



Universidad de Granada

*Departamentos: Enfermería, Educación Física y
Deportiva*

Tesis Doctoral

**PATRÓN VENTILATORIO EN NIÑOS Y ADULTOS DURANTE
EJERCICIO PROGRESIVO HASTA EL AGOTAMIENTO**

DIRECTORES:

DR. JOSE NARANJO ORELLANA

DR. RAFAEL GUISTADO BARRILAO

DRA. LAURA GUERRERO ALMEIDA

MARIA IVONNE VILLA JIMENEZ

PROGRAMA DOCTORAL ACTIVIDAD FISICA Y SALUD 2015

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales

Autora: María Ivonne Villa Jiménez

ISBN: 978-84-9125-752-3

URI: <http://hdl.handle.net/10481/43494>

A mi abuelito Miguel Jiménez Peralez "El chiquilín" q.e.d.

Agradezco de corazón a mis directores de tesis a Pepe, Laura y Rafael por la inmensa paciencia al brindarme la oportunidad de ir de su mano en este camino de aprendizaje, sin vosotros hoy no estaría aquí.

Agradezco con todo mi amor a mi mujer Beatriz por su apoyo incondicional y por creer siempre en mí, a nuestra hija que ahora es parte de nuestra historia por España.

LISTA DE ABREVIATURAS UTILIZADAS

BF: frecuencia respiratoria (r.p.m.).

CIA: actividad inspiratorio central.

CV: capacidad vital (L).

end-tidal CO₂: dióxido de carbono al final de la espiración.

expFL: flujo espiratorio.

extFVLs: curvas flujo volumen.

FEV₁: primer volumen forzado espiratorio.

MVV: máxima ventilación voluntaria.

P0.1: primer segundo de la inspiración (s).

PaCO₂: presión parcial arterial de dióxido de carbono (mmHg).

PaO₂: presión parcial arterial de oxígeno (mmHg).

PetCO₂: presión de dióxido de carbono al final de la espiración (mmHg).

PetO₂: presión de oxígeno al final de la espiración (mmHg).

Te: tiempo espiratorio (s).

Ti: tiempo inspiratorio (s).

Ti/Ttot: mecanismo de alternancia entre inspiración y espiración “timing”.

Ttot: tiempo total de respiración

VCO₂: producción de dióxido de carbono (L/min).

VE: ventilación (L/min).

VE/VCO₂: equivalente ventilatorio de dióxido de carbono.

VE_{max}: ventilación máxima (L/min).

VE_{peak}: ventilación pico (L/min).

VO₂: consumo de oxígeno (L/min).

VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno (L/min).

VO_{2peak}: consumo pico de oxígeno (L/min).

VT: volumen circulante (L).

VT_{max}: volumen circulante máximo (L).

VT₃₀: volumen circulante cuando la ventilación se encuentra en 30 L/min (L/min).

VT/Ti: actividad respiratoria central “driving” (L/s).

VT/Ti_{max}: actividad respiratoria central maxima “driving” (L/s).

Dedicatorias y agradecimientos	2
Lista de abreviaturas utilizadas	4
Índice	5
1. INTRODUCCIÓN.	7
1.1. Respuesta de la ventilación pulmonar al ejercicio.	7
1.2. Antecedentes del patrón respiratorio.	8
1.3. Tiempo inspiratorio (Ti), tiempo espiratorio (Te) y cocientes VT/Ti y Ti/Ttot.	10
1.4. Patrones ventilatorios y ejercicio.	11
1.5. Patrones ventilatorios en niños.	16
1.6. Planteamiento del problema.	22
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.	23
2.1. Objetivo general.	23
2.2. Objetivos específicos.	23
2.3. Hipótesis.	24
3. MÉTODO.	25
3.1. Muestra.	25
3.1.1. Selección de la muestra y distribución de los grupos.	25
3.1.2. Criterios de selección de la muestra.	27
3.2. Material e instrumentos.	28
3.2.1. Instalación.	28
3.2.2. Instrumental.	28
3.2.2.1. Características sujetos. Antropometría.	28
3.2.2.2. Reconocimiento médico.	28
3.2.2.3. Prueba de esfuerzo.	28
3.2.2.3.1. Ergómetro.	28
3.2.2.3.2. Análisis ventilatorio.	28
3.2.2.4. Material desechable.	29
3.3. Diseño.	29
3.4. Variables.	29
3.4.1. Variables independientes.	29
3.4.2. Variables dependientes.	30
3.4.3. Variables contaminadoras o extrañas. Control experimental.	30

3.5. Procedimiento.	31
3.5.1. Distribución de las sesiones de trabajo.	31
3.5.2. Prueba de esfuerzo.	31
3.5.3. Protocolo.	31
3.6. Análisis estadístico.	33
4. RESULTADOS.	34
4.1. Antropometría y características generales de la muestra.	34
4.1.1. Datos antropométricos de la muestra.	34
4.2. Análisis de todas las variables VE, VT, BF, Ti, Ttot, Ti/Ttot Y VT/Ti.	39
4.3. Relación VE y VT/Ti.	40
5. DISCUSIÓN.	52
5.1. Componentes del control central de la ventilación: driving y timing en adultos.	52
5.1.1. Relación de la VE y VT/Ti en adultos.	53
5.1.2. Análisis del componente ventilatorio timing en adultos.	54
5.2. Componentes del control central de la ventilación: driving y timing en niños.	55
5.2.1. Relación de VE y VT/Ti en niños.	56
5.2.2. Análisis del componente ventilatorio timing en niños.	57
5.3. Nomograma, análisis de la relación entre VT y BF.	58
5.3.1. Relación VT y BF en adultos.	59
5.3.2. Relación VT y BF en niños.	59
5.4. Limitaciones del estudio.	61
6. CONCLUSIONES.	62
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	63
8. ÍNDICE DE TABLAS.	72
9. ÍNDICE DE FIGURAS.	73
10. ANEXOS.	74
10.1. Anexo 1: Cuestionario de antecedentes médicos.	75
10.2. Anexo 2: Características individuales del tipo de actividad física en la muestra infantil.	77

1. INTRODUCCION.

1.1. Respuesta de la ventilación pulmonar al ejercicio.

La respuesta ventilatoria al ejercicio realizado a una intensidad constante partiendo del reposo se caracteriza por tres fases. En la fase I se produce un aumento brusco de la ventilación durante los primeros 30-50 segundos, esto evidencia su origen neural (1). La fase II se caracteriza por un incremento lento en la ventilación de tres a cinco minutos, las modificaciones de la ventilación están asociadas con las alteraciones en la presión parcial de los gases sanguíneos. Hay incremento de la presión de oxígeno al final de la espiración (P_{etO_2}) y una disminución simultánea de la presión de dióxido de carbono al final de la espiración (P_{etCO_2}). La estimulación humoral de los quimiorreceptores centrales y periféricos tiene un papel importante en esta fase. En la fase III, se alcanza un estado estable cuyo origen es predominantemente humoral. Sin embargo, esta tercera fase no aparece durante el ejercicio con intensidad creciente hasta el agotamiento, donde el aumento de la ventilación es progresivo siendo la regulación neural predominante e independiente de los estímulos usados (2).

Se conoce que durante un ejercicio estable de intensidad leve o moderada, por debajo del 50-60% del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), en sujetos normales, la ventilación (VE) aumenta de manera lineal con respecto al consumo de oxígeno (VO_2) y producción de dióxido de carbono (VCO_2), lo que se debe principalmente a un incremento del volumen corriente (VT), más que al aumento de la frecuencia respiratoria (BF) y consecuentemente se produce una adecuada oxigenación en la sangre, manteniendo la presión parcial arterial de oxígeno (PaO_2) y la presión parcial arterial de dióxido de carbono ($PaCO_2$) cercana o en los valores de reposo (3).

Sin embargo, en un ejercicio sub-máximo, la ventilación aumenta desproporcionadamente en relación al incremento del VO_2 . Esta respuesta ventilatoria tiene lugar preferentemente a expensas de un aumento de la BF. Estas consideraciones nos sitúan ante el concepto de umbral ventilatorio (4). Algunos estudios (2, 5, 6) indican que se produce un aumento de la ventilación ante distintos estímulos como la inhalación de CO_2 o el ejercicio de alta intensidad generando un aumento en VT con respecto a VE

en un valor igual aproximadamente a la mitad de la capacidad vital (CV) produciéndose después un aumento en BF, llegando éste a ser más importante como factor responsable de los incrementos adicionales en VE, independientemente del estímulo utilizado.

1.2. Antecedentes del patrón respiratorio.

La literatura establece desde hace tiempo que la manera más común y sencilla de analizar los cambios observados en la ventilación es el estudio de VT y BF. Milic-Emili y Cajani en 1957, analizaron las relaciones entre VT y BF para cada nivel de VE (7). En este sentido existen diversos estudios (5, 8, 9, 10, 11) que han analizado la respuesta ventilatoria usando diferentes estímulos para tratar de comprender la regulación de los mecanismos de la ventilación llegando a la conclusión de que estos son independientes a los estímulos utilizados.

A lo largo del tiempo se han realizado diversas mediciones como la medida del drive respiratorio. Esta técnica, introducida por Grunstein y colaboradores (12), consiste en medir la caída en la presión de la boca durante el primer 0.1 s de la inspiración (P0.1) y fue ganando aceptación como índice del componente neuromuscular de la producción de la respiración (13, 14).

Para otros autores (15, 16, 17, 18) el diagnóstico de una limitación ventilatoria al ejercicio estaría basado en el concepto de reserva ventilatoria, es decir, al acercarse la VE_{peak} a la máxima ventilación voluntaria (MVV) o a su valor estimado (primer volumen forzado espiratorio FEV_1 multiplicado por 35 o 40). También sugerían medir las curvas flujo volumen (extFVLs) obtenidas durante el ejercicio para proporcionar más información específica de la causa y el grado de restricción ventilatoria para su directa aplicación terapéutica. Así durante algunos tiempos se utilizaban estas mediciones, sin embargo no existe relación alguna entre los valores obtenidos de ellas y el rendimiento deportivo.

Más tarde Milic-Emili, Askanazi y colaboradores en distintos estudios (19, 20, 21, 22), avanzaron en el análisis de las respuestas respiratorias al ejercicio o a otros estímulos, creando un concepto más interesante desde el punto de vista fisiológico. En este sentido, descompuso la ventilación en un componente que refleja la actividad inspiratoria central (driving) y otro que refleja el mecanismo de alternancia entre inspiración y espiración (timing). Por tanto, la ventilación vendría dada por la siguiente ecuación:

$$VE = (VT/Ti) \cdot (Ti/Ttot)$$

Así, el driving (VT/Ti) determina el flujo medio inspiratorio y el timing ($Ti/Ttot$), la proporción que ocupa la inspiración en la duración total de cada ciclo respiratorio (23).

CICLO RESPIRATORIO

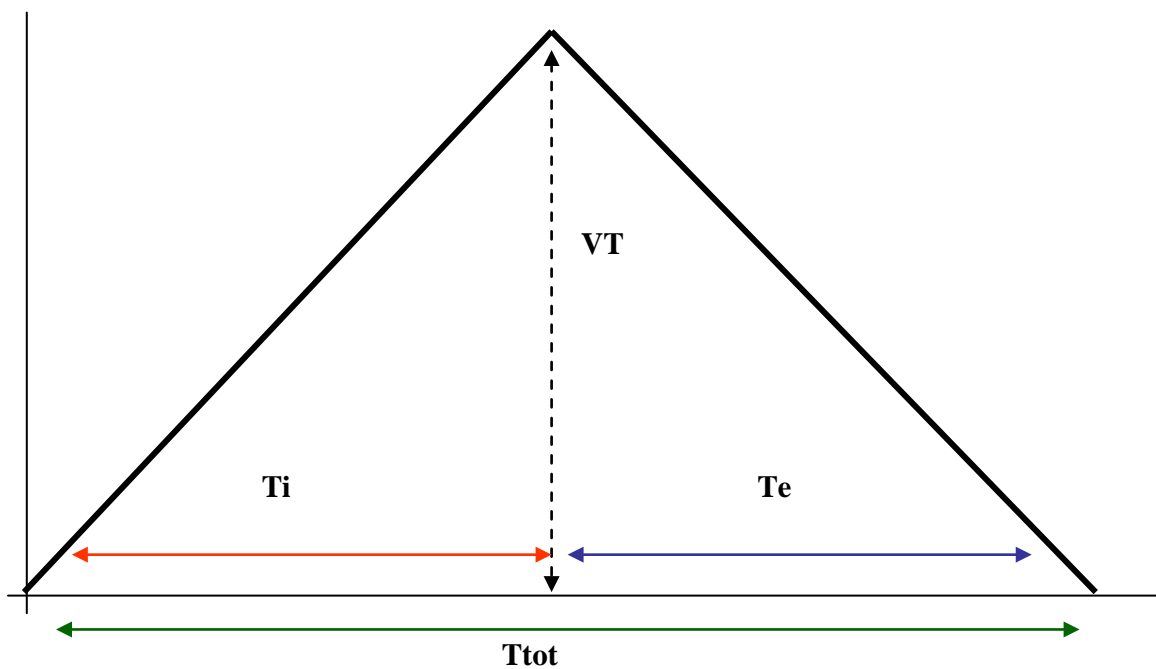


Figura 1. Ciclo respiratorio.

1.3. Tiempo inspiratorio (Ti), tiempo espiratorio (Te) y cocientes VT/Ti y Ti/Ttot.

Clark y Euler (6) en 1972, estudiaron la relación entre volumen circulante y tiempo inspiratorio haciendo posible la delineación de la curva del umbral Hering-Breuer.

Ha habido considerables avances en el conocimiento de los mecanismos neurológicos que controlan la profundidad y la tasa respiratoria, además se han hecho revisiones extensas de los conceptos actuales del sistema de control neuronal básico para la generación de los patrones ventilatorios y su modulación por aportaciones aferentes (24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31). La conclusión de todos estos estudios es que VT está determinado por una combinación de dos mecanismos neuronales principales. El primero establece que la tasa del volumen del pulmón aumenta, siendo el generador de la actividad inspiratoria central (CIA) y constituyendo la señal de proyección del drive a la motoneurona inspiratoria espinal. El segundo, conocido como el interruptor de apagado (off-switch) de los controles del mecanismo del tiempo inspiratorio (Ti). De acuerdo con este modelo, el volumen del pulmón aumenta hasta una tasa dependiente del drive respiratorio hasta que el volumen encuentra la característica VT-Ti (curva del umbral Hering-Breuer) (6). El tiempo espiratorio (Te) es también de algún modo relacionado neuronalmente con el anterior tiempo inspiratorio. Este reflejo de terminación de la inspiración, es el evento clave en el timing del ciclo respiratorio. Así, los mecanismos de actividad inspiratoria central y el off-switch determinan el VT, Ti y Te en cada respiración.

Numerosos autores (23, 32, 33, 34, 35) coinciden en que VT/Ti aumenta en relación a la VE durante el ejercicio.

Sin embargo, otros autores (34, 36) señalan que el driving y el timing muestran un comportamiento similar a intensidades diferentes durante un protocolo en rampa en cicloergómetro. Aunque estos estudios compararon dos duraciones, dos intensidades, e incluso dos niveles de entrenamiento de los sujetos en un mismo protocolo (escalonado o rampa). Otros autores (2) encontraron aumentos en Ti/Ttot, mientras que otros estudios

(37) muestran una disminución en T_i/T_{tot} en respuesta a un aumento de la ventilación en las mismas condiciones.

Tobin y colaboradores (38), en su trabajo concluyeron que el componente ventilatorio timing era más constante que el driving. Lo novedoso de este estudio fue que analizaron la variabilidad del patrón respiratorio. Los autores plantearon que la mayoría de los estudios que analizaban los componentes de los patrones ventilatorios se centraban en el registro de los cambios de los valores medios, y por tanto encontraron escasas investigaciones de la variabilidad respiración a respiración, para poder obtener información acerca de la constancia con la que se controlaba la respiración.

Estos autores calcularon el coeficiente de variación, es decir la desviación normal expresada como un porcentaje de la media para obtener la variabilidad del patrón ventilatorio tanto respiración a respiración como día a día. Con los resultados obtenidos, los autores concluyeron que la menor variabilidad entre la BF y el T_i/T_{tot} comparada con el VT/T_i , sugirieron que la función de ritmo generado del sistema de control de la respiración fue más constante que el componente ventilatorio driving. La muestra estuvo conformada por cinco grupos, de sujetos sanos que realizaron cinco experimentos diferentes para analizar la respuesta ventilatoria en reposo.

1.4. Patrones ventilatorios y ejercicio.

El estudio de los patrones ventilatorios durante el ejercicio ha sido y sigue siendo en la actualidad un área de la fisiología del ejercicio poco estudiada. Además existe controversia en los resultados aportados por los estudios encontrados (39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53).

Así, por un lado, algunos autores han encontrado que el comportamiento de los patrones ventilatorias durante el ejercicio es independiente del estímulo utilizado (protocolo, ergómetro, nivel de entrenamiento de los sujetos y edad). Por otro lado, hay autores que sostienen que la respuesta de los patrones ventilatorios durante el ejercicio puede variar dependiendo del protocolo, ergómetro, nivel de entrenamiento y edad de los sujetos analizados.

Los estudios que aportan resultados a favor de la primera idea detallada arriba, se muestran a continuación:

En el estudio realizado por Mekjavic y colaboradores (35) en el que se analizaron los patrones ventilatorios en hipoxia durante un esfuerzo progresivo, sugirieron que la hiperpnea que se manifestó estuvo principalmente provocada por el aumento del driving y que el timing no se vio afectado cuando se realizó un esfuerzo de intensidad leve a moderada. La muestra estudiada fueron 6 sujetos que realizaron un esfuerzo progresivo de leve a moderada intensidad.

Lucía y colaboradores (34) en 1999, estudiaron a 11 ciclistas de élite amateur y 14 ciclistas profesionales que realizaron un esfuerzo progresivo en cicloergómetro siguiendo un protocolo en rampa hasta el agotamiento. Se observó una respuesta similar de Ti/T_{tot} y de VT/Ti en ambos grupos, sin embargo se puede destacar que en el grupo de ciclistas profesionales VT siguió aumentando hasta el final de la prueba sin presentar meseta a diferencia de los ciclistas de élite amateur, que como regularmente sucede en la mayoría de las pruebas realizadas a sujetos sanos y/o deportistas, el VT se estabilizó a partir de una determinada carga de trabajo.

Los autores concluyeron que las principales diferencias de los patrones respiratorios encontradas entre los dos grupos fueron, que los ciclistas profesionales presentaron un aumento de VE y por consecuencia aumento de VT y de BF sin presentar taquipnea, además de una prolongación de T_e a altas intensidades de ejercicio. En ese sentido Chicharro (3) apuntó que un nivel mayor de entrenamiento se tradujo en un aumento del tiempo de espiración, es decir un mayor tiempo de relajación de los músculos inspiratorios y una disminución en el tiempo de inspiración, y por tanto un descenso en el trabajo muscular que llevaría a una reducción del coste energético de la ventilación, retrasando la posible aparición de la fatiga de los músculos respiratorios.

En el trabajo de Naranjo y colaboradores (23), se sometió a 34 deportistas de sexo masculino de siete modalidades deportivas diferentes con distinto nivel de entrenamiento,

que realizaron una prueba de esfuerzo en tapiz rodante hasta el agotamiento. La muestra fue dividida en dos grupos de 17 sujetos con características similares, cada grupo siguió uno de los protocolos diferentes. Se comparó la respuesta ventilatoria en tre ambos protocolos analizando los cambios en el ciclo respiratorio.

Los resultados de este estudio señalaron únicamente diferencias significativas ($p < 0.05$) en los valores de VE y VCO₂ correspondientes al 80 y 90% del VO_{2max} y en VT/Ti al 90% del VO_{2max}. Se alcanzaron las mismas velocidades máximas y valores de VO_{2max} prácticamente idénticos (58.59 contra 58.07 ml/Kg/min, $p = 0.8$). El autor resaltó que a pesar de que los valores de VCO₂ y VE difieren entre los protocolos, a medida que la intensidad del ejercicio aumenta, todos los valores se ajustan a una misma recta de regresión ($R^2 = 0.98$), por lo que la relación lineal entre estos dos parámetros es evidente.

Podemos destacar que en este estudio la relación del timing se mantuvo constante hasta el final de todas las pruebas realizadas en ambos grupos y que independientemente del protocolo utilizado todos los cambios de la ventilación estuvieron fuertemente ligados a los incrementos del driving.

En el 2005, Naranjo y colaboradores (32) estudiaron los patrones ventilatorios en atletas durante un esfuerzo progresivo en tapiz rodante, utilizando dos protocolos diferentes de esfuerzo, en términos de VT y BF. En este trabajo se estudió a un total de 43 hombres y 21 mujeres, atletas de diferentes deportes, que realizaron uno de dos protocolos distintos (escalonado o rampa) en tapiz rodante. Los dos protocolos empezaron a la misma velocidad y tuvieron la misma tasa de incremento de trabajo.

Los resultados no mostraron diferencias significativas en VT y BF, ni entre los dos protocolos, ni entre hombres y mujeres a cualquier nivel de intensidad. Por otro lado, el componente ventilatorio timing permaneció constante, y todos los aumentos en la ventilación estuvieron fuertemente relacionados con los aumentos respectivos en el driving. Tanto en hombres como en mujeres, los datos mostraron una relación curvilínea entre VT y BF, la cual, podría ser colocada con una función exponencial con una fuerte correlación ($R^2 = 0.98$ para hombre y 0.97 para mujer). La conclusión de los autores, fue que la respuesta ventilatoria al ejercicio progresivo en tapiz rodante es independiente del

protocolo utilizado y que la expresión gráfica de VT y BF es un nomograma útil para la evaluación rutinaria de la respuesta ventilatoria durante el ejercicio en sujetos entrenados, sanos.

Los estudios que apoyan la idea de que el comportamiento de los patrones ventilatorios durante el ejercicio puede variar según el protocolo, ergómetro, nivel de entrenamiento y edad de los sujetos analizados se detallan a continuación:

Prioux (54) en su trabajo estudió a 9 hombres (27.8 ± 1.21 años) sanos que realizaron dos pruebas de esfuerzo incrementales hasta el agotamiento en cicloergómetro con dos protocolos distintos (1 min con 30 s y 4 min). Los resultados mostraron que en el protocolo de 4 minutos los valores de la VE, VT/Ti, VO₂, VC O₂ y BF fueron más altos, mientras que los valores de Ti, Te y tiempo total de respiración (Ttot) fueron más bajos comparados con el protocolo de 1 minuto y 30 segundos.

En el trabajo realizado por Kalsas y Thorsen (55) encontraron que los patrones ventilatorios durante un esfuerzo progresivo hasta el agotamiento en cicloergómetro y tapiz rodante fueron diferentes. Una de las hipótesis que este estudio planteó fue que la relación entre VT y VE a lo largo del esfuerzo progresivo incremental fue diferente en estas dos modalidades de ejercicio y a su vez, propusieron que esta idea se podía explicar en el uso diferente de las extremidades y el tórax. La muestra estudiada fueron 12 sujetos bien entrenados (7 hombres y 5 mujeres) con edades comprendidas entre los 20 y 25 años que realizaron las pruebas de forma aleatoria en distintos días.

En los resultados se observó un incremento escalonado en VT en relación a VE y un VT en un VE de 30 L min⁻¹ (VT₃₀) más alto en cicloergómetro, sin embargo VT_{max} no presentó diferencias pero se alcanzó con un valor menor de VE también en cicloergómetro. Por esto, los autores expusieron que las estrategias respiratorias fueron diferentes en tapiz rodante que en cicloergómetro y que el tipo de ejercicio debe tenerse en cuenta como norma general para los estudios relacionados con los patrones ventilatorios.

En otro estudio Elliot y Grace (33) analizaron el efecto de la modalidad de ejercicio en los patrones ventilatorios durante un esfuerzo progresivo hasta el agotamiento, en términos de estrategias respiratorias, eficiencia y capacidad ventilatoria. La muestra estudiada fueron 9 hombres triatletas sanos que llevaron a cabo dos protocolos (cicloergómetro y tapiz rodante) de esfuerzo progresivo de forma aleatoria con una pausa entre cada protocolo de 7 a 10 días.

Los resultados reflejaron una mayor capacidad ventilatoria y un mayor volumen circulante en relación a la ventilación a niveles comparables, además de un aumento en la tasa del flujo inspiratorio en todos los niveles de la ventilación en cicloergómetro. Sin embargo no se encontraron diferencias significativas en el \dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2} . La pendiente de la equivalente ventilatorio del dióxido de carbono (\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}) y el valor más bajo de éste, fueron menores durante la prueba de esfuerzo en cicloergómetro en comparación al protocolo en tapiz rodante, lo que sugiere una mayor eficiencia ventilatoria.

Al igual que el estudio anterior, los autores coincidieron en que las estrategias respiratorias empleadas fueron diferentes entre las pruebas en cicloergómetro y tapiz rodante en sujetos jóvenes bien entrenados y que la modalidad del ejercicio debía tenerse en cuenta para evaluar los patrones ventilatorios durante un esfuerzo incremental.

Una vez expuesta las ideas, por un lado de la escasa bibliografía existente sobre el tema y por otro lado, la controversia existente en la literatura, cabe mencionar que la mayoría de los trabajos que analizan la respuesta de los patrones ventilatorios es tan enfocados a poblaciones con distintas patologías (cáncer, obesidad, enfermedades respiratorias, etc.) y muchos no analizan todos los parámetros ventilatorios, por tanto la información proporcionada a veces esta sesgada.

Por otra parte, en el trabajo realizado por Aitken (56) se analizó la influencia que podía tener la estatura y el sexo sobre el control de la ventilación. La muestra estudiada fueron 67 sujetos de ambos sexos durante el reposo, en hipoxia e hipercapnia. Los resultados sugirieron que los valores de la ventilación y la tasa metabólica fueron superiores en los hombres de mayor estatura comparados con los de baja estatura. Por

otra parte hubo diferencias significativas en el control de la ventilación con respecto al sexo, e n e ste s entido l os hom bres t uvieron u na m ayor V E y t asa m etabólica e n comparación de las mujeres incluso al relativizar los datos con respecto al peso corporal. Además, l as m ujeres p resentaron un m ayor equivalente ve ntilatorio de di óxido de carbono y menores valores en la presión del dióxido de carbono al final de la espiración.

Sengler (57) en el 2000, en su investigación analizó si el aumento de la BF, con o sin di sminución del VT , que s e produce al final de u n ejercicio hasta e l a gotamiento podía ser causado por e l t rabajo r espiratorio m ás que po r e l t rabajo m uscular d e l as piernas. Se evaluaron 8 sujetos sanos y entrenados, que realizaron 3 pruebas de esfuerzo en ci cloergómetro h asta e l a gotamiento, lo s r esultados obt enidos s ugirieron que l os cambios e n l os pa trones r espiratorios fueron consecuencia d e l os cam bios en l os músculos de las piernas más que en los músculos respiratorios.

Deruelle y colaboradores (58) en 2004, estudiaron a 8 hombres (65.7 +/- 4.5 años) y 10 mujeres (63.3 +/- 4.8 años) que llevaron a cabo dos pruebas de esfuerzo progresivo en cicloergómetro y remo. Los resultados mostraron un valor de VE significativamente más alto tanto para hombres ($p < 0.05$) como para mujeres ($p < 0.01$) y un valor de $VT_{m\acute{a}x}$ también más alto ($p < 0.01$) ($p < 0.05$) respectivamente durante el esfuerzo máximo en remo.

1.5. Patrones ventilatorios en niños.

A pesar de que el análisis de la respuesta ventilatoria en niños durante el reposo y el ejercicio ha sido abordado en diversos trabajos (59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73 , 74, 75, 76, 77) e i ncluso s e ha c omparado l a r espuesta ve ntilatoria entre ni ños y a dultos (78, 79, 80, 81, 82, 83, 84) l os t rabajos que es tudian los componentes ve ntilatorios dr iving y t iming e n l os ni ños son e scasos, y l os r esultados aportados son contradictorios.

Gaultier y colaboradores (59) en 1981, analizaron la respuesta ventilatoria en reposo en 62 niños con edades comprendidas entre los 4 y los 16 años, encontrando que VT/Ti aumentó con la edad, mientras que Ti/T_{tot} permaneció constante. Por otro lado encontraron que BF disminuyó mientras que $el Ti$ aumentó, ambos cambios en los parámetros se manifestaron con el aumento de la edad alcanzando valores de adultos a partir de los 13 años.

Boule y colaboradores (64) en 1989, estudiaron los componentes ventilatorios driving y timing en 18 niños no entrenados de 6 a 15 años de edad (9 niños y 9 niñas) que realizaron una prueba de esfuerzo en cicloergómetro, encontrando que ambos parámetros aumentaron con los incrementos de la intensidad del ejercicio. Sin embargo este estudio no analizó los cambios en el driving y el timing con respecto a la edad.

En el estudio realizado por Mercier (63) en 1991, se analizó la influencia que podía tener las características antropométricas sobre la ventilación y los patrones ventilatorios en 76 niños varones escolarizados no entrenados con edades comprendidas entre 10.5 y 15.5 años durante un esfuerzo progresivo hasta el agotamiento. Los resultados mostraron que cuando no se tenía en cuenta la masa corporal, el driving aumentaba aproximadamente el 63%. El autor concluyó que los cambios en VE_{max} , VT_{max} y VT/Ti_{max} tenían una relación estrecha con los cambios en la masa corporal.

Ondrak y McMurray (65) en 2006, examinaron la influencia del sexo, edad, intensidad del ejercicio y dióxido de carbono al final de la espiración sobre los componentes del driving y timing de la ventilación. Se estudió un total de 295 jóvenes con edades comprendidas entre los 8 y los 18 años de edad (138 mujeres y 157 hombres) que fueron distribuidos de manera uniforme. Este análisis se realizó en reposo y durante caminata lenta (4.0 km/h), caminata rápida (5.6 km/h) y carrera (8.0 km/h).

Los resultados encontrados en este estudio no mostraron diferencias significativas en el driving expresado por kg de masa corporal con respecto al sexo ($p = 0.065$). En general, el driving/kg disminuyó con la edad, pero aumentó con la intensidad de ejercicio ($p < 0.0001$ en ambos). Por otro lado, cuando el driving se mostró en valores

absolutos, no se encontró diferencias significativas con respecto al sexo ($p < 0.45$). Sin embargo el driving aumentó con la edad y con la intensidad del ejercicio. En el caso del timing no se encontró diferencias significativas entre mujeres y hombres ($p = 0.72$), sin embargo disminuyó ligeramente con la edad, pero por otro lado aumentó con la intensidad del ejercicio ($p < 0.0001$ en ambos).

Este estudio concluyó que los cambios en los componentes de la ventilación driving y timing relacionados con la edad, estaban asociados al dióxido de carbono al final de la espiración tanto en reposo como durante las caminatas a diferentes intensidades. Además los autores pusieron de manifiesto la escasa información existente acerca del estudio de los componentes driving y del timing en niños durante el reposo o el ejercicio.

Una vez expuestos los escasos estudios que abordan el análisis de los componentes de la ventilación driving y timing, podemos señalar que hacen falta más investigaciones para comprender y explicar el comportamiento de VT/Ti y Ti/T_{tot} en la población infantil tanto en reposo como en ejercicio, así como la relación de los mismos con respecto a la edad y a los protocolos utilizados.

Por otro lado, diversos estudios (78, 79, 80, 81, 82, 83, 84) han señalado las diferencias en los patrones ventilatorios entre niños y adultos, por lo que la literatura establece que los niños tienen valores menores de VE y VT absolutos, además de un menor volumen de dióxido de carbono al final de la espiración. Sin embargo, éstos han apuntado que los niños tienen valores superiores de BF , VE/kg y VE/VO_2 en comparación con los adultos.

Otros estudios (60, 67, 79) han mostrado que los niños son más sensibles al CO_2 que los adultos y adolescentes. Por otra parte, es sabido que los niños de menor edad presentan valores superiores de VE/kg en comparación con los adultos y ligeramente superiores que los niños de mayor edad (60, 67, 68, 69, 79).

En este sentido exponemos a continuación las investigaciones que aportan información acerca de la respuesta ventilatoria en niños:

Cooper (60) en 1987, en su trabajo estudió a 128 niños sanos entre 6 y 18 años que llevaron a cabo una prueba de esfuerzo progresivo siguiendo un protocolo en rampa. Los resultados de este estudio sugirieron que el proceso del control respiratorio sufrió un cambio gradual durante la infancia y que los niños de menor edad parecían tener un valor menor de dióxido de carbono al final de la espiración. Sin embargo, los autores señalaron que las diferencias encontradas entre los niños de menor edad con respecto a los de mayor edad eran pequeñas, por lo que los autores concluyeron que los mecanismos de control de la respiración estaban cerca de la madurez en edades tempranas.

El estudio realizado por Armon (84) en 1991, analizó a 10 niños (7-11 años) para evaluar la VCO_2 y la VE antes, durante y 10 minutos después de un minuto de esfuerzo explosivo llevado a cabo en cicloergómetro. En este trabajo la respuesta ventilatoria reflejó la madurez en el control respiratorio y un menor end-tidal CO_2 .

Cooke y colaboradores (81), evaluaron a 8 niños y 8 adultos entrenados durante una prueba de esfuerzo en tapiz rodante con dos cargas diferentes externas y no encontraron diferencias significativas en la respuesta del VO_2 frente a estos estímulos tanto en niños como en adultos. Este estudio también mostró que durante el esfuerzo sin carga externa en tapiz rodante los resultados sugerían que los niños tenían mayor VO_2 comparado con los adultos.

Otro estudio llevado a cabo por Lanteri y Sly (70) en el que se evaluó la ventilación mecánica en 51 niños (3-15 años) con pulmones sanos que estaban bajo anestesia para ser sometidos a una cirugía urológica, encontraron que los mecanismos respiratorios cambiaban con el crecimiento de los niños. Además los autores asociaron este cambio a la disminución de la resistencia de la vía aérea.

En 1997, Amstrong (71) realizó un estudio transversal en el que evaluó a 101 niños y 76 niñas de 11 años durante un esfuerzo de máxima y submáxima intensidad en tapiz rodante. Los resultados mostraron valores de $VO_{2\text{pico}}$, VE y VT significativamente más altos en niños en comparación con las niñas, no obstante los valores de BF y VE/ VCO_2 no presentaron diferencias significativas entre sexos tanto para el ejercicio de máxima como el de submáxima intensidad. Los autores señalaron que al relativizar todos los valores resultantes de este estudio con respecto a la masa corporal de los sujetos no se encontraron diferencias significativas.

Rowland y Cunningham (68) en 1997, realizaron un estudio longitudinal de la evolución de la respuesta ventilatoria en niños sanos. Estos autores advirtieron que la información obtenida de los estudios transversales (60, 61, 62, 65, 80) acerca de la respuesta de los patrones ventilatorios al ejercicio, evolucionó durante la infancia. También apuntaron que los aumentos en la ventilación y el volumen circulante así como el descenso del equivalente ventilatorio de oxígeno estaban estrechamente relacionados con el crecimiento. Este autor señaló, que a diferencia de los resultados obtenidos por Rutenfranz (72) no encontró disminución en VE/ VO_2 con respecto a la edad.

Este estudio fue realizado durante cinco años y se diseñó para proporcionar una evaluación longitudinal de VE, VT y BF en 20 niños (11 niñas y 9 niños) con edades comprendidas entre los 9 y los 13 años. Los sujetos llevaron a cabo una prueba máxima y otra submáxima utilizando el mismo protocolo en tapiz rodante año tras año.

Los resultados no mostraron diferencias significativas en ninguna de las tres variables (VE, VT y BF) con respecto al sexo. En el ejercicio submáximo, el VT/kg permaneció constante, con una caída progresiva de la BF. Como resultado de lo anterior, disminuyó la VT/kg con la edad. Se observó un patrón similar durante el ejercicio de máxima intensidad, sin embargo la disminución de la VE relativa no fue significativa. El equivalente ventilatorio de oxígeno descendió con la edad durante la prueba submáxima, sin embargo solamente en los niños disminuyó en pruebas máximas, mientras que el VE/ VO_2 fue mayor en las niñas durante la prueba máxima y submáxima en todas las edades. Estos resultados confirman la información existente en estudios transversales.

Los autores de este estudio pusieron en evidencia la escasa bibliografía existente de estudios longitudinales que analicen la evolución de la respuesta ventilatoria en niños.

Nagano (67) en 1998, analizó el control ventilatorio en 80 niños de 6.4-17.6 años (42 hombres entre 11.6 ± 3.3 años; con masa corporal de 41.3 ± 14.7 kg; y 38 mujeres de 12.6 ± 2.7 años; con masa corporal de 42.5 ± 9.3 kg) durante un esfuerzo en tapiz rodante, los resultados de este estudio sugirieron que los niños comparados con los adolescentes y adultos, eran más sensibles al CO_2 y que los niños de menor edad tenían valores mayores de BF, por lo que este autor concluyó que la edad debía ser considerada al investigar el control de la ventilación durante el ejercicio en niños.

En el estudio de Nourry y colaboradores (73) en 2006, analizaron 18 niños sanos prepúberes (6 niñas y 12 niños, 10.1 ± 0.3 años) durante un esfuerzo máximo hasta el agotamiento, ésta evaluación se hizo a través de medir el flujo espiratorio (expFL) y su implicación en la regulación de la VT. Para estos autores los resultados mostraron que pudo haber una limitación ventilatoria en los niños sanos prepúberes que resultara en una hiperinsuflación dinámica relativa o una limitación del flujo espiratorio.

Otro estudio más reciente realizado por Guerrero (85) en 2008, analizó la influencia del sexo en la eficiencia ventilatoria en niños pequeños durante un esfuerzo en cicloergómetro, este trabajo evaluó 84 niños con edades comprendidas entre los 8 y los 9 años. Se analizaron los siguientes parámetros y sus respectivas pendientes: VCO_2 , VE, y la relación VE/VCO_2 , durante una prueba de esfuerzo hasta el agotamiento. Este trabajo concluyó que a pesar de que los valores pico de la VE y la VCO_2 tuvieron una diferencia significativa entre los sexos, no se encontró diferencias significativas en la eficiencia ventilatoria expresada como la pendiente del VE/VCO_2 .

1.6. Planteamiento del problema.

Sabemos que la respuesta ventilatoria en adultos es independiente del protocolo utilizado en ejercicio progresivo hasta el agotamiento en tapiz rodante, sin embargo desconocemos si la respuesta tendría el mismo comportamiento al utilizar diferentes protocolos y ergómetros.

Por otra parte, existen pocos estudios acerca de los componentes ventilatorios (driving y timing) en niños durante el ejercicio o en reposo. En particular, no conocemos con exactitud la respuesta ventilatoria durante un ejercicio progresivo hasta el agotamiento en cicloergómetro en niños por lo que desconocemos si esta respuesta ventilatoria es similar a los adultos.

Por último, desconocemos el efecto de la edad sobre este tipo de respuestas.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.

2.1. Objetivo General.

Analizar y describir la respuesta ventilatoria de los componentes del ciclo respiratorio utilizando dos protocolos distintos de ejercicio progresivo hasta el agotamiento en cicloergómetro y/o ciclosimulador, tanto en niños como en adultos, y evaluar esta respuesta usando un nomograma en términos de VT y BF.

2.2. Objetivos específicos.

1. Conocer el efecto que pueden tener protocolos distintos sobre los componentes de la respuesta ventilatoria durante el esfuerzo progresivo hasta el agotamiento.
2. Analizar el impacto que puede tener el ergómetro empleado en las pruebas de esfuerzo sobre la respuesta ventilatoria en adultos.
3. Describir la respuesta de los componentes de *driving* y *timing* en los niños prepúberes durante un esfuerzo progresivo hasta el agotamiento en cicloergómetro.
4. Examinar las diferencias o similitudes que se puedan encontrar en la respuesta de los componentes de los patrones ventilatorios entre los niños y los adultos.
5. Comparar la respuesta ventilatoria de los niños entre los diferentes grupos de edad.
6. Elaborar un nomograma que nos proporcione información para analizar los patrones ventilatorios de manera práctica y eficaz, tanto para niños como para adultos.

2.3. Hipótesis.

La respuesta de los patrones ventilatorios durante ejercicio progresivo en cicloergómetro o ciclosimulador no dependen del nivel de entrenamiento, ni de la edad de los sujetos, ni del protocolo o ergómetro empleado.

La respuesta de la ventilación está fuertemente relacionada con los cambios en el flujo inspiratorio (V_T/T_i).

La respuesta ventilatoria durante el ejercicio en cicloergómetro puede ser analizada mediante un nomograma.

3. METODO.

3.1. Muestra.

3.1.1. Selección de la muestra y distribución de los grupos.

Hemos estudiado retrospectivamente un total de 106 sujetos de sexo masculino, 32 adultos con edades comprendidas entre los 20 y los 60 años y 74 niños con edades comprendidas entre los 7 y los 11 años. En el caso de los adultos, fueron analizados a partir de los datos procedentes de revisiones médico-deportivas realizadas en el Centro Andaluz de Medicina del Deporte de Sevilla (CAMD). La muestra de los niños fue examinada a partir de los datos procedentes de un estudio previo realizado en el CAMD (85). Los sujetos adultos por un lado eran deportistas bien entrenados practicantes de ciclismo y triatlón, por el otro lado eran deportistas aficionados practicantes de ciclismo. Los niños pertenecían a diferentes centros educativos, clubes y escuelas deportivas (fútbol, atletismo y patinaje) de la provincia de Sevilla. En concreto procedían del Colegio Público Purísima Concepción y de la Escuela Deportiva de Fútbol del municipio de La Algaba (Sevilla) y del Colegio Concertado Nuestra Señora del Rosario, del Club de Atletismo San Pablo y de la Escuela de Patinaje “El Paraguas”, situados en Sevilla capital.

En el caso de la población infantil, para descartar la presencia de patología que pudiera contraindicar o influir en la prueba de esfuerzo, se cumplimentó por parte de los padres o tutores un cuestionario de antecedentes médicos (Anexo1) personales y familiares.

A todos los sujetos se les realizó una revisión médico deportiva, que incluía un reconocimiento médico completo, un electrocardiograma y una espirometría en reposo previos a la prueba de esfuerzo. Igualmente, tanto los sujetos adultos como los padres o tutores legales de los niños firmaron un consentimiento informado previo a la realización del estudio.

El grupo de los niños quedó configurado por 74 sujetos de sexo masculino, sanos, caucásicos. Fueron divididos en cinco grupos de edades como se detalla en la Tabla 1. Este grupo se denominó NC1 haciendo mención a la edad (N), ergómetro (C, cicloergómetro) y al protocolo (1, escalones de 1 minuto) utilizados.

TABLA 1: Agrupación por edad de la muestra en población infantil (n=74).

GRUPO NC1 (n=74)				
7 años	8 años	9 años	10 años	11 años
13	14	18	11	18

La muestra de adultos fue dividida según el ergómetro (ciclosimulador o cicloergómetro) y el protocolo de esfuerzo utilizado (protocolo escalonado con cambios de intensidad cada tres minutos o protocolo escalonado con cambios de intensidad cada minuto). De esta forma la muestra quedó dividida en tres grupos (AC1, AS1 y AS3) haciendo mención al grupo de edad (A), ergómetro (C: cicloergómetro y S: ciclosimulador) y protocolo (1 y 3: escalones de 1 y 3 minutos respectivamente) como se describe en la Tabla 2. El grupo AS3, lo formaron un total de 7 sujetos que habían realizado la prueba de esfuerzo en ciclosimulador siguiendo un protocolo escalonado con incrementos de 5 km/h cada tres minutos. El grupo AS1, lo formaron un total de 7 sujetos que habían realizado la prueba en ciclosimulador siguiendo un protocolo escalonado con incrementos de 2 km/h cada minuto y el tercer grupo AC1, lo formaron los 18 sujetos restantes que habían realizado la prueba de esfuerzo en cicloergómetro siguiendo un protocolo escalonado con incrementos de 25W cada minuto.

TABLA 2: Distribución de los sujetos adultos por grupos según el ergómetro y el protocolo de esfuerzo utilizado (n=32).

ADULTOS (n=32).		
Grupo	Sujetos	Protocolo
AS3	7	Escalonado con cambios de intensidad cada 3 minutos en ciclo simulador.
AS1	7	Escalonado con cambios de intensidad cada minuto en ciclo simulador.
AC1	18	Escalonado con cambios de intensidad cada minuto en cicloergómetro.

Todas las pruebas fueron realizadas en el mismo laboratorio, a las mismas horas para cada grupo y por los mismos exploradores, procediéndose con anterioridad a la minuciosa calibración de los instrumentos.

3.1.2. Criterios de selección de la muestra.

Para establecer la selección retrospectiva de la muestra de los adultos se hizo una revisión profunda de la base de datos del CAMD de los últimos tres años y se recopilaron los datos procedentes de todas las pruebas de esfuerzo realizadas por deportistas de sexo masculino ciclistas y triatletas.

La muestra de la población infantil que dó configurada de manera retrospectiva procedente de un estudio (85) previo realizado en el CAMD del que se seleccionaron las pruebas llevadas a cabo por sujetos de sexo masculino en edades comprendidas entre los 7 y 11 años.

3.2. Material e instrumental.

3.2.1. Instalación.

La instalación utilizada para los estudios, ha sido el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio del Centro Andaluz de Medicina del Deporte (CAMD), de Sevilla.

3.2.2. Instrumental.

3.2.2.1. Características de los sujetos, antropometría:

- **Peso:** balanza con precisión de 100 gramos.
- **Talla:** tallímetro con escala milimetrada.

3.2.2.2. Reconocimiento médico:

- **Presión arterial:** manómetro de mercurio.
- **Electrocardiograma (E.C.G.):** Estudio de 12 derivaciones en el PC-E.C.G.-1200, de la casa NORAV MEDICAL LTD.
- **Espirometría:** con un espirómetro modelo DATOSPIR 120 C de la casa Sibelmed®.

3.2.2.3. Prueba de esfuerzo:

3.2.2.3.1. Ergómetro: Cicloergómetro electrónico ER 800 de la casa Jaegger (Bitz, Alemania) y ciclosimulador Spin Trainer Techmogym (Cesena, Italia).

3.2.2.3.2. Análisis ventilatorio: Analizador de gases V_{\max} Spectra de la casa Sensor Medics (Yorba Linda, California, USA) con análisis de infrarrojos para el dióxido de carbono y por célula química para el oxígeno. Los parámetros ventilatorios se obtuvieron por integración del flujo recogido mediante un flujómetro de diferencia de temperatura. De los parámetros obtenidos, integrados en un software específico diseñado por Sensor Medics, se recogieron respiración a respiración para el estudio los siguientes: VE, VT, BF, Ti,

Ttot, Ti/Ttot y VT/Ti, estos resultados fueron incorporados a una base de datos para su análisis estadístico en una hoja de cálculo Excel 2011.

3.2.2.4. Material desechable:

- Guantes de látex.
- Algodón.
- Alcohol.
- Boquillas de cartón (espirometría).

3.3. Diseño.

Se trata de un estudio descriptivo, retrospectivo y transversal en el que la muestra es aleatoria. La variable independiente es la intensidad controlada de ejercicio y las variables dependientes son los diferentes parámetros ventilatorios que se indican más adelante.

3.4. Variables.

3.4.1. Variables independientes:

- El tipo de ergómetro, en el caso de la muestra infantil únicamente se utilizó el cicloergómetro y en el caso de la muestra de adultos, cicloergómetro y ciclosimulador.
- Tipos de protocolos, mientras la muestra infantil llevó a cabo un mismo protocolo, la muestra de adultos realizó tres protocolos diferentes uno para cada grupo.
- Ejercicio progresivo hasta el agotamiento (toda la muestra).
- Edad (en el caso de la muestra infantil). Estableciendo cinco niveles:
 - 7 años.
 - 8 años.
 - 9 años.
 - 10 años.
 - 11 años.

3.4.2. Variables dependientes.

Las variables dependientes son los parámetros recogidos en la prueba de esfuerzo:

- VE: ventilación Pulmonar (L/min).
- VT: volumen circulante (L).
- BF: frecuencia respiratoria (r.p.m.).
- Ti: tiempo de inspiración (L).
- Ttot: tiempo total de respiración (s).
- Ti/Ttot: mecanismo alternativo de inspiración-espriación o proporción que ocupa la inspiración dentro de la duración total de cada ciclo respiratorio (timing).
- VT/Ti: flujo inspiratorio o actividad inspiratoria central (driving) (L/s).

3.4.3. Variables contaminadoras. Control experimental:

- Lugar y hora de realización de la prueba. Todas las pruebas fueron realizadas en el mismo laboratorio, las pruebas de los adultos tuvieron lugar en el horario de mañana entre las 10:00 y las 13:00 horas. Las pruebas de los niños se realizaron en el horario de tarde, entre las 16:00 y las 19:00 horas.
- Las condiciones ambientales fueron controladas, manteniendo una temperatura en el laboratorio entre los 20 y 25 °C y la humedad al 70%.
- Edad: no controlada en los adultos y si controlada en los niños.
- Sexo: si controlado, se seleccionaron las pruebas llevadas a cabo por sujetos de sexo masculino.
- Nivel de actividad física: si controlada. En los adultos, los grupos AS3 y AS1 eran deportistas bien en entrenados practicantes de ciclismo y triatlón y el grupo AC1 eran deportistas aficionados practicantes de ciclismo. Los niños fueron clasificados según la modalidad deportiva y las horas practicadas por semana en alguna actividad deportiva, ya sea federada o de clubes deportivos. Se clasifico como “no practicantes” a los niños que no cumplían estas características (ver Anexo 2).
- Madurez de los niños: no controlada.

3.5. Procedimiento.

3.5.1. Distribución de las sesiones de trabajo.

Las pruebas de los niños fueron realizadas por la tarde (16:00-19:00 horas). Se pasó un cuestionario de antecedentes médicos (personales y familiares) remitidos a los padres con anterioridad al examen, una revisión médica compuesta por medidas de talla, peso, presión arterial y un electrocardiograma de reposo (espirometría en función de los antecedentes).

Todas las pruebas de los adultos tuvieron lugar por la mañana entre las 10:00 y las 13:00 horas, en el curso de una revisión médico deportiva rutinaria.

El diseño y realización del presente estudio fue aprobado por el comité de ética del Centro Andaluz de Medicina del Deporte de Sevilla.

3.5.2. Prueba de esfuerzo:

Todos los sujetos habían realizado una prueba de esfuerzo hasta el agotamiento en cicloergómetro o ciclo simulador siguiendo uno de cuatro protocolos distintos.

3.5.3. Protocolo:

Se utilizaron cuatro protocolos distintos para la realización de las pruebas en dos ergómetros (ciclo simulador y cicloergómetro), establecidos de la siguiente manera:

- Grupo AS3, realizaron la prueba de esfuerzo en ciclo simulador siguiendo un protocolo escalonado con incrementos de 5 km/h cada tres minutos iniciando a 20 km/h.
- Grupo AS1, realizaron la prueba de esfuerzo en ciclo simulador siguiendo un protocolo escalonado con incrementos de 2 km/h cada minuto, iniciando a 20 km/h.
- Grupo AC1, realizaron la prueba de esfuerzo en cicloergómetro siguiendo un protocolo escalonado con incrementos de 25W cada minuto, iniciando

a 25W , 50 W, 75 W o 100W, según el nivel de entrenamiento de los sujetos.

- Grupo NC1, realizaron la prueba de esfuerzo en cicloergómetro, siguiendo un protocolo escalonado con incrementos de 10W cada minuto, iniciando a 25W. Se estableció una frecuencia mínima de pedaleo de 50 r.p.m. y se consideró nula aquellas pruebas que bajaban de esta frecuencia mínima antes de finalizar la misma, no incluyéndose estas en los resultados.

En el caso de los adultos, el Centro Andaluz de Medicina del Deporte de Sevilla para valorar a los ciclistas y los triatletas tenían designadas las pruebas en cicloergómetro, de esta manera los atletas podían hacer uso de sus bicicletas, además el protocolo escalonado de tres minutos estaba reservado para los atletas de mayor nivel de entrenamiento, por otro lado las pruebas en cicloergómetro estaban asignadas a los deportistas aficionados practicantes de ciclismo a los que se les realizaban revisiones médico deportivas rutinarias.

En todas las pruebas, tanto en niños como en adultos, se estimuló a los sujetos verbalmente para lograr que se realizaran hasta el agotamiento.

Los resultados fueron almacenados en una base de datos para su análisis, empleando para ello el programa Excel 2011 de Microsoft Office.

En todas las pruebas se determinó el consumo máximo o pico de oxígeno y para hacer posible su comparación, independientemente del protocolo utilizado todas las intensidades se relativizaron y fueron expresadas como porcentaje del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) o consumo de oxígeno pico (VO_{2peak}), de forma que se tomaron siete niveles de intensidad para los adultos y ocho para los niños: 25%, 35%, 45%, 55%, 70%, 80%, 90% y 100%, en los adultos no se registró el nivel de intensidad del 90%.

En cada una de estas intensidades, al utilizar protocolos distintos con duraciones diferentes, los datos obtenidos se expresan como las medias de los valores registrados en

los últimos 30 o 60 segundos de cada escalón, según los incrementos fueran de 1 o 3 minutos respectivamente.

De cada prueba se obtuvieron los datos de VE, VT, BF, y tiempos del ciclo respiratorio (T_i , T_{tot}). Igualmente se analizaron las relaciones VT/T_i y T_i/T_{tot} para tener información acerca de los componentes centrales de la ventilación (driving y timing).

Se elaboró un nomograma ventilatorio para analizar la relación entre VT y BF en cicloergómetro siguiendo el procedimiento propuesto por Naranjo y colaboradores (27) empleado en pruebas de tapiz rodante.

3.6. Análisis Estadístico.

Se realizó un análisis estadístico descriptivo y se determinaron las medias y desviaciones estándar (SD).

Se llevó a cabo el contraste de hipótesis, para ello se hicieron comparaciones entre los grupos por protocolo, ergómetro y edad.

Se asumió la normalidad de las distribuciones y al tratarse de distribuciones independientes se realizó un test de LEVENE para analizar la homogeneidad de las varianzas, de esta manera realizamos un análisis de varianzas ANOVA de un factor utilizando como test de Post Hoc para identificar las diferencias, el test de Bonferroni para varianzas iguales y el de Games-Howell para varianzas distintas. Se estableció como nivel de significación $p < 0,05$.

También se llevó a cabo un análisis gráfico entre variables para obtener las correspondientes ecuaciones de regresión.

4. RESULTADOS.

4.1. Antropometría y características generales de la muestra.

4.1.1. Datos antropométricos de la muestra.

En la Tabla 3 se recoge las características antropométricas por grupos de la muestra de adultos (AS3, AS1 y AC1), expresadas por las medias y las desviaciones estándar correspondientes.

Grupo		Edad (años)	Peso (kg)	Talla (cm)	VO _{2max} (ml/kg/min)	IMC (kg/cm ²)
AS3	MEDIA	26,57	66,39	172,86	68,27	22,21
	DS	5,65	4,76	3,08	8,13	1,43
AS1	MEDIA	33,79	69,84	175,71	56,44	22,95
	DS	13,78	5,18	5,15	8,64	1,73
AC1	MEDIA	41,11	73,58	173,42	47,51	24,45
	DS	9,21	9,94	5,45	6,13	2,98

La Tabla 4 recoge las características antropométricas por edad (7, 8, 9, 10 y 11) del grupo de los niños (NC1), expresadas por las medias y las desviaciones estándar correspondientes.

Edad	Peso (kg)		Talla (cm)		VO _{2max} (ml/kg/min)		IMC(kg/cm ²)	
	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS
7	30,71	7,00	130,17	5,88	45,30	9,74	18,03	3,40
8	32,72	7,64	133,35	6,30	46,89	14,31	18,19	2,63
9	37,88	7,75	137,20	8,41	42,94	8,48	20,37	3,00
10	37,55	8,34	141,34	7,81	44,53	9,59	18,69	2,63
11	45,59	11,76	147,59	8,17	44,22	9,83	20,92	4,25

Las Tablas 5, 6 y 7 registran los datos de cada una de las variables por escalón de intensidad de los tres grupos (AS3, AS1 y AC1) en los adultos.

TABLA 5: Grupo AS3, protocolo escalonado de tres minutos en ciclo simulador.

%VO _{2max}	VE (L/min)		VT (L)		BF (r.p.m.)		Ti (s)		Ttot (s)		VT/Ti (L/s)		Ti/Ttot	
	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)
25%	30,51	3,51	1,60	0,12	19,29	0,38	1,33	0,18	3,17	0,11	1,24	0,27	0,42	0,04
35%	40,52	7,72	1,83	0,14	22,62	2,86	1,17	0,19	2,18	1,26	1,28	0,77	0,43	0,03
45%	39,49	9,37	1,78	0,18	22,37	3,72	1,19	0,17	2,78	0,39	1,52	0,38	0,44	0,03
55%	51,16	11,02	2,04	0,27	25,53	2,80	1,08	0,11	2,41	0,24	1,94	0,40	0,44	0,02
70%	67,00	14,76	2,40	0,49	28,89	1,30	0,99	0,01	2,16	0,06	2,43	0,44	0,46	0,02
80%	82,66	19,07	2,55	0,37	32,49	5,19	0,85	0,14	1,89	0,27	2,99	0,67	0,46	0,01
100%	153,16	27,01	3,11	0,39	49,38	6,40	0,61	0,08	1,25	0,16	5,28	0,93	0,49	0,01

TABLA 6: Grupo AS1, protocolo escalonado de un minuto en ciclo simulador.

%VO _{2max}	VE (L/min)		VT (L)		BF (r.p.m.)		Ti (s)		Ttot (s)		VT/Ti (L/s)		Ti/Ttot	
	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)
25%	32,46	4,26	1,30	0,06	25,42	2,77	1,03	0,11	2,40	0,22	1,28	0,17	0,43	0,01
35%	36,71	7,98	1,53	0,24	24,88	6,01	1,16	0,41	2,62	0,83	1,42	0,34	0,44	0,02
45%	42,73	9,89	1,86	0,28	24,11	6,96	1,24	0,43	2,73	0,84	1,61	0,41	0,45	0,02
55%	53,44	9,52	2,07	0,28	26,73	6,04	1,09	0,32	2,40	0,65	2,00	0,38	0,45	0,01
70%	67,89	13,17	2,39	0,20	29,00	6,42	1,01	0,25	2,20	0,52	2,48	0,48	0,46	0,01
80%	83,10	19,04	2,55	0,30	33,05	7,88	0,89	0,17	1,92	0,37	2,98	0,65	0,47	0,02
100%	148,79	24,20	3,01	0,46	50,03	6,68	0,60	0,09	1,24	0,17	5,11	0,73	0,49	0,03

TABLA 7: Grupo AC1, protocolo escalonado de un minuto en cicloergómetro.

%VO _{2max}	VE (L/min)		VT (L)		BF (r.p.m.)		Ti (s)		Ttot (s)		VT/Ti (L/s)		Ti/Ttot	
	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)
25%	22,54	3,76	1,24	0,20	19,21	5,21	1,57	0,59	3,41	1,03	0,87	0,20	0,45	0,05
35%	26,80	5,86	1,47	0,36	19,07	3,58	1,39	0,23	3,31	0,57	1,08	0,24	0,42	0,03
45%	33,59	6,17	1,73	0,38	20,25	3,60	1,35	0,29	3,09	0,50	1,28	0,25	0,43	0,04
55%	40,85	7,74	1,98	0,44	21,33	4,42	1,30	0,32	2,97	0,65	1,58	0,32	0,44	0,03
70%	54,29	10,10	2,38	0,38	23,34	4,45	1,22	0,27	2,69	0,50	2,05	0,43	0,45	0,03
80%	67,49	13,45	2,53	0,41	27,26	5,86	1,05	0,25	2,31	0,46	2,58	0,69	0,45	0,03
100%	109,57	26,72	2,80	0,38	39,33	7,99	0,74	0,13	1,59	0,26	3,93	0,87	0,47	0,02

Las Tablas 8, 9, 10, 11 y 12 recogen los datos de cada una de las variables por escalón de intensidad de los cinco grupos NC1 (7-11) de la muestra de los niños.

TABLA 8: Grupo NC1 (7 años), datos ventilatorios correspondientes a todos los niveles de trabajo.

%VO _{2peak}	VE (L/min)		VT (L)		BF (r.p.m.)		Ti (s)		Ttot (s)		VT/Ti (L/s)		Ti/Ttot	
	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)
25%	19,84	19,89	0,55	0,52	36,17	9,96	1,03	0,39	1,93	0,60	0,69	0,72	0,51	0,19
35%	22,67	16,60	0,58	0,47	41,19	7,17	0,76	0,11	1,56	0,22	0,80	0,61	0,48	0,15
45%	23,70	19,56	0,59	0,48	41,87	10,11	0,77	0,20	1,54	0,34	0,83	0,70	0,49	0,14
55%	28,79	20,06	0,63	0,46	46,69	9,08	0,69	0,16	1,38	0,29	1,00	0,73	0,49	0,13
70%	34,89	21,57	0,72	0,57	51,62	11,88	0,63	0,16	1,27	0,34	1,19	0,75	0,49	0,13
80%	40,78	30,90	0,85	0,79	52,18	16,02	0,64	0,21	1,28	0,41	1,40	1,09	0,50	0,18
90%	43,83	27,27	0,82	0,57	55,59	13,07	0,59	0,18	1,17	0,34	1,50	0,99	0,50	0,14
100%	49,92	32,86	0,86	0,53	57,98	9,78	0,55	0,13	1,09	0,23	1,70	1,10	0,50	0,14

TABLA 9: Grupo NC1 (8 años), datos ventilatorios correspondientes a todos los niveles de trabajo.														
%VO _{2peak}	VE (L/min)		VT (L)		BF (r.p.m.)		Ti (s)		Ttot (s)		VT/Ti (L/s)		Ti/Ttot	
	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)
25%	18,02	7,04	0,50	0,14	36,40	9,15	0,85	0,29	1,79	0,30	0,67	0,26	0,47	0,03
35%	15,36	4,48	0,47	0,15	34,87	8,70	0,93	0,40	1,87	0,46	0,54	0,17	0,49	0,02
45%	21,60	5,64	0,56	0,16	39,79	6,96	0,76	0,24	1,59	0,27	0,77	0,20	0,48	0,02
55%	26,06	7,18	0,63	0,17	43,02	9,82	0,74	0,29	1,53	0,37	0,92	0,26	0,48	0,03
70%	34,96	11,13	0,72	0,20	49,57	10,59	0,65	0,25	1,30	0,32	1,20	0,38	0,49	0,03
80%	43,66	12,42	0,85	0,23	52,45	10,15	0,61	0,21	1,22	0,23	1,50	0,43	0,49	0,02
90%	47,04	11,28	0,83	0,26	58,56	7,84	0,54	0,17	1,07	0,15	1,60	0,38	0,50	0,02
100%	51,69	12,87	0,88	0,25	60,26	9,60	0,53	0,16	1,05	0,14	1,74	0,44	0,50	0,02

TABLA 10: Grupo NC1 (9 años), datos ventilatorios correspondientes a todos los niveles de trabajo.														
%VO _{2peak}	VE (L/min)		VT (L)		BF (r.p.m.)		Ti (s)		Ttot (s)		VT/Ti (L/s)		Ti/Ttot	
	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)
25%	15,44	4,33	0,43	0,12	36,47	5,01	0,89	0,20	1,67	0,53	0,55	0,17	0,49	0,03
35%	20,14	8,04	0,52	0,16	39,35	7,86	0,99	0,72	1,65	0,84	0,70	0,29	0,48	0,03
45%	21,50	7,29	0,53	0,16	41,33	7,13	0,82	0,30	1,52	0,52	0,75	0,27	0,50	0,05
55%	25,97	7,30	0,58	0,16	45,52	7,27	0,69	0,11	1,32	0,39	0,90	0,26	0,49	0,03
70%	32,75	8,15	0,67	0,19	51,17	11,13	0,64	0,15	1,21	0,40	1,13	0,28	0,50	0,03
80%	40,52	10,98	0,76	0,24	55,45	10,91	0,57	0,10	1,08	0,35	1,39	0,38	0,50	0,02
90%	46,06	11,78	0,81	0,22	58,53	10,76	0,55	0,10	1,03	0,33	1,56	0,41	0,50	0,02
100%	50,67	11,41	0,85	0,19	60,25	11,91	0,55	0,10	1,03	0,33	1,67	0,39	0,50	0,02

TABLA 11: Grupo NC1 (10 años), datos ventilatorios correspondientes a todos los niveles de trabajo.

%VO _{2peak}	VE (L/min)		VT (L)		BF (r.p.m.)		Ti (s)		Ttot (s)		VT/Ti (L/s)		Ti/Ttot	
	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)
25%	11,29	4,36	0,42	0,14	27,16	4,44	1,09	0,20	2,30	0,38	0,41	0,16	0,47	0,02
35%	14,95	4,31	0,48	0,15	33,36	10,04	0,92	0,24	1,93	0,49	0,53	0,17	0,48	0,02
45%	18,79	2,95	0,56	0,17	35,79	6,71	0,85	0,16	1,77	0,34	0,66	0,13	0,48	0,02
55%	22,25	4,93	0,60	0,20	39,40	8,35	0,78	0,16	1,61	0,36	0,78	0,18	0,48	0,02
70%	28,13	7,74	0,70	0,21	42,10	8,73	0,72	0,15	1,49	0,30	0,96	0,27	0,49	0,02
80%	33,46	7,50	0,79	0,21	44,24	9,68	0,70	0,15	1,43	0,30	1,14	0,28	0,49	0,02
90%	40,70	8,15	0,91	0,20	45,69	7,55	0,68	0,13	1,36	0,26	1,31	0,24	0,50	0,03
100%	44,98	15,35	0,88	0,29	52,44	10,18	0,61	0,12	1,23	0,28	1,50	0,46	0,50	0,02

TABLA 12: Grupo NC1 (11 años), datos ventilatorios correspondientes a todos los niveles de trabajo.

%VO _{2peak}	VE (L/min)		VT (L)		BF (r.p.m.)		Ti (s)		Ttot (s)		VT/Ti (L/s)		Ti/Ttot	
	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)	MEDIA	(DS)
25%	16,81	5,92	0,58	0,17	29,83	4,83	1,00	0,24	2,17	0,31	0,63	0,24	0,46	0,04
35%	20,36	6,27	0,68	0,16	30,58	6,48	0,97	0,29	2,11	0,53	0,76	0,24	0,46	0,03
45%	24,30	7,41	0,79	0,29	32,50	6,43	0,93	0,24	1,99	0,48	0,89	0,27	0,47	0,03
55%	29,95	8,94	0,84	0,23	36,83	6,20	0,82	0,19	1,74	0,36	1,07	0,32	0,47	0,03
70%	37,50	10,31	0,97	0,25	39,35	5,55	0,77	0,14	1,59	0,23	1,31	0,37	0,48	0,03
80%	44,77	10,62	1,03	0,22	44,01	4,08	0,69	0,12	1,41	0,15	1,55	0,38	0,49	0,03
90%	52,43	14,84	1,13	0,25	47,18	8,81	0,65	0,13	1,33	0,27	1,81	0,49	0,49	0,03
100%	58,22	14,33	1,17	0,27	50,25	5,81	0,61	0,09	1,23	0,15	2,01	0,51	0,49	0,03

4.2. Análisis de todas las variables VE, VT, BF, Ti, Ttot, Ti/Ttot y VT/Ti.

En los grupos de adultos al comparar el protocolo de 3 minutos con el protocolo de 1 minuto en ciclo simulador no se encontró diferencias significativas en ninguna de las variables analizadas (VE $p = 0,970$, VT $p = 0,833$, BF $p = 0,628$, Ti $p = 0,975$, Ttot $p = 0,672$, Ti/Ttot $p = 0,307$, VT/Ti $p = 0,918$).

Así, al comparar ambos ergómetros, ciclo simulador y cicloergómetro siguiendo el protocolo de 1 minuto, se encontraron diferencias significativas en todas las variables analizadas excepto en VT (VE $p = 0,001$; BF, Ti, Ttot $p \leq 0,0001$; Ti/Ttot $p = 0,003$; VT/Ti $p = 0,002$ y VT $p = 0,224$).

En la comparación de los niños con los adultos en cicloergómetro de 1 minuto se encontraron diferencias significativas en todas las variables analizadas con un valor para todas ellas de significancia de $p \leq 0,0001$.

Al comparar la muestra de niños por grupos de edad, encontramos las siguientes diferencias significativas: el grupo de 10 años mostró diferencias significativas en los parámetros VE ($p = 0,04$) y VT/Ti ($p \leq 0,0001$) con el grupo de 11 años y en los parámetros de BF, Ttot ($p \leq 0,0001$) y Ti ($p = 0,001$) con todos los grupos de edad (7, 8, 9 y 11 años). En el grupo de niños de 11 años, las diferencias se encontraron en VE y VT/Ti con el grupo de 10; en VT, BF, Ttot ($p \leq 0,0001$); Ti ($p = 0,001$) con todos los grupos de edad (7, 8, 9 y 10 años) y Ti/Ttot ($p \leq 0,0001$) con los grupos de edad de 7, 8 y 9 años.

La Tabla 13 muestra los valores de p (ANOVA) obtenidos al comparar las diferentes variables entre los grupos.

TABLA 13: Comparación de las variables entre los diferentes grupos (AS3, AS1, AC1 y NC1).							
GRUPOS	VE	VT	BF	Ti	Ttot	Ti/Ttot	VT/Ti
AS3 / AS1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
AC1 / AS1	$p = 0,970$	NS	$p = 0,628$	$p = 0,975$	$p = 0,672$	$p = 0,307$	$p = 0,918$
AC1 / NC1	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$
NC1-10 / TODOS NC1	NS / NC-11	NS	$p \leq 0,0001$	$p = 0,001$	$p \leq 0,0001$	NS	NS / NC-11
NC1-10 / NC-11	$p = 0,004$	NS	$p \leq 0,0001$	$p = 0,001$	$p \leq 0,0001$	NS	$p \leq 0,0001$
NC1-11 / NC1-7	NS	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	$p = 0,001$	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	NS
NC1-11 / NC1-8	NS	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	$p = 0,001$	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	NS
NC1-11 / NC1-9	NS	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	$p = 0,001$	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	NS
NC1-11 / NC-10	$p = 0,04$	$p \leq 0,0001$	$p \leq 0,0001$	$p = 0,001$	$p \leq 0,0001$	NS	$p \leq 0,0001$

4.3. Relación VE y VT/Ti.

En las Figuras 2, 3 y 4 podemos observar que la ventilación y el flujo inspiratorio se correlacionan linealmente en cada uno de los grupos AS3, AS1, AC1 en adultos.

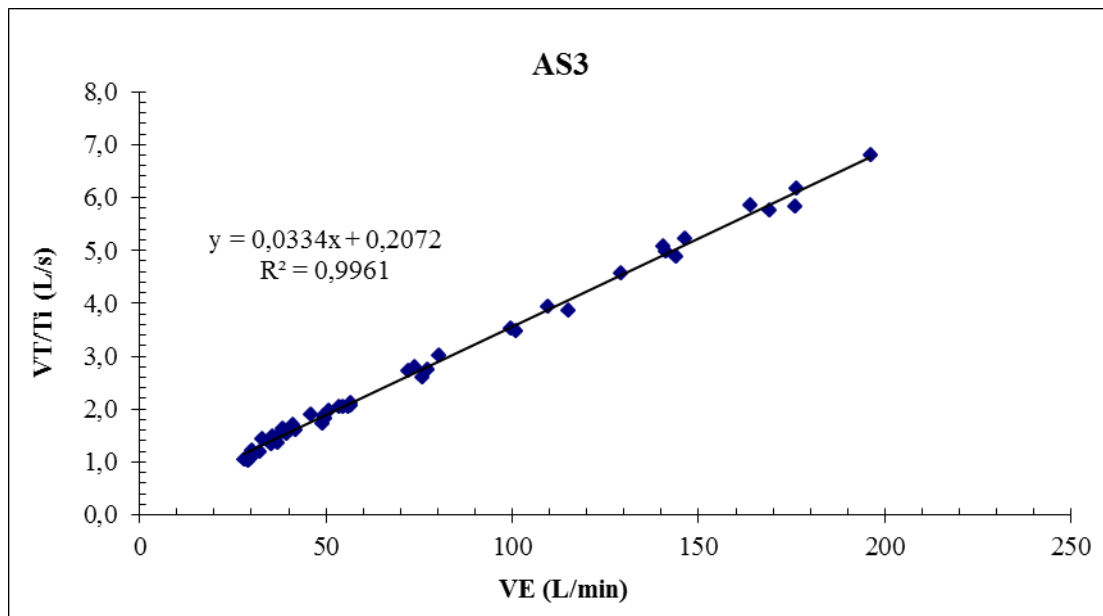


Figura 2. Relación VE y VT/Ti en el grupo AS3.

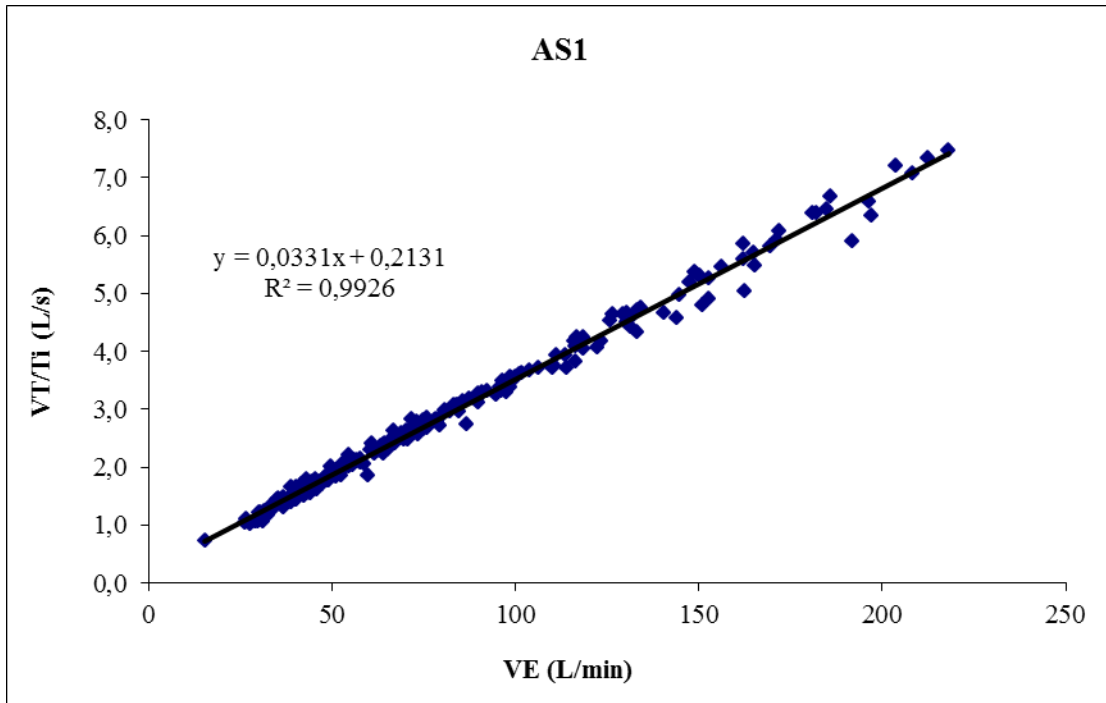


Figura 3. Relación VE y VT/Ti en el grupo AS1.

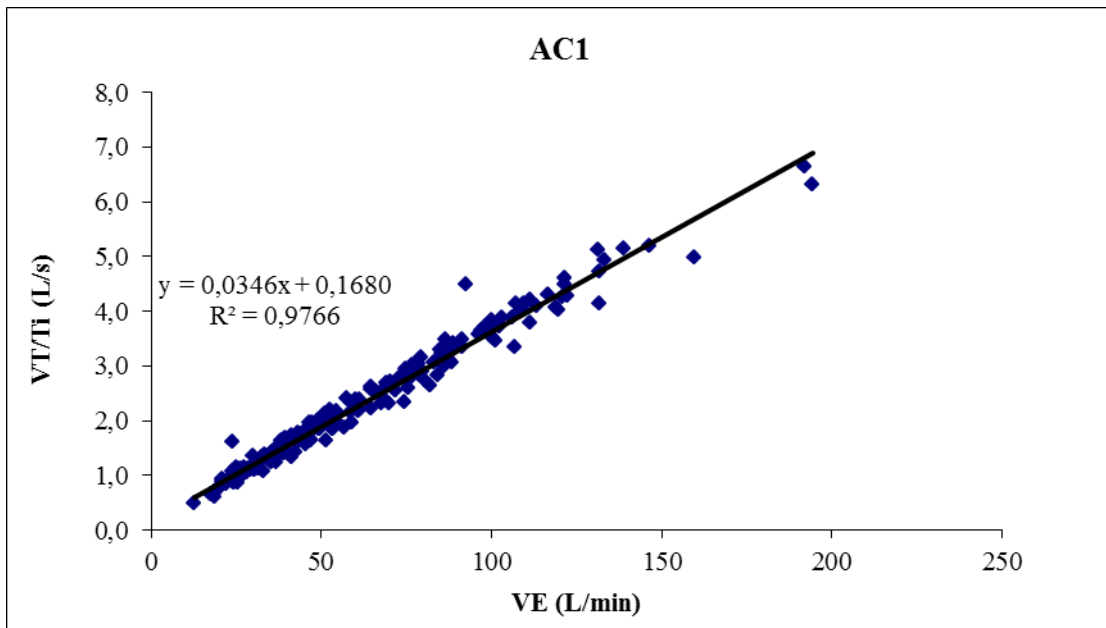


Figura 4. Relación VE y VT/Ti en el grupo AC1.

Las ecuaciones obtenidas entre VE y VT/Ti, son similares en los tres grupos de adultos, con un coeficiente de correlación prácticamente igual de 0,9961 y 0,9926 para los protocolos escalonados de 3 y 1 minuto respectivamente, ambos en ciclo simulador y un coeficiente de correlación de 0,9766 para el protocolo escalonado de 1 minuto en cicloergómetro (fig. 2, 3 y 4).

En la Figura 5 hemos representado la relación lineal entre VE y VT/Ti de todos los valores correspondientes a los 32 sujetos adultos, independientemente del protocolo utilizado, estos valores se ajustan en una misma recta y el valor obtenido de esta ecuación es de 0,9876.

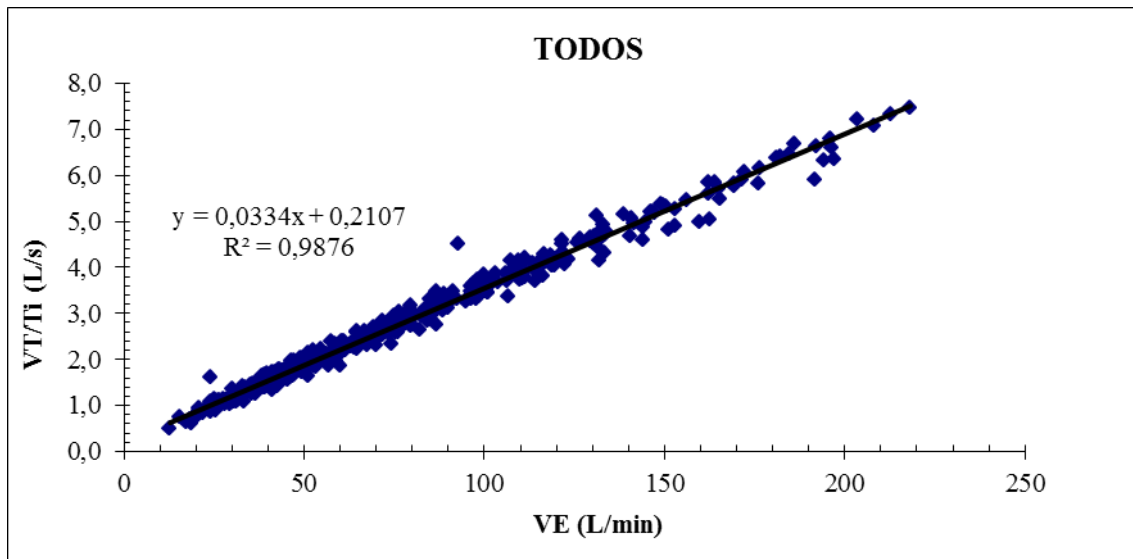


Figura 5. Relación VE y VT/Ti en toda la muestra de adultos.

Todos los valores de VE y VT/Ti se ajustan a una misma recta, independientemente del protocolo utilizado o de las características de los deportistas adultos.

En las Figura 6, 7, 8, 9 y 10 podemos observar que en los niños, la relación VE y VT/Ti, al igual que en los grupos de adultos, se correlaciona linealmente en cada uno de los grupos NC1 (7-11 años).

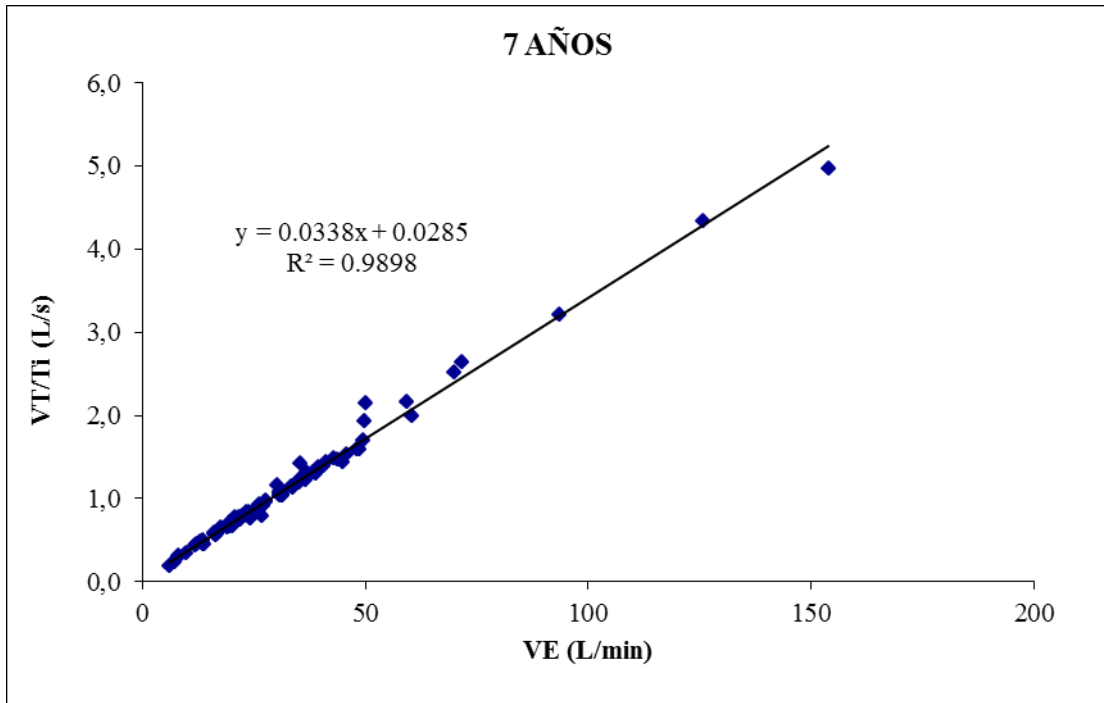


Figura 6. Relación VE y VT/Ti en el grupo de niños NC1 de 7 años.

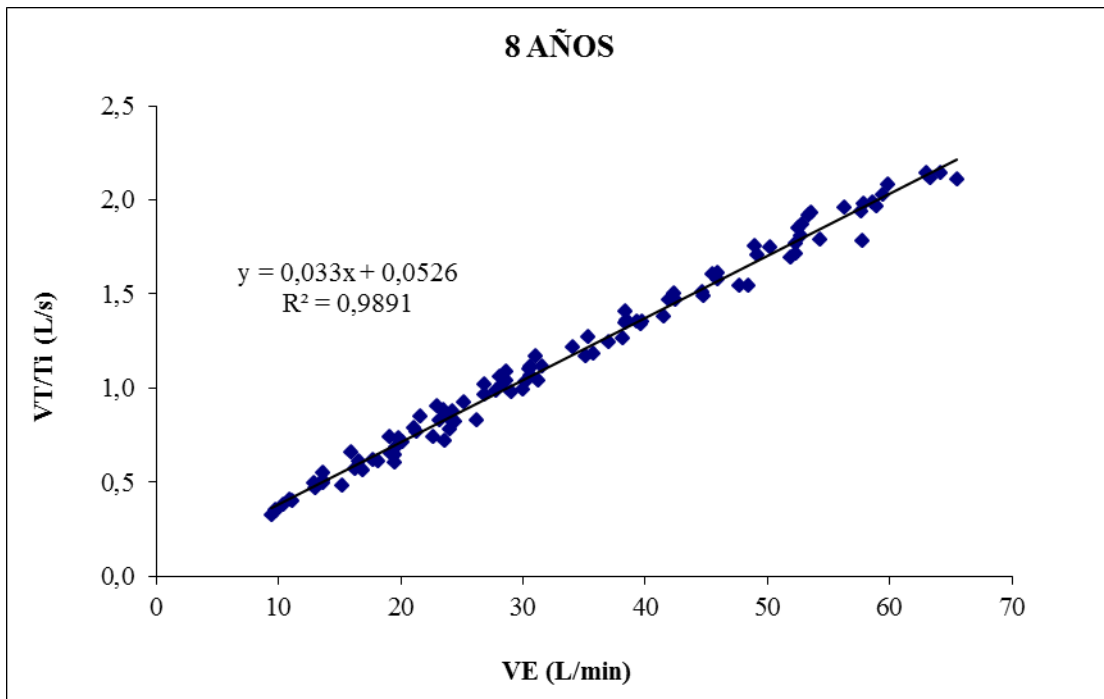


Figura 7. Relación VE y VT/Ti en el grupo de niños NC1 de 8 años.

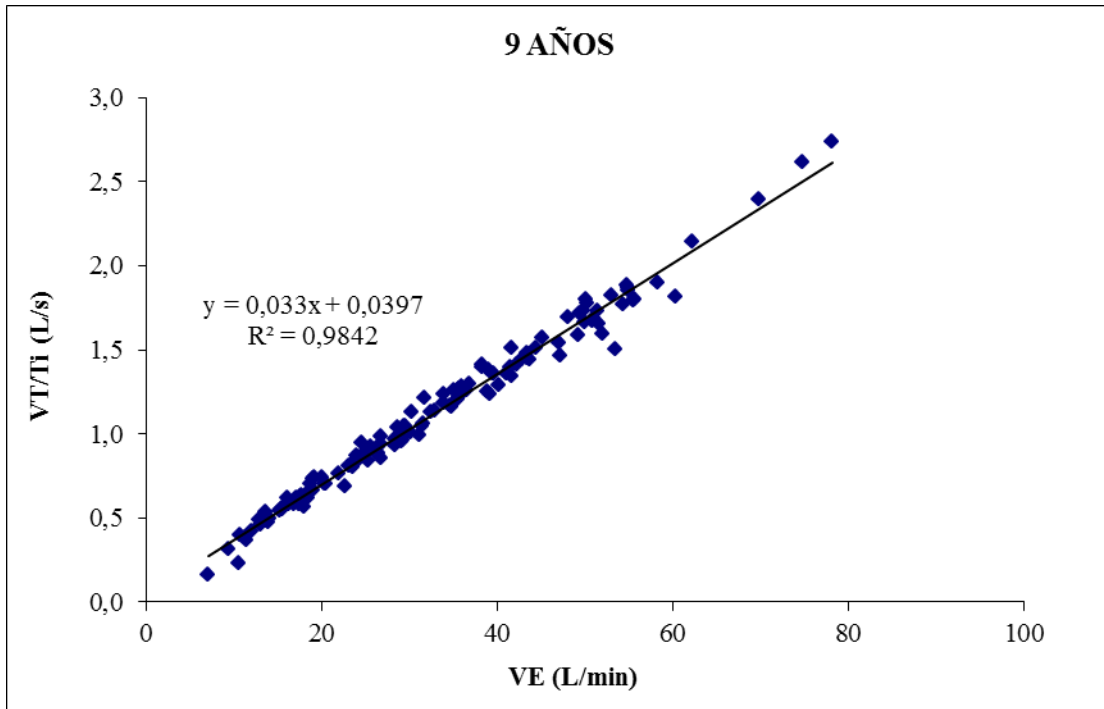


Figura 8. Relación VE y VT/Ti en el grupo de niños NC1 de 9 años.

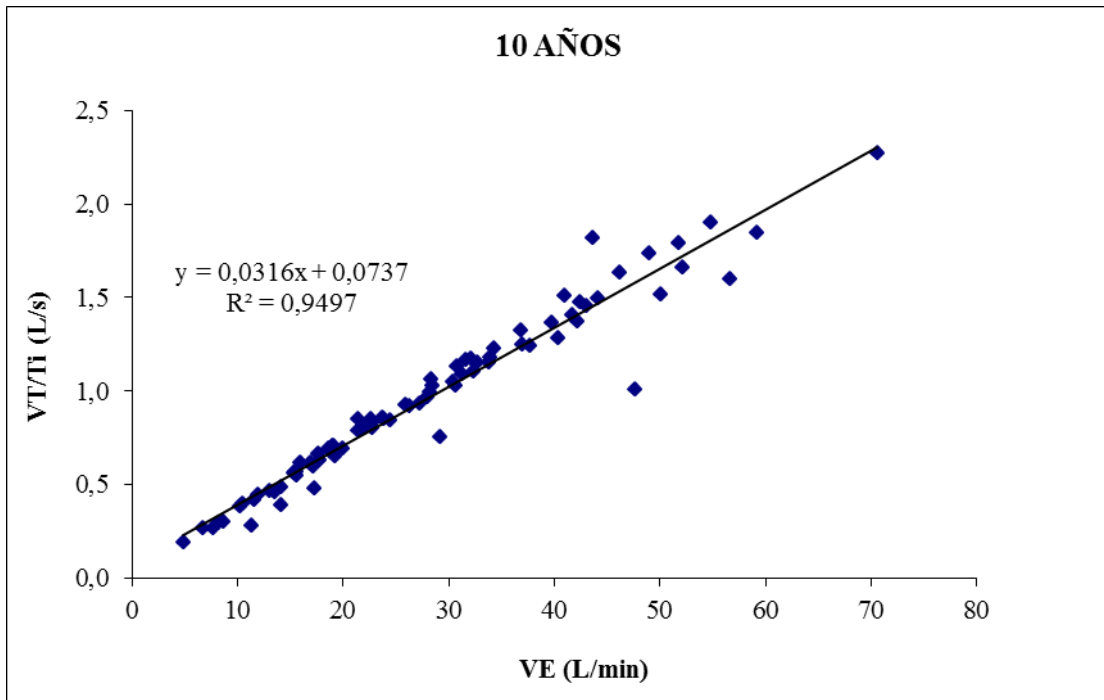


Figura 9. Relación VE y VT/Ti en el grupo de niños NC1 de 10 años.

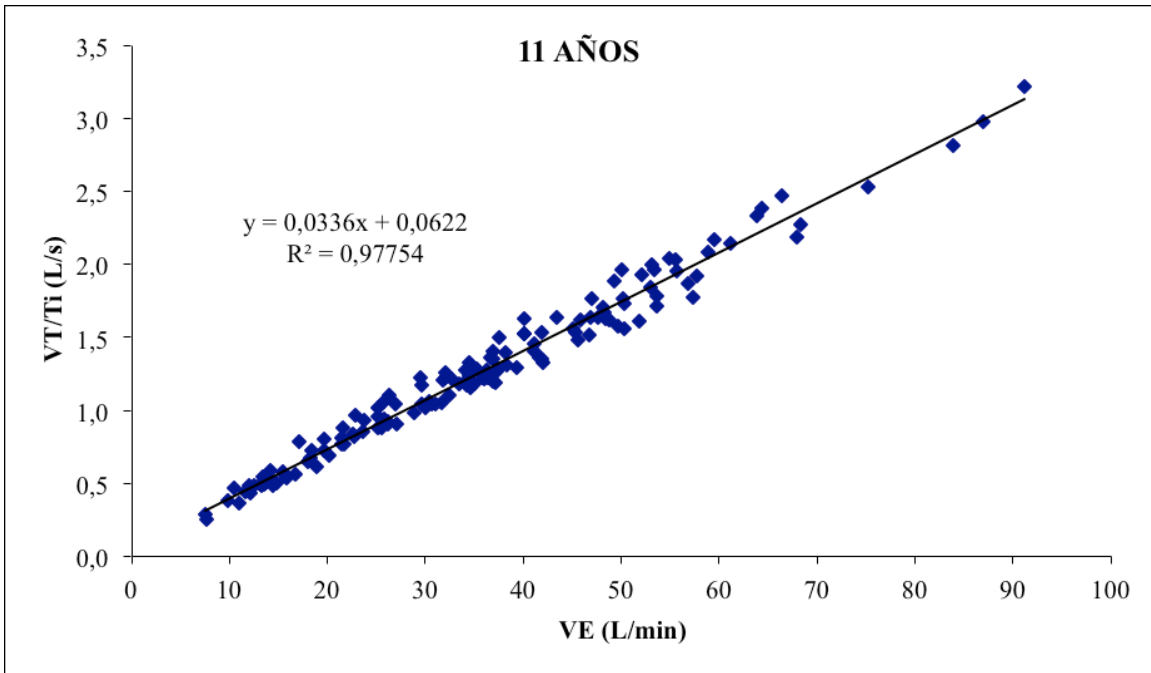


Figura 10. Relación VE y VT/Ti en el grupo de niños NC1 de 11 años.

Siguiendo la observación de la relación lineal entre VE y VT/Ti en cada uno de los grupos tanto de niños como de adultos, en la Figura 11 se representan todos los valores individuales correspondientes a la muestra adulta (n=32) y muestra infantil (n=74). Independientemente del protocolo utilizado, estos valores se ajustan en una misma recta y las ecuaciones que se obtienen son prácticamente iguales con un coeficiente de correlación de 0,9876 para los adultos, y un 0,9806 para los niños.

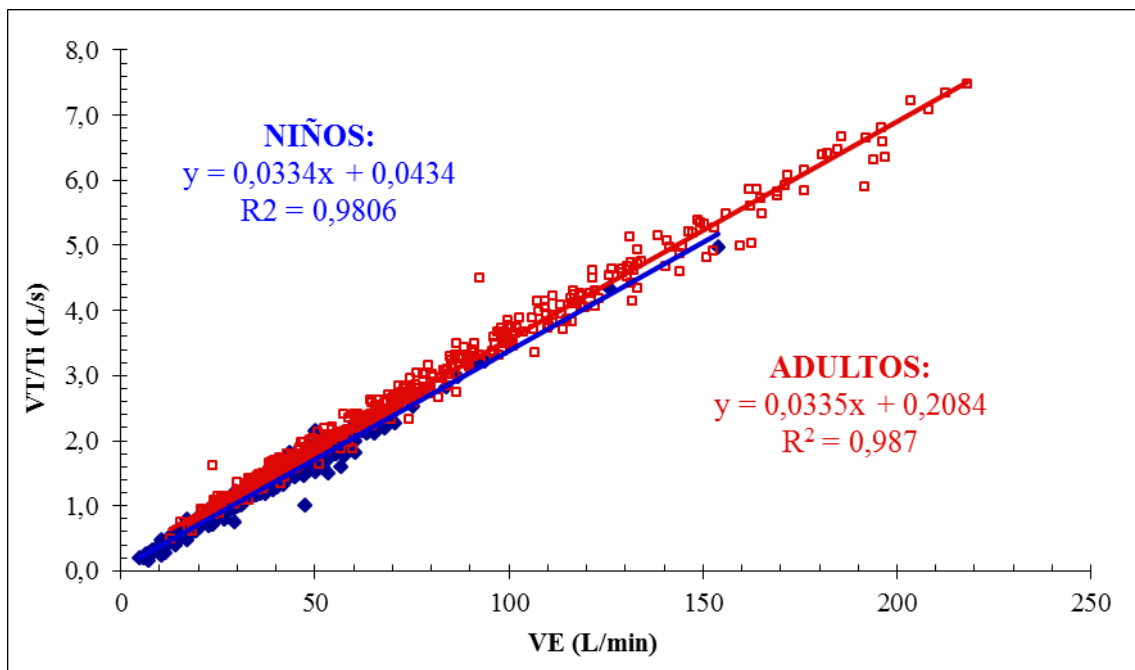


Figura 11. Relación VE y VT/Ti en todos los sujetos individualmente, adultos y niños.

Todos los valores de VE y VT/Ti se ajustan a una misma recta, independientemente del protocolo utilizado o de las características de los sujetos.

Las Tablas 14 y 15, muestran los coeficientes de correlación de VE y VT/Ti por grupo en adultos y niños respectivamente.

TABLA 14: Relación VE y VT/Ti en adultos.		
GRUPO	a VE VT/TI	R² VE VT/TI
AS3	0,03	1,00
AS1	0,03	0,99
AE1	0,03	0,98

TABLA 15: Relación VE y VT/Ti en niños.		
GRUPO NC1	a VE VT/TI	R² VE VT/TI
7	0,03	0,99
8	0,03	0,99
9	0,03	0,98
10	0,03	0,95
11	0,03	0,98

La Tabla 16 registra el coeficiente de correlación de VE y VT/Ti de los adultos y niños.

TABLA 16: Relación VE y VT/Ti en niños y adultos.		
TODOS	a VE VT/TI	R² VE VT/TI
ADULTOS	0,03	0,99
NIÑOS	0,03	0,98

En la Figura 12 mostramos el nomograma propuesto por Naranjo y colaboradores (32), utilizado en tapiz rodante en estudios anteriores, como herramienta sencilla para el análisis de los patrones ventilatorios. Independientemente del protocolo utilizado se encontró una relación exponencial en cada uno de los grupos.

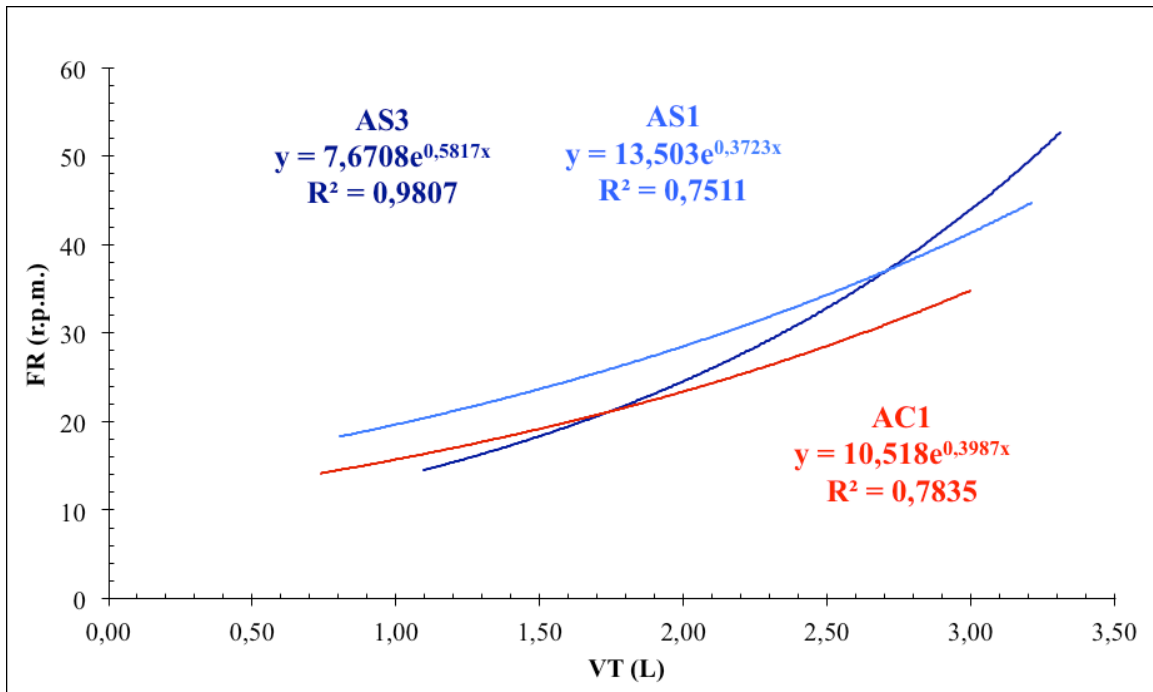


Figura 12. Relación VT y BF en los grupos AS3, AS1, AC1 de adultos.

Seguindo la observación de la relación entre VT y BF en cada uno de los grupos de adultos, en la Figura 13 se representan todos los valores correspondientes a los 32 sujetos adultos, sea cual sea el protocolo utilizado, podemos advertir que estos valores tienen una relación exponencial con un coeficiente de correlación de 0,8746.

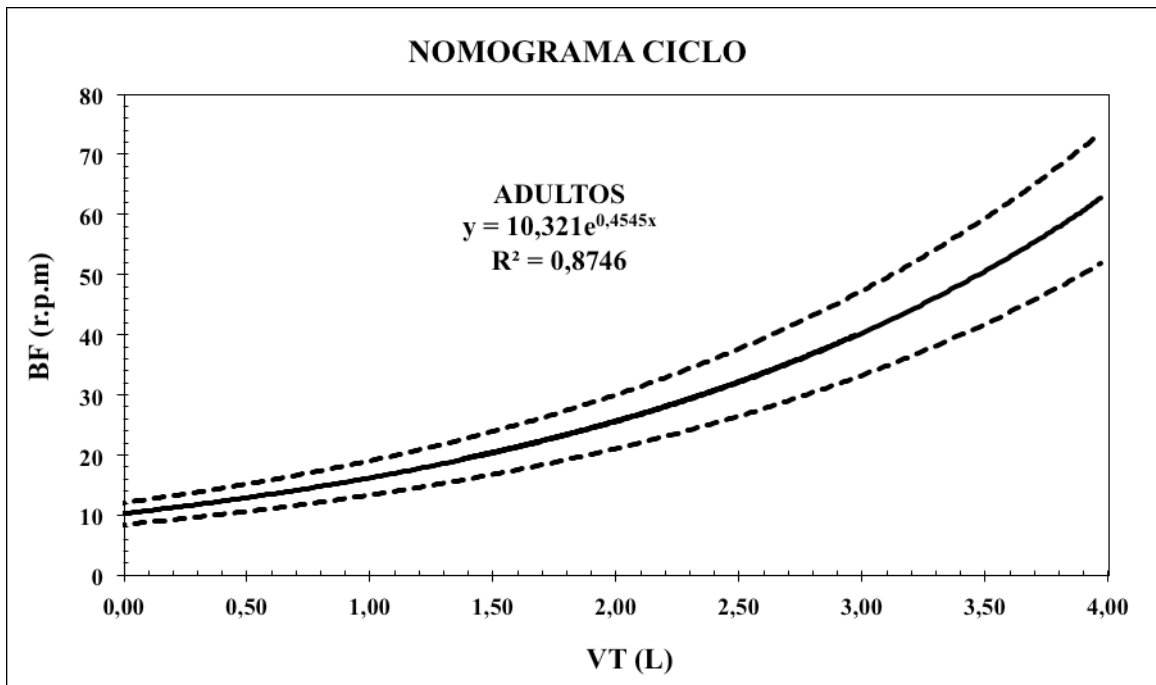


Figura 13. Relación VT y BF de los valores individuales de todos los adultos, independientemente del protocolo utilizado.

En este mismo sentido al representar en la Figura 14 los valores de VT y BF de cada uno de los grupos de niños se observa la misma relación exponencial que con los adultos, sin embargo podemos advertir que las curvas de los niños se desplazan hacia la izquierda con respecto a los adultos y que las curvas de los niños de 10 y 11 años se aproximan a la curva de los adultos

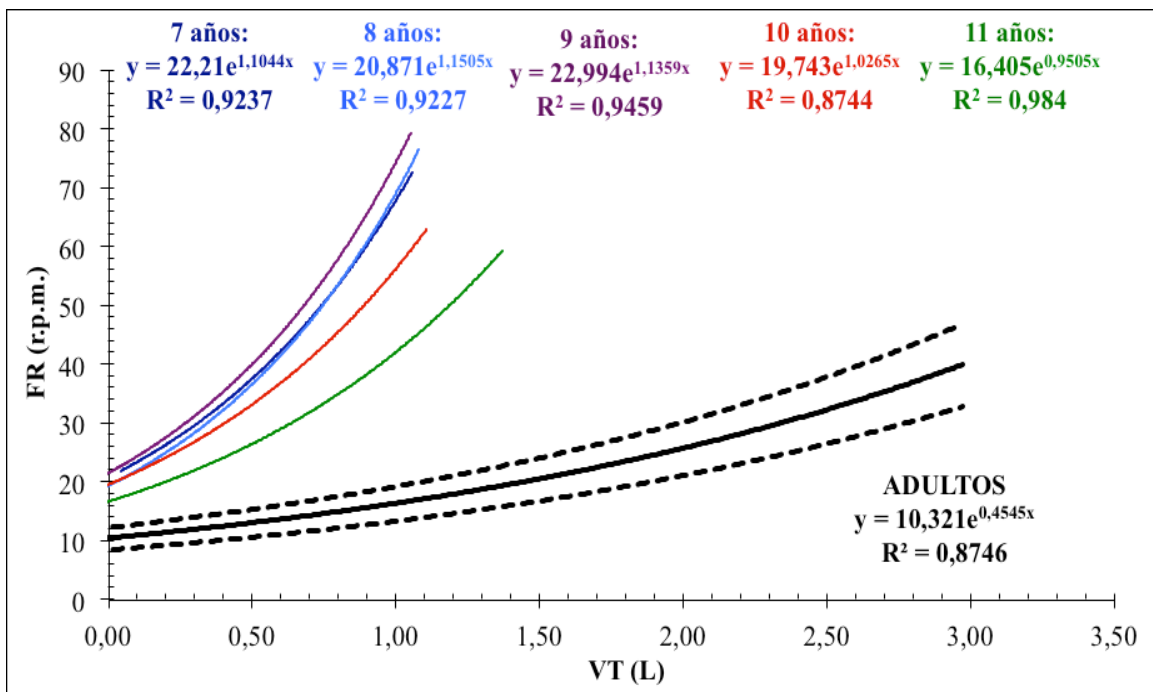


Figura 14. Relación VT y BF de los valores individuales de la muestra en adultos y por grupos de edad en niños.

Por un lado se muestran todos los datos individuales por grupo correspondientes a los niños, estos valores están representados por diferentes líneas de color, una para cada grupo. Por otro lado, las líneas en negro indican la relación entre VT y BF (con sus correspondientes líneas exponenciales) de todos los valores de los grupos de adultos, en ambos protocolos.

Siguiendo la observación de la relación entre VT y BF en cada uno de los grupos de niños, en la Figura 15 se representa todos los valores correspondientes a los 74 sujetos niños, sea cual sea el protocolo utilizado. Podemos advertir que estos valores tienen una misma relación exponencial con coeficiente de correlación de 0,9899.

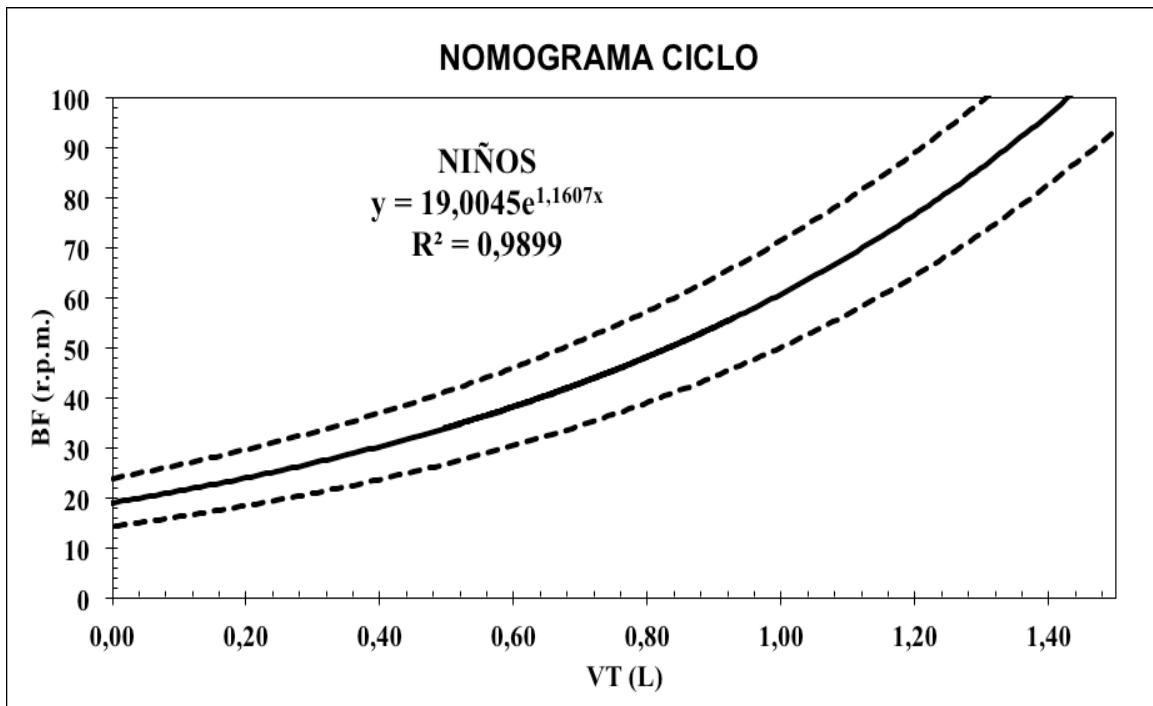


Figura 15. Relación VT y BF de los valores individuales de toda la muestra de niños.

5. DISCUSIÓN

5.1. Componentes del control central de la ventilación: driving y timing en adultos.

En este estudio se ha analizado la respuesta del control central de la ventilación a través de los componentes ventilatorios driving y timing en 32 adultos con edades comprendidas entre los 20 y los 60 años durante el esfuerzo progresivo hasta el agotamiento en ciclo simulador y cicloergómetro.

Las Tablas 5.6 y 7 muestran todos los datos registrados de los distintos parámetros ventilatorios analizados por escalón de intensidad (25%, 35%, 45%, 55%, 70%, 80% y 100% de VO_{2max}) durante las pruebas de esfuerzo realizadas por los grupos de adultos AS3, AS1 y AC1 respectivamente. Como se puede observar, los valores del componente ventilatorio timing permanecen constantes con una media de 0,45 en cada uno de los grupos.

Para analizar los parámetros, se han comparado los protocolos escalonados de 1 y 3 minutos desarrollados en ciclo simulador entre los grupos AS3 y AS1 sin encontrar diferencias significativas. Estos resultados pueden reflejar un nivel de entrenamiento similar entre estos dos grupos, ya que los sujetos que realizaron las pruebas en ciclo simulador eran deportistas bien entrenados practicantes de ciclismo y triatlón.

Sin embargo, cuando se han comparado los grupos AS1 y AC1 por ergómetro (ciclo simulador y cicloergómetro) utilizado se han encontrado diferencias significativas en todos los parámetros excepto en el volumen circulante. En este caso, las diferencias observadas en los resultados pueden tener relación con las diferencias en el nivel de entrenamiento entre ambos grupos. El grupo AS1, como se ha mencionado anteriormente, tenían un nivel superior de entrenamiento con respecto al grupo AC1 (deportistas aficionados practicantes de ciclismo).

Por otro lado, todo aumento en la ventilación se presentó paralelo a los cambios del componente ventilatorio driving de manera progresiva durante todas las pruebas realizadas en adultos (grupos AS3, AS1 y AC1). Además este comportamiento fue

similar en los tres grupos, por lo que hemos realizado un análisis gráfico de la relación lineal existente entre VT/Ti y VE.

5.1.1. Relación de VT/Ti y VE en adultos.

El análisis de la respuesta ventilatoria desarrollado en este trabajo de las variables VT/Ti y VE durante un esfuerzo progresivo en una muestra de sujetos adultos distribuida en tres grupos (Tabla 2), en los que tenemos por un lado dos niveles de entrenamiento distintos, dos protocolos (1 y 3 min) y dos ergómetros diferentes, ha tratado de aclarar la controversia existente en la literatura respecto al control de la ventilación.

Los resultados obtenidos en este trabajo acerca de la relación entre VE y VT/Ti en los grupos AS3, AS1 y AC1, se muestran en las Figuras 2, 3 y 4, respectivamente. En estas figuras se puede observar que la respuesta ventilatoria ha sido muy similar, estableciéndose una relación lineal entre las dos variables, con una correlación resultante cercana a 1 en todos los grupos. Al obtener estos resultados, se ha representado en la Figura 5 todos los valores individuales obtenidos de estas dos variables correspondientes al total de adultos.

De este análisis se puede concluir que en esta muestra en la que se utilizó dos protocolos y dos ergómetros distintos durante un esfuerzo progresivo hasta el agotamiento, la respuesta ventilatoria obtenida se corresponde con la encontrada por Naranjo y colaboradores (23, 32) quienes analizaron la influencia de distintos estímulos como el sexo y protocolos distintos en tapiz rodante.

Los resultados del presente estudio han ampliado el número de estímulos utilizados (ergómetro, protocolo, nivel de entrenamiento, edad) ante los que la respuesta ventilatoria estudiada a través del driving y el timing no ha cambiado. Estos resultados se obtuvieron en otros trabajos (34, 35).

Por otro lado, los estudios que sí encontraron cambios en el comportamiento de los componentes ventilatorios, como el realizado por Prioux (54) en el que sugiere un

comportamiento diferente del driving durante ante dos protocolos distintos de esfuerzo progresivo en cicloergómetro en 9 sujetos varones sanos. Otro estudio (33) encontró diferencias en las estrategias respiratorias empleadas al comparar cicloergómetro con tapiz rodante. Al igual que Kalsas y Thorsen (55) coincidieron en que la modalidad deportiva de betense en cuenta como norma general en el análisis de los patrones ventilatorios y que las estrategias respiratorias fueron diferentes en tapiz rodante que en cicloergómetro.

Podemos mencionar que estos tres trabajos tienen una media de muestra de 10 sujetos, mientras que la muestra utilizada en nuestra investigación triplica la de estos trabajos.

5.1.2. Análisis del componente ventilatorio timing en adultos.

La respuesta ventilatoria analizada a partir del componente timing en cada uno de los grupos de adultos AS1, AS3 y AC1 se mantuvo constante durante todas las pruebas como podemos observar en las Tablas 5, 6 y 7. Otros estudios (23, 32, 34, 35, 86) han encontrado la misma respuesta del componente timing.

Al comparar los grupos AS1 y AC1 por ergómetro se han encontrado diferencias significativas en los valores del componente timing. Esta diferencia puede deberse al distinto nivel de entrenamiento de los sujetos puesto que como ya hemos mencionado el grupo que había realizado las pruebas en cicloergómetro eran deportistas bien entrenados de ciclismo y triatlón que competían regularmente, mientras que el grupo AC1 que realizó las pruebas en cicloergómetro eran deportistas practicantes aficionados de ciclismo.

Se puede concluir que los resultados obtenidos en esta investigación en relación a los componentes ventilatorios driving y timing en la muestra de adultos estudiados, han mostrado que los aumentos producidos en la VE independientemente del protocolo y del

ergómetro utilizados o del nivel de entrenamiento de los sujetos, se deben principalmente al aumento del componente driving de la ventilación, mientras que el comportamiento del componente timing se ha mantenido constante a lo largo de la prueba.

5.2. Componentes del control central de la ventilación: driving y timing en niños.

En este estudio se ha analizado la respuesta del control central de la ventilación a través de los componentes ventilatorios driving y timing durante un esfuerzo progresivo hasta el agotamiento en cicloergómetro, en una muestra de 74 niños con edades comprendidas entre los 7 y los 11 años.

La muestra utilizada en esta investigación (72 sujetos, de sexo masculino) se puede considerar que es superior a la de muchos estudios, aunque hay algunos trabajos con muestras similares y unos pocos superiores en tamaño. El rango de edad de los niños, que han formado la muestra (7 a 11 años) se centra en la etapa escolar de primaria. Respecto a los trabajos que estudian los patrones ventilatorios han utilizado por lo general un rango de edad que varía entre los 4 y 18 años.

Existen ciertas limitaciones a la hora de ampliar el rango de edad por debajo de los 7 años y por encima de los 11 como se detallan a continuación. Por un lado, están los problemas metodológicos que tienen los niños menores de 7 años para realizar una prueba de esfuerzo en cicloergómetro (tamaño, motivación, accesibilidad a la muestra) y por otro lado, por encima de los 11 años nos encontramos también con problemas metodológicos ya que es necesario medir el estado de maduración sexual de los sujetos.

Los trabajos existentes en la literatura que han estudiado población infantil entre los 7 y 12 años, no suelen realizar un estudio de maduración sexual, aunque es lo más adecuado y la literatura científica lo recomienda (87), así, la mayoría de estudios suele mencionar únicamente la edad cronológica. Cuando no se analiza el estadio madurativo, generalmente se tienen en cuenta tres periodos: prepuberal (niños), circumpuberal (adolescentes) y postpuberal (88). Otros autores (89) denominan al periodo comprendido entre los 2 y 12 años como de niñez, y de los 12 a 18 años de adolescencia. Por tanto, en

este trabajo, siguiendo la literatura, la muestra utilizada en niños se puede considerar como sujetos prepuberes. Esta consideración la han realizado numerosos autores en el ámbito de la Fisiología del Ejercicio Físico en la edad escolar (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101).

Los resultados reflejados en las Tablas 8, 9, 10, 11 y 12 han mostrado un comportamiento similar al obtenido en los adultos. No se han observado cambios en el componente timing manteniéndose constante durante todas las pruebas de esfuerzo, mientras que los cambios en el componente driving muestran una relación con los aumentos en la ventilación por lo que se ha procedido al análisis gráfico de esta relación, expuesto en el siguiente punto.

5.2.1. Relación de VE y VT/Ti en niños.

Los resultados obtenidos del análisis de la relación entre la ventilación y el driving como podemos ver en las Figuras 6, 7, 8, 9 y 10 muestran un aumento de la ventilación a expensas de los cambios en el driving en cada uno de los grupos de 7, 8, 9, 10 y 11 años respectivamente.

El grupo de 11 años ha mostrado un ligero aumento en los valores del driving en comparación con los de más grupos de niños. Gaultier (59) obtuvo unos resultados similares, apuntando que el componente VT/Ti aumenta con la edad.

El comportamiento del driving a lo largo de la prueba de esfuerzo en todos los grupos de niños, ha mostrado un aumento progresivo similar en todos los grupos. En este análisis se ha obtenido una pendiente similar en todos los grupos representados en las Figuras 6 a 10, con un valor cercano a 0,033 y una correlación cercana a 1.

En la Figura 11 se han expresado los valores individuales de toda la muestra, niños y adultos, de la respuesta ventilatoria en relación con el driving. De este análisis podemos concluir que la respuesta es independiente a la edad, y por tanto atendiendo a estos resultados, parece que no existen diferencias en la respuesta de los patrones ventilatorios al ejercicio entre los niños y adultos, analizados en este trabajo. Algunos autores ante estos resultados, han sugerido una madurez ventilatoria en edades tempranas (79, 84).

En la Tabla 16 se han registrado los valores de la constante de relación resultante de todos los grupos de adultos y niños, que han sido muy similares, por lo que podemos concluir que la respuesta ventilatoria es independiente a la edad y parece ser tan eficaz en adultos como en niños, al menos en sujetos sanos.

Estos resultados chocan con la literatura, ya que tradicionalmente se ha considerado como ineficaz la VE en los niños en relación a los adultos

Además, por una parte la respuesta de la componente ventilatorio V_T/T_i y su comparación con respecto a las diferentes edades en los niños durante un esfuerzo progresivo en cicloergómetro no ha sido estudiada en profundidad, para nuestro conocimiento.

Por otra parte, este trabajo abre la puerta al estudio del componente ventilatorio V_T/T_i durante el ejercicio en niños y su comparación con la respuesta en adultos.

5.2.2. Análisis del componente ventilatorio timing en niños.

El componente timing, al igual que en los adultos, permaneció constante durante todas las pruebas en los grupos de niños. Boule (64) encontró resultados distintos, al observar un aumento progresivo del timing con la intensidad del esfuerzo también en cicloergómetro, sin embargo este estudio no hace la comparación entre diferentes edades.

Por lo que podemos concluir que este estudio aporta que el componente ventilatorio timing presenta el mismo comportamiento tanto en los diferentes grupos por edad de la muestra en la población infantil, como en la comparación de los niños con respecto a los adultos durante un esfuerzo progresivo en cicloergómetro, por lo que es independiente de la edad.

El análisis de los componentes ventilatorios driving y timing como hemos mencionado ha sido poco estudiado, por lo que en lo referente a las perspectivas de investigación podemos señalar que son necesarios más estudios que sustenten los resultados encontrados en el driving y timing tanto en este trabajo como en las escasas investigaciones existentes, utilizando diferentes estímulos por lo que existe un campo amplio de investigación.

En este sentido este estudio en concreto abre una nueva línea de investigación que consistiría en continuar el análisis de la respuesta de los componentes ventilatorios timing y driving durante el esfuerzo progresivo en cicloergómetro en niños mayores de 11 años y realizar las diferentes comparaciones tanto entre los distintos grupos de edad de los niños como la comparación de esta respuesta con la de los adultos.

5.3. Nomograma, análisis de la relación entre VT y BF.

Este estudio ha analizado la respuesta del control mecánico de la ventilación a través de los parámetros VT y BF, para ello se ha empleado el nomograma propuesto por Naranjo (32) realizado en tapiz rodante que analizó la relación entre volumen circulante y frecuencia respiratoria.

5.3.1. Relación VT y BF en adultos.

En esta investigación se ha analizado la respuesta del control mecánico de la ventilación en adultos a través de los parámetros VT y BF que como se puede observar en las Tablas 5, 6 y 7, los valores de estas dos variables incrementan progresivamente durante toda la prueba, por lo que se ha construido un nomograma, utilizado anteriormente (32) en tapiz rodante para el estudio de la relación entre el volumen circulante y la frecuencia respiratoria como muestra la Figura 12.

En este análisis se encontró una relación exponencial en cada uno de los grupos AS3, AS1 y AC1 de adultos que con independencia del protocolo y ergómetro utilizado y nivel de entrenamiento, los resultados obtenidos de la respuesta ventilatoria de VT y BF han sido similares en cada uno de los grupos con una correlación de 0,9807; 0,7511 y 0,7835 respectivamente.

La relación observada entre VT y BF nos ha llevado a realizar el nomograma de la Figura 13 en la que podemos advertir el mismo comportamiento de VT y BF en todos los valores de los 32 adultos, por lo que, de este análisis se puede concluir que el presente estudio apoya los resultados encontrados en el trabajo realizado en tapiz rodante por Naranjo (32), en el que encontró que la respuesta ventilatoria en adultos sigue un mismo comportamiento y es independiente del estímulo utilizado.

Este trabajo aporta una ampliación en el número de estímulos utilizados ante los cuales la respuesta ventilatoria estudiada a través del VT y BF es la misma.

5.3.2. Relación VT y BF en niños.

Los valores obtenidos del volumen circulante y la frecuencia respiratoria en cada uno de los grupos de niños, como se puede observar en las Tablas 8, 9, 10, 11 y 12, han mostrado un comportamiento similar al de los adultos, con un incremento progresivo de ambos parámetros durante todas las pruebas.

Como a punta la literatura (78, 79, 80, 81, 82, 83, 84) los niños han obtenido valores menores de volumen circulante que los adultos y valores mayores de frecuencia respiratoria, sin embargo podemos observar que los valores de BF de los niños de 10 y 11 años han mostrado una ligera disminución con respecto a las demás edades como han encontrado otros estudios (59, 67, 68). Por otro lado, VT permaneció constante entre las diferentes edades en los niños (68).

Se ha diseñado, al igual que con los adultos, un nomograma para la muestra de niños como se puede observar en la Figura 14, en la que se han representado los valores de cada grupo de niños NC1 (7, 8, 9, 10 y 11 años). Estableciéndose una relación exponencial entre VT y BF prácticamente similar, por un lado, entre las edades de los niños, y por otro lado, a la obtenida en adultos con una correlación, en todos los grupos, cercana a 1.

Este resultado nuevamente pone en tela de juicio la literatura existente acerca de la inmadurez e ineficacia de la ventilación en la población infantil. Sin embargo, hay otros estudios (60, 84) que han sugerido una madurez ventilatoria a temprana edad.

En la Figura 14, se puede destacar que el comportamiento de las curvas de los grupos de 7, 8 y 9 años, es similar, estando agrupadas y ligeramente hacia arriba y la izquierda mientras que las curvas de los grupos de 10 y 11 años, tienden a separarse de las anteriores acercándose a la curva de los adultos.

Ante estos resultados, se puede decir que la respuesta ventilatoria de VT y BF parece ser independiente a la edad, nivel de entrenamiento, protocolo y ergómetro utilizados.

Una futura perspectiva de investigación que abre este trabajo sería continuar la investigación de la respuesta ventilatoria de VT y BF en sujetos a partir de los 11 años y su comparación tanto con diferentes grupos de edad, como con adultos para poder delimitar la edad aproximada en la que los valores de la relación VT y BF alcanzan la de los adultos. El único dato aportado al respecto por la bibliografía analizada (59), señaló

la edad de 13 años como la edad en la que se alcanzaron los valores de BF correspondientes a los valores de los adultos.

5.4. Limitaciones de del estudio.

Una de las limitaciones del estudio en base a los resultados obtenidos sería que el nomograma desarrollado en los niños, siguiendo el propuesto Naranjo (32), tendría que haberse construido uno por grupo de edad o haber separado los grupos de 7, 8 y 9 años, ya que éstos presentan una agrupación cercana, y alejada de los grupos de 10 y 11 años. Por lo que las curvas correspondientes a éstos están demasiado distantes de las curvas de los adultos y hace difícil el análisis adecuado de la relación entre VT y BF. Hubiese aportado más información haber representado un nomograma para los grupos de 7, 8 y 9 años, otro para los de 10 y 11 años y el último para los adultos.

6. CONCLUSIONES.

1. Todo aumento de la ventilación durante un ejercicio progresivo se debe a un aumento de la señal central, lo que se manifiesta en un incremento del componente ventilatorio VT/Ti , por lo que el $Ti/Ttot$ se mantuvo constante, este comportamiento de los componentes ventilatorios se observa tanto en la muestra de la población infantil como en la muestra de los adultos, durante todas las pruebas de esfuerzo.
2. Las relaciones observadas entre VE y VT/Ti y entre VT y BF son las mismas con independencia del protocolo utilizado y de la edad de los sujetos.
3. La respuesta ventilatoria es también la misma con independencia del ergómetro utilizado. La ecuación que refleja la relación entre VE y VT/Ti es prácticamente la misma para niños y adultos, y es muy similar a la obtenida por otros autores en tapiz rodante.
4. La respuesta del driving y timing en los niños durante el esfuerzo progresivo se caracteriza por un incremento del VT/Ti con una relación $Ti/Ttot$ que se mantiene constante.
5. Aunque los valores absolutos de los diferentes parámetros ventilatorios muestran diferencias significativas entre niños y adultos, la estrategia de cambio ante el incremento de ventilación es la misma en ambos.
6. Al comparar la respuesta ventilatoria de los niños entre los diferentes grupos de edad, solo se empezaron a encontrar algunas diferencias en los grupos de mayor edad (10 y 11 años).
7. La estrategia seguida por VT y BF para obtener aumentos en la ventilación sigue una relación exponencial y permite construir un nomograma para su interpretación, tanto en los grupos de los niños como en los grupos de los adultos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. Cerretelli P, Grassi B, Xi L, Schena F, Marconi C, Meyer M, et al. The role of pulmonary CO₂ flow in the control of the phase I ventilator response to exercise in humans. *Eur J Appl Physiol.* 1995;71:287-94.
2. Askanazi J, Milic-Emili J, Broell J, Hyman A, Kinney J. Influence of exercise and CO₂ on breathing pattern of normal man. *J Appl Physiol.* 1979;47(1):192-6.
3. López CJ, Lucía MA. La ventilación pulmonar durante el ejercicio. *Fisiología del ejercicio.* 3^a ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2006. 357-369.
4. Skinner J, McLellan T. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport.* 1980; 51:234-248.
5. Hey EN, Lloyd BB, Cunningham DJ, Jukes MG, Bolton DP. Effects of various respiratory stimuli on the depth and frequency of breathing in man. *Respir Physiol.* 1966;1(2):193-205.
6. Clark FJ, Euler C. On the regulation of depth and rate of breathing. *J Physiol.* 1972; 222: 267-295.
7. Milic-Emili G, Ajani F. Frequency of breathing as a function of respiratory ventilation during rest. *Boll Della Soc Ital Biol Sper.* 1957;33(6):821-5.
8. Otis AB, Fenn WO, Rahn H. Mechanics of breathing in man. *J Appl Physiol.* 1950; 2:592-607.
9. Mead J. Control of respiratory frequency. *J Appl Physiol.* 1960;15: 325-336.
10. Gardner WN. The relation between tidal volume and inspiratory and expiratory times during steady-state carbon dioxide inhalation in man. *J Physiol.* 1977; 272: 591-611.
11. Bechbache RR, Chow HHK, Duffin J, Orsini EC. The effects of hypercapnia, hypoxia, exercise and anxiety on the pattern of breathing in man. *J Physiol.* 1979; 293: 285-300.
12. Grunstein MM, Younes M, Milic-Emili J. Control of tidal volume and respiratory frequency in anesthetized cats. *J Appl Physiol.* 1973; 35: 463-476.

13. Lind F G. Respiratory drive and breathing pattern during exercise in Man. *Acta Physiol Scand Suppl.* 1984; 533:1-47.
14. Ramonatxo M, Prioux J, Prefaut C. Differences in mouth occlusion pressure and breathing pattern between arm and leg incremental exercise. *Acta Physiol Scand.* 1996; 158:333-341.
15. Freedman S. Sustained maximum voluntary ventilation. *Respi Physiol.* 1967; 32:167-176.
16. Johnson D B, Weisman M I, Zeballos R J, Beck C B. Emerging concepts in the evaluation. *CHEST.* 1999;116:488-503.
17. Levine S. Tidal Flow-Volume Analysis of Ventilation During Exercise: A Useful Approach for Diagnosing the Mechanism of Ventilatory Limitation to Exercise During Cardiopulmonary Exercise Testing. *Chest* 1999;116:277-278.
18. Babb TG. Exercise Ventilatory Limitation: The Role of Expiratory Flow Limitation. *Exerc Sport Sci Rev.* 2013; 41(1):11-8.
19. Milic-Emili J, Grunstein MM. Drive and timing components of ventilation. *Chest.* 1976; 70:131-133.
20. Milic-Emili J. Recent advances in clinical assessment of control of breathing. *Lung.* 1982; 1-17.
21. Milic-Emili J, Whitelaw WA, Grassino AE. Measurement and testing of respiratory drive. En: Hornbein TF, editors. *Regulation of Breathing Part II.* New York: Marcel Dekker; 1981. p. 675-743.
22. Askanazi J, Silverberg PA, Foster RJ, Hyman AI, Milic-Emili J, Kinney JM. Effects of respiratory apparatus on breathing pattern. *J Appl Physiol.* 1980; 48:577-580.
23. Naranjo J, Centeno R, Beaus M. El flujo inspiratorio como factor determinante de la ventilación durante el ejercicio. *Archivos de Medicina del Deporte.* 2000; 79: 395-400.
24. Euler Cv. The functional organization of the respiratory phaseswitching mechanisms. *Fed Proc.* 1977; 36: 2375-2380.
25. Euler Cv. Brain-stem mechanisms for generation and control of the breathing pattern. En: *Handbook of Physiology: The Respiratory System.* Bethesda, MD: In press; 1984.

26. Bradley G W. Control of the breathing pattern. *En: Widdicombe J G, editors. International Review of Physiology: Respiratory Physiology II. Baltimore: University Park Press; 1977. p. 185-217.*
27. Wyman R J. Neural generation of the breathing rhythm. *Ann Rev Physiol. 1977; 39:417-448.*
28. Gautier H. Control of the pattern of breathing. *Clin Sci. 1980; 58: 343-348.*
29. Younes MK, Remmers JE. Control of tidal volume and respiratory frequency. *En: Hornbein T F editors. Regulation of Breathing Part I. New York: Marcel Dekker; 1981. p 621-671.*
30. Benchetrit G. Breathing pattern in humans: diversity and individuality. *Respiration Physiology. 2000; 122: 123-129*
31. Euler C v. The contribution of sensory inputs to the pattern generation of breathing. *Can J Physiol Pharmacol. 1981; 59:700-706.*
32. Naranjo J , Centeno R , Galiano D , Beaus M . A nom ogram for assessment of breathing patterns during treadmill exercise. *Br J Sports Med. 2005; 39: 80-83.*
33. Elliot DA, Grace F. An examination mode on ventilatory patterns during incremental exercise. *Eur J Appl Physiol. 2010; 110:557-562.*
34. Lucía A , Carvajal A , Calderón JF, Alfonso A , Chicharro LJ. Breathing pattern in highly competitive cyclists during incremental exercise. *Eur J Appl Physiol. 1999; 79: 512-521.*
35. Mekjavic IB, Eiken O , LaPrairie A , Banister E W, The pattern of breathing during hypoxic exercise. *Eur Journal of applied physiology and occupational physiology. 1987; 56 (6): 619-622.*
36. Scheuermann BW, O walchuk J M. Breathing patterns during slow and fast ramp exercise in man. *Exp Physiol. 1999; 84: 109–20.*
37. Macklem P T. Respiratory muscles: the vital pump. *Chest. 1980; 78: 753-758.*
38. Tobin J M, Mador M J, Guenther M S, Lodato F R, Sackner A M. Variability of resting respiratory drive and timing in healthy subjects. *J Appl Physiol. 65(1):309-317.*
39. Folinsbee L J, Wallace E S, Bedi J F, Horvath S M. Exercise respiratory pattern in elite cyclists and sedentary subjects. *Med Sci Sports Exerc. 1983;15:503–9.*

40. Buono MJ, Constable SH, Morton AR, Rotkis TC, Stanforth PR, Wilmore JH. The effect of an acute bout of exercise on selected pulmonary function measurements. *Med Sci Sports Exerc.* 1981;13(5):290-293.
41. Hoogeveen A R. The effect of endurance training on the ventilatory response to exercise in elite cyclists. *Eur J Appl Physiol.* 2000; 82(1-2):45-51.
42. Dempsey J A, Vidruk E H, Mitchell G S. Pulmonary control systems in exercise: update. *Fed Proc.* 1985; 44(7):2260-70.
43. Dempsey J, Hanson P, Pegelow D, Claremont A, Rankin J. Limitations to exercise capacity and endurance. *Can J Appl Sport Sci.* 1982; 7(1):4-13.
44. Bechbache R R, Duffin J. The entrainment of breathing frequency by exercise rhythm. *J Physiol.* 1977; 272:553-561.
45. Dimopoulou I, Tsintzas OK, Alivizatos PA, Tzelepis GE. Pattern of breathing during progressive exercise in chronic heart failure. *Int J Cardiol.* 2001; 81(2-3):117-21.
46. Gallagher CG, Brown E, Younes M. Breathing pattern during maximal exercise and during submaximal exercise with hypercapnia. *J Appl Physiol.* 1987; 63:238-244.
47. McConnell Ak, Davies CT. A comparison of the ventilator responses to exercise of elderly and younger humans. *J Gerontol.* 1992; 47(4):137-41.
48. Yano T. The differences in CO₂ kinetics during incremental exercise among sprinters, middle and long distance runners. *Jpn J Physiol.* 1987; 37(3):369-78.
49. Blackie S P, Fairbairn M S, McElvaney N G, Wilcox P G, Morrison N J, Pardy R L. Normal values and ranges for ventilation and breathing pattern at maximal exercise. *Chest.* 1991; 100:136-142.
50. Cochrane LM, Clark C J. A comparison of breathing patterns during progressive incremental exercise using bicycle ergometry and treadmill exercise. *Eur Respir J.* 1990; 2(13):226.
51. Gallagher CG, Brown E, Younes M. Breathing pattern during maximal exercise and during submaximal exercise with hypercapnia. *J Appl Physiol.* 1987; 63:238-244.
52. Poon CS, Ventilatory control in hypercapnia and exercise: optimization hypothesis. *J Appl Physiol.* 1987; 62:2447-2459.
53. McMurray R G; Ahlborn S W. Respiratory responses to running and walking at the same metabolic rate. *Respir Physiol.* 1982; 47(2): 257-65.

54. Prioux J, Ramonatxo M, Prefaut C. Effect of step duration during incremental exercise on breathing pattern and mouth occlusion pressure. *Int J Sports Med.* 1997; 18: 401-7.
55. Kalsas K, Thorsen E. Breathing patterns during progressive incremental cycle and treadmill exercise are different. *Clin Physiol Func Imaging.* 2009; 29:335-338.
56. Aitken ML, Franklin JL, Pierson DJ, Schoene RB. Influence of body size and gender on control of ventilation. *J Appl Physiol.* 1986; 60(6): 1894-1899.
57. Sengler MC, Knöpfli-Lenzin C, Birchler K, Trapletti A, Boutellier U. Breathing pattern and exercise endurance time after exhausting cycling or breathing. *Eur J Appl Physiol.* 2000; 81:368-374.
58. Deruelle F, Brosbois JM, Mucci P, Bart F, Linsel G, Fabre C. Ventilatory threshold characterizations during incremental rowing and cycling exercises in older subjects. *Can J Appl Physiol.* 2004; 29(5):564-78.
59. Gaultier C, Perret L, Boule M, Buvry A, Girard F. Occlusion pressure and breathing pattern in healthy children. *Respir Physiol.* 1981; 46:71-80.
60. Cooper DM, Kaplan MR, Baumgarten L, Weiler-Ravell D, Whipp BJ, Wasserman K. Coupling of ventilation and CO₂ production during exercise in children. *Pediatr Res.* 1987; 21:568-572.
61. Andersen KL, Seliger V, Rutenfranz J, Messel S. Physical performance capacity of children in Norway. III. Respiratory responses to graded exercise loadings - population parameters in a rural community. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1974; 33(4): 265-74.
62. Morse M, Shultz FW, Cassels DE. Relation of age to physiological responses of the older boy (10-17 years) to exercise. *J Appl Physiol.* 1949; 1(10):683-709.
63. Mercier J, Varray A, Ramonatxo M, Mercier B, Prefaut C. Influence of anthropometric characteristics on changes in maximal exercise ventilation and breathing pattern during growth in boys. *Eur J Appl Physiol.* 1991; 63:235-241.
64. Boule M, Gaultier C, Girard F. Breathing pattern during exercise in untrained children. *Respir Physiol.* 1989; 75: 225-234.
65. Ondrak KS, McMurray RG. Exercise-induced breathing patterns of youth are related to age and intensity. *Eur J of Appl Physiol.* 2006; 98:88-96.

66. McMurray RG, Baggett C, Pennell M, Bangdiwala S, Harrell J. Gender differences in ventilatory responses of youth are related to exercise intensity. *Port J Sport Sci.* 2003; 3: 101-102.
67. Nagano Y, Baba R, Kuraishi K, Yasuda T, Ikoma M, Nishibata K, Yokota M, Nagashima M. Ventilatory control during exercise in normal children. *Pediatr Res.* 1998; 43: 704-323.
68. Rowland TW, Cunningham LN. Development of ventilatory responses to exercise in normal white children: A longitudinal study Rowland. *Chest.* 1997; 111(2): 327-32.
69. Pianosi P, Wolstein R. Carbon dioxide chemosensitivity and exercise ventilation in healthy children and in children with cystic fibrosis. *Pediatr Res.* 1996; 40(3): 508-13.
70. Lanteri CJ, Sly PD. Changes in respiratory mechanics with age. *J Appl Physiol.* 1993; 74(1): 369-378.
71. Armstrong N, Kirby JB, McManus MA, Welsman RJ. Pubescent's ventilatory responses to exercise with reference to sex and body size. *Chest.* 1997; 112(6):1554.
72. Rutenfranz J, Andersen KL, Seliger V, Klimmer F, Ilmarinen J, Reppel M, Kylian H. Exercise ventilation during the growth spurt period: comparison between two European countries. *Eur J Pediatr.* 1981; 136(2):135-42.
73. Nourry C, Deruelle F, Fabre C, Baquet G, Bart F, Grosbois JM, Berthoin S, Mucci P. Evidence of ventilatory constraints in healthy exercising pubescent children. *Pediatr Pulmonol.* 2006; 41(2): 133-40
74. Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressures: Normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis.* 1969; 696-702.
75. DeGroot EG, Quanjer PH, Wise ME, Van Zomeren BC. Changing relationships between stature and lung volumes during puberty. *Respir Physiol.* 1986; 65: 139-153.
76. Kobayashi K, Kitamura K, Miura M, Sodeyama H, Murase Y, Miyashita M, et al. Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys: a longitudinal study. *J Appl Physiol.* 1978; 44:666-672.

77. Villa JI, Aguilar CMJ, Guisado BJR, Naranjo OJ, Guerrero AL. Ventilación y lactate sanguíneo en niños durante una prueba máxima incremental en cicloergómetro. *Nutr Hosp.* En prensa. Aceptado el 29 de octubre de 2015.
78. Rowland TW. Response to endurance exercise: ventilation. In: Gilly H, Johnson C, Blakley J, Hooper L (eds) *Developmental exercise physiology. Human Kinetic, Champaign.* 1996; 141-157.
79. Gratas-Delamarche A, Mercier J, Ramonatxo M, Dassonville J, Prefaut C. Ventilatory response of prepubertal boys and adults to carbon dioxide at rest and during exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1993; 66(1):25-30.
80. Sato Y, Katayama K, Ishida K, Miyamura M. Ventilatory and circulatory responses at the onset of voluntary exercise and passive movement in children. *Eur J Appl Physiol.* 2000; 83(6):516-23.
81. Cooke CB, McDonagh MJN, Nevill AM, Davies CTM. Effects of load on oxygen intake in trained boys and men during treadmill running. *J Appl Physiol.* 1987; 71(4):1237-1244.
82. Astrand PO. Experimental studies of Physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen: Ejnar Munksgaard. 1952.
83. Robinson S. Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiologie.* 1938; 10:251-323.
84. Armon Y, Cooper DM, Zanonato S. Maturation of ventilatory responses to 1-minute exercise. *Pediatr Res.* 1991; 29: 362-368.
85. Guerrero L, Naranjo J, Carranza MD. Influence of gender on ventilatory efficiency exercise in young children. *J Sports Sci.* 2008; 26(13):1455-7.
86. Neder JA, Dal Corso S, Malaguti C, Reis S, De Fuccio MB, Schmidt H, et al. The pattern and timing of breathing during incremental exercise: a normative study. *Eur Respir J.* 2003; 21:530-538.
87. Baquet G, Van Praagh E, Berthoin S. Endurance Training and Aerobic Fitness in Young People. *Sports Med.* 2003; 33(15): 1127-43.
88. Kemper HCG, Van de Kop H. Entrainement de la puissance maximale aérobie chez les enfants prépubères et pubères. *Sci Sports.* 1995; 10: 29-38.

89. Van Praagh E, Doré E. Short-Term Muscle Power During Growth and Maturation. *Sports Med.* 2002; 32(11): 701-728.
90. Gaul CA, Docherty D, Cicchini R. Differences in Anaerobic Performance Between Boys and Men. *Int J Sports Med.* 1995; 16(7): 451-455.
91. Hebestreit H, Kriemler S, Hughson RL, Bar-Or O. Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise in boys and men. *J Appl Physiol.* 1998; 85(5): 1833-41.
92. Hebestreit H, Mimura K, Bar-Or O. Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. *J Appl Physiol.* 1993; 74(6): 2875-2880.
93. Zafeiridis A, Dalamitros A, Dipla K, Manou V, Galanis N, Kellis S. Recovery during high-intensity intermittent anaerobic exercise in boys, teens, and men. *Med Sci Sports Exerc.* 2005; 37(3): 505-12.
94. Naughton G, Carlson J, Fairweather J. Determining the variability of performance on Wingate anaerobic tests in children aged 6-12 years. *Int J Sports Med.* 1992; 13(7): 512-7.
95. Dotan R, Falk B, Raz A. Intensity effect of active recovery from glycolytic exercise on decreasing blood lactate concentration in prepubertal children. *Med Sci Sports Exerc.* 2000; 32(3): 564-70.
96. Baquet G, Guinhouya C, Dupont G, Nourry Berthoin S. Effects of a short-term interval training program on physical fitness in prepubertal children. *J Strength Cond Res.* 2004; 18(4):708-13.
97. Baquet G, Berthoin S, Dupont G, Blondel N, Fabre C, Van Praagh E. Effects of high intensity intermittent training on peak $\dot{V}O_2$ in prepubertal children. *Int J Sports Med.* 2002; 23(6): 439-44.
98. Hoffman JR, Kang J, Feigenbaum AD, Ratamess NA. Recreational sports participation is associated with enhanced physical fitness in children. *Res Sports Med.* 2005; 13(2): 149-61.
99. Nourry C, Deruelle F, Guinhouya C, Baquet G, Fabre G, Bart F, et al. High-intensity intermittent running training improves pulmonary function and alters exercise breathing pattern in children. *Eur J Appl Physiol.* 2005; 94(4): 415-23.

100. Obert P, Mandigout M, Vinet A, Courteix D. Effect of a 13-week aerobic training programme on the maximal power developed during a force-velocity test in prepubertal boys and girls. *Int J Sports Med.* 2001; 22: 442-446.
101. Rowland TW, Auchinachie JA, Keenan TJ, Green GM. Physiologic responses to treadmill running in adult and prepubertal males. *Int J Sports Med.* 1987; 8(4): 292-7.

8. ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1: Agrupación por edad de la muestra en población infantil (n=74).	25
TABLA 2: Distribución de los sujetos adultos por grupos según el ergómetro y el protocolo de esfuerzo utilizados (n=32).	26
TABLA 3: Características antropométricas por grupos (AS3, AS1 y AC1) de la muestra de adultos (n=32).	33
TABLA 4: datos antropométricos por grupos de edad (7 a 11 años) de la muestra de niños (n=74).	33
TABLA 5: Grupo AS3, protocolo escalonado de tres minutos en ciclo simulador.	34
TABLA 6: Grupo AS1, protocolo escalonado de un minuto en ciclo simulador.	34
TABLA 7: Grupo AC1, protocolo escalonado de un minuto en ciclo ergómetro.	35
TABLA 8: Grupo NC1 (7 años), datos ventilatorios correspondientes a todos los niveles de trabajo.	35
TABLA 9: Grupo NC1 (8 años), datos ventilatorios correspondientes a todos los niveles de trabajo.	36
TABLA 10: Grupo NC1 (9 años), datos ventilatorios correspondientes a todos los niveles de trabajo.	36
TABLA 11: Grupo NC1 (10 años), datos ventilatorios correspondientes a todos los niveles de trabajo.	37
TABLA 12: Grupo NC1 (11 años), datos ventilatorios correspondientes a todos los niveles de trabajo.	37
TABLA 13: Comparación de las variables entre los distintos grupos (AS3, AS1, AC1 y NC1).	39
TABLA 14: Relación VT/Ti y VE en adultos.	46
TABLA 15: Relación VT/Ti y VE en niños.	46

9. ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1: Ciclo respiratorio.	9
FIGURA 2: Relación VE y VT/Ti en el grupo AS3.	39
FIGURA 3: Relación VE y VT/Ti en el grupo AS1.	40
FIGURA 4: Relación VE y VT/Ti en el grupo AC1.	40
FIGURA 5: Relación VE y VT/Ti en toda la muestra de adultos.	41
FIGURA 6: Relación VE y VT/Ti en el grupo de niños NC1 de 7 años.	42
FIGURA 7: Relación VE y VT/Ti en el grupo de niños NC1 de 8 años.	42
FIGURA 8: Relación VE y VT/Ti en el grupo de niños NC1 de 9 años.	43
FIGURA 9: Relación VE y VT/Ti en el grupo de niños NC1 de 10 años.	43
FIGURA 10: Relación VE y VT/Ti en el grupo de niños NC1 de 11 años.	44
FIGURA 11: Relación VE y VT/Ti en todos los sujetos individualmente, adultos y niños.	45
FIGURA 12: Relación VT y BF en los grupos AS3, AS1 y AC1.	47
FIGURA 13: Relación VT y BF de los valores individuales de todos los adultos, independientemente del protocolo utilizado.	48
FIGURA 14: Relación VT y BF de los valores individuales de la muestra en adultos y por grupos de edad en niños.	49
FIGURA 15: Relación VT y BF de los valores individuales de toda la muestra de niños.	50

10. ANEXOS.

10.1. Anexo 1: Cuestionario de antecedentes médicos.

10.2. Anexo 2: Características individuales del tipo de actividad física en la muestra infantil.

Anexo 1: Cuestionario de antecedentes médicos.

CUESTIONARIO DE ANTECEDENTES

Le rogamos lea atentamente y rellene con la mayor exactitud posible todas las preguntas que figuran a continuación referentes a los antecedentes médicos y familiares de su hijo/a.

DATOS PERSONALES:

Nombre del niño/a :		
Fecha de nacimiento:	Teléfono:	
Domicilio:		
Población:	Provincia:	C.P. :

ANTECEDENTES FAMILIARES:

(Las siguientes preguntas se refieren a padres, hermanos, tíos y abuelos. Ponga una cruz en la casilla correspondiente a NO o SI. En las preguntas que responda SI, especifique el grado de parentesco con el niño; por ejemplo: “abuela paterna”).

	NO	SI
¿Algún familiar ha fallecido por enfermedad del corazón?		
¿Algún familiar ha sufrido infarto o angina de pecho?		
¿Algún familiar padece de la tensión arterial?		
¿Algún familiar padece diabetes (azúcar en la sangre)?		
¿Algún familiar padece de colesterol alto?		
¿Algún familiar padece asma bronquial?		
¿Algún familiar ha fallecido “de repente”, sin causa conocida?		

	Edad	Peso	Talla
MADRE			
PADRE			

ANTECEDENTES MÉDICOS DEL NIÑO O LA NIÑA:

¿Ha sufrido alguna intervención quirúrgica?

NO SI (Diga cuál o cuales y con qué edad)

¿Ha sufrido alguna fractura?

NO SI (Diga cuál o cuales y con qué edad)

¿Ha sufrido alguna vez desmayos o pérdidas de conocimiento?

NO SI (Diga en qué circunstancias y con qué edad)

¿Padece de asma? NO SI

¿Padece algún tipo de alergia? NO SI (Especifíquela)

¿Padece de diabetes? NO SI

¿Utiliza plantillas?

NO SI (Diga por qué motivo)

¿Utiliza gafas?

NO SI (Diga por qué motivo)

¿Ha padecido o padece alguna otra enfermedad que quiera Vd. comunicarnos?

DATOS DE LA PERSONA QUE RELLENA EL CUESTIONARIO:

D/Da _____

Relación con el/la niño/a: Padre Madre Tutor legal

Declaro bajo mi responsabilidad que los datos proporcionados acerca de los antecedentes de mi hijo/a son ciertos.

Fecha y Firma

Anexo 2: Registro de las características individuales del tipo de actividad física detallada por las horas semanales que practicaban cada uno de los sujetos de la muestra infantil.

TABLA 1: características individuales del tipo de actividad física en la muestra infantil.	
MUESTRA TOTAL (N=74)	
Edad	ACT.FÍSICA
7	ESC.FUTB. / 3h
7	ESC.FUTB. / 3h
7	ESC.FUTB. / 3h
7	ESC.FUTB. / 3h
7	ESC.FUTB. / 3h
7	ESC.FUTB. / 3h
7	ESC.FUTB. / 3h
7	ESC.FUTB. / 3h
7	ESC.FUTB. / 4,5h
7	NAT. / 2h
7	NAT. / 3h
7	NO PRACTICA
7	TENIS / 3h
7	TENIS / 3h
8	ESC.FUTB. / 3h
8	ESC.FUTB. / 3h
8	ESC.FUTB. / 3h
8	ESC.FUTB. / 3h
8	ESC.FUTB. / 3h
8	ESC.FUTB. / 3h
8	ESC.FUTB. / 3h
8	ESC.FUTB. / 3h
8	ESC.FUTB. / 3h
8	ESC.FUTB. / 3h
8	ESC.FUTB. / 3h
8	NO PRACTICA
8	NO PRACTICA
8	NO PRACTICA
8	NO PRACTICA
9	ESC.ATL / 4,5h
9	ESC.FUTB. / 10h
9	ESC.FUTB. / 3h
9	ESC.FUTB. / 3h
9	ESC.FUTB. / 3h
9	ESC.FUTB. / 3h

9	ESC.FUTB. / 3h
9	ESC.FUTB. / 3h
9	ESC.FUTB. / 3h
9	ESC.FUTB. / 3h
9	ESC.FUTB. / 3h
9	ESC.FUTB. / 3h
9	ESC.FUTB. / 3h
9	ESC.FUTB. / 3h
9	ESC.FUTB. / 3h
9	FUTB. / 4,5 h
9	NO PRACTICA
9	NO PRACTICA
9	NO PRACTICA
10	ESC.FUTB. / 3h
10	ESC.FUTB. / 3h
10	ESC.FUTB. / 3h
10	ESC.FUTB. / 3h
10	ESC.FUTB. / 4,5h
10	ESC.FUTB. / 4,5h
10	ESC.FUTB. / 4,5h
10	ESC.FUTB. / 4,5h
10	NAT. / 2h
10	NO PRACTICA
10	NO PRACTICA
11	ESC. FUTB. / 9 h
11	ESC.FUTB. / 3h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	ESC.FUTB. / 4,5h
11	KARATE / 2h
11	NAT. / 2h
11	NAT. / 3h
11	NO PRACTICA
11	NO PRACTICA
11	TENIS MESA / 2h

