

# Prueba de reto bronquial con ejercicio. Recomendaciones y procedimiento

## Bronchial challenge test with exercise: Recommendations and procedure

Laura Gochicoa-Rangel,\* Juan Carlos Vázquez-García,\* Claudia Vargas-Domínguez,\*  
Mónica Velázquez-Uncal,\* Ramiro Martínez-Andrade,\* Isabel Salas-Escamilla,\* Anaid Bautista-Bernal,\*  
Mónica Silva-Cerón,\* Roberto Mejía-Alfaro,\* Luis Torre-Bouscoulet\*

\*Departamento de Fisiología Respiratoria,  
Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas. Ciudad de México.

**RESUMEN.** La prueba de reto bronquial con ejercicio (PRBE) permite evaluar el efecto del ejercicio sobre la función respiratoria medida mediante espirometría; con ello, es posible explorar si el ejercicio induce obstrucción bronquial. Esta prueba es particularmente útil en aquellos pacientes que presentan síntomas de obstrucción bronquial, pero cuya espirometría en reposo es normal, o bien, para pacientes que presentan síntomas respiratorios únicamente al realizar ejercicio. Aun cuando se han publicado las recomendaciones generales para llevar a cabo la PRBE, consideramos que existen aspectos técnicos y de interpretación que no están suficientemente definidos. Con el objetivo de mejorar el control de calidad y facilitar la realización de esta prueba, revisamos las recomendaciones internacionales en materia de este procedimiento y emitimos lineamientos locales que podrán contribuir a un mejor proceso de estandarización.

**Palabras clave:** Reto bronquial, ejercicio, función pulmonar, asma inducida por ejercicio, espirometría.

### Abreviaturas:

**AIE:** Asma inducida por ejercicio  
**ATS:** Sociedad Americana del Tórax  
**BIE:** Broncoconstricción inducida por ejercicio  
**CT:** Carga de trabajo  
**CVF:** Capacidad vital forzada  
**ECG:** Electrocardiograma  
**ERS:** Sociedad Europea Respiratoria  
**FCM:** Frecuencia cardíaca máxima  
**FEP:** Flujo espirado pico  
**IOS:** Oscilometría de impulso  
**PFR:** Pruebas de función respiratoria

**ABSTRACT.** The bronchial challenge test with exercise (BCTE) is designed to evaluate the effect of exercise on spirometric parameters, as it makes it possible to explore whether exercise induces bronchial obstruction. This test is particularly useful in those patients that present symptoms of bronchial obstruction but whose at-rest spirometry is normal, and in others who present respiratory symptoms only while doing exercise. Although general recommendations for conducting BCTE have been published, we consider that certain aspects related to the technique of test performance and interpretation of results are not sufficiently well defined. With the goal of improving quality control and facilitating test performance, this article reviews the existing international recommendations related to this procedure and presents guidelines that may contribute to achieving a better standardization process.

**Keywords:** Bronchial challenge, exercise, pulmonary function, exercise-induced asthma, spirometry.

**PRBE:** Prueba de reto bronquial con ejercicio

**SpO<sub>2</sub>:** Saturación de oxígeno por oximetría de pulso

**VEF<sub>0.5</sub>:** Volumen espirado forzado a la mitad del segundo

**VEF<sub>1</sub>:** Volumen espiratorio forzado en el primer segundo

## INTRODUCCIÓN

El proceso de estandarización para la realización e interpretación de las pruebas de función respiratoria (PFR) es motivo de interés para las diversas asociaciones respiratorias en el mundo;<sup>1-5</sup> una de ellas es la prueba de reto bronquial con ejercicio (PRBE).

La PRBE permite evaluar el efecto del ejercicio sobre los parámetros espirométricos, con ello, es posible explorar si el ejercicio induce obstrucción bronquial. Esta prueba es particularmente útil en pacientes que presentan síntomas de obstrucción bronquial (sibilancias, tos, disnea, opresión torácica), pero que tienen estudios de mecánica pulmonar normal en reposo y que no se comprueba respuesta

### Correspondencia:

**Dra. Laura Gochicoa-Rangel**

Departamento de Fisiología Respiratoria, Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas.

Calzada de Tlalpan Núm. 4502, colonia Sección XVI. 14080

Ciudad de México. Teléfono: +52-55-54871700, ext. 5160

Correo electrónico: gochis@dr.com

Trabajo recibido: 7-III-2012; aceptado: 17-VII-2012.

a broncodilatador; o bien, para pacientes que presentan síntomas respiratorios (el más frecuente es tos) únicamente al realizar ejercicio.<sup>2</sup>

En condiciones normales, el ejercicio no provoca obstrucción bronquial; sin embargo, en pacientes con asma, el ejercicio vigoroso causa broncoconstricción hasta en el 80% de ellos, aun y cuando las pruebas de función pulmonar en reposo son normales.<sup>6,7</sup> El principio bajo el cual se sustenta esta prueba, es que el aumento del volumen minuto secundario al incremento en las demandas metabólicas por el ejercicio, induce pérdida de agua en el epitelio bronquial, lo que «seca» y «enfía» el aire que entra y sale de la vía aérea y que conforma el volumen corriente. El aire seco y frío estimula la liberación de histamina y leucotrienos, ambas sustancias involucradas en la broncoconstricción.<sup>2,3</sup> Estudios longitudinales han demostrado que la hiperreactividad de la vía aérea al ejercicio o al aire frío en edades tempranas tiene implicaciones «predictoras» en el asma persistente durante la vida adulta.<sup>8</sup>

La estandarización de las PFR, al igual que para cualquier otra prueba diagnóstica, permite minimizar las fuentes de variación incrementando la precisión y la exactitud de la medición. El objetivo del proceso de estandarización es que la prueba se lleve a cabo de la misma manera, independientemente del lugar o de la persona que la realiza. Con la estandarización, los errores de clasificación se reducen. Un deficiente proceso de estandarización podría significar que una persona sea catalogada como «enferma» cuando no lo está (falsos positivos) o como «sana» cuando en realidad sí está «enferma» (falsos negativos). Nuestro grupo ha publicado previamente los procedimientos y recomendaciones de otras PFR que incluyen a la prueba de desaturación y a la prueba de titulación de oxígeno suplementario.<sup>9</sup>

Los puntos controversiales de la PRBE existen en relación con su ejecución; p. ej., algunos grupos recomiendan que la prueba sea realizada en una banda sin fin; mientras que otros autores recomiendan que sea en cicloergómetro. La selección entre uno u otro método dependerá de la edad del paciente y de sus condiciones físicas, así como de la infraestructura del laboratorio. Otro aspecto controversial son los tiempos para realizar las espirometrías, éstos pueden ser a los 5, 10, 15, 20 y 30 minutos después del ejercicio, o bien, al 1, 3, 5, 7, 10 y 15 minutos. Cuando se realizan bajo el protocolo de 30 minutos es para observar el nadir de la función pulmonar; por el contrario, el protocolo de 15 minutos permite detectar de forma más rápida a aquellos pacientes con asma inducida por el ejercicio. El proceso de interpretación también ha generado controversia, algunos grupos han manifestado que una disminución del 10% en el volumen espiratorio forzado al primer segundo (VEF<sub>1</sub>) es suficiente para considerar la prueba como positiva; mientras que otros han sugerido un criterio más estricto de 15%. En niños existen propuestas de una disminución de al menos 8%.<sup>1,2,6,10</sup>

Con el objetivo de mejorar la calidad y facilitar la realización de la PRBE, revisamos las recomendaciones internacionales en materia de este procedimiento y emitimos lineamientos locales que contribuyen a un mejor proceso de estandarización. Se mencionan las indicaciones y contraindicaciones, los recursos y características con las que debe contar un laboratorio de función respiratoria para su ejecución, la preparación e indicaciones para el paciente y describimos detalladamente el procedimiento, así como las directrices para su interpretación. Además, hacemos mención de algunas alternativas para evaluar funcionalmente a aquellos pacientes en quienes se dificulta la realización de la espirometría, principalmente en niños y adultos mayores.

## INDICACIONES

Las indicaciones de la PRBE<sup>1,2,5</sup> son: 1) diagnóstico de reacciones adversas al ejercicio (síntomatología sugestiva de hiperreactividad inducida por ejercicio); 2) historia clínica sugestiva de asma donde no se ha demostrado obstrucción en las pruebas estáticas; 3) en la evaluación de hiperreactividad bronquial en pacientes con prueba de reto con metacolina negativa y sin respuesta a broncodilatador; 4) en pacientes donde la hiperreactividad bronquial pueda interferir con las labores dedicadas a salvaguardar vidas (militares, policías, bomberos, etcétera); 5) evaluación de la respuesta bronquial al ejercicio en deportistas; 6) evaluación de la efectividad y dosificación de medicamentos para tratamiento de broncoespasmo inducido por ejercicio; 7) para evaluar el efecto de tratamientos instituidos; 8) para valorar la gravedad del broncoespasmo inducido por ejercicio; 9) evaluar el grado de hiperreactividad bronquial tras infecciones respiratorias o inmunizaciones recientes; 10) conocer el componente de hiperreactividad bronquial en enfermedades como fibrosis quística, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, sarcoidosis, enfermedades del tejido conectivo, etcétera; 11) estudiar la hiperreactividad bronquial secundaria a tabaco y otros irritantes, y 12) valoración de la hiperreactividad bronquial secundaria a enfermedades de la infancia, como fístula traqueoesofágica, displasia broncopulmonar, ventilación mecánica, etc.

Es conocido que el 10% de la población general sin asma y, alrededor del 30% de los adolescentes o atletas de alto rendimiento no asmáticos, pueden tener una PRBE positiva. En poblaciones expuestas a contaminantes, la prevalencia llega hasta un 64%; esto pone de manifiesto la importancia de realizar este estudio no sólo en aquellos pacientes asmáticos cuyas pruebas de función pulmonar estáticas son normales, sino también en cualquier individuo que presente sintomatología respiratoria al ejercitarse.<sup>11,12</sup>

Un aspecto importante con relación a las indicaciones es que al igual que otras pruebas de función respiratoria, la PRBE no debe realizarse con fines de escrutinio (*screening*), es decir, debe haber un juicio clínico acerca de la sintoma-

tología del paciente y de las pruebas estáticas para que ésta brinde información útil, tanto en términos de diagnóstico como de seguimiento. Un ejemplo de lo anterior, es que con frecuencia se solicita PRBE cuando el paciente no ha sido evaluado mediante una prueba estática o incluso ya se cuenta con una prueba estática que demostró obstrucción o respuesta a broncodilatador. Con mucho, la indicación más frecuente de la PRBE es para documentar obstrucción bronquial cuando la espirometría en reposo es normal y existen datos clínicos sugerentes de asma.

### CONTRAINDICACIONES

Las contraindicaciones absolutas en adultos son:<sup>2,5</sup> 1) limitación grave al flujo aéreo ( $VEF_1 < 50\%$  del esperado o  $< 1L$ ); 2) infarto del miocardio o enfermedad cerebrovascular en los últimos 3 meses; 3) hipertensión arterial no controlada (presión arterial sistólica  $> 180$  mmHg o diastólica  $> 100$  mmHg; 4) frecuencia cardíaca en reposo  $> 120$  latidos por minuto; 5) disnea ( $MRC \geq 4$ ); 6) aneurisma aórtico; 7) angina de pecho inestable, arritmias malignas, y 8) deformidades óseas o discapacidad para caminar.

Existen también algunas contraindicaciones relativas que incluyen: 1) limitación moderada al flujo aéreo ( $VEF_1 < 60\%$  del predicho o  $< 1.5 L$ ); 2) saturación de oxígeno por oximetría de pulso ( $SpO_2 < 88\%$ ); 3) imposibilidad para realizar una espirometría aceptable; 4) embarazo; 5) lactancia; 6) empleo de medicamentos inhibidores de colinesterasa; 7) limitaciones ortopédicas para hacer ejercicio; 8) enfermedades mentales o epilepsia que requieren tratamiento; 9) infección reciente de la vía aérea (4 a 6 semanas), y 10) en mayores de 60 años debe realizarse una evaluación para descartar enfermedades cardiovasculares graves.<sup>2</sup> La pertinencia de realizar la PRBE en presencia de contraindicaciones relativas dependerá de la evaluación que realice el personal médico del laboratorio.

En población pediátrica, las contraindicaciones son: 1) capacidad vital forzada (CVF)  $\leq 70\%$  de lo esperado,  $VEF_1 \leq 70\%$  o flujo espiratorio pico (FEP)  $\leq 60\%$  del esperado; 2) arritmias cardíacas; 3) enfermedades cardiovasculares no controladas; 4)  $SpO_2 \leq 90\%$ ; 5) presión arterial sistólica o diastólica por arriba de la percentila 95 para su edad y género (*Tablas 1 y 2*); y 6) frecuencia cardíaca por arriba de lo esperado para su edad (*Tabla 3*).<sup>3,10,13,14</sup>

**Tabla 1:** Percentilas de tensión arterial sistólica (TAS) y diastólica (TAD) en niños y jóvenes de 1-17 años según percentila de estatura.<sup>11</sup>

Edad	Percentila	TAS (mmHg)							TAD (mmHg)						
		Percentila de estatura							Percentila de estatura						
		5	10	25	50	75	90	95	5	10	25	50	75	90	95
1	50	80	81	83	85	87	88	89	34	35	36	37	38	39	39
	90	94	95	97	99	100	102	103	49	50	51	52	53	53	54
	95	98	99	101	103	104	106	106	54	54	55	56	57	58	58
	99	105	106	108	110	112	113	114	61	62	63	64	65	66	66
2	50	84	85	87	88	90	92	92	39	40	41	42	43	44	44
	90	97	99	100	102	104	105	106	54	55	56	57	58	58	59
	95	97	99	100	102	104	105	106	54	55	56	57	58	58	59
	99	109	110	111	113	115	117	117	66	67	68	69	70	71	71
3	50	86	87	89	91	93	94	95	44	44	45	46	47	48	48
	90	100	101	103	105	107	108	109	59	59	60	61	62	63	63
	95	104	105	107	109	110	112	113	63	63	64	65	66	67	67
	99	111	112	114	116	118	119	120	71	71	72	73	74	75	75
4	50	88	89	91	93	95	96	97	47	48	49	50	51	51	52
	90	102	103	105	107	109	110	111	62	63	64	65	66	66	67
	95	106	107	109	111	112	114	115	66	67	68	69	70	71	71
	99	113	114	116	118	120	121	122	74	75	76	77	78	78	79
5	50	90	91	93	95	96	98	98	50	51	52	53	54	55	55
	90	104	105	106	108	110	111	112	65	66	67	68	69	69	70
	95	108	109	110	112	114	115	116	69	70	71	72	73	74	74
6	99	115	116	118	120	121	123	123	77	78	79	80	81	81	82
	50	91	92	94	96	98	99	100	53	53	54	55	56	57	57
	90	105	106	108	110	111	113	113	68	68	69	70	71	72	72
	95	109	110	112	114	115	117	117	72	72	73	74	75	76	76
	99	116	117	119	121	123	124	125	80	80	81	82	83	84	84

**Tabla 1 (continuación):** Percentilas de tensión arterial sistólica (TAS) y diastólica (TAD) en niños y jóvenes de 1-17 años según percentila de estatura.<sup>11</sup>

Edad	Percentila	TAS (mmHg)							TAD (mmHg)						
		Percentila de estatura							Percentila de estatura						
		5	10	25	50	75	90	95	5	10	25	50	75	90	95
7	50	92	94	95	97	99	100	101	55	55	56	57	58	59	59
	90	106	107	109	111	113	114	115	70	70	71	72	73	74	74
	95	110	111	113	115	117	118	119	74	74	75	76	77	78	78
	99	117	118	120	122	124	125	126	82	82	83	84	85	86	86
8	50	94	95	97	99	100	102	102	56	57	58	59	60	60	61
	90	107	109	110	112	114	115	116	71	72	72	73	74	75	76
	95	111	112	114	116	118	119	120	75	76	77	78	79	79	80
	99	119	120	122	123	125	127	127	83	84	85	86	87	87	88
9	50	95	96	98	100	102	103	104	57	58	59	60	61	61	62
	90	109	110	112	114	115	117	118	72	73	74	75	76	76	77
	95	113	114	116	118	119	121	121	76	77	78	79	80	81	81
	99	120	121	123	125	127	128	129	84	85	86	87	88	88	89
10	50	97	98	100	102	103	105	106	58	59	60	61	61	62	63
	90	111	112	114	115	117	119	119	73	73	74	75	76	77	78
	95	115	116	117	119	121	122	123	77	78	79	80	81	81	82
	99	122	123	125	127	128	130	130	85	86	86	88	88	89	90
11	50	99	100	102	104	105	107	107	59	59	60	61	62	63	63
	90	113	114	115	117	119	120	121	74	74	75	76	77	78	78
	95	117	118	119	121	123	124	125	78	78	79	80	81	82	82
	99	124	125	127	129	130	132	132	86	86	87	88	89	90	90
12	50	101	102	104	106	108	109	110	59	60	61	62	63	63	64
	90	115	116	118	120	121	123	123	74	75	75	76	77	78	79
	95	119	120	122	123	125	127	127	78	79	80	81	82	82	83
	99	126	127	129	131	133	134	135	86	87	88	89	90	90	91
13	50	104	105	106	108	110	111	112	60	60	61	62	63	64	64
	90	117	118	120	122	124	125	126	75	75	76	77	78	79	79
	95	121	122	124	126	128	129	130	79	79	80	81	82	83	83
	99	121	130	131	133	135	136	137	87	87	88	89	90	91	91
14	95	109	110	112	114	115	117	117	72	72	73	74	75	76	76
	99	116	117	119	121	123	124	125	80	80	81	82	83	84	84
	95	124	125	127	128	130	132	132	80	80	81	82	83	84	84
	99	131	132	134	136	138	139	140	87	88	89	90	91	92	92
15	50	109	110	112	113	115	117	117	61	62	63	64	65	66	66
	90	122	124	125	127	129	130	131	76	77	78	79	80	81	81
	95	126	127	129	131	133	134	135	81	81	82	83	84	85	85
	99	134	135	136	138	140	142	142	88	89	90	91	92	93	93
16	50	111	112	114	116	118	119	120	63	63	64	65	66	67	67
	90	125	126	128	130	131	133	134	78	78	79	80	81	82	82
	95	129	130	132	134	135	137	137	82	83	83	84	85	86	87
	99	136	137	139	141	143	144	145	90	90	91	92	93	94	94
17	50	114	115	116	118	120	121	122	65	66	66	67	68	69	70
	90	127	128	130	132	134	135	136	80	80	81	82	83	84	84
	95	131	132	134	136	138	139	140	84	85	86	87	87	88	89
	99	139	140	141	143	145	146	147	92	93	93	94	95	96	97

**Tabla 2:** Percentilas de tensión arterial sistólica (TAS) y diastólica (TAD) en niñas y jóvenes de 1-17 años según percentila de estatura.<sup>11</sup>

Edad	Percentila	TAS, mmHg							TAD, mmHg						
		Percentila de la estatura							Percentila de la estatura						
		5	10	25	50	75	90	95	5	10	25	50	75	90	95
1	50	83	84	85	86	88	89	90	38	39	39	40	41	41	42
	90	97	97	98	100	101	102	103	52	53	53	54	55	55	56
	95	100	101	102	104	105	106	107	56	57	57	58	59	59	60
	99	108	108	109	111	112	113	114	64	64	65	65	66	67	67
2	50	85	85	87	88	89	91	91	43	44	44	45	46	46	47
	90	98	99	100	101	103	104	105	57	58	58	59	60	61	61
	95	102	103	104	105	107	108	109	61	62	62	63	64	65	65
	99	109	110	111	112	114	115	116	69	69	70	70	71	72	72
3	50	86	87	88	89	91	92	93	47	48	48	49	50	50	51
	90	100	100	102	103	104	106	106	61	62	62	63	64	64	65
	95	104	104	105	107	108	109	110	65	66	66	67	68	68	69
	99	111	111	113	114	115	116	117	73	73	74	74	75	76	76
4	50	88	88	90	91	92	94	94	50	50	51	52	52	53	54
	90	101	102	103	104	106	107	108	64	64	65	66	67	67	68
	95	105	106	107	108	110	111	112	68	68	69	70	71	71	72
	99	112	113	114	115	117	118	119	76	76	76	77	78	79	79
5	50	89	90	91	93	94	95	96	52	53	53	54	55	55	56
	90	103	103	105	106	107	109	109	66	67	67	68	69	69	70
	95	107	107	108	110	111	112	113	70	71	71	72	73	73	74
	99	114	114	116	117	118	120	120	78	78	79	79	80	81	81
6	50	91	92	93	94	96	97	98	54	54	55	56	56	57	58
	90	104	105	106	108	109	110	111	68	68	69	70	70	71	72
	95	108	109	110	111	113	114	115	72	72	73	74	74	75	76
	99	115	116	117	119	120	121	122	80	80	80	81	82	83	83
7	50	93	93	95	96	97	99	99	55	56	56	57	58	58	59
	90	106	107	108	109	111	112	113	69	70	70	71	72	72	73
	95	110	111	112	113	115	116	116	73	74	74	75	76	76	77
	99	117	118	119	120	122	123	124	81	81	82	82	83	84	84
8	50	95	95	96	98	99	100	101	57	57	57	58	59	60	60
	90	108	109	110	111	113	114	114	71	71	71	72	73	74	74
	95	112	112	114	115	116	118	118	75	75	75	76	77	78	78
	99	119	120	121	122	123	125	125	82	82	83	83	84	85	86
9	50	96	97	98	100	101	102	103	58	58	58	59	60	61	61
	90	110	110	112	113	114	116	116	72	72	72	73	74	75	75
	95	114	114	115	117	118	119	120	76	76	76	77	78	79	79
	99	121	121	123	124	125	127	127	83	83	84	84	85	86	87
10	50	98	99	100	102	103	104	105	59	59	59	60	61	62	62
	90	112	112	114	115	116	118	118	73	73	73	74	75	76	76
	95	116	116	117	119	120	121	122	77	77	77	78	79	80	80
	99	123	123	125	126	127	129	129	84	84	85	86	86	87	88
11	50	100	101	102	103	105	106	107	60	60	60	61	62	63	63
	90	114	114	116	117	118	119	120	74	74	74	75	76	77	77
	95	118	118	119	121	122	123	124	78	78	78	79	80	81	81
	99	125	125	126	128	129	130	131	85	85	86	87	87	88	89
12	50	102	103	104	105	107	108	109	61	61	61	62	63	64	64
	90	116	116	117	119	120	121	122	75	75	75	76	77	78	78
	95	119	120	121	123	124	125	126	79	79	79	80	81	82	82
	99	127	127	128	130	131	132	133	86	86	87	88	88	89	90

**Tabla 2 (continuación):** Percentilas de tensión arterial sistólica (TAS) y diastólica (TAD) en niñas y jóvenes de 1-17 años según percentila de estatura.<sup>11</sup>

Edad	Percentila	TAS (mmHg) Percentila de la estatura							TAD (mmHg) Percentila de la estatura						
		5	10	25	50	75	90	95	5	10	25	50	75	90	95
13	50	104	105	106	107	109	110	110	62	62	62	63	64	65	65
	90	117	118	119	121	122	123	124	76	76	76	77	78	79	79
	95	121	122	123	124	126	127	128	80	80	80	81	82	83	83
	99	128	129	130	132	133	134	135	87	87	88	89	89	90	91
14	50	106	106	107	109	110	111	112	63	63	63	64	65	66	66
	90	119	120	121	122	124	125	125	77	77	77	78	79	80	80
	95	123	123	125	126	127	129	129	81	81	81	82	83	84	84
	99	130	131	132	133	135	136	136	88	88	89	90	90	91	92
15	50	107	108	109	110	111	113	113	64	64	64	65	66	67	67
	90	120	121	122	123	125	126	127	78	78	78	79	80	81	81
	95	124	125	126	127	129	130	131	82	82	82	83	84	85	85
	99	131	132	133	134	136	137	138	89	89	90	91	91	92	93
16	50	108	108	110	111	112	114	114	64	64	65	66	66	67	68
	90	121	122	123	124	126	127	128	78	78	79	80	81	81	82
	95	125	126	127	128	130	131	132	82	82	83	84	85	85	86
	99	132	133	134	135	137	138	139	90	90	90	91	92	93	93
17	50	108	109	110	111	113	114	115	64	65	65	66	67	67	68
	90	122	122	123	125	126	127	128	78	79	79	80	81	81	82
	95	125	126	127	129	130	131	132	82	83	83	84	85	85	86
	99	133	133	134	136	137	138	139	90	90	91	91	92	93	93

**Tabla 3:** Percentilas de frecuencia cardíaca normal en niños y jóvenes según edad.<sup>10,18</sup>

Edad (años/ meses)	Percentila 1	Percentila 10	Percentila 25	Percentila 75	Percentila 90	Percentila 99	Media
1 año	91.8	106.6	115.6	135.1	143.2	158.9	125.9
1 año 3 meses	88.4	103.3	112.4	131.9	140.6	155.8	122.6
1 año 6 meses	84.8	100.4	109.0	128.6	137.7	152.6	119.3
1 año 9 meses	82.1	97.8	106.0	125.4	134.5	149.0	116.2
2 años	79.6	95.3	103.4	122.7	131.8	146.1	113.5
2 años 3 meses	77.6	93.3	101.3	120.5	129.7	143.8	111.2
2 años 6 meses	75.8	91.6	99.5	118.7	127.9	141.9	109.4
2 años 9 meses	74.2	90.1	97.9	117.1	126.4	140.3	107.7
3 años	72.8	88.7	96.5	115.7	125.0	138.9	106.2
3 años 3 meses	71.5	87.5	95.3	114.4	123.8	137.6	104.9
3 años 6 meses	70.4	86.4	94.1	113.3	122.7	136.5	103.7
3 años 9 meses	69.4	85.4	93.2	112.3	121.7	135.4	102.7
4 años	68.5	84.5	92.2	111.3	120.8	134.4	101.7
4 años 3 meses	67.7	83.7	91.4	110.5	119.9	133.5	100.8
4 años 6 meses	67.0	82.8	90.6	109.6	119.0	132.5	99.9
4 años 9 meses	66.2	82.0	89.8	108.7	118.2	131.6	99.1
5 años	65.5	81.2	89.0	107.9	117.3	130.7	98.2
5 años 3 meses	64.7	80.4	88.1	107.0	116.5	129.7	97.4
5 años 6 meses	63.9	79.5	87.3	106.1	115.6	128.8	96.5
5 años 9 meses	63.1	78.7	86.4	105.2	114.7	127.9	95.6
6 años	62.3	77.8	85.6	104.3	113.9	126.9	94.7
6 años 3 meses	61.4	77.0	84.7	103.5	113.0	126.0	93.8

**Tabla 3 (continuación):** Percentilas de frecuencia cardíaca normal en niños y jóvenes según edad.<sup>10,18</sup>

Edad (años/ meses)	Percentila 1	Percentila 10	Percentila 25	Percentila 75	Percentila 90	Percentila 99	Media
6 años 6 meses	60.6	76.1	83.9	102.6	112.2	125.1	93.0
6 años 9 meses	59.9	75.3	83.1	101.8	111.4	124.2	92.1
7 años	59.1	74.5	82.3	100.9	110.6	123.4	91.3
7 años 3 meses	58.4	73.8	81.5	100.1	109.8	122.5	90.6
7 años 6 meses	57.7	73.0	80.8	99.4	109.0	121.7	89.8
7 años 9 meses	57.1	72.4	80.1	98.6	108.3	120.9	89.1
8 años	56.4	71.7	79.4	97.9	107.6	120.1	88.4
8 años 3 meses	55.9	71.1	78.8	97.2	106.9	119.4	87.7
8 años 6 meses	55.3	70.5	78.2	96.6	106.2	118.7	87.1
8 años 9 meses	54.8	69.9	77.6	95.9	105.5	118.0	86.4
9 años	54.3	69.3	77.0	95.3	104.9	117.3	85.8
9 años 3 meses	53.7	68.8	76.5	94.7	104.3	116.6	85.3
9 años 6 meses	53.3	68.3	75.9	94.1	103.7	116.0	84.7
9 años 9 meses	52.8	67.8	75.4	93.5	103.1	115.4	84.2
10 años	52.3	67.3	74.9	93.0	102.6	114.8	83.6
10 años 3 meses	51.9	66.9	74.4	92.5	102.0	114.2	83.1
10 años 6 meses	51.5	66.4	73.9	92.0	101.5	113.7	82.6
10 años 9 meses	51.0	66.0	73.5	91.5	101.0	113.2	82.2
11 años	50.6	65.6	73.0	91.0	100.5	112.7	81.7
11 años 3 meses	50.2	65.2	72.6	90.5	100.0	112.2	81.2
11 años 6 meses	49.8	64.8	72.2	90.1	99.6	111.7	80.8
11 años 9 meses	49.5	64.4	71.7	89.7	99.1	111.2	80.4
12 años	49.1	64.0	71.3	89.2	98.7	110.8	80.0
12 años 3 meses	48.7	63.6	71.0	88.8	98.2	110.3	79.6
12 años 6 meses	48.4	63.3	70.6	88.4	97.8	109.9	79.2
12 años 9 meses	48.0	62.9	70.2	88.0	97.4	109.5	78.8
13 años	47.7	62.6	69.8	87.6	97.0	109.1	78.4
13 años 3 meses	47.3	62.2	69.5	87.2	96.6	108.6	78.0
13 años 6 meses	47.0	61.9	69.1	86.9	96.2	108.2	77.6
13 años 9 meses	46.6	61.5	68.7	86.5	95.8	107.8	77.3
14 años	46.3	61.2	68.4	86.1	95.4	107.4	76.9
14 años 3 meses	46.0	60.9	68.0	85.7	95.0	107.1	76.5
14 años 6 meses	45.6	60.5	67.7	85.4	94.7	106.7	76.2
14 años 9 meses	45.3	60.2	67.3	85.0	94.3	106.3	75.8
15 años	45.0	59.9	67.0	84.7	93.9	105.9	75.4
15 años 3 meses	44.6	59.6	66.7	84.3	93.5	105.5	75.1
15 años 6 meses	44.3	59.2	66.3	84.0	93.1	105.2	74.7
15 años 9 meses	44.0	58.9	66.0	83.6	92.8	104.8	74.4
16 años	43.7	58.6	65.7	83.3	92.4	104.4	74.0
16 años 3 meses	43.4	58.3	65.3	82.9	92.0	104.1	73.7
16 años 6 meses	43.1	58.0	65.0	82.6	91.7	103.7	73.4
16 años 9 meses	42.8	57.6	64.7	82.3	91.3	103.4	73.1
17 años	42.5	57.3	64.4	82.0	91.0	103.0	72.7
17 años 3 meses	42.2	57.0	64.1	81.7	90.6	102.7	72.4
17 años 6 meses	41.9	56.7	63.8	81.3	90.3	102.4	72.1
17 años 9 meses	41.6	56.4	63.5	81.0	90.0	102.1	71.8
18 años	41.3	56.1	63.2	80.7	89.7	101.8	71.5



## COMPLICACIONES

Las complicaciones son poco frecuentes y pueden presentarse durante el estudio o al término del mismo. Estas incluyen: espasmo glótico o coronario, disnea, dolor torácico, sibilancias, alteraciones en el electrocardiograma, disminución de la tensión arterial y disminución grave de la saturación de oxígeno.<sup>5</sup>

## RECURSOS MATERIALES PARA REALIZAR EL ESTUDIO

La prueba es realizada a través de una banda sin fin (para permitir aumentar progresivamente la velocidad y la inclinación), o en bicicleta (cuya resistencia es controlada de manera electrónica). Los recursos para realizar el estudio son:

1. Banda sin fin con indicador de velocidad e inclinación o cicloergómetro con indicador de watts.
2. Cronómetro.
3. Espirómetro con boquillas y filtros desechables.
4. Oxímetro de pulso.
5. Baumanómetro.
6. Electrocardiógrafo.
7. Carro de paro.
8. Estación meteorológica.
9. Pinzas nasales.
10. Salbutamol en inhalador de dosis medida (100 µg por atomización) y cámara de reservorio (espaciador) con un volumen recomendado al menos de 300 mL.
11. Salbutamol en solución para nebulizar y nebulizador tipo jet con circuito, depósito y mascarilla para nebulizar.
12. Báscula, estadímetro y cinta métrica para medición de extensión de brazos cuando se requiera.
13. Computadora e impresora.
14. Aditamentos para control de infecciones: a) acceso a lavado de manos y gel-alcohol, b) guantes desechables, c) anteojos de protección, d) cubrebocas quirúrgicos para protección general y cuando se requiera cubrebocas N95 con fuga menor al 10% y una eficiencia de filtrado de > 95% a un flujo de 50 L/min y e) cuando se realice espirometría con circuito cerrado, filtros en línea desechables con eficiencia de > 99% para filtración de virus, bacterias y micobacterias, espacio muerto < 100 mL y resistencia menor 1.5 cm H<sub>2</sub>O a un flujo de 6 L/s.

El espirómetro debe estar calibrado y reunir las recomendaciones técnicas internacionales emitidas por la Sociedad Americana del Tórax (ATS) y la Sociedad Europea Respiratoria (ERS).<sup>15</sup>

## INSTRUCCIÓN PARA EL PACIENTE ANTES DE LA PRUEBA

Cuando el paciente acude a solicitar cita para el estudio, se le deben entregar por escrito las indicaciones para la prueba, a saber: 1) acudir al laboratorio con ropa y calzado adecuados, preferentemente ropa deportiva y tenis; 2) haber consumido un desayuno ligero; 3) haber suspendido los medicamentos y alimentos señalados en la *Tabla 4*; 4) no haber realizado ejercicio vigoroso 4 horas previas al estudio; 5) evitar tabaquismo al menos 2 horas antes de la prueba, y 6) no usar prendas restrictivas de tórax o abdomen como chalecos, corsés o ropa muy ajustada.

**Tabla 4:** Medicamentos, alimentos y otros factores que alteran la dinámica bronquial y que deberán suspenderse antes del estudio.

Factores	Intervalo de tiempo mínimo en la última dosis
<b>Medicamentos</b>	
<i>Broncodilatadores inhalados:</i>	
De acción corta (salbutamol, terbutalina, isoproterenol, isoetarina y metaproterenol)	8 horas
De acción intermedia (bromuro de ipratropio)	24 horas
De acción prolongada (salmeterol, formoterol, tiotropio)	48 horas; para tiotropio 1 semana
<i>Broncodilatadores vía oral:</i>	
Teofilina, beta 2 agonistas de acción corta	12 horas
Teofilina de acción intermedia, beta 2 agonistas de acción prolongada	24 horas
Teofilina de acción prolongada	48 horas
Cromoglicato de sodio	8 horas
Nedocromil	48 horas
Cetirizina o hidroxizina	3 días
Modificadores de leucotrienos	24 horas
<b>Alimentos:</b> Café, chocolate, refrescos de cola	El día del estudio
<b>Humo de tabaco</b>	2 horas
<b>Vacunas virales</b> (virus vivos atenuados)	3-6 semanas
<b>Infecciones virales respiratorias</b>	6 semanas



## PREPARACIÓN DEL EQUIPO Y DEL LUGAR ANTES DE LA PRUEBA

Para realizar la PRBE deben cumplirse condiciones tanto del equipo de medición como del medio ambiente:

1. El espirómetro debe prepararse y calibrarse de acuerdo a las recomendaciones en el procedimiento para espirometría.<sup>15</sup>
2. Verificar las condiciones climatológicas:
  - Temperatura ambiental entre 20 y 25 °C.
  - Humedad relativa  $\leq 50\%$ .
3. Verificar el buen funcionamiento de la banda sin fin o del cicloergómetro.
4. Verificar el buen funcionamiento de todos los equipos a utilizar (oxímetro, monitores cardiacos y baumanómetro).
5. Contar con la escala MRC y de Borg modificada para adultos y niños (Tabla 5 y Figura 1).

## PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR LA PRBE

Una vez que el sensor de flujo ha sido calibrado y se ha verificado que las condiciones ambientales son las idóneas, se efectúa la prueba de acuerdo con las siguientes instrucciones:

1. Preséntese con el paciente o su familiar y revise la solicitud.
2. Verifique el nombre completo y edad del paciente, así como el número de registro hospitalario.
3. Revise que no existan contraindicaciones para la prueba, y en caso de identificar alguna, informe al personal médico del laboratorio (Tabla 6).
4. Cerciórese que el paciente:
  - No haya fumado en las 2 horas previas.
  - No haya realizado ejercicio intenso en las 4 horas previas.
  - No haya utilizado medicamentos broncodilatadores; en caso de alguna respuesta afirmativa, informe al personal médico del laboratorio.
5. El técnico explicará al paciente el objetivo del procedimiento, la frase más sencilla y recomendada es la siguiente: *La espirometría es una prueba de soplar que sirve para medir el tamaño de los pulmones y saber si existe o no obstrucción de sus bronquios. Realizaremos una espirometría antes y una después de realizar ejercicio. Al inicio, el ejercicio será ligero y lentamente se irá haciendo más intenso. Durante el ejercicio le preguntaremos si tiene falta de aire. Si usted considera que ya no puede continuar, le pedimos nos lo comuniqué para detener la prueba. Posterior a unos minutos, procederemos a realizar nuevas espirometrías y si observamos*

Tabla 5: Escala de Borg para disnea y fatiga en adultos.<sup>19</sup>

0	Ninguna
0.5	Muy, muy leve (apenas perceptible)
1	Muy leve
2	Leve
3	Moderada
4	Algo intensa
5	Intensa
6	
7	Muy intensa
8	
9	Muy, muy intensa (casi máxima)
10	Máxima

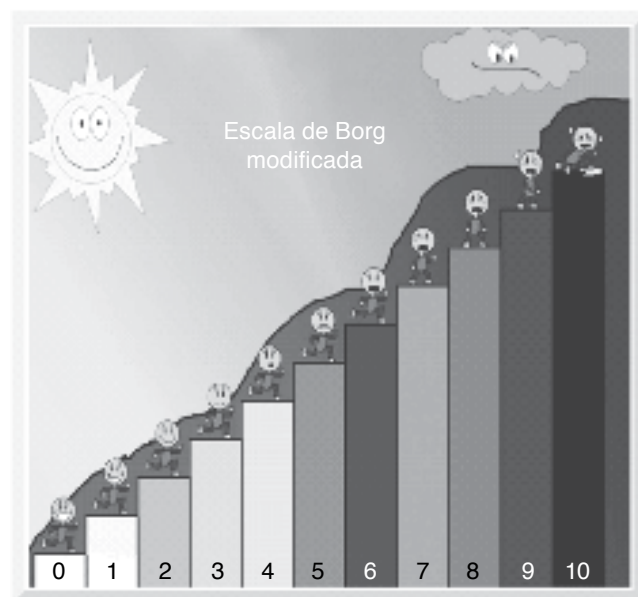


Figura 1: \*Escala de Borg modificada para niños.<sup>20</sup>

\* Se reproduce con autorización del Dr. Luis Vega-Briceño, Editor de la revista *Neumología Pediátrica*: Zenteno D, Puppo H, González R, Kogan R. Test de marcha de 6 minutos en pediatría. *Neumol Pediatr* 2007;2:109-114.

que existe obstrucción en sus bronquios, procederemos a administrar un medicamento llamado salbutamol, el cual es un broncodilatador; esperaremos unos minutos y volveremos a repetir la prueba para ver si mejora con la administración del medicamento; si durante el estudio usted siente que le falta el aire, dolor en el pecho, calambres o mareo, le pido que me avise para detener el estudio.

**Tabla 6:** Contraindicaciones para realizar la PRBE.

Contraindicaciones		
Adultos		
Absolutas	Relativas	Niños
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>FEV_1 &lt; 50\%</math> del esperado o <math>&lt; 1L</math></li> <li>• Infarto del miocardio o enfermedad cerebrovascular en los últimos 3 meses</li> <li>• Presión arterial sistólica <math>&gt; 180</math> mmHg o diastólica <math>&gt; 100</math> mmHg</li> <li>• Frecuencia cardíaca en reposo <math>&gt; 120</math> latidos por minuto</li> <li>• Disnea (<math>MRC \geq 4</math>)</li> <li>• Conocimiento de aneurisma aórtico</li> <li>• Pacientes con isquemia cardíaca, angina de pecho inestable y arritmias malignas</li> <li>• Pacientes con deformidades óseas o discapacidad para caminar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>FEV_1 &lt; 60\%</math> del predicho o <math>&lt; 1.5L</math></li> <li>• <math>SpO_2 &lt; 88\%</math></li> <li>• Imposibilidad para realizar una espirometría aceptable</li> <li>• Embarazo; madres lactando</li> <li>• Empleo de medicamentos inhibidores de colinesterasa</li> <li>• Limitaciones ortopédicas para hacer ejercicio</li> <li>• Enfermedades mentales</li> <li>• En mayores de 60 años se debe realizar una evaluación para descartar enfermedades cardiovasculares graves</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>FVC \leq 70\%</math>, <math>FEV_1 \leq 70\%</math> o <math>PEF \leq 60\%</math> del esperado</li> <li>• Arritmias en el ECG</li> <li>• Enfermedades cardiovasculares no controladas</li> <li>• <math>SPO_2 \leq 90\%</math></li> <li>• Presión arterial sistólica o diastólica por arriba de la percentila 95 para su edad y género</li> </ul>

- El técnico procederá a medir, pesar y hacer el registro del paciente. La estatura se mide en centímetros y con el individuo sin zapatos, en posición completamente erguida, talones juntos y mirando al frente. Para la medición de estatura es recomendable el uso de estadiómetros. El peso se mide en una báscula calibrada y se registra en kilogramos en unidades cerradas al 0.5 kg más cercano. La edad se registra en años cumplidos al día de la prueba.
- Una vez registrados los datos del paciente y habiéndole explicado el objetivo y la forma en que se realizará el estudio, se obtendrá y se registrará la frecuencia cardíaca máxima (FCM) del paciente, mediante la siguiente fórmula:

$$FCM = (220 - \text{edad en años})$$

- Calcular el 80% de la FCM, ya que ésta es la meta a la cual debemos llevar al paciente durante la prueba. Para ello, se multiplicará la FCM  $\times 0.8$ , de tal forma que la FCM al 80% =  $(220 - \text{edad}) \times 0.8$ .
- Además de obtener la FCM y el 80% de FCM, también hay que obtener y registrar la tensión arterial basal, así como la saturación de oxígeno y el grado de disnea y fatiga mediante la escala de Borg. No habiendo ninguna contraindicación, se procede a realizar el estudio.

Los pasos para realizar el estudio son:

- Se realiza la espirometría basal, la cual debe contar con los criterios de aceptabilidad y repetibilidad de acuerdo a lo informado por la ATS 2005;<sup>15</sup> al menos 2 esfuerzos

aceptables y con repetibilidad en CVF y  $VEF_1 < 150$  mL y máximo 200 mL. En el caso de preescolares, se deberán utilizar los criterios ATS/ERS 2007,<sup>16</sup> 2 esfuerzos aceptables y con repetibilidad CVF,  $VEF_1$  y  $VEF_{0.5} < 100$  mL o 10%.

- Si el  $VEF_1/CVF$  está por debajo del límite inferior de la normalidad o el  $VEF_1 < 75\%$  del esperado, deberá avisarse al médico responsable del laboratorio para definir si se procede a aplicar broncodilatador o a realizar el estudio.
- Siempre hay que utilizar un clip nasal durante la realización de la prueba.
- Durante el tiempo que dure el estudio, se monitorizará la saturación de oxígeno, el pulso y el grado de disnea mediante la escala de Borg.

Si la prueba se va a realizar en banda sin fin:

- Se solicita al paciente subir a la banda y se inicia la prueba, registrando minuto a minuto los parámetros de frecuencia cardíaca, oximetría de pulso y grado de disnea en el formato correspondiente a la prueba (Tabla 7).
- Se incrementa paulatinamente la velocidad y la inclinación de la banda de acuerdo al protocolo mostrado en la Tabla 8.
- Una vez que la velocidad y la inclinación están en cero, se solicita al paciente bajar de la banda y sentarse en una silla. Se realizan espirometrías en los siguientes tiempos:

- Al minuto después de haber terminado el ejercicio

y a los 5, 10, 15, 20 y 30 minutos posteriores a la prueba.

d. Si durante el estudio, el paciente presenta alguna de las siguientes situaciones debe detenerse el estudio:

- I. Disnea intolerable.
- II. Dolor torácico.
- III. «Calambres» en miembros pélvicos.
- IV. Palidez o apariencia de desvanecimiento inminente.
- V. Que alcance su frecuencia cardíaca máxima.
- VI. Que la saturación de oxígeno se encuentre < 88%

por un minuto o < 85% por 15 segundos.<sup>17</sup>

VII. Que el paciente lo solicite.

Si se presenta alguna de estas situaciones, suspenda la prueba, acerque una silla al paciente y avise inmediatamente al personal médico del laboratorio.

e. Cada vez que se realiza la espirometría, se debe evaluar si ha disminuido la CVF o el VEF<sub>1</sub>. Una caída del 10% o más en VEF<sub>1</sub> define a la prueba como «positiva». El porcentaje de disminución de VEF<sub>1</sub> se calcula de la siguiente manera:

**Tabla 7:** Hoja de registro minuto a minuto de la prueba de reto bronquial con ejercicio en banda.

Nombre del paciente: _____		Fecha: _____	Expediente: _____			
FCM: _____		80% de FCM: _____	Motivo de la prueba: _____			
Temperatura ambiental: _____		Humedad relativa ambiental: _____				

Tiempo	Velocidad (km/h)	Inclinación (%)	FC	SatO <sub>2</sub>	Disnea	TA
0 (Basal)	0	0				
Primeros 60 seg	Avanzar de 0 a 2.4	5				
Minuto 2	Avanzar de 2.4 a 4.8	10				
Minuto 3	4.8	15				
Minuto 4	4.8	20				
Minuto 5	4.8	20				
Minuto 6	4.8	20				
Minuto 7	4.8	20				
Minuto 8	4.8	20				
Al término de la prueba se disminuye la velocidad y la inclinación paulatinamente hasta llegar a cero, esto debe realizarse en un minuto						
Minuto 9	0	0				

\* FCM: Frecuencia cardíaca máxima.

Comentarios: \_\_\_\_\_

Interpretación: \_\_\_\_\_

**Tabla 8:** Protocolo de la prueba de reto bronquial en banda sin fin.

Fases	Tiempo en minutos	Velocidad (km/h)	Inclinación (%)	Observaciones
1	0	0	0	El paciente está parado sobre la banda
2	2 a 3	De 0 a 4.8	De 0 a 15-20 grados	Durante estos primeros 3 minutos se van aumentando paulatinamente la velocidad y la inclinación hasta que el paciente alcance el 80-90% de su FCM. Tanto la velocidad como la inclinación sólo se aumentan hasta el máximo señalado
3	4	4.8	15-20	Una vez alcanzado el 80% de la FCM, el paciente continúa a esa velocidad e inclinación durante 4 minutos más
4	1	De 4.8 a 0	De 15-20 a 0	En un lapso de un minuto se bajan paulatinamente la velocidad y la inclinación hasta cero

Si no llega al 80-90% de la FCM en el tiempo estipulado, se deja al paciente 4-6 minutos con la velocidad e inclinación de 4.8 km/h y 20 grados, respectivamente.

$$\% \text{ de caída} = \frac{\text{VEF}_1 \text{ preejercicio} - \text{VEF}_1 \text{ postejercicio}}{\text{VEF}_1 \text{ preejercicio}} \times 100$$

El  $\text{VEF}_1$  para la ecuación señalada debe expresarse en litros.

Aun cuando observemos que existe una disminución de 10% debemos continuar las espirometrías hasta los 30 minutos, o al presentarse una caída de más del 15%, ya que en ocasiones el paciente no ha alcanzado el nadir de  $\text{VEF}_1$  y no puede graduarse qué tan grave es la obstrucción.

- f. Si el paciente presenta obstrucción y la prueba fue positiva, hay que aplicar salbutamol nebulizado (0.05-0.5  $\mu\text{g/kg}$ ) o en aerosol (con una cámara espaciadora: 400

$\mu\text{g}$  en adultos y 200  $\mu\text{g}$  en niños) y repetir la prueba 20 minutos después de su aplicación para corroborar que exista reversibilidad hasta llegar a su basal. Si el paciente continúa con disnea o no ha revertido el valor de  $\text{VEF}_1$ , se deberá repetir nuevamente la dosis de broncodilatador y repetir la prueba 20 minutos después. En caso de no existir mejoría, se debe dar aviso al responsable médico del laboratorio.

*Si la prueba se realiza en cicloergómetro:*

- a. Solicitar al paciente que suba al cicloergómetro e iniciar la prueba registrando minuto a minuto los parámetros de frecuencia cardíaca, oximetría de pulso y grado de disnea

**Tabla 9:** Hoja de registro minuto a minuto de la prueba de reto bronquial con cicloergómetro.

Nombre del paciente: _____	Fecha: _____	Expediente: _____
Motivo de la prueba: _____		
Carga de trabajo (watts): _____	FCM: _____	80% de FCM: _____
Temperatura ambiental: _____	Humedad relativa ambiental: _____	

Tiempo	Watts (%)	FCM	SatO <sub>2</sub>	Disnea	TA
0 (Basal)	0				
Primeros 60 seg	60				
Minuto 2	75				
Minuto 3	90				
Minuto 4	100				
Minuto 5	100				
Minuto 6	100				
Minuto 7	100				
Al término de la prueba se disminuye la carga de trabajo paulatinamente hasta llegar a cero; esto debe realizarse en un minuto.					
Minuto 8	0				

\* FCM: Frecuencia cardíaca máxima.

Comentarios: \_\_\_\_\_

Interpretación: \_\_\_\_\_

**Tabla 10:** Protocolo de la prueba de reto bronquial en cicloergómetro.

Fases	Tiempo en minutos	Carga de trabajo (watts) (%)	Observaciones
1	0	0	El paciente está sentado en el cicloergómetro
2	1	60	La prueba se inicia con 60% de la carga calculada
3	1	75	Se aumenta de 60 a 75% y se sostiene por 1 minuto
4	1	90	Se aumenta de 75 a 90% y se sostiene por 1 minuto
5	4	100	Se llega al 100% de la carga calculada y así se mantiene durante 4 minutos
6	1	De 100 a 0	Se disminuye la carga paulatinamente hasta llegar a cero

en el formato correspondiente a la prueba (Tabla 9).

- b. Se utilizará la carga de trabajo (CT) medido en watts en lugar de la frecuencia cardíaca, el cálculo de la CT que debe alcanzarse se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\text{I. CT (en watts)} = [\text{VEF}_1 \text{ (en litros)} \times 53.76] - 11.07$$

- c. Se inicia la prueba con el 60% de la carga calculada durante el primer minuto, 75% durante el segundo minuto, 90% durante el tercer minuto y 100% en el cuarto minuto, y así se mantendrá en el resto de la prueba (Tabla 10). Los porcentajes de carga se realizan mediante la siguiente fórmula:

$$\text{I. 60\% de carga calculada} = [(\text{VEF}_1 \times 53.76) - 11.07] \times 0.6$$

$$\text{II. 75\% de carga calculada} = [(\text{VEF}_1 \times 53.76) - 11.07] \times 0.75$$

$$\text{III. 90\% de carga calculada} = [(\text{VEF}_1 \times 53.76) - 11.07] \times 0.9$$

- d. La prueba termina cuando el paciente se ejercitó por 4 minutos en el 100% de su CT.<sup>10</sup> En ese momento, se le pide que disminuya la velocidad paulatinamente hasta llegar a cero.
- e. Durante el estudio hay vigilar al paciente por si llegará a presentar alguna de las siguientes situaciones, en cuyo caso debe detenerse:

- I. Disnea intolerable.
- II. Dolor torácico.
- III. «Calambres» en miembros pélvicos.
- IV. Palidez o apariencia de desvanecimiento inminente.
- V. Que la saturación de oxígeno se encuentre < 88% por un minuto o < 85% por 15 segundos.<sup>17</sup>
- VI. Que el paciente lo solicite.

Si se presenta alguna de estas situaciones, suspenda la prueba, acerque una silla al paciente y avise inmediatamente al personal médico del laboratorio.

- f. Una vez que la velocidad está en cero, se solicita al paciente bajar de la bicicleta y siéntelo en una silla. Se realizan espirometrías en los siguientes tiempos: Al minuto después de haber terminado el ejercicio y a los 5, 10, 15, 20 y 30 minutos posteriores a la prueba.
- g. Cada vez que se realiza la espirometría, evalúe si ha disminuido la CVF o el VEF<sub>1</sub>. Una caída del 10% o más en VEF<sub>1</sub> define a la prueba como «positiva». El porcentaje de disminución de VEF<sub>1</sub> se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ de caída} = \frac{\text{VEF}_1 \text{ preejercicio} - \text{VEF}_1 \text{ postejercicio}}{\text{VEF}_1 \text{ preejercicio}} \times 100$$

El VEF<sub>1</sub> para la ecuación señalada se expresa en litros. Aun cuando observemos que existe una disminución de 10% en el VEF<sub>1</sub>, se deben continuar las espirometrías hasta los 30 minutos o al presentarse una caída

de más del 15%, ya que en ocasiones el paciente no ha alcanzado el nadir de VEF<sub>1</sub> y no puede graduarse qué tan grave es la obstrucción.

- h. Si el paciente presenta obstrucción y la prueba fue positiva, se debe aplicar salbutamol nebulizado (0.05-0.5 µg/kg) o en aerosol (con una cámara espaciadora: 400 µg en adultos y 200 µg en niños) y repetir la prueba 20 minutos después de su aplicación para corroborar que exista reversibilidad hasta llegar a su basal. Si el paciente continúa con disnea o no ha revertido el valor de VEF<sub>1</sub>, deberá repetirse nuevamente la dosis de broncodilatador y repetir la prueba 20 minutos después. En caso de no haber mejoría, avisar al responsable médico del laboratorio.

## INTERPRETACIÓN DE LA PRUEBA

El informe de la prueba debe contener la ficha de identificación del paciente, la fecha, hora y persona que realizó el estudio. Deben estar anotadas las condiciones ambientales en las cuales fue realizado el estudio y el tiempo de duración del mismo. En menores de 12 años de edad, la duración aproximada de la prueba es de 6 minutos, mientras que en mayores de 12 años y adultos es de alrededor de 8 minutos, esto depende del tiempo que tardan en alcanzar el 80% de su FCM. Se debe contar con las espirometrías realizadas (basales y postejercicio) y con una interpretación de la prueba, la cual se considera positiva si existe una caída de más del 10% en VEF<sub>1</sub> posterior al ejercicio.

## OTROS ESTUDIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA BRONQUIAL AL EJERCICIO

Recién ha sido explorada la utilidad de otros estudios no dependientes de esfuerzo que podrían ayudar a evaluar a pacientes que tienen indicación de la PRBE, pero que no logran realizar un estudio espirométrico que cumpla con los estándares de control de calidad. Una de ellas es la medición de las resistencias por el método de oscilometría de impulso (IOS). La IOS es una prueba que evalúa la mecánica pulmonar a través de la aplicación de pequeños pulsos de presión (~1 cm H<sub>2</sub>O), generados por una bocina que produce oscilaciones de flujo a una frecuencia determinada que se sobrepone al patrón natural del flujo respiratorio. Los cambios resultantes son captados por un manómetro y un neumotacógrafo permitiendo su análisis subsecuente. De esta forma, se realiza la medición de impedancia (resistencia y reactancia) a diferentes frecuencias. La oscilometría de impulso es particularmente útil en la evaluación de pacientes poco cooperadores en estudios dependientes de esfuerzo.<sup>18</sup>

Para la PRBE utilizando IOS, el procedimiento es el

mismo; la contraindicación sería obtener un valor en las resistencias por arriba del 120% del predicho que corresponda a la edad y estatura del paciente. Se realiza una oscilometría basal, después el protocolo de ejercicio y posterior a ello, mediciones seriadas de oscilometría a los 2, 5, 10 y 15 minutos. La prueba se considera positiva cuando existe un aumento del 35% en las resistencias a 5 Hz, lo cual comúnmente ocurre a los 2 ó 5 minutos;<sup>19</sup> o un aumento de 0.035 kPa/L/s a los 10 minutos en las resistencias a 5 Hz.<sup>20</sup>

## REFERENCIAS

1. ERS Task Force, Palange P, Ward SA, Carlsen KH, et al. *Recommendations on the use of exercise testing in clinical practice*. Eur Respir J 2007;29:185-209.
2. Crapo RO, Casaburi R, Coates AL, et al. *Guidelines for Methacoline and Exercise Challenge Testing-1999. This official statement of the American Thoracic Society was adopted by the ATS Board of Directors, July 1999*. Am J Respir Crit Care Med 2000;161:309-329.
3. Merino M, Benítez I, Pérez G, Pérez MM. *Test de esfuerzo*. En: González-Yarza E, et al. editores. *La función pulmonar en el niño*. Madrid, España: Ergón; 2007.p.69-78.
4. Cortés SL. *Test de broncoprovocación*. En: González P-YE, Aldasoro RA, Murua K, Aranburu M, Sardón PO, editores. *La función pulmonar en el niño. Principios y aplicaciones*. Madrid, España: Ergón; 2007.p.79-82.
5. Valencia-Rodríguez A, Casan-Clara P, Perpiñá-Tordera M, Sebastián-Gil MD. *Pruebas de provocación bronquial inespecíficas*. Arch Bronconeumol 1998;34:36-44.
6. Vilozni D, Bentur L, Efrati O, et al. *Exercise challenge test in 3- to 6-year-old asthmatic children*. Chest 2007;132:497-503.
7. SEPAR. *Pruebas de ejercicio cardiopulmonar*. Arch Bronconeumol 2001;37:247-268.
8. Hallstrand TS. *New insights into pathogenesis of exercise-induced bronchoconstriction*. Curr Opin Allerg Clin Immunol 2012;12:42-28.
9. Vargas-Domínguez C, Mejía-Alfaro R, Martínez-Andrade R, Silva-Cerón M, Vázquez-García JC, Torre-Bouscoulet L. *Prueba de desaturación y titulación de oxígeno suplementario. Recomendaciones y procedimientos*. Neumol Cir Torax 2009;68:162-173.
10. Regamey N, Moeller A. *Paediatric exercise testing*. Eur Respir Mon 2010;47:291-309.
11. Parsons JP, Mastrorade JG. *Exercise-induced bronchoconstriction in athletes*. Chest 2005;128:3966-3974.
12. Mashalane MB, Stewart A, Feldman C, Becker P, de Charmoy S. *Prevalence of exercise-induced bronchospasm in Thokoza schoolchildren*. S Afr Med J 2006;96:67-70.
13. Fleming S, Thompson M, Stevens R, et al. *Normal ranges of heart rate and respiratory rate in children from birth to 18 years of age: a systematic review of observational studies*. Lancet 2011;377:1011-1018.
14. National High Blood Pressure Education Program Working Group on High Blood Pressure in Children and Adolescents. *The fourth report on the diagnosis, evaluation, and treatment of high blood pressure in children and adolescents*. Pediatrics 2004;114:555-576.
15. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, et al. *Standardization of spirometry*. Eur Respir J 2005;26:319-338.
16. Beydon N, Davis SD, Lombardi E, et al. *An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children*. Am J Respir Crit Care Med 2007;175:1304-1345.
17. Vargas-Domínguez C, Mejía-Alfaro R, Martínez-Andrade R, et al. *Prueba de desaturación y titulación de oxígeno suplementario. Recomendaciones y procedimientos*. Neumol Cir Torax 2009;68:162-173.
18. Smith HJ, Reinhold P, Goldman MD. *Forced oscillation technique and impulse oscillometry*. Eur Respir Mon 2005;31:72-105.
19. Malmberg LP, Mäkelä MJ, Mattila PS, Hammarén-Malmi S, Pelkonen AS. *Exercise-induced changes in respiratory impedance in young wheezy children and nonatopic controls*. Pediatr Pulmonol 2008;43:538-544.
20. Lee JH, Lee YW, Shin YS, Jung YH, Hong CS, Park JW. *Exercise-induced airway obstruction in young asthmatics measured by impulse*