

HOSPITAL PEDIATRICO "WILLIAM SOLER"

Uso de la espirometría y la ingravidez para evaluar el comando respiratorio

Por los Dres.:

ROBERTO HERNANDEZ NAJARRO*, MANUEL CHAPLE DE LA HOZ** y
ANTONIO BARBER GUTIERREZ***

Hernández Najarro, R. y otros. *Uso de la espirometría y la ingravidez para evaluar el comando respiratorio*. Rev Cub Ped 56: 5, 1984.

Se utiliza la inmersión en agua hasta el cuello de niños clínicamente sanos y asmáticos intercrisis, como modelo de sobrecarga al sistema respiratorio por incremento de la fuerza muscular que se opone a la presión hidrostática y a la ingravidez. Una vez logrado un estado de equilibrio de las estructuras toracoabdominales bajo el agua, se realizaron las siguientes pruebas espirométricas: una capacidad vital y sus subdivisiones, un registro de respiración tranquila durante un minuto; consumo de oxígeno (VO_2), capacidad vital espiratoria forzada (FEVC) y ventilación voluntaria máxima (MVV), las cuales se efectuaron también antes de la inmersión. Los resultados demuestran que la respuesta de los centros respiratorios, mantiene la ventilación basal que aumenta el volumen respiratorio por minuto (VE) tanto en normales como en asmáticos, pero en el 60% de estos últimos, la respuesta es a expensas de la frecuencia, por caída de volumen corriente (TV), lo que por coincidir con la disminución del volumen de reserva inspiratorio (IRV), se interpreta como un fallo del comando inspiratorio, frente a la sobrecarga. El comando no logra que se alcancen los valores de ventilación de precarga cuando se realizan pruebas forzadas, tanto en normales como en asmáticos. Se piensa que la disminución a la vez de TV e IRV durante la inmersión de agua hasta el cuello, pudiera detectar tempranamente a los obstructivos.

-
- * Especialista de I grado en fisiología normal y patológica. Profesor auxiliar del ISCM-H. Hospital pediátrico "William Soler".
 - ** Especialista de I grado en fisiología normal y patológica. Instructor graduado de la Facultad de Ciencias Médicas de Cienfuegos, ISCM-VC.
 - *** Especialista de I grado en fisiología normal y patológica. Candidato a doctor en Ciencias Biológicas. Profesor titular del ISCM-H.

INTRODUCCION

El asma bronquial se caracteriza, desde el inicio de la crisis, por un aumento de la capacidad residual funcional (FRC), probablemente como consecuencia de la obstrucción de las vías aéreas que se instala y el consiguiente atrapamiento de aire. Frente a la situación de un cambio de volumen del sistema respiratorio asociado a una disminución del diámetro de las vías aéreas, los centros respiratorios dan una respuesta tendiente a mantener los niveles de ventilación pulmonar.

El patrón respiratorio fisiológico representa el comando motor de los centros respiratorios intactos como un todo,¹ cambios en el nivel de la actividad del control central neural de la respiración pueden modificar la frecuencia o la amplitud de la respiración, del mismo modo como alteraciones periféricas del sistema respiratorio conducen a respuesta de los centros que mantienen el nivel de ventilación. Por otro lado la obstrucción bronquial representa un mayor trabajo respiratorio, y el control central de la respiración debe responder a la nueva situación creada, con un esfuerzo mayor de los músculos del tórax. Estas respuestas permiten evaluar la actividad de los centros respiratorios según el comportamiento de la ventilación pulmonar.

Un modelo experimental es la inmersión del sujeto en agua hasta el nivel del cuello, que crea a la vez una sobrecarga a los músculos respiratorios, una disminución del calibre de las vías aéreas y un cambio de volumen del sistema respiratorio. En estas condiciones se produce un estado de ingravidez, donde la contracción de los músculos del tórax debe aportar una fuerza suplementaria que sustituya a la gravedad en un momento del ciclo respiratorio y contrarreste la presión hidrostática del agua, actuando sobre el tórax y el abdomen. Se suma a lo anterior, la disminución del FRC² y el aumento de la resistencia al flujo por las vías aéreas, al funcionar a volúmenes pulmonares bajos. Otros modelos utilizados, operan añadiendo resistencias a las vías aéreas,³ haciendo cambios de posición en el sujeto o utilizando pacientes con debilidad de los músculos del tórax⁴ pero estos modelos crean al sistema respiratorio situaciones muy alejadas de su función normal. El objetivo de este trabajo es, por tanto, utilizar la ingravidez del sistema respiratorio, como un medio de imponer las sobrecargas antes mencionadas, lo cual puede ofrecer información acerca de la respuesta de regulación del control central neural de la respiración frente a los cambios de volumen intrapulmonar, carga muscular y diámetro de las vías aéreas.

MATERIAL Y METODO

Se tomó una muestra de 30 niños de ambos sexos con edades comprendidas entre 8 y 14 años, de los cuales 15 eran asmáticos intercrisis procedentes de la consulta externa de alergia del hospital infantil docente "José Luis Miranda" de Santa Clara, y 15 clínicamente sanos, remitidos por diversos centros escolares de la ciudad, los que fueron utilizados como controles.

A cada niño le fue confeccionada una historia clínica que incluyó el examen físico general, la medición del peso, la altura y el cálculo de la superficie corporal por el método de Dubois,⁵ y el examen particular del aparato respiratorio. Asimismo, todos recibieron instrucciones y entrenamiento previo sobre las pruebas a realizar.

En un tanque térmico de 492 m³ de capacidad, con agua calentada a 37 °C, se introdujo cada niño de modo que permaneciera sentado con el agua hasta el cuello. Después de 10 minutos de inmersión, una vez logrado el *Steady-State*, comenzaron las pruebas respiratorias siguientes: un registro de la respiración tranquila durante 1 minuto, un espirograma con todos los volúmenes y capacidades, un consumo de oxígeno (VO₂), una maniobra de capacidad vital espiratoria forzada (FEVC), y una de ventilación voluntaria máxima (MVV). Estas pruebas fueron también realizadas a los niños previamente, es decir, antes de introducirlos en el agua. En los registros FEVC se estudió el volumen espiratorio forzado a los 0,75 segundos (FEV_{0,75}), luego se llevaron a curvas de flujo-volumen (FV), donde se analizaron las características de estas curvas y el flujo máximo medio espiratorio 25-75% (MMEF 25-75%). Las pruebas se hicieron con un respirómetro convencional de 9 litros lleno de oxígeno, en las que la capacidad vital y sus subdivisiones fueron expresadas a BTPS.

Se procedió a comprobar la homogeneidad de cada muestra, en cuanto a edad y talla física, y entre ambas muestras. En la comparación de las variables respiratorias se utilizó el análisis de la varianza para muestras pequeñas y dependientes con un nivel de significación de 5%.

RESULTADOS

El cuadro I expone las características de las muestras estudiadas en cuanto a edad, peso y talla física, y no fueron significativas las diferen-

CUADRO I
CARACTERÍSTICA DE LA MUESTRA

| | Normales | | Asmáticos | | P |
|--|-----------|---------|-----------|---------|----|
| | \bar{x} | $\pm S$ | \bar{x} | $\pm S$ | |
| Edad (años) | 12,64 | 1,00 | 12,46 | 2,09 | ns |
| Peso (kg) | 48,00 | 5,50 | 44,50 | 6,00 | ns |
| Altura (cm) | 160,00 | 7,17 | 156,13 | 9,60 | ns |
| Superficie corporal (SC), m ² | 1,47 | 0,09 | 1,36 | 0,17 | ns |

ns = no significación.

cias entre estas variables. La correlación de estas variables con la talla toracopulmonar, por varios investigadores⁶⁻⁸ no fue significativa.

El cuadro II establece la comparación estadística entre las variables respiratorias estudiadas en ambos grupos de niños, antes de producirse la inmersión en agua. El volumen corriente (TV), el FEV_{0.75}, el MMEF_{25-75%}, la MVV y el VO₂, resultaron diferentes, no así el resto de las mediciones comparadas.

El cuadro III, por su parte establece los cambios ocurridos cuando niños clínicamente sanos fueron introducidos en el agua hasta el cuello. El

CUADRO II
VARIABLES RESPIRATORIAS DE NORMALES Y ASMÁTICOS

| | Normales | | Asmáticos | |
|---|-----------|---------|-----------|---------|
| | \bar{x} | $\pm S$ | \bar{x} | $\pm S$ |
| Volumen corriente (TV), litros | 0,64 | 0,15 | 0,71 | 0,21* |
| Capacidad vital (VC) | 2,70 | 0,40 | 2,70 | 0,70 |
| Volumen de reserva inspiratoria (IRV) | 1,18 | 0,27 | 1,06 | 0,52 |
| Volumen de reserva espiratoria (ERV) | 0,88 | 0,24 | 0,86 | 0,32 |
| Volumen espiratorio forzado a los 0,75 seg (FEV _{0,75}) | 2,06 | 0,56 | 1,77 | 0,89* |
| MMEF _{25-75%} (litros/segundos) | 3,01 | 1,13 | 2,02 | 0,84* |
| Pico de flujo espiratorio (PEF) | 5,75 | 0,50 | 4,50 | 0,30* |
| MVV, litros/minuto | 96,69 | 27,66 | 82,89 | 26,92* |
| VO ₂ | 0,22 | 0,05 | 0,20 | 0,07* |
| Ventilación pulmonar por minuto (VE) | 12,00 | 8,00 | 14,00 | 4,00* |
| Frecuencia respiratoria (F) respiraciones/minuto | 21,70 | 7,00 | 24,00 | 6,00* |

* Significación

CUADRO III
VARIABLES RESPIRATORIAS ANTES Y DESPUES DE LA INMERSION
EN NIÑOS NORMALES

| | Antes | | | Después | | | P* |
|-------------------------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|----|
| | \bar{x} | \pm | S | \bar{x} | \pm | S | |
| TV (litros) | 0,64 | | 0,15 | 0,72 | | 0,19 | * |
| VC | 2,70 | | 0,40 | 2,59 | | 0,41 | * |
| IRV | 1,18 | | 0,27 | 1,35 | | 0,20 | * |
| ERV | 0,88 | | 0,24 | 0,47 | | 0,19 | * |
| FEV _{0,75} | 2,06 | | 0,56 | 1,89 | | 0,48 | * |
| MMEF _{25-75%} | 3,01 | | 1,13 | 2,92 | | 1,08 | * |
| (litros por segundo) | | | | | | | |
| PEF | 5,75 | | 0,50 | 4,50 | | 0,65 | * |
| MVV (litros por minuto) | 96,69 | | 27,66 | 71,34 | | 19,80 | * |
| VO ₂ | 0,22 | | 0,05 | 0,27 | | 0,15 | * |
| VE | 12,00 | | 8,00 | 15,00 | | 6,00 | * |
| F (respiraciones por minutos) | 21,70 | | 7,00 | 25,60 | | 10,00 | * |

* Significación entre todos los valores antes y después.

TV y la frecuencia respiratoria (f) aumentaron significativamente en el 64 y 82% de los niños, respectivamente, y en consecuencia VE también se incrementó. ERV y VC disminuyeron en todos los casos. Otras variables respiratorias que incrementaron su valor fueron IRV y VO₂. Los registros de FEV_{0,75}, MMEF_{25-75%} y MVV mostraron valores más bajos después de la inmersión, es decir todas las variables dinámicas.

El cuadro IV resume la situación de los niños asmáticos bajo el agua, con referencia a los valores encontrados previamente. TV, F y VE no se modificaron. El ERV y la capacidad vital (VC) disminuyeron como los controles. En cuanto a IRV, este volumen respiratorio no varió y analizada dicha variable conjuntamente con la VE, se observó que ambas no se comportaron como en los normales. En éstos, IRV y VE aumentaron siempre después de la inmersión, mientras que en los asmáticos IRV cayó en el 60% de los pacientes al tiempo que con VE no ocurrió igual, pero por efecto de la frecuencia respiratoria VO₂ como en los controles, tuvo un valor mayor y los volúmenes dinámicos disminuyeron.

Los flujos máximos para cada volumen del pulmón fueron significativamente menores en los asmáticos que en los niños controles, como

CUADRO IV

VARIABLES RESPIRATORIAS ANTES Y DESPUES DE LA INMERSION EN NIÑOS ASMATICOS

| | Antes | | | Después | | | P* |
|--|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|----|
| | \bar{x} | \pm | S | \bar{x} | \pm | S | |
| TV (litros) | 0,71 | | 0,21 | 0,68 | | 0,20 | ns |
| VC | 2,70 | | 0,70 | 2,64 | | 0,71 | • |
| IRV | 1,06 | | 0,52 | 1,10 | | 0,57 | ns |
| ERV | 0,86 | | 0,32 | 0,61 | | 0,22 | • |
| FEV _{0,75} | 1,77 | | 0,89 | 1,60 | | 0,59 | • |
| MMEF _{25-75%} (litros por segundo) | 2,02 | | 0,64 | 1,60 | | 0,59 | • |
| PEF | 4,50 | | 0,30 | 2,70 | | 0,55 | • |
| MVV (litros por minuto) | 82,89 | | 26,92 | 56,58 | | 22,43 | • |
| VO ₂ | 0,20 | | 0,07 | 0,26 | | 0,12 | • |
| VE | 14,00 | | 4,00 | 14,00 | | 6,00 | ns |
| F (respiraciones por minuto) | 24,00 | | 6,00 | 25,00 | | 10,00 | ns |

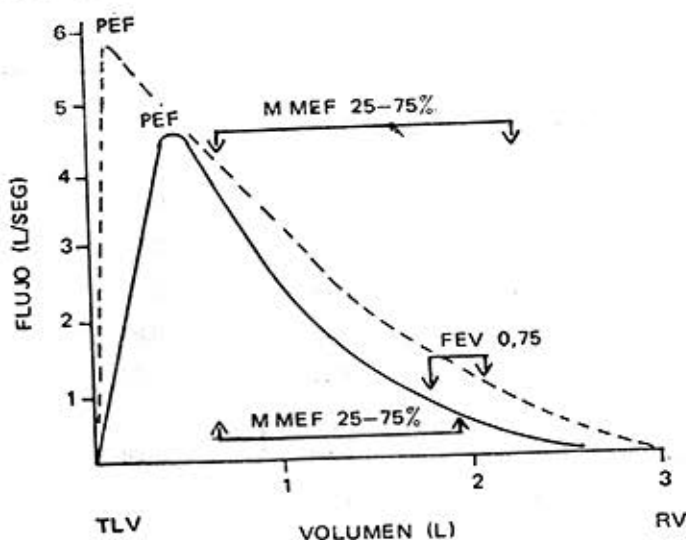
* Valores con significación.

puede verse en las curvas FV antes de la inmersión (gráficos 1 y 2). La inmersión produjo en ambos grupos flujos máximos menores durante la FEVC. El pico de flujo respiratorio máximo (PEF) disminuyó con la inmersión y se desplazó hacia el volumen residual (RV) tanto en uno como en otro grupo (gráficos 1, 2 y 3).

DISCUSION

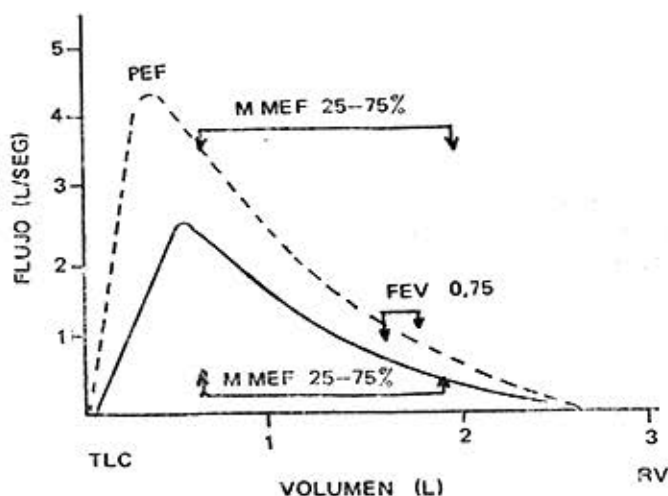
La mecánica del sistema respiratorio se modifica tan pronto un sujeto es introducido en una cámara de agua, y esta modificación depende del nivel de inmersión del sujeto.² Como consecuencia de las leyes de la estática de los fluidos cuando el agua cubre el tórax, la presión hidrostática actúa como una fuerza hacia arriba, igual al peso del volumen líquido desplazado por el tórax y el abdomen. Puesto que este peso es mayor que el peso de las estructuras corporales sumergidas, por la diferencia de la densidad entre el agua y dichas estructuras, las vísceras abdominales empujan el diafragma contra el tórax al tiempo que la caja torácica se distiende.

Gráfico 1



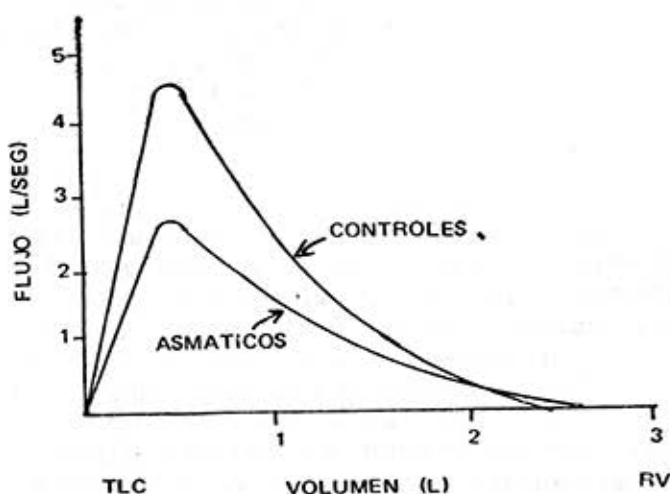
Curvas FV de niños normales antes (línea discontinua) y después (línea continua) de la inmersión en agua hasta el cuello. Los mecanismos de regulación respiratoria no logran mantener el FEV los MMEF o los F máx. frente a la sobrecarga de la inmersión.

Gráfico 2



Curvas FV de niños asmáticos antes (línea discontinua) y después (línea continua) de inmersión en agua hasta el cuello, la dificultad en mantener el nivel de los volúmenes dinámicos ante la sobrecarga es mayor en los asmáticos.

Gráfico 3



Curvas FV de niños normales y asmáticos inmersos en agua hasta el cuello.

El efecto de la presión hidrostática sobre el sistema respiratorio puede dividirse en etapas. La inmersión hasta el apéndice xifoides tiene un efecto mínimo sobre el abdomen pero aumenta la presión intrapleural unos 2,5 cm H₂O y disminuye el volumen intrapulmonar desde el 35% de VC hasta el 26% aproximadamente. La inmersión hasta el cuello incrementa esta situación, al punto de que en el nivel espiratorio de reposo el volumen intrapulmonar disminuye hasta el 15% de VC.⁹ Esto significa que la distensión de la caja torácica y la elevación de la cintura escapular no logra compensar la disminución de la FRC causada por el ascenso de las vísceras abdominales.

Además de los antecedentes y signos clínicos, las pruebas realizadas a los dos grupos de niños demostraron la diferente función pulmonar entre ambos. En el grupo de asmáticos intercrisis se detectaron signos de hiperventilación, obstrucción bronquial (por disminución de los volúmenes dinámicos) y mayor consumo de oxígeno, probablemente a consecuencia de un trabajo respiratorio incrementado. Al introducir en el agua a los niños integrantes de cada grupo, la respuesta del sistema respiratorio fue similar excepto en los componentes de la respiración tranquila (TV y f) y en el IRV.

Los resultados demostraron una dificultad del comando respiratorio en incrementar la fuerza muscular espiratoria que se opone a la presión hidrostática, lo cual probablemente es una de las causas de la disminución de VC, además del aumento de la resistencia de las vías aéreas al disminuir su calibre por disminución del volumen intrapulmonar. Por

el contrario, los volúmenes inspiratorios parecen facilitarse, ayudados por la presión hidrostática que actúa sobre la pared costal y por el menor estiramiento del *recoil* pulmonar al disminuir la FRC. Los valores bajos de los volúmenes dinámicos son dependientes, por tanto, de las etapas espiratorias. No obstante, el trabajo respiratorio debe estar aumentado, dado el aumento en el consumo de oxígeno.

Vista la ventilación como el volumen de aire que penetra en los pulmones en relación con el volumen de reposo, la crisis asmática ha de producir una mayor actividad del comando respiratorio, con aumento consiguiente de la ventilación ante la hipoxia relativa debido al aumento de la FRC por atrapamiento. Durante la inmersión en agua, el cociente TV/FRC tampoco es el óptimo, dada la disminución de la FRC. La respuesta observada es también un aumento de la ventilación en los niños normales, que no decrece en los asmáticos con la sobrecarga de la inmersión. Tanto en la crisis asmática como en la inmersión deben crearse estados de hipoxia relativa, por disminución del volumen intrapulmonar durante la inmersión y por descenso del cociente de renovación del aire (TV/FRC) en la crisis obstructiva.

Cuando los niños asmáticos se introdujeron en el agua hasta el cuello, VE se mantuvo en todos los casos, pero unas veces por aumento de TV y otra de f. El IRV es interpretado por nosotros como índice del comando inspiratorio y es de interés la coincidencia entre la caída de TV e IRV en el 60% de los asmáticos (lo que no ocurrió en ningún niño normal), y cómo en estos pacientes con IRV bajo, VE se mantuvo a expensas de la frecuencia respiratoria. Tales acontecimientos nos hacen pensar que la regulación de la respiración tiende a mantener la regulación basal frente a las sobrecargas, si bien no logra hacerlo en las pruebas forzadas, en los asmáticos interviene la regulación de la frecuencia cuando ocurre un fallo del comando inspiratorio. Este resultado, ausente en la muestra de niños normales puede constituir un signo temprano de obstrucción bronquial.

CONCLUSIONES

1. La inmersión en el agua hasta el cuello es un método que crea una sobrecarga al sistema respiratorio, detectada en las pruebas funcionales espiratorias y dinámicas, y por el mayor consumo de O_2 .
2. El método puede utilizarse como modelo para simular un *status* de sobrecarga muscular en el tórax y el abdomen, valores bajos de FRC y disminución del calibre de las vías aéreas.
3. La respuesta de los centros respiratorios frente a la sobrecarga se dirige a mantener los niveles basales de ventilación.
4. En niños asmáticos intercrisis, se produce la misma respuesta, se mantiene VE, pero en el 60% de estos pacientes es a expensas de la frecuencia respiratoria por caída de TV e IRV, lo que se interpreta como un fallo del comando respiratorio.

5. Por la aparición del resultado anterior, únicamente en el grupo de asmáticos, se llama la atención sobre la posibilidad de que constituya un signo temprano de obstrucción bronquial.
6. El comando respiratorio no logra que la ventilación alcance los valores de precarga cuando se realizan pruebas forzadas; estos resultados son más pronunciados entre los asmáticos.

Agradecimientos

Agradecemos al doctor *Jorge Fernández*, jefe de servicio de alergia del hospital infantil docente "José Luis Miranda", de Santa Clara la cooperación brindada a este trabajo.

SUMMARY

Hernández Najarro, R. et al. *Use of spirometry and agravity to evaluate central respiratory mechanisms.* Rev Cub Ped 56: 5, 1984.

Immersion in water up to the neck of clinically healthy and intercrisis asthmatic children is used as overload pattern to respiratory system by the increment of muscular strength which is opposite to hydrostatic pressure and to agravity. Once counterbalance of thoracoabdominal structures under water was obtained, the following spirometric tests were performed: vital capacity and its subdivisions, recording of one minute calm respiration, oxygen consumption (VO_2), forced expiratory vital capacity (FEVC) and maximal voluntary ventilation (MVV), which were also performed before immersion. Results show that respiratory response maintains basal ventilation, increasing respiratory volume per minute (VE) either in normal or asthmatic individuals, but 60% of the asthmatics response is at frequency expenses, on account of tidal volumen (TV) fall, which because concurs with decrement of inspiratory reserve volume (IRV), is interpreted as a failure of inspiratory mechanisms when facing overload. Such mechanisms do not succeed reaching pre-load ventilation values when forced tests are performed, either in normal or asthmatic children. It is thought that decreasing at the same time of both TV and IRV during immersion in water up to the neck, should detect, prematurely the obstructive ones.

RÉSUMÉ

Hernández Najarro, R. et al. *Emploi de la spirométrie et de l'apesanteur pour évaluer le commandement respiratoire.* Rev Cub Ped 56: 5, 1984.

On utilise l'immersion dans l'eau jusqu'au cou, chez des enfants cliniquement sains et asthmatiques inter-crise, en tant que modèle de surcharge au système respiratoire par accroissement de la force musculaire s'opposant à la pression hydrostatique et à l'apesanteur. Après avoir atteint un état d'équilibre des structures thoraco-abdominales sous l'eau, on a réalisé les épreuves spirométriques suivantes: une capacité vitale et ses subdivisions, un enregistrement de respiration calme pendant une minute; consommation d'oxygène (VO_2), capacité vitale expiratoire forcée (FEVC) et ventilation volontaire maximale (MVV), épreuves qui ont aussi été effectuées avant l'immersion. Les résultats montrent que la réponse des centres respiratoires maintient la ventilation de base qui augmente le volume respiratoire par minute (VE) aussi bien chez les enfants sains que chez les asthmatiques, mais chez 60% de ces derniers la réponse est aux dépens de la fréquence, par chute du volume courant (TV); donc sa

coïncidence avec la diminution du volume de réserve inspiratoire (IRV) est interprétée comme une insuffisance du commandement inspiratoire face à la surcharge. Le commandement est insuffisant pour atteindre les valeurs de ventilation existants avant la surcharge, lorsqu'on fait les épreuves forcées, aussi bien chez les enfants normaux que chez les asthmatiques. On pense que la diminution simultanée de TV et d'IRV pendant l'immersion dans l'eau, permettrait le dépistage précoce des cas d'obstruction.

BIBLIOGRAFIA

1. Wang, S. C.; H. S. Mgai: General organization of central respiratory mechanism. In: Handbook of Physic Section's "Respiration" V. 1, Ed. Am Physiol Soc, Washington, 1964.
2. Auriol, B.; E. Boardou; C. Lambic; M. Board: Analyses des variations de volumen et de capacités pulmonaries au cours de la submersion chez l'homme. La Nouvelle Presse Médicale 2(32): 2123, 1973.
3. Comroe, J. H.: Physiology of Respiration. Ed. Year book Med Publisher, London, 1977. P. 141.
4. Arsura, E. L.; D. Sepkowitz; S. Tessler; A. Lenora; J. Groopman: Changes in PaO₂ as a function of body position in stroke patients. Am J Resp Dis 127: 625, 1983.
5. Dubois, D.; E. Dubois: A formula to estimate the approximate surface area if height and weight are known. Arch Intern Med 17: 863-887, 1916.
6. Baldwin, B. T.: Breathing capacity according to height and age of American-born boys and girls of school age. Am J Phys Anthropol 12: 257, 1928.
7. Tzong-Ruen, W.; H. Levison: Standards of pulmonary function in children. Am Rev Resp Dis 99: 879-894, 1969.
8. Hernández Najarro, R.; A. Barber Gutiérrez et al.: Influencia de la edad y el desarrollo del tórax sobre los volúmenes respiratorios más utilizados en la evaluación de niños asmáticos. Rev Cub Ped 54: 92, 1982.
9. Hong, S. K.; P. Cerretelli; J. C. Cruz; H. Rahn: Mechanics of respiration during submersion in water. J App Phys 27(4): 535-538, Oct. 1969.

Recibido: 3 de enero de 1984.

Aprobado: 20 de enero de 1984.

Dr. Roberto Hernández Najarro
Hospital pediátrico "William Soler"
San Francisco 10112
La Habana 8
Ciudad de La Habana.