistente leve, persistente moderada, persistente grave
Nivel de control de la enfermedad	Medida en la cual las diversas manifestaciones de la enfermedad se han reducido o eliminado, gracias al tratamiento instaurado	Registro de ingreso	Ordinal	Controlada, parcialmente controlada, no controlada
Comorbilidades	Presencia de una o más enfermedades además del asma	Registro de ingreso	Nominal categórica	Hipertensión arterial controlada, rinitis alérgica, RGE

VARIABLES DE MONITORIZACIÓN DE LOS PARTICIPANTES

Signos vitales - Frecuencia cardíaca (FC) - Frecuencia respiratoria (FR) - Tensión arterial (TA)	FC: número de contracciones cardíacas en un minuto FR: número de respiraciones contabilizadas en un minuto TA: presión que ejerce el flujo sanguíneo sobre las paredes de los vasos	FC: palpación directa del pulso FR: observación TA: tensiómetro	Razón	FC: latidos por minuto FR: respiraciones por minuto TA: milímetros de Mercurio
Porcentaje de saturación de oxígeno	Valor estimado de los niveles de saturación de oxihemoglobina en sangre arterial	Pulsoxímetro	Razón	Porcentaje (%)
Ruidos pulmonares	Proceso por el cual se escuchan e interpretan los sonidos producidos dentro del tórax	Auscultación	Nominal categórica	Ruidos respiratorios normales, ruidos respiratorios sobreagregados
Dificultad respiratoria: Disnea	Disnea: sensación subjetiva de falta de aire	Disnea: escala de Borg	Disnea: ordinal categórica	Disnea: nada, muy leve, leve, moderada, severa, muy severa, máxima
Signos de dificultad respiratoria (SDR)	SDR: Aleteo nasal, taquipnea, cianosis, uso de músculos accesorios, tirajes	SDR: observación	SDR: nominal categórica	SDR: aleteo nasal, taquipnea, tirajes, cianosis
MOVILIDAD COSTAL				
Índice de amplitud torácica	Diferencia entre la circunferencia medida en máxima inspiración y en máxima espiración, en tres niveles	Cinta métrica	Razón	Centímetros
Cinemática del tórax	Medición de la movilidad del tórax mediante procesamiento de imágenes fotográficas, con marcadores pasivos	Análisis cinemático	Razón	Centímetros

FUERZA MUSCULAR

Fuerza de los músculos intercostales, diafragma y abdominales	Capacidad del músculo para movilizar y resistir una carga externa durante el ciclo respiratorio	Valoración muscular manual	Ordinal categórica	Músculos inspiratorios: normal, bueno, regular, malo, vestigios, nulo Músculos espiratorios: funcional, débilmente funcional, no funcional, nulo
Presión Inspiratoria Máxima (PIM)	Máxima presión inspiratoria realizada con oclusión de la vía aérea partiendo del volumen residual, durante un segundo	Manómetro	Razón	Centímetros de agua
Presión Espiratoria Máxima (PEM)	Máxima presión espiratoria ejercida contra la vía aérea ocluida, durante un segundo	Manómetro	Razón	Centímetros de agua

Anexo H. Carta de consentimiento informado

INICIALES _____ REGISTRO _____



ESCUELA DE FISIOTERAPIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:

“CONFIABILIDAD Y VALIDEZ DE LA EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD COSTAL Y DE LA FUERZA DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS EN ADULTOS CON ASMA”

RESPONSABLES:

- Yannely Serrano Villar: Profesora Universidad Industrial de Santander, Estudiante de Maestría en Fisioterapia.
- María Solange Patiño Segura: Profesora Universidad Industrial de Santander, Directora de proyecto.

En la Resolución 008430 del 4 de Octubre de 1993, se establecen las normas para la investigación en salud, específicamente en el Artículo 15, en lo relacionado con el Consentimiento Informado. Por lo tanto, usted deberá conocer acerca de esta investigación y aceptar participar en ella, si lo considera conveniente. POR FAVOR LEA CON CUIDADO Y HAGA LAS PREGUNTAS QUE DESEE PARA SU TOTAL COMPRENSIÓN.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El asma es una enfermedad que inflama y “cierra” las vías aéreas, disminuyendo la cantidad de aire que entra y sale de los pulmones. Esta dificultad puede mejorar sola o con tratamiento, y hay periodos de crisis donde se siente “apretado el pecho” y se necesita atención médica; también hay otros momentos en los que no hay molestias.

Para conocer las condiciones del paciente, la evaluación debe ser completa, para plantear un tratamiento efectivo y evaluar sus resultados. Por lo tanto, en este estudio se le evaluarán los músculos respiratorios y el movimiento de las costillas.

La evaluación de la fuerza de los músculos respiratorios es importante, porque cuando hay crisis de asma, algunos músculos respiratorios trabajan más y pueden fatigarse. Para evaluar la fuerza de estos músculos, se colocarán las manos del fisioterapeuta sobre el pecho, además se le pedirá que sople fuerte en una boquilla desechable, que se cambiará con cada participante.

La medición del movimiento de las costillas es importante porque permite conocer si las costillas facilitan la entrada y salida del aire. Esta medición se realizará con una cinta métrica alrededor de las costillas (perimetría). También se colocarán unas esferas pequeñas de icopor con cinta adhesiva y se tomarán fotos mientras usted respira de forma profunda (fotogrametría).

Su participación es importante porque este trabajo de investigación permitirá determinar la precisión de estas evaluaciones, para mejorar el diagnóstico de los pacientes con asma y guiar a un mejor tratamiento en este grupo de personas.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Usted ha sido invitado a participar en este estudio por cumplir con los requisitos y su aceptación es absolutamente voluntaria. Si usted acepta participar, debe cumplir con las siguientes indicaciones los días de las mediciones:

- El pecho deberá estar totalmente descubierto (en el caso de los hombres) y con un top (en el caso de las mujeres).
- Preferiblemente, deberá evitar aplicar cremas humectantes sobre el pecho, para facilitar que las esferas de icopor se adhieran a su piel; de igual forma, deberá evitar utilizar esmalte de uñas.
- No podrá realizar actividades físicas intensas, es decir, aquellas que requieren una gran cantidad de esfuerzo y provocan una respiración rápida y un aumento del pulso. Dentro de estas actividades se encuentran subir escaleras rápidamente, manejar bicicleta a gran velocidad, realizar aeróbicos, nadar de forma rápida, realizar deportes y jugar fútbol, voleibol o baloncesto; y llevar cargas pesadas (> 20 kg).
- Deberá disponer de dos (2) horas para la realización de todas las evaluaciones.

Las evaluaciones se realizarán en el Laboratorio de Análisis de Movimiento de la Escuela de Fisioterapia de la Universidad Industrial de Santander, ubicado en la carrera 32 # 29-31, primer piso de la facultad de salud, en el edificio Orlando Díaz Gómez.

Las evaluadoras serán dos (2) fisioterapeutas, estudiantes de maestría en Fisioterapia de la UIS; la evaluadora principal, con experiencia y formación en el área cardiorrespiratoria; y la segunda evaluadora con experiencia profesional de 10 años. Las evaluaciones que se le aplicarán son las siguientes:

- Peso y estatura: para la estatura, se medirá con una cinta métrica fija en la pared del laboratorio y se le solicitará retirar cualquier adorno de la cabeza, así como los zapatos. Luego se subirá sobre una báscula para pesarlo.
- Espirometría: para evaluar cuánto aire ingresa en sus pulmones usted deberá tomar y botar el aire con toda la fuerza que pueda, a través de una boquilla, que será nueva para cada participante.
- Cuestionario del asma: usted deberá responder algunas preguntas sobre su evolución del cuadro asmático (medicamentos que utiliza, tiempo de evolución, frecuencia y severidad de las crisis).
- Signos vitales: estando sentado se le tomará el pulso en la muñeca izquierda (frecuencia cardíaca), se observará cuantas veces respira en un minuto (frecuencia respiratoria) y con un tensiómetro se medirá su presión arterial.
- Monitorización adicional: usted será monitorizado con una pinza pequeña que se colocará en uno de sus dedos, para medir el oxígeno que va en la sangre. Adicionalmente, se escucharán los sonidos que produce el aire al entrar y salir de los pulmones, para ver si sus vías aéreas se cierran durante las pruebas. Por último, se le preguntará que tanta dificultad siente para respirar antes y durante de las evaluaciones. Estas tres (3) evaluaciones servirán para garantizar su seguridad durante el estudio, en caso de presentarse alguna dificultad, se suspenderán las pruebas y se le brindará la atención que usted necesite.

El orden en el que le serán realizadas las siguientes pruebas será definido **por sorteo**.

- Perimetría torácica: esta medición consiste en ver cuánto se mueve su pecho cuando usted toma el máximo de aire y lo bota al máximo. El procedimiento será

realizado por las dos (2) evaluadoras, que le colocarán alrededor de su pecho y abdomen un metro y le pedirá que tome todo el aire que pueda que lo sostenga y luego que lo bote todo. Este procedimiento será realizado en la parte superior e inferior de su pecho y a nivel del ombligo; y será repetido dos (2) veces por cada evaluadora. Usted podrá descansar un minuto entre cada medición. Luego será citado uno (1) o dos (2) días después para repetir el mismo procedimiento.

- Fotogrametría del tórax: para esta prueba se utilizarán marcadores pegados a la piel de las costillas con cinta adhesiva, que se retirarán utilizando una solución (tintura de benjuí), que protege su piel de la irritación. La evaluadora principal le pedirá que tome el aire profundo, lo mantenga y luego bote lo más fuerte que pueda. Le serán tomadas fotos cuando tome todo el aire y cuando lo bote. Los intentos se repetirán dos (2) veces para poder escoger el mejor, y se le permitirá descansar entre cada esfuerzo 1 minuto. Luego será citado uno (1) o dos (2) días después para repetir el mismo procedimiento.
- Valoración muscular manual: para evaluar la fuerza de algunos de sus músculos respiratorios, usted permanecerá acostado en una camilla, con los brazos a los lados del cuerpo, primero boca arriba, luego de medio lado y finalmente boca abajo. Los músculos que serán evaluados son el diafragma, los intercostales externos y los abdominales. Para palparlos adecuadamente, cada evaluadora de manera separada, le colocará las manos debajo de las costillas, entre las costillas y en la barriga a cada lado del ombligo.

Para el diafragma y los intercostales, se le pedirá que tome el aire profundo, lo sostenga con fuerza y luego lo bote; utilizando la siguiente frase: *“tome aire profundo y fuerte... todo lo que pueda... sostenga...empuje contra mi mano, no se deje mover”*.

Para los abdominales, la instrucción será *“tome aire profundo, bótelo fuerte hundiendo la barriga... todo lo que pueda... siga botando fuerte”*.

Se realizarán dos (2) pruebas para cada grupo muscular, dejando un minuto de descanso entre cada uno.

- Medición de las presiones respiratorias estáticas: sentado con los brazos apoyados, usted tomará aire y soplará fuerte a través de una boquilla, que está conectada a un aparato (parecido a un reloj). El esfuerzo durante esta evaluación

debe ser máximo, por lo tanto es posible que sienta leve dolor de cabeza y mareo, sin embargo, estos efectos son pasajeros y serán minimizados mediante los periodos de descanso que va a tener entre cada intento.

DURACIÓN DEL ESTUDIO

Su participación en el estudio tiene una duración total de tres (3) días hábiles. Durante los tres (3) días deberá asistir a la Escuela de Fisioterapia de la UIS, para realizar las mediciones descritas previamente en los horarios acordados.

Usted puede preguntar hasta su complacencia todo lo relacionado con el estudio y su participación. Además se le ha aclarado que puede abandonar el estudio en cuanto lo decida, sin represalia alguna.

Los resultados de las evaluaciones le serán entregados al tercer día y **no tienen ningún costo**. Adicionalmente, se le brindará asesoría respecto a la utilización adecuada de los inhaladores, con ayuda de un folleto.

RIESGOS POTENCIALES

Ninguna de las evaluaciones requiere de ningún procedimiento que atraviese su piel (invasivo), lo cual reduce los riesgos durante su participación.

Los problemas que posiblemente se pueden presentar están relacionados con el esfuerzo físico que usted deberá realizar para desarrollar de forma adecuada las pruebas que se le indiquen. En algunos casos se pueden presentar complicaciones como fatiga, cansancio, sensación de ahogo, mareos, visión borrosa o doble, dolor de cabeza, dolor en el pecho, entre otras. En caso de presentarse estas manifestaciones, se suspenderán las evaluaciones, se le pedirá que guarde reposo durante media hora y será monitorizado durante este tiempo. En caso de que su condición no mejore, se suspenderá la participación en el estudio y será remitido para valoración médica inmediata al servicio de urgencias del Hospital Universitario de Santander o, si es su decisión al servicio de urgencias de la entidad donde se encuentre afiliado al sistema de seguridad social.

CONFIDENCIALIDAD

Los formularios de registro contienen exclusivamente la información importante para este estudio y será manejada por la investigadora principal. A cada formulario se le asignará un número y éste será el que ingrese al computador durante el manejo de la información. Por lo anterior, su nombre no será de conocimiento público.

A menos que usted autorice y cuando la ley lo permita, sus resultados personales no estarán disponibles para terceras personas como empleadores, organizaciones gubernamentales, compañías de seguros o instituciones educativas. Esto también aplica para su esposo(a), otros miembros de su familia y su médico.

Sin embargo, con el objetivo de realizar un manejo adecuado de la información, un miembro del comité de ética de la Universidad Industrial de Santander podrá consultar sus datos y su historia clínica.

Los resultados de este estudio serán publicados manteniendo el secreto profesional y sin dar a conocer nunca su nombre o su identidad.

Durante su participación, usted está en libertad de solicitar información relacionada con el estudio, aunque esto represente el retiro prematuro de la investigación.

Está usted en libertad de autorizar o no que los datos obtenidos en este estudio, puedan ser utilizados en otros estudios y laboratorios.

Autoriza _____ No autoriza _____

Firma de autorización

Con fecha _____, habiendo comprendido lo anterior y una vez que se le aclararon todas las dudas que surgieron con respecto a su participación en la investigación, usted acepta participar en la investigación titulada: **“CONFIABILIDAD Y VALIDEZ DE LA EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD COSTAL Y DE LA DE LA FUERZA DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS EN ADULTOS CON ASMA”**.

_____	_____	HUELLA DIGITAL
Nombre del participante	Firma	

La firma puede ser sustituida por la huella digital en los casos que así se amerite.

_____	_____
Nombre del testigo 1	Firma

Dirección _____ Tel.: _____

Relación que guarda con el participante _____

Fecha de la firma _____

Investigador responsable o principal: Yannely Serrano Villar

Firma _____

Segunda evaluadora: Eliana Isabel Rodríguez Grande

Firma _____

Datos de las investigadoras principales: Msc. María Solange Patiño Segura, Ft. Yannely Serrano Villar. En caso de cualquier duda, usted se puede comunicar a los teléfonos: 6358582; 6344000 Extensión 3147, Facultad de Salud, Escuela de Fisioterapia, Universidad Industrial de Santander.

Contacto Comité de Ética: Para preguntas o aclaraciones acerca de los aspectos éticos de ésta investigación pueden comunicarse con la Dra. Myriam Orostegui, Coordinador (a) del Comité de Ética para la Investigación Científica de la Facultad de Salud de la UIS o con cualquiera de los miembros del comité, al teléfono 6344000 Extensión 3145.

Anexo I. Protocolo de medición de las variables

1. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE LAS VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS

1.1 Talla

Se fijó una cinta métrica inextensible en una de las paredes del laboratorio, desde el suelo hasta cubrir una longitud de dos metros en la pared. Se solicitó a cada persona que retire cualquier adorno de la cabeza y se quite los zapatos, y se le llevó al sitio donde esté ubicada la cinta métrica. El participante permanecía de pie con la espalda recta contra la pared, con el peso del cuerpo distribuido uniformemente y ambos pies apoyados en el suelo, con los talones juntos y los pies separados. Los dedos de los pies debían apuntar ligeramente hacia afuera en un ángulo de aproximadamente 60°. El evaluador corroboraba que la parte posterior de la cabeza, de los hombros, de los glúteos y de los talones se encontraban en contacto con la pared²¹⁴ (ver figura 4).

Dependiendo de la conformación general del cuerpo de la persona, en algunos casos no se pudo tener contacto entre la pared y los cuatro puntos de contacto (la cabeza, los hombros, los glúteos y los talones). En tales casos, se siguió el protocolo hasta donde fue posible. El plano horizontal o plano de Frankfort se refiere a que la línea horizontal que se forma desde el conducto auditivo hasta el borde inferior de la órbita del ojo, durante la medición debía permanecer paralelo al suelo²¹⁴.

Luego de posicionar al participante en la forma descrita, se le solicitó una respiración profunda y mantenida. La respiración profunda ayuda a enderezar la columna vertebral para obtener una medición de estatura más consistente. Mientras la persona sostenía la respiración, el evaluador colocaba una pieza de plástico de forma paralela al piso y registraba el valor observado. En caso de no tener seguridad del registro, se repetía la medición²¹⁴.

1.2 Peso

Los participantes fueron pesados en kilogramos con una báscula digital portátil, que era calibrada a cero antes de cada medición. La posición de la persona evaluada era en el centro de la báscula, con la cabeza mirando hacia el frente, los hombros relajados y los miembros superiores a los lados del cuerpo, con las manos dirigidas hacia el frente. Después de ubicar correctamente a la persona y que la lectura en el dispositivo de medición digital sea estable, se capturaba el valor registrado²¹⁴.

1.3 IMC

Se define como el peso en kilogramos dividido por la altura en metros al cuadrado. De acuerdo con su cálculo, los participantes se clasificaron en tres grupos: sin exceso de peso (IMC ≤ 25), sobrepeso (IMC > 25 y < 30) y obesos (IMC ≥ 30)^{214,215}.

2. PROTOCOLO PARA LA REALIZACIÓN DE LA ESPIROMETRÍA^{43,44}

ASPECTO DE LA MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO O INSUMO REQUERIDO
Requisitos	No utilizar medicación broncodilatadora en las horas previas a la prueba: - 6 horas para los agonistas β_2 de corta duración (Salbutamol, Terbutalina). - 12 horas para los agonistas β_2 de larga duración (Salmeterol, Formoterol). No fumar, ni tomar bebidas con cafeína (café, té, cola) seis horas previas a la realización de la prueba. Lavarse muy bien la boca antes de la prueba.	Espirómetro marca Spirobank G
Postura del participante	Sedente sobre una silla, con el tronco erguido, la cabeza ligeramente elevada, los miembros superiores sobre los muslos, los pies apoyados en el suelo y las caderas y las rodillas a 90° de flexión.	
Colocación de la boquilla	Sostener con los dientes y cerrar los labios alrededor, evitando escapes.	
Postura del evaluador	Bípodo, en frente del participante	
Instrucciones verbales	Se solicitaron tres ciclos respiratorios normales (al volumen corriente); al finalizar la fase espiratoria del último ciclo, se pedía una inspiración máxima y rápida (menor a un segundo) al nivel de la capacidad pulmonar total, seguida de una inmediata espiración máxima a nivel del volumen residual durante seis segundos; se finalizaba con una inspiración profunda y completa. Se debía mantener la postura inicial durante toda la prueba. El comando verbal para la maniobra fue: “<i>tome aire profundo y rápido y bote, bote, bote... ahora tome nuevamente el aire profundo</i>”. Se estimulaba verbalmente durante los seis segundos de la espiración.	

Medición	Se colocaba una pinza nasal, para asegurar que la respiración se realizara únicamente por la boca. Se obtenía un mínimo de tres maniobras que cumplieran con los siguientes criterios: - Pico flujo espiratorio puntiagudo (elevación abrupta y vertical). - Curvas espiratoria e inspiratoria sin irregularidades. En caso de presentarse, las causas de dichas irregularidades podían ser: tos, presencia de secreciones en las vías aéreas, cierre glótico, terminación temprana de la maniobra, exhalaciones repetidas y obstrucción en la boquilla. - El final de la curva espiratoria debía coincidir con el inicio de la curva inspiratoria. - La curva espiratoria: debía durar como mínimo seis segundos, permitiendo que el participante exhalara durante todo el tiempo que pueda. En caso de ser necesario, se podía repetir la prueba hasta un máximo de nueve intentos. En la siguiente fotografía, se presenta la posición correcta para la realización de la prueba.	Espirómetro marca Spirobank G
		

3. PROTOCOLO PARA LA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE MONITORIZACIÓN

Estas variables fueron medidas a los 15 minutos de haber ingresado el participante al laboratorio, en los cuales debía permanecer en reposo, y fueron repetidas un minuto después de haber realizado el último esfuerzo.

3.1 Signos vitales

Frecuencia cardíaca: previa a su evaluación, el participante debía estar en reposo en sedente durante cinco minutos. Se evaluaba la frecuencia cardíaca por medio de la palpación del pulso radial izquierdo, con el sujeto en sedente y el miembro superior izquierdo relajado.



El evaluador localizaba la arteria radial sobre la cara antero-lateral de la muñeca, directamente en línea con la base del pulgar; para lo cual debía usar la yema de los dedos medio e índice. El cronometraje se iniciaba con el latido del pulso y se contaba el primer latido como cero, se seguía contando durante un minuto. En caso de no estar seguro del resultado obtenido, el evaluador repetía la medición²²³. El rango de normalidad aceptado estuvo entre 60 y 100 latidos por minuto^{133,223}.

Frecuencia respiratoria: se contabilizaba por medio de la observación del abdomen o del movimiento de la reja costal hacia afuera y hacia adentro, con el sujeto en sedente; intentando que el participante no se percatase de que estaba siendo evaluado, por lo que se tomaba mientras se simulaba la evaluación de la frecuencia cardíaca. El rango que se consideró normal para la población evaluada estuvo entre 12 y 18 respiraciones por minuto¹³⁴.

Presión arterial: para su medición los participantes debían estar sentados en silencio por lo menos durante cinco minutos en una silla con respaldo, con los pies en el suelo y el brazo apoyado al nivel del corazón. Debían abstenerse de fumar y debían evitar la ingestión de cafeína durante los 30 minutos anteriores a la medición. Para realizar la medición, el evaluador envolvía firmemente el brazalete del tensiómetro alrededor del brazo izquierdo a nivel del corazón, alineándolo con la arteria braquial.

A continuación, se ubicaba la campana del estetoscopio debajo del brazalete, sobre la arteria braquial. Seguidamente, se inflaba rápidamente la presión del manguito hasta 20 mmHg por encima de primer sonido cardíaco y se liberaba lentamente la presión a una velocidad



igual a 2 a 5 mmHg por segundo. La presión arterial sistólica es el punto en el que se escucha el primero de dos o más sonidos cardíacos, y la diastólica es el punto antes de la desaparición de los sonidos. En caso que hubiese duda en el valor registrado, se repetía el procedimiento, dejando un minuto de diferencia. Los valores de referencia fueron los presentados por el Colegio Americano de la Medicina del Deporte (ACSM, por sus siglas en inglés)²²⁴.

3.2 Pulsoximetría

Para su medición adecuada, se requería que la persona evaluada no tuviera esmalte de uñas y que mantuviera la mano donde se realizaba la medición en reposo, mientras se estabilizaba el valor de



saturación y se observaba que la intensidad de la señal es óptima. De igual forma, el participante no debía manifestar frío en las manos, para evitar que el frío ambiental no limitara en la medición²¹⁷⁻²¹⁹.

3.3 Auscultación pulmonar

Se pedía a los participantes inspiraciones nasales profundas para facilitar la auscultación de los ruidos respiratorios normales o anormales, con espiraciones pasivas. El fisioterapeuta realizaba la auscultación de forma sistemática, incluyendo la cara anterior, las caras laterales y la cara posterior del tórax. La

utilidad de esta evaluación radica en que es una estrategia para señalar la presencia de sonidos respiratorios sobre-agregados que indiquen la presencia de broncoespasmo^{133,134}.

3.4 Disnea

Se midió la sensación subjetiva de falta de aire, por medio de la escala de Borg modificada:

ESCALA DE DISNEA DE BORG

0	Sin disnea
0.5	Muy, muy leve. Apenas se nota
1	Muy leve
2	Leve
3	Moderada
4	Algo severa
5	Severa
6	
7	Muy severa
8	
9	
10	Muy, muy severa (máximo)

4. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE LA MOVILIDAD TORÁCICA

4.1 Índice de amplitud torácica^{17,18,129–132}

ASPECTO DE LA MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO O INSUMO REQUERIDO
Postura del participante	Sedente sobre una silla, con el tronco erguido, los pies apoyados en el suelo y las caderas y las rodillas a 90° de flexión. Para facilitar la adecuada posición de los pies, se solicitaba al sujeto mantenerlos sobre las figuras de huellas previamente adheridas al suelo. Con los miembros superiores apoyados y con abducción de hombros de 70° aproximadamente ^{33,39,182} .	Silla de altura ajustable, sin espaldar, con el asiento de 48cm de ancho y 45cm de largo, con apoya brazos ajustables.

Condicioness del participante	Tórax descubierto para los hombres y parcialmente descubierto (con un top) para las mujeres, con la piel limpia y seca. Las personas con cabello largo, debían recogerlo durante las mediciones.	
Postura del evaluador	Bípodo, en frente del participante (a la altura del tórax).	
Referentes anatómicos	Nivel axilar: tercer espacio intercostal en la cara anterior del tórax y quinto proceso espinoso torácico en la cara posterior del tórax. Nivel xifoideo: apófisis xifoides en la cara anterior del tórax y décimo proceso espinoso torácico en la cara posterior del tórax. Nivel umbilical: cicatriz umbilical a nivel anterior y tercer proceso espinoso lumbar a nivel posterior.	Huellas de colores, elaboradas en papel contact. Algodón.
Ubicación de la cinta métrica	Se colocaba el punto cero de la cinta métrica en la línea media del cuerpo, alineada horizontalmente con los puntos de referencia, mientras que el otro extremo de la cinta era móvil para permitir su desplazamiento. La cinta debía mantenerse ajustada para ejercer presión sobre la piel, sin comprimir el tórax ^{128,130} . Adicionalmente, se limpiaba la cinta métrica entre cada participante, para garantizar la higiene en el procedimiento.	Alcohol al 70%. Cinta de papel. Tijeras. Cinta métrica inextensible
Instrucciones verbales	Se solicitaba una inspiración máxima al nivel de la capacidad pulmonar total, seguida de una espiración máxima a nivel del volumen residual. Además, se pedía mantener la inspiración y espiración máximas durante al menos dos segundos, para registrar los datos. El comando verbal era: <i>“tome aire profundo... sostenga... ahora bote, bote, bote...”</i>	
Medición	El resultado (excursión torácica) era la diferencia entre la perimetría en inspiración y en espiración. Se tomaban dos mediciones en cada región, con un minuto de reposo entre cada una ¹⁷ .	
4.2 Cinemática del tórax^{15,181}		
ASPECTO DE LA MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO O INSUMO REQUERIDO
Postura del participante	Sedente sobre una silla, con el tronco erguido, los pies apoyados en el suelo y las caderas y las rodillas a 90° de flexión. Para facilitar la adecuada posición de los pies, se solicitaba al sujeto mantenerlos sobre las figuras de huellas previamente adheridas al suelo. Para contribuir a que la cabeza se encontrara mirando al frente, se colocaban marcadores pasivos en las	Silla de altura ajustable, sin espaldar, con el asiento de 48cm de ancho y 45cm de largo,

	paredes del laboratorio, a la altura de cada participante. Los miembros superiores se encontraban apoyados y con abducción de hombros de 70° aproximadamente, para permitir la visualización de los marcadores ubicados en la pared lateral del tórax ^{33,39,182} .	con apoyos brazos ajustables.
Condiciones del participante	Tórax descubierto para los hombres y parcialmente descubierto (con un top) para las mujeres, con la piel limpia y seca. Las personas con cabello largo, debían recogerlo durante las mediciones. El cuello y las orejas debían permanecer sin ningún tipo de accesorio, durante las mediciones.	Huellas de colores, elaboradas en papel contact. Algodón. Alcohol al 70%.
Postura del evaluador	Bípodo, en frente del participante (a la altura del tórax).	
Referentes anatómicos para la ubicación de los marcadores	<i>Superficies anterior y lateral del tórax:</i> Eternales: un marcador en el ángulo de Louis y otro en la apófisis xifoides. Costales: dos marcadores ubicados en el segundo arco costal, al nivel de la línea axilar anterior; y dos en el sexto arco costal de cada lado, en la línea medio axilar. <i>Superficie posterior del tórax:</i> Espinales: tres marcadores de 2cm de largo sobre los procesos espinosos de T ₅ , T ₁₀ , L ₃ ; y dos marcadores sobre el pliegue axilar al lado derecho e izquierdo, proyectados sobre el segundo arco costal. <i>Región abdominal:</i> Umbilical: 1 marcador de 1 ó 2 cm de largo (de acuerdo a la forma del ombligo), de tal forma que la esfera quede al nivel de la piel, sobre la cicatriz umbilical. Abdominales: dos sobre cada línea medio axilar, a la altura del ombligo.	Tintura de Benjui: disolución hidroalcohólica de Stirax benzoin 14 marcadores pasivos elaborados con esferas de icopor, de 1cm de diámetro aproximadamente.
Instrucciones verbales	Se solicitaba una inspiración máxima al nivel de la capacidad pulmonar total y posteriormente una espiración máxima a nivel del volumen residual; y se pedía mantener la inspiración y espiración máximas durante al menos dos segundos, para registrar los datos. El comando verbal para la inspiración era: “ <i>tome aire profundo... sostenga... ahora bote, bote, bote...</i> ”	
Medición	Se tomaban dos mediciones en cada región, con un tiempo de reposo entre cada medición de un minuto. Antes de hacer el registro fotográfico, se verificaba que la musculatura de cuello y hombros se encontrara relajada. La cámara fotográfica se localizaba a dos metros del participante, con una altura desde el centro del lente al piso de 85cm aproximadamente. Para la captura de la	Cámara fotográfica. Trípode.

imagen, se fijaba el zoom de la cámara al 100%, de tal forma que se captara una imagen completa del tórax.

Las imágenes obtenidas a través del registro fotográfico fueron analizadas en el software SAPO¹⁷⁵. El sistema se calibraba con la ubicación de marcadores sobre la pared detrás del participante, correspondientes al plano X y al plano Y.

Las etapas del análisis, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, fueron: abrir la fotografía, verificar el zoom al 50%, calibrar la imagen en función de los marcadores tomados como referentes y realizar las mediciones en las cara anterior, lateral derecha, lateral izquierda y posterior²⁰.

Los datos obtenidos eran exportados a Excel para su posterior análisis, el resultado definitivo fue la diferencia entre la medición inspiratoria y espiratoria, para cada uno de los tres niveles¹²⁹.

En la siguiente figura se esquematiza el escenario para la medición.



Espacio para la medición

A: silla de altura y apoyabrazos ajustables.

B: trípode.

C: ubicación correcta de la cámara.

D: marcadores que deben observar los participantes durante la medición.

E: letreros con las tentativas.

F: lista de chequeo con los pasos para la medición.

Huellas amarillas: guías para la ubicación correcta de los pies de los participantes.

Línea roja (en el suelo): demarcaba la distancia entre la silla y el trípode (2m).

Línea roja (en el trípode): altura desde el centro del lente de la cámara hasta el piso (85cm).

5. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE LA FUERZA MUSCULAR RESPIRATORIA

5.1 Protocolo para la aplicación de la VMM

DIAFRAGMA	DESCRIPCIÓN	EQUIPO O INSUMO REQUERIDO
Postura del participante	Fibras externas: decúbito supino sobre la camilla, con la cabeza y el cuello apoyados sobre una almohada, los miembros superiores a los lados del tronco; las piernas se posicionaron sobre almohadas debajo de las rodillas para evitar aumento de la lordosis lumbar durante la prueba¹²⁸. Fibras laterales: decúbito lateral, apoyado sobre el lado del diafragma a evaluar, ya que en esa posición debe vencer la resistencia que ofrecen las vísceras¹²⁴. La cabeza se apoyaba sobre el miembro superior del mismo lado del diafragma que va a ser evaluado, el miembro superior contralateral reposaba sobre la camilla al nivel de los hombros. Los miembros inferiores se ubicaban uno encima del otro, dejando extendido el que quedaba debajo y semi-flexionado, el de encima. Fibras posteriores: decúbito prono, con los miembros inferiores extendidos y los superiores a los lados del tronco.	Camilla de 1,82m de largo, 71cm de ancho y 74cm de alto. Almohadas.
Postura del evaluador	De pie, a un lado de la camilla, a nivel del tórax.	
Contactos manuales	En decúbito supino: las manos del examinador se colocaban sobre la línea media del abdomen con las yemas de los dedos debajo del reborde costal, las palmas de las manos en forma transversal sobre el epigastrio, presionando con los pulpejos de los dedos. La ubicación en el reborde costal se fundamenta en el los brazos de palanca del diafragma sobre las costillas en inspiración¹²⁸. En decúbito lateral: el evaluador ubicaba una de sus manos debajo del hemidiafragma a evaluar, enhorquillado el reborde costal. En decúbito prono: se observaba las fibras laterales y posteriores del diafragma, el evaluador ubicaba el primer espacio interdigital de cada mano debajo del reborde costal. Al pedir la acción se esperaba que se expandieran por igual los dos hemitórax, y se presentara rectificación de la curvatura lumbar.	

Instrucciones verbales	El evaluador solicitaba una inspiración profunda con el máximo esfuerzo, dirigiendo el aire hacia el epigastrio y manteniendo el máximo esfuerzo. El comando exacto era: <i>“Tome aire profundo y fuerte inflando el estómago... todo lo que pueda... manténgase así. Empuje contra mi mano, no permite que lo baje”</i> .
Prueba	Cuando el participante realizaba la inspiración, se debía percibir la expulsión de las manos del evaluador. Cuanto mayor era la expulsión de las manos del fisioterapeuta y la expansión del abdomen, mayor era el trabajo mecánico del diafragma ¹²⁸ .

INTER-COSTALES EXTERNOS	DESCRIPCIÓN	EQUIPO O INSUMO REQUERIDO
Postura del participante	Decúbito supino sobre una camilla, con la cabeza y el cuello apoyados sobre una almohada. Con ligera elevación inter-escapular, el mentón sobre el pecho, y los miembros superiores a los lados del tronco.	
Postura del evaluador	De pie, a un lado de la camilla, a nivel del tórax.	
Contactos manuales	Intercostales externos superiores: pulpejos de los dedos del evaluador del segundo al quinto espacio intercostal, en la región más cercana al esternón, debido a que en su porción más lateral, el pectoral mayor es más grueso y dificulta la palpación ¹³⁰ . Para evitar la activación de los pectorales, se vigilaba que los brazos permanecieran relajados en abducción, sin rotación interna ni externa ¹²⁸ . Intercostales externos inferiores: del sexto al noveno espacio intercostal, con los pulgares debajo de la apófisis xifoides haciendo presión para limitar la expansión diafragmática ¹²⁸ .	Camilla de 1,82m de largo, 71cm de ancho y 74cm de alto.
Instrucciones verbales	Se solicitaba una espiración para facilitar la ubicación de los pulpejos de los dedos en los espacios intercostales; seguidamente, se pedía una inspiración lenta y profunda. Para verificar el adecuado posicionamiento de los dedos, se indicaba al participante una inspiración entrecortada (tipo sollozo). El comando verbal era: <i>“tome aire profundo inflando el pecho... todo lo que pueda... manténgase así. Empuje contra mi mano, no permite que lo baje”</i> .	Almohadas.

ABDOMINALES	DESCRIPCIÓN	EQUIPO O INSUMO REQUERIDO
Postura del participante	Decúbito supino sobre una camilla, con la cabeza y el cuello apoyados sobre una almohada, para facilitar que el cuello permaneciera en flexión, los miembros inferiores extendidos. En caso de observarse lordosis lumbar durante la ejecución del test, se solicitaba flexión de caderas con los pies apoyados sobre la camilla, para impedir que los músculos flexores de cadera intervengan en la prueba ⁴⁸ .	Camilla de 1,82m de largo, 71cm de ancho y 74cm de alto.
Postura del evaluador	De pie, a un lado de la camilla, a nivel del abdomen del participante.	
Contactos manuales	Recto abdominal: en la línea media del tórax, sobre la línea alba, con los dedos unidos a lo largo del músculo ¹³⁰ . Oblicuos: en los flancos abdominales, entre el último arco costal y la cresta ilíaca, las muñecas del evaluador permanecían con leve desviación cubital. Los pulpejos de los dedos se introducían en el espacio costo-ilíaco deprimiendo las fibras musculares de los oblicuos ¹³⁰ .	
Instrucciones verbales	El evaluador solicitaba una inspiración profunda y luego una espiración forzada, se insistía en el máximo esfuerzo, con contracción abdominal. Las instrucciones verbales eran: <i>“tome aire profundo y bótelo fuerte apretando la barriga... todo lo que pueda... siga botando fuerte.”</i> Posteriormente, se corroboraba la contracción muscular durante la tos voluntaria con el siguiente instructivo: <i>“tome aire profundo y fuerte y tosa fuerte apretando la barriga”</i> .	
Prueba	Cuando el participante realizaba la inspiración, se debía percibir la expulsión de las manos del evaluador. Cuanto mayor era la expulsión de las manos del fisioterapeuta y la expansión del abdomen, mayor era el trabajo mecánico del diafragma ¹²⁸ .	

5.2 Protocolo para la medición de las presiones respiratorias estáticas (PIM y PEM)

ASPECTO DE LA EVALUACIÓN	DESCRIPCIÓN	EQUIPO O INSUMO REQUERIDO
Postura del participante	En la misma postura utilizada para la medición del índice de amplitud torácica y de la cinemática. Aunque la postura no tiene influencia significativa en el resultado de la medición en sujetos sanos, en pacientes con patología obstructivas, los cambios en la postura corporal pueden tener un impacto significativo sobre el resultado obtenido ¹⁷⁸ .	
Equipo	La Sociedad Americana del Tórax aconseja utilizar membrana de metal o transductores piezoeléctricos con un rango de precisión entre 0,5 cmH ₂ O y 200 cmH ₂ O ^{39,182} . Se sugiere calibrar el manómetro de forma regular, para evitar errores en la lectura ¹⁸² .	Silla de altura ajustable, sin espaldar, con el asiento de 40cm de ancho y 40cm de largo, con apoya brazos ajustables.
Boquilla	Se recomienda la utilización de boquillas bridadas, para dar lugar a presiones inferiores a las obtenidas cuando una boquilla rígida está sellada contra la boca ^{39,182,196} .	Huellas de colores, elaboradas en papel contact.
Fuga	Para evitar la generación de la presión de los músculos de las mejillas y los músculos bucales, una pequeña fuga debía estar presente en el equipo. La fuga descrita por Black e Hyatt ¹⁹³ es de 15mm de largo y tiene un diámetro interno de 2mm. Para el uso de esta fuga, la glotis se debe abrir, para que la presión obtenida refleje la presión generada por los músculos respiratorios; en caso contrario, el registro puede corresponder a la fuerza de las mejillas y de los músculos bucales ³⁹ .	
PIM	Se solicitaba una espiración hasta el volumen residual seguida de un único esfuerzo inspiratorio máximo sostenido durante dos segundos, desde el volumen residual contra la vía aérea ocluida; sin generar presión adicional con los músculos de la boca o mejilla. El comando verbal era: <i>“Bote todo el aire... bote... bote... bote... Ahora, ¡Vamos, tome todo el aire que pueda, fuerte! ¡Sostenga!”</i> .	Medidor de PIM y PEM
PEM	El evaluador indicaba hacer una inhalación hasta la capacidad pulmonar total, seguida de un esfuerzo espiratorio máximo contra la vía aérea ocluida, evitando la acción de los músculos de la boca. El instructivo verbal era: <i>“Tome todo el aire que pueda, tome... tome... tome... Ahora, ¡Vamos, bote todo el aire que pueda, fuerte! ¡Sostenga!”</i> .	

Medición	Se colocaba una pinza nasal para promover que el esfuerzo sea únicamente bucal; adicionalmente, la boquilla podía ser acomodada por el sujeto. Durante el desarrollo de la prueba se insistía y realimentaba verbalmente al individuo para que el esfuerzo realizado fuera el mayor^{197,199}. Se realizaba primero la familiarización del participante con la técnica, en la cual el evaluador explicaba y demostraba la ejecución apropiada del test, posteriormente, se solicitaban varias repeticiones (máximo 10) hasta que se asegurase la óptima ejecución de la prueba¹⁹⁹. Se consideraba que se deben finalizar las repeticiones cuando la persona refería que no podía continuar debido a la fatiga, o cuando se obtenían dos veces consecutivas 1 cmH₂O menos respecto a la medición previa, después de tres mediciones técnicamente aceptables¹⁹⁹. Se deben lograr tres intentos reproducibles (10% de diferencia entre los dos de mayor valor), de un máximo de ocho. Si el último intento era el mayor de todos, se debía realizar una nueva maniobra. Entre cada intento se daba un minuto de descanso, o más, si el sujeto así lo solicitaba, y se escogía el registro más alto¹⁴.
-----------------	--

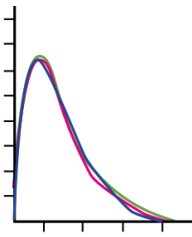
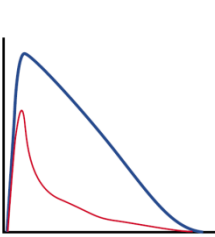
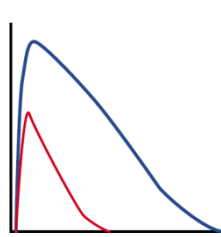
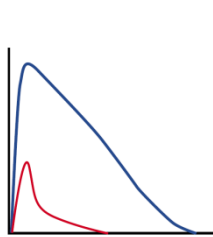
Anexo J. Referentes para la valoración de las variables evaluadas

1. VALORES DE REFERENCIA PARA EL ÍNDICE DE MASA CORPORAL (IMC)

La clasificación del IMC, se realizó teniendo como referente lo propuesto por el Centro de Control y Prevención de la Enfermedad (CDC, por sus siglas en inglés) ²¹⁵.

CLASIFICACIÓN	IMC
Bajo peso	< 18,5
Normal	18,5 – 24,9
Sobrepeso	25,0 – 29,9
Obesidad Clase I	30,0 – 34,9
Obesidad Clase II	35,0 – 39,9
Obesidad extrema	> 40,0

2. VALORES DE REFERENCIA PARA ESPIROMETRÍA

VALORES ESPIROMÉTRICOS	Espirometría normal	Patrón espirométrico obstructivo	Patrón espirométrico restrictivo	Patrón espirométrico mixto
VEF ₁	> 80%	< 80%	< 80%	< 80%
CVF	> 80%	≥ 80%	< 80%	< 80%
VEF ₁ /CVF	> 70%	< 70%	≥ 70%	< 70%
MORFOLOGÍA DE LAS CURVAS				

2. VALORES DE REFERENCIA DE LA MOVILIDAD TORÁCICA

2.1 Índice de Amplitud Torácica

Valores de referencia del índice de amplitud torácica^{27,129, 136}

Perimetría en centímetros (cm)	Mujeres y hombres
Axilar	5,8
Xifoideo	5,05
Umbilical	6,04

2.2 Cinemática torácica

Para los desplazamientos del tórax medidos mediante la fotogrametría, no se encontraron reportes en la literatura revisada en adultos, por lo que los valores de referencia para esta medición se calcularon a partir de los resultados de la prueba piloto.

3. ESCALAS DE VALORACIÓN DE LOS MUSCULOS RESPIRATORIOS

Escala de valoración del diafragma^{48,128}

VALORACIÓN	EXPANSIÓN RESPIRATORIA	EXPULSIÓN DE LA MANO	OBSERVACIÓN
Normal	Completa elevación epigástrica contra gravedad y contra resistencia, mantiene la resistencia al finalizar sin contracción de los abdominales. En supino, la elevación a ambos lados de la línea alba debe ser simétrica ^{48,128} .	Contra resistencia	Muy buena función
Bueno	Completa la elevación epigástrica contra gravedad, contra resistencia leve ⁴⁸ .	Con leve resistencia	Disminución de la tolerancia al ejercicio
Regular	Completa la elevación epigástrica contra gravedad sin resistencia, se puede observar expansión costal, debido a que al percibir la resistencia del evaluador, el sujeto continúa inspirando pero a expensas de los músculos intercostales y los músculos accesorios ¹²⁸ .	Sin resistencia	Disnea de medianos esfuerzos
Malo	Incompleta la elevación epigástrica contra gravedad, sin resistencia ¹²⁸ .	No hay	Disnea de pequeños esfuerzos
Vestigios	Es posible la palpación de cierta actividad contráctil debajo de la cara interna de las costillas inferiores, siempre que los músculos abdominales se encuentren relajados ⁴⁸ .	No hay	Disnea de reposo, contracción arrítmica débil
Nulo	No hay ⁴⁸	No hay	Respiración difícil

Escala de valoración de los intercostales externos^{128,130,183}

CALIFICACIÓN	ESPACIOS INTER-COSTALES	POSICIÓN DE LAS COSTILLAS	EXPULSIÓN DE LA MANO	OBSERVACIONES
Normal	Se ensanchan	Horizontales	Contra resistencia	Respiración suficiente
Bueno	Disminución del ensanchamiento	Horizontales	Sin resistencia	Respiración suficiente
Regular	Discreto ensanchamiento	Leve oblicuidad	Expulsión leve sin resistencia	Disminuye función respiratoria
Mal	No hay ensanchamiento	Oblicuidad	No hay	Disminuye función respiratoria
Vestigios	No hay ensanchamiento	Exagerada oblicuidad	No hay, se palpa hipotonía	Depresión de la pared torácica
Nulo	Exagerado ensanchamiento	Una sobre otra	No hay, se palpa hipotonía	Tórax alargado

Escala de valoración de los abdominales: valoración con la tos⁴⁸

CALIFICACIÓN	TOS
Funcional	Normal o con una lesión leve. Expulsión vigorosa o explosiva del aire. Volumen sostenido y claramente audible. Capaz de expulsar secreciones de la vía aérea.
Débilmente funcional	Lesión moderada que afecta el grado de movimiento o resistencia activa. Se observa una depresión costal, con disminución del volumen y del movimiento del aire. Aparición de mayor dificultad para completar el test. Se requieren varios intentos para despejar la vía aérea.
No funcional	Lesión grave, no puede toser, pero existe cierta actividad palpable del recto abdominal. No se despeja la vía aérea. No se expulsa el aire. Los esfuerzos para toser se reducen a un intento de aclarar la garganta.
Nulo	Ausencia de tos, con falta de actividad contráctil palpable.

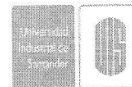
3. VALORES DE REFERENCIA PIM Y PEM

PIM y PEM de acuerdo a edad y género para Manizales, Colombia²²⁶

	Clasificación por grupo etario (años)	Mejor valor de PIM (cmH ₂ O, promedio ± desviación estándar)	Mejor valor de PEM (cmH ₂ O, promedio ± desviación estándar)
Mujeres	20 – 39	67 ± 20,2	81,9 ± 25
	Mayor de 40	59,3 ± 18,8	74,1 ± 22,8
	Total	63,1 ± 19,8	78 ± 24,1
Hombres	20 – 39	91,1 ± 28,6	118,8 ± 36,5
	Mayor de 40	82,8 ± 26,6	110,08 ± 36,4
	Total	86,8 ± 27,8	114,6 ± 36,6
Total	20 – 39	78,9 ± 27,4	100,1 ± 36,2
	Mayor de 40	71,4 ± 25,9	92,9 ± 35,6
	Total	75,0 ± 26,9	96,4 ± 36,0

Interpretación y valores normales: es muy raro encontrar a PEM inferior a PIM. Sin embargo, cuando se utiliza una boquilla con bridas, la PEM puede ser subestimada a menudo debido a las fugas. Los valores reportados como normales son variables, pero siempre se dan en función de la edad. En general, se acepta que una PIM > 80 cmH₂O permite excluir afectación muscular significativa y valores < 50 cmH₂O deben llevar a sospecharla¹⁷⁸.

Anexo K. Aval del Comité De Ética de la Universidad Industrial De Santander



Código 7083 *p11.02*

Bucaramanga, *29 ENE 2014*

DIY-00449

Estudiante
YANNELY SERRANO VILLAR
Maestría en Fisioterapia
Facultad de Salud
UIS Presente

Asunto: AVAL Comité de Ética proyecto: "Confiabilidad y validez de la evaluación de la movilidad costal y de la fuerza de los músculos respiratorios en adultos con asma"

Cordial Saludo. El Comité de Ética en Investigación Científica de la Universidad Industrial de Santander (CEINCI-UIS) en reunión realizada el 19 diciembre de 2013, según consta en el acta No. 20 de 2013, evaluó los ajustes realizados al consentimiento informado sobre la parte de acompañamiento y remisión de los participantes en caso de situaciones presentadas durante el procedimiento y al respecto conceptúo:

En consideración a que el proyecto cumple con todos los requerimientos del CEINCI, el Comité acuerda por consenso AVALAR el documento en versión digital y APROBAR el consentimiento informado última versión.

Se recomienda asegurar los mecanismos necesarios para mantener el anonimato, la privacidad y la confidencialidad de la información personal, según la Ley Estatutaria No. 1581 de 2012 del Congreso de la República y el Decreto 1377 de 2013, así como la Resolución de Rectoría de la UIS No. 1227 de Agosto 22 de 2013 que regulan los asuntos de protección de datos personales. Adicionalmente se recomienda aplicar según corresponda a la investigación, la normatividad del Sistema de gestión Integral de la Universidad, que está disponible en el enlace: <https://www.uis.edu.co/intranet/calidad/calidad.html>, especialmente lo relacionado con el Manual de Gestión Integrado.

Se solicita que se remita al correo del comité, información de las siguientes circunstancias, cuando lleguen a ocurrir:

- Reporte de mala práctica científica por parte de cualquier miembro del equipo investigador.
- Notificación previa de las modificaciones realizadas al protocolo.
- Reporte de cualquier eventualidad que usted considera deba conocer el CEINCI-UIS.
- Informe de avance, haciendo énfasis en los aspectos éticos y en los científico-técnicos que puedan afectar la debida ejecución de la investigación. Este informe debe enviarse a la mitad del desarrollo de la investigación.
- Informe final.



Código 7083

Le informamos que el Comité programará acciones de seguimiento, las cuales le serán comunicadas en su debido momento.

Le agradecemos dar respuesta a esta comunicación mediante una carta fechada en la que manifieste la aceptación a lo aquí enunciado.

Le deseamos muchos éxitos en el desarrollo del proyecto. Igualmente en nombre del CEINCI-UIS le ofrecemos el apoyo que usted considere necesario, para la aplicación y salvaguarda de los asuntos éticos durante la investigación.

Atentamente,

FRANCISCO ESPINEL CORREAL
Presidente (e)
CEINCI- UIS

DORA INÉS PARRA
Secretaria Técnico Científica
CEINCI- UIS

Copia: Msc. María Solange Patiño, Director del Trabajo de Investigación.

Dr. Luis Carlos Orozco Vargas, Codirector Trabajo de Investigación.

Dra. Lina María Vera Cala, Directora de Investigación y Extensión de la Facultad de Salud

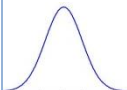
Archivo Comité de Ética- CEINCI-UIS

Omaira M

Anexo L. Valores espirométricos para cada participante

Sujeto	Género	Edad	PEF	FEF_{25%}	VEF₁	CVF	VEF₁/CVF
1	0	20	124	98	98	102	94
2	1	25	118	104	97	93	106
3	1	27	76	65	77	85	92
4	0	29	71	42	82	92	90
5	1	32	113	98	99	102	96
6	1	25	107	69	81	85	96
7	0	51	85	68	80	84	95
8	0	23	105	98	92	92	98
9	0	20	104	97	93	96	95
10	1	23	60	39	62	85	74
11	0	24	78	67	73	85	85
12	0	33	78	56	71	84	84
13	1	20	121	109	103	92	111
14	1	22	98	70	83	94	87
15	0	20	99	98	94	88	104
16	0	26	84	79	84	92	91
17	0	20	105	100	87	90	95
18	1	20	133	110	98	97	101
19	1	22	84	59	79	104	76
20	0	28	85	74	77	84	90
21	0	39	89	58	83	98	85
22	0	24	68	56	67	77	86
23	1	37	98	60	74	84	87
24	0	18	101	79	99	118	81
25	0	36	99	56	79	101	79
26	0	57	43	20	41	69	59

Anexo M. Distribución de las variables cuantitativas del proyecto

Variable	Pruebas estadísticas para evaluar la distribución de las variables					Conclusión sobre la distribución normal	
	Shapiro Wilk	Skewness	Kurtosis	Análisis gráfico	Identity	Sí	No
	Distribución normal si p es mayor a 0,05	Distribución normal si es cercano a 0	Distribución normal si es cercano a 3		Distribución normal si es mayor a 0,05		
Variables sociodemográficas							
Edad	0,00029	1,63	5,19	No cumple	0,002		X
Escolaridad	0,00314	-0,94	7,11	No cumple	0,004		X
Variables antropométricas							
Peso	0,19589	0,81	3,41	Cumple	0,098	X	
Talla	0,71723	0,32	2,34	Cumple	0,609	X	
IMC	0,10463	0,95	3,69	Cumple	0,051	X	
Variables espirométricas							
PEF	0,97422	-0,28	2,86	Cumple	0,724	X	
FEF _{25%}	0,20498	-0,21	2,33	Cumple	0,743	X	
VEF ₁	0,07309	-0,92	4,35	Cumple	0,032	X	
CVF	0,55535	0,37	3,99	Cumple	0,167	X	
VEF ₁ /CVF	0,61444	-0,60	3,99	Cumple	0,103	X	
Variables relacionadas con el asma							
Tiempo de evolución	0,10427	0,91	3,63	Cumple	0,061	X	
Tiempo desde la última crisis	0,00000	2,42	8,57	No cumple	0,000		X

Índice de tabaquismo	0,00009	3,84	17,41	No cumple	0,000		X
Años expuesto al tabaco	0,00000	2,37	7,66	No cumple	0,000		X
Variables de monitorización							
Promedio de FR, medición 1	0,97654	-0,13	2,71	Cumple	0,934	X	
Promedio de FC, medición 1	0,41464	-0,56	3,15	Cumple	0,274	X	
Promedio de TAS, medición 1	0,04535	1,08	3,87	No cumple	0,031		X
Promedio de TAD, medición 1	0,98229	-0,17	2,24	Cumple	0,669	X	
Promedio Sat O ₂ , medición 1	0,00000	-2,08	7,01	No cumple	0,000		X
Promedio de FR, medición 2	0,20263	0,62	2,65	Cumple	0,297	X	
Promedio de FC, medición 2	0,71222	0,10	2,63	Cumple	0,970	X	
Promedio de TAS, medición 2	0,46404	0,59	3,25	Cumple	0,217	X	
Promedio de TAD, medición 2	0,25618	0,23	2,45	Cumple	0,794	X	
Promedio Sat O ₂ , medición 2	0,00000	-2,32	10,18	No cumple	0,000		X
Variables de movilidad costal							
IAT axilar evaluador 1, medición 1, valor máximo	0,41835	0,74	3,63	Cumple	0,101	X	
IAT axilar evaluador 1, medición 2, valor máximo	0,70416	0,27	2,24	Cumple	0,574	X	

IAT xifoideo evaluador 1, medición 1, valor máximo	0,59140	-0,16	2,97	Cumple	0,806	X	
IAT xifoideo evaluador 1, medición 2, valor máximo	0,92565	-0,28	2,51	Cumple	0,754	X	
IAT abdominal evaluador 1, medición 1, valor máximo	0,03795	-1,07	5,76	No cumple	0,007		X
IAT abdominal evaluador 1, medición 2, máximo	0,01295	-0,69	5,57	No cumple	0,022		X
IAT axilar evaluador 2, medición 1, valor máximo	0,40661	0,43	3,16	Cumple	0,403	X	
IAT axilar evaluador 2, medición 2, valor máximo	0,71217	0,20	2,21	Cumple	0,603	X	
IAT xifoideo evaluador 2, medición 1, valor máximo	0,13890	-0,69	2,72	Cumple	0,223	X	
IAT xifoideo evaluador 2, medición 2, valor máximo	0,25789	-0,64	3,09	Cumple	0,215	X	
IAT abdominal evaluador 2, medición 1, valor máximo	0,38052	-0,26	2,23	Cumple	0,574	X	

IAT abdominal evaluador 2, medición 2, valor máximo	0,04989	0,88	3,48	Cumple	0,075	X	
IAT axilar evaluador 1, medición 1, valor promedio	0,72947	0,23	2,45	Cumple	0,800	X	
IAT axilar evaluador 1, medición 2, valor promedio	0,32856	0,14	1,84	Cumple	0,138	X	
IAT xifoideo evaluador 1, medición 1, valor promedio	0,78330	-0,24	2,87	Cumple	0,772	X	
IAT xifoideo evaluador 1, medición 2, promedio	0,92150	-0,32	2,47	Cumple	0,688	X	
IAT abdominal evaluador 1, medición 1, valor promedio	0,01714	-1,22	6,03	No cumple	0,004		X
IAT abdominal evaluador 1, medición 2, valor promedio	0,00363	-1,15	6,78	No cumple	0,003		X
IAT axilar evaluador 2, medición 1, valor promedio	0,84122	0,16	2,33	Cumple	0,777	X	
IAT axilar evaluador 2, medición 2, valor promedio	0,94739	0,19	2,54	Cumple	0,887	X	

IAT xifoideo evaluador 2, medición 1, valor promedio	0,34860	-0,59	2,75	Cumple	0,318	X	
IAT xifoideo evaluador 2, medición 2, valor promedio	0,17752	-0,70	3,00	Cumple	0,183	X	
IAT abdominal evaluador 2, medición 1, valor promedio	0,40601	-0,30	2,48	Cumple	0,727	X	
IAT abdominal evaluador 2, medición 2, valor promedio	0,06018	0,93	3,99	No cumple	0,042		X
Cinemática axilar, valor máximo	0,22646	-0,64	3,01	Cumple	0,232	X	
Cinemática xifoideo, valor máximo	0,17787	-0,24	3,76	Cumple	0,298	X	
Cinemática abdominal, valor máximo	0,02678	0,71	4,03	Cumple	0,076	X	
Cinemática axilar, valor promedio	0,68477	-0,37	2,57	Cumple	0,643	X	
Cinemática xifoideo, valor promedio	0,36478	-0,15	3,53	Cumple	0,454	X	
Cinemática abdominal, valor promedio	0,10839	0,61	3,60	Cumple	0,144	X	
Variables de fuerza muscular							
PIM	0,23587	0,56	3,03	Cumple	0,305	X	
PEM	0,51366	-0,03	1,94	Cumple	0,250	X	

Anexo N. Comparación de resultados entre estudios

Comparación de los límites de acuerdo del IAT del presente estudio con otros trabajos

Nivel de medición	Malaguti y cols ¹⁸				En el presente estudio, valor promedio			
	Diferencia		95% Límites de acuerdo		Diferencia		95% Límites de acuerdo	
	Promedio	DE			Promedio	DE		
Acuerdo intra evaluadoras								
Evaluadora 1								
Axilar	-0,10	2,27	-2,5	2,5	-0,242	1,009	-2,220	1,735
Xifoideo	-0,02	2,64	-2,5	2,5	-0,158	0,885	-1,892	1,576
Abdominal	-0,54	5,05	-5,5	5,5	-0,315	1,634	-3,519	2,888
Evaluadora 2								
Axilar	-0,56	2,74	-2,6	2,4	-0,004	0,894	-1,756	1,748
Xifoideo	0,19	2,17	-2,4	2,5	0,100	0,564	-1,006	1,206
Abdominal	0,41	5,86	-5,0	5,5	-0,312	1,391	-3,038	2,415
Acuerdo entre evaluadoras								
Medición 1								
Axilar	---	---	---	---	0,358	0,893	-1,392	2,107
Xifoideo	---	---	---	---	0,131	0,843	-1,521	1,783
Abdominal	---	---	---	---	-0,254	1,638	-3,464	2,956
Medición 2								
Axilar	-0,82	2,95	-3,8	2,5	0,596	0,915	-1,197	2,389
Xifoideo	-0,21	2,03	-2,5	2,5	0,388	0,809	-1,196	1,973
Abdominal	0,04	4,29	-3,4	3,4	-0,250	1,188	-2,578	2,078

Valores del IAT en este estudio, comparadas con otros estudios (N=26)							
Niveles de medición	Resultados del presente estudio		Valores en adultos sanos ^{27,129, 136}	Valores en adultos con asma			
	Valor máximo [X (DE)]	Valor promedio [X (DE)]	Valor promedio	Pedrolongo, 2011 ⁴⁹ [Promedio (DE)]	Burianová, 2008 ²⁰⁴ [Promedio (DE)]		Bockenbauer, 2007 ²⁴²
Axilar	4,97 (1,09)	4,63 (0,99)	5,8	5,9 (3,2)	3,6 (1,1)	3,6 (0,8)	1,3 (1,0)
Xifoideo	4,81 (1,59)	4,53 (1,54)	5,05	5,2 (2,9)	3,8 (0,7)	3,9 (0,7)	1,2 (1,4)
Abdominal	2,48 (2,17)	2,16 (2,10)	6,04	-0,2 (2,7)	No fue medido		No fue medido

Comparación de los resultados de la cinemática y del IAT en el presente estudio, valor máximo (N=26)

Niveles de medición	IAT Valor promedio [Promedio (DE)]	Cinemática Valor promedio [Promedio (DE)]
Axilar	4,63 (0,99)	7,44 (2,25)
Xifoideo	4,53 (1,54)	7,71 (3,49)
Abdominal	2,16 (2,10)	2,67 (4,82)

Anexo O. Productos académicos



USC
UNIVERSIDAD
SANTIAGO
DE CALI
TERAPIA
RESPIRATORIA

CALI 2014
III CONGRESO
LATINOAMERICANO
De Cuidado Respiratorio

SOLACUR
SOCIEDAD LATINOAMERICANA
DE CUIDADOS RESPIRATORIOS

USC
UNIVERSIDAD
SANTIAGO
DE CALI

I CONGRESO
INTERNACIONAL
DE VENTILACIÓN MECÁNICA
AVANZADA E INVESTIGACIÓN EN
CUIDADO CARDIO RESPIRATORIO

**La Sociedad Latinoamericana de Cuidados Respiratorios
y La Universidad Santiago de Cali Programa de Terapia Respiratoria
Certifican**

YANNELY SERRANO

Participó como asistente al "III Tercer congreso Latinoamericano de Cuidado Respiratorio & I Congreso Internacional de Ventilación Mecánica Avanzada e Investigación en Cuidado Cardio Respiratorio"
Realizado en Santiago de Cali del 22 al 24 de Mayo de 2014, con una intensidad de 24 horas.


Jefferson Ocoró Montaña
Decano de la Facultad de Salud


Cristina Avendaño
Directora Programa de
Terapia Respiratoria


Gustavo Olguin
Presidente de SOLACUR

Anexo O. Productos académicos



USC
UNIVERSIDAD
SANTIAGO
DE CALI
TERAPIA
RESPIRATORIA

CALI
2014
III CONGRESO
LATINOAMERICANO
De Cuidado Respiratorio

SOLACUR
SOCIEDAD LATINOAMERICANA
DE CUIDADO RESPIRATORIO

USC
UNIVERSIDAD
SANTIAGO
DE CALI
I CONGRESO
INTERNACIONAL
DE VENTILACIÓN MECÁNICA
AVANZADA E INVESTIGACIÓN EN
CUIDADO CARDIO RESPIRATORIO

La Universidad Santiago de Cali Programa de Terapia Respiratoria
Certifica que:
Yannely Serrano

Participó en el I Congreso Internacional de Ventilación Mecánica Avanzada e Investigación en Cuidado Cardio Respiratorio en Modalidad de Poster
Realizado en Santiago de Cali del 22 al 24 de Mayo de 2014, con una intensidad de 24 horas.


Jefferson Ocoró Montaña
Decano de la Facultad de Salud


Cristina Avendaño
Directora Programa de
Terapia Respiratoria


Bellazmin
Coordinadora centro de estudios e
investigaciones en salud Directora,
Dpto de desarrollo humano y Rehabilitación
Facultad de salud