

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE ENFERMERÍA

CARRERA TERAPIA FÍSICA

**DISERTACIÓN DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIATURA EN TERAPIA FÍSICA**

**EVALUACIÓN DEL FORTALECIMIENTO DIAFRAGMÁTICO CON
EJERCICIOS RESPIRATORIOS EN NADADORES DE LA
SELECCIÓN DE PICHINCHA DE ABRIL A JUNIO DEL 2013.**

Elaborado por:

Myriam Isabel Masson Palacios

Quito, DICIEMBRE 2013

Dedicado a la ardua labor de mis padres en este camino,
A mis hermanos que me han inspirado día a día,
A mis abuelos que son un ejemplo de vida,
A David quien me hace feliz cada día,
A todos quienes aman tanto el agua q no puede alejarse de ella.

En agradecimiento a la Selección de Pichincha por su apoyo,
A mi guías los licenciados Silvia Varela, Marcelo Baldeón,
Fernando Iza y Freddy Hernandez, por sus consejos y ayuda.

Introducción

El presente estudio evalúa el fortalecimiento diafragmático tras la aplicación del entrenamiento muscular respiratorio, creado específicamente para los nadadores de la selección de Pichincha, con el objetivo de mejorar el rendimiento físico de los deportistas a través del aumento de la velocidad.

En Capítulo I se presenta las generalidades del estudio, como el problema que genera la fatiga respiratoria en los nadadores, cuando son expuestos a estímulos de alta intensidad como competitivos, esta fatiga se produce por la demanda de oxígeno de los músculos respiratorios y de los músculos locomotores, además se suma el hecho de que la fuerza del diafragma disminuye en posición horizontal, por este motivo se crea un entrenamiento muscular respiratorio con el fin de mejorar el rendimiento físico de los nadadores, para de esta manera conseguir una ventaja competitiva ante el rival.

El presente estudio tiene un carácter cuantitativo y cualitativo pues recoge datos específicos del sistema cardio respiratorio, como pulso y frecuencia respiratoria, características de la fuerza como: fuerza máxima, presión inspiratoria máxima, presión espiratoria máxima y valores de control como velocidad de nado y percepción de la fatiga.

En el Capítulo II se presenta la recopilación de la información más relevante sobre el tema, respuesta respiratoria ante el ejercicio, el aumento de la demanda de oxígeno y volumen respiratorio según la intensidad de ejercicio, factores limitantes de la respiración, coste energético de la respiración, fatiga respiratoria, frecuencia cardíaca y pulso.

Además la metodología de evaluación de la fuerza general y específica, metodología del entrenamiento que se aplicó en el plan de fortalecimiento muscular respiratorio, el modelo de planificación con el volumen, duración e intensidades que se utilizaron.

En el Capítulo III se analizan los resultados del presente estudio en el que se obtuvo la mejora en el rendimiento deportivo evidenciada a través de la velocidad de nado, así como la respuesta favorable como el aumento de la fuerza, y la disminución del pulso, frecuencia respiratoria, y percepción de la fatiga.

Se concluye el presente estudio determinando que existe una respuesta favorable ante la implementación de un protocolo de entrenamiento muscular respiratorio, y se recomienda continuar con investigaciones similares.

Tabla de Contenidos

1.	Capítulo I: GENERALIDADES	1
1.1.	Planteamiento del problema	1
1.1.1.	Problema	1
1.1.1.	Justificación del Estudio.....	- 2 -
1.2.	Objetivos del Estudio.....	- 3 -
1.2.1.	Objetivo General	- 3 -
1.2.2.	Objetivos Específicos	- 3 -
1.3.	Hipótesis del Estudio	- 8 -
1.4.	Metodología	- 4 -
1.4.1.	Tipo de estudio	- 4 -
1.5.	Selección de participantes.....	- 5 -
1.5.1.	Los criterios de inclusión:	- 5 -
1.5.2.	Los criterios de exclusión.....	- 5 -
1.6.	Consentimiento informado	- 6 -
1.7.	Recolección de datos en campo	- 6 -
1.8.	Matrices de operacionalización de variables.....	- 7 -
1.9.	Análisis de datos.....	- 8 -
2.	CAPITULO II Marco teórico.....	- 9 -
2.1.	Respuesta general al ejercicio	- 9 -
2.1.1.	Ventilación.....	- 9 -
2.1.2.	Volúmenes y capacidades pulmonares.....	- 10 -
2.2.	Transporte de gases	- 11 -
2.2.1.	Transporte de oxígeno disuelto físicamente en el plasma.....	- 12 -
2.2.2.	Transporte de oxígeno combinado con la hemoglobina.....	- 13 -
2.2.3.	Transporte de CO ₂	- 13 -
2.2.4.	Transporte del CO ₂ en el plasma	- 13 -
2.3.	Difusión o intercambio de gases respiratorios durante el ejercicio.....	- 13 -
2.3.1.	Difusión del oxígeno	- 15 -
2.3.2.	Difusión del CO ₂	- 16 -
2.3.3.	Patrón respiratorio	- 17 -
2.3.4.	Ejercicio en altitud (Respuesta ventilatoria)	- 19 -
2.3.5.	Ventilación durante la recuperación post ejercicio	- 19 -
2.4.	Concepto de consumo máximo de oxígeno (VO _{2máx.})	- 20 -

2.5.	Factores respiratorios que pueden limitar el rendimiento físico.....	- 20 -
2.5.1.	Reflejo metabólico respiratorio	- 20 -
2.5.2.	Limitación de la difusión pulmonar	- 21 -
2.5.3.	Limitación de la mecánica pulmonar	- 23 -
2.5.4.	Fatiga muscular respiratoria	- 23 -
2.5.5.	Demanda energética de los músculos respiratorios	- 25 -
2.6.	Costo energético de la ventilación	- 26 -
2.7.	Relación ventilatoria en natación	- 26 -
2.8.	Frecuencia cardíaca	- 27 -
2.9.	Pulso.....	- 28 -
2.9.1.	Técnica de medición de pulso.....	- 28 -
2.9.2.	Margen de error	- 30 -
2.9.3.	Valores de referencia.....	- 30 -
2.10.	Valoración del esfuerzo percibido escala modificada de BORG.....	- 30 -
2.11.	Valoración de la fuerza del diafragma	- 31 -
2.11.1.	Fuerza máxima	- 31 -
2.11.2.	Cálculo de 1RM.....	- 31 -
2.11.3.	Medición de la fuerza muscular del diafragma.....	- 32 -
2.11.4.	La Presión Inspiratoria Máxima (PIM).....	- 32 -
2.11.5.	Técnica de la prueba:.....	- 33 -
2.11.6.	La presión espiratoria máxima (PEM)	- 34 -
2.11.7.	Técnica de la prueba:.....	- 34 -
2.11.8.	Informe:.....	- 34 -
2.12.	Metodología del entrenamiento	- 35 -
2.12.1.	Fuerza	- 35 -
2.13.	La programación del entrenamiento de la fuerza.....	- 35 -
2.14.	Metodología del entrenamiento de la fuerza	- 35 -
2.14.1.	Principios del entrenamiento	- 36 -
2.14.2.	Métodos de desarrollo de la fuerza	- 38 -
2.14.3.	Frecuencia de entrenamiento	- 38 -
2.15.	Plan de entrenamiento en natación	- 39 -
2.16.	Plan de entrenamiento específico	- 41 -
2.17.	Entrenamientos específicos de los músculos respiratorios	- 42 -
2.17.1.	Entrenamiento del diafragma con pesos	- 43 -

2.17.2.	Técnica.....	- 44 -
2.18.	Tipos de dispositivos de entrenamiento de la musculatura inspiratoria	- 44 -
2.18.1.	Dispositivo umbral.....	- 45 -
2.18.2.	Dispositivo de carga resistiva.....	- 45 -
2.18.3.	Técnica.....	- 45 -
2.18.4.	Hiperpnea isocápnic voluntaria (voluntary isocapnic hyperpnea)	- 46 -
2.19.	Efectos del entrenamiento de los MR en el rendimiento deportivo.....	- 47 -
3.	Capítulo III. – Resultados y discusión.....	- 52 -
3.1.	Resultados	- 52 -
	Resultados comparativos sobre valores de fuerza	- 69 -
4.	CONCLUSIONES	- 72 -
5.	RECOMENDACIONES	- 73 -
6.	Lista de Anexos.....	- 74 -
7.	Lista de Tablas	- 74 -
8.	Índice de gráficos	- 74 -
9.	Índice de Figuras	- 75 -
10.	Índice de gráficos	- 75 -
11.	Lista de Abreviaturas.....	- 76 -
12.	Referencias.....	80

1. Capítulo I: GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Problema

La natación es uno de los deportes de mayor sollicitación de la musculatura respiratoria, debido a la postura horizontal y al tiempo respiratorio impuesto por la técnica de nado. Biolaster, 2009 determinó que “la situación se agrava por el hecho de que cuando el cuerpo está en posición horizontal en el agua, los músculos respiratorios disminuyen en un 16% su capacidad de generar fuerza, en relación a cuando el cuerpo está en posición vertical”, esto significa que en posición horizontal el nadador es menos capaz de generar las fuerzas necesarias para incrementar la frecuencia respiratoria.

La tensión que se ejerce sobre los músculos respiratorios provoca que los nadadores acusen fatiga de estos músculos cuando realizan entrenamientos de alta intensidad o durante la competencia, debido a que se generará elevadas demandas de oxígeno.

En nadadores que iniciaron entrenando alto rendimiento en la Selección de Pichincha, se evidenció fatiga los primeros meses de adaptación (anexo 1), lo que significa un problema para la práctica del deporte, ya que el ausentismo por fatiga al entrenamiento repercute durante la competencia y en sus resultados.

Investigaciones como la de Universidad de Buffalo, donde Lois Baker 2007, demostró que los sujetos que siguieron un protocolo de entrenamiento respiratorio, mejoraron su fuerza muscular respiratoria y su tiempo de nado, en comparación con los valores iniciales. Los participantes fueron asignados al azar a un protocolo similar que requiere altas velocidades de flujo con resistencia de las vías respiratorias, mejoraron un 26 por ciento de su resistencia respiratoria y los tiempos de natación bajo el agua en un 38 por ciento

1.2. Justificación del Estudio

Esta investigación es un aporte para los terapeutas físicos dedicados al deporte, así como también terapeutas respiratorios, entrenadores deportivos, preparadores físicos, médicos, deportólogos y para todo aquel que se interese por la medicina del deporte, pues abre una perspectiva hacia la implementación de un entrenamiento basada en el fortalecimiento respiratorio para lograr mejorar rendimiento físico de los deportistas a través de la velocidad.

Basado en la línea base de la investigación realizada en la Universidad de Buffalo, 2007 considero que la aplicación de esta herramienta de entrenamiento es de factible realización en el Ecuador, ya que estudios similares al presente, no se han encontrado en Latinoamérica, y además deja un precedente para continuar con este tipo de investigaciones, casi inexistentes en el país.

Este estudio proporciona a terapeutas físicos y respiratorios una herramienta, distinta al tratamiento de una patología, es un protocolo de entrenamiento muscular respiratorio para el desarrollo específico de la fuerza en deportistas de alto rendimiento. Así mismo esta investigación es dirigida para los deportistas de alto rendimiento que deseen obtener mejores resultados en la práctica del deporte, sin inversiones costosas en aparatos tecnológicos sofisticados.

La colaboración de los nadadores y entrenadores de la Selección de Pichincha, permitió establecer el programa de entrenamiento específico respiratorio, adicional al entrenamiento diario de los nadadores, con resultados beneficiosos tanto en factores de fuerza como mejorando notablemente en la velocidad de nado en la distancia de 200 metros. Adicionalmente este trabajo brinda a los profesionales de la salud y a los deportistas una propuesta de aplicación en conjunto a los entrenamientos de cada deporte.

1.3. Objetivos del Estudio

1.3.1. Objetivo General

Establecer que el programa de fortalecimiento de músculos respiratorios mejora el rendimiento físico a través de la velocidad de nado de los nadadores de la Selección de Pichincha.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar de pulso, frecuencia respiratoria en nadadores, velocidad de nado, fatiga, presión inspiratoria máxima (PIM), presión espiratoria máxima (PEM) y fuerza máxima.
- Aplicar un plan de entrenamiento basado en el fortalecimiento respiratorio
- Comparar los resultados de las evaluaciones post entrenamiento en nadadores
- Proponer la implementación de un programa de entrenamiento de fuerza muscular respiratoria en los nadadores

1.4. Metodología

1.4.1. Tipo de estudio

El presente trabajo tiene un enfoque cuantitativo y cualitativo, que recoge datos sobre el fortalecimiento muscular-respiratorio en los nadadores que conforman la Selección de Natación de Pichincha y de esta forma responde a la hipótesis planteada mediante el análisis de los datos y los resultados obtenidos.

El nivel de investigación del estudio es objetivo por la caracterización del problema planteado, donde se describe el plan de fortalecimiento muscular respiratorio y su porcentaje de efectividad.

El tipo de estudio es observacional, analítico y transversal, cumpliendo en la primera fase del trabajo la delimitación de la fuerza de los músculos respiratorios de los deportista. En la segunda fase del trabajo se realizó una toma control para comparar resultados. En la tercera y última fase se evaluó las mediciones de las variables analizadas, para el diseño de una propuesta que se adapta al entrenamiento diario de los deportistas y medir cuál es el resultado de la misma a nivel de rendimiento físico.

Para el estudio se utilizó una muestra poblacional conformada por los nadadores de la Selección de Natación de Pichincha, que entrenan en la piscina de la Concentración Deportiva de Pichincha, ubicada en la calle Río Coca e Isla Seymour.

Para el análisis de la información se utilizó un análisis estadístico basado en cifras obtenidas de las variables planteadas (pulso, fatiga, frecuencia respiratoria, fuerza máxima, presión inspiratoria máxima, presión espiratoria máxima), se buscó los cambios relevantes en relación a las cifras obtenidas al inicio del estudio. Se presenta los resultados de la investigación mediante gráficos.

1.5. Selección de participantes

La población de nadadores de la Selección de Pichincha y que actualmente consta de 25 deportistas, reclutados por ser los mejores nadadores de la provincia, todos entrenan diariamente por un periodo no menor a 4 horas. Los criterios de selección y exclusión del estudio, determinó que la muestra poblacional alcanza a 10 nadadores.

1.5.1. Los criterios de inclusión:

- Edad de los individuos: 14 a 20 años.
- Con experiencia previa en entrenamiento de la fuerza y entrenamiento en alto rendimiento.
- Experiencia mínima de un año en entrenamientos en la selección de Pichincha.
- Poseer una asistencia al entrenamiento de mínimo el 80 %.

1.5.2. Los criterios de exclusión

- Presentar alteraciones musculo esqueléticas o articulares.
- Mostrar alteraciones neuromusculares o patologías crónicas respiratorias.
- Ser fumadores.
- Convivir con fumadores.
- Con antecedentes familiares de enfermedades respiratorias o cardíacas.

1.6. Consentimiento informado

Se realizó previamente a la investigación los datos se encuentran en el **ANEXO 1**

1.7. Recolección de datos en campo

La recolección de los datos fue programada como se muestra en la **tabla 1.1** en la misma que se observa la temporización de las valoraciones así como el cambio de resistencias especificada por colores y dimensiones.

Capacitación de Valoración	01-abr	02-abr	15-abr	06-may	20-may	10-jun	17-jun
Toma de pulso							
Toma de frecuencia respiratoria							
Escala de BORG							
Valoración							
Pulso en reposo							
Frecuencia respiratoria en reposo							
Tiempo de velocidad de nado en 200 metros							
Frecuencia respiratoria al nado intenso							
Nivel de fatiga escala de BORG en alta intensidad							
Pulso en alta intensidad							
Presión espiratoria máxima (PEM)							
Presión inspiratoria máxima (PIM)							
Fuerza máxima en diafragma con peso (1RM)							
Entrenamiento Especifico							
Monitoreo de ejercicios con el resistor inspiratorio							
Monitoreo de ejercicios diafragmáticos con peso							
Resistor inspiratorio							
Cambio de resistencia		7mm	6mm	5mm	4mm	3mm	2mm

Tabla 1.1.- Cronograma de recolección de datos y cambio de resistencias
Elaborado por: Isabel Masson

1.8. Matrices de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Definición de las dimensiones	Escala	Indicadores
Nivel de fatiga escala modificada de Borg.	Escala que relaciona la sensación del esfuerzo que percibe el deportista con un valor numérico que va de cero a diez.	Escala RPE Percepción subjetiva del esfuerzo	10 Muy, muy duro 9 8 7 Muy duro 6 5 duro 4 Más bien duro 3 Moderado 2 Leve 1 Muy Leve 0 Nada	0 a 10 niveles.	Medición de la fatiga en alta intensidad de cada nadador.
Estudio de fuerza máxima (1RM).	Aumento de la capacidad neuromuscular.	Ecuación de Epley	$1RM = ((0.033x \text{ peso utilizado}) \times \text{repeticiones})$	100% de la fuerza en una repetición.	Medición de la resistencia máxima a cada nadador en respiración diafragmática con peso.
Frecuencia respiratoria por minuto.	Número de respiraciones que efectúa un ser vivo en un lapso específico.	Numero de respiraciones en 10 segundos multiplicado por 6.	Manera de cuantificar la frecuencia respiratoria en reposo y en alta intensidad.	Reposo 12 RPM (respiraciones por minuto) de 35 a 45 ejercicio intenso, 60 a 70 en atletas elite durante máxima intensidad.	Medición de la frecuencia respiratoria en reposo y en alta intensidad.
Estudio de la fuerza muscular respiratoria	Manera de cuantificar la fuerza directamente proporcional a la presión inspiratoria máxima y la presión espiratoria máxima.	Ecuaciones de referencia de Black/Hyatt.	Manera de cuantificar la fuerza muscular por medio valores de presión.	PIM hombres y 75cm H2O mujeres 50cm H2O, y PEM hombres 100cm H2O mujeres 80cm H2O.	Medición de la máxima tensión que es capaz de generar en una inspiración e espiración forzada.
Pulso por minuto.	Manera de cuantificar la onda de distensión provocada por el avance de la sangre, la arteria se expande y dicho movimiento puede percibirse.	Numero de pulsaciones en 10 segundos (pulso carotideo, pulso radial).	Manera de cuantificar el pulso en reposo y en alta intensidad.	Deportistas altamente entrenados de 40 a 60 pulsaciones por minuto.	Medición del pulso en reposo y alta intensidad.
Tiempo de nado en 200 metros.	Manera de cuantificar la el tiempo desplazamiento de un punto a otro.	Tiempo al finalizar una distancia determinada.	Se expresa en minutos, segundos y centésimos.	La máxima velocidad en estilo libre de unos 2 metros por segundo (unos 7 km por hora).	Medición de la velocidad del nadador.

Tabla 1.2: Operanización de variables

Elaborado por: Isabel Masson

1.9. Análisis de datos

Para el análisis de la información se utilizó un análisis estadístico descriptivo, basado en cifras obtenidas de las variables planteadas (pulso, fatiga, frecuencia respiratoria, presión inspiratoria máxima, presión espiratoria máxima, fuerza máxima, peso, sexo, edad, talla), se calculó las medias buscando cambios relevantes en la relación a las cifras obtenidas al inicio del estudio. Se presenta los resultados de la investigación mediante gráficos y tablas para la visualización de los cambios.

1.10. Hipótesis del Estudio

Al aplicar un programa de entrenamiento respiratorio se lograra el fortalecimiento de músculos inspiratorios el cual mejora significativamente del rendimiento deportivo a través la velocidad de los nadadores.

2. CAPITULO II Marco teórico

1.2. Respuesta general al ejercicio

1.2.1. Ventilación

La frecuencia respiratoria (FR) es el movimiento rítmico entre inspiración y espiración, en condiciones de reposo, alcanza valores medios de 12 respiraciones por minuto en deportistas, el volumen de aire respirado (VE), es de seis litros mientras que el volumen corriente (VC) suele ser de 0,5 litro de aire por cada respiración. López, 2006 menciona que la frecuencia respiratoria de varones jóvenes y sanos durante el ejercicio intenso, suele ser de 35 a 45 respiraciones por minuto, se encuentra también valores de 60 a 70 respiraciones por minuto en atletas élite durante el ejercicio de máxima intensidad. **(Imagen 2.1)**



Imagen 2.1.- Toma de frecuencia respiratoria

Fuente: Selección de Natación de Pichincha 2013

López, 2006 dice que en altas intensidades de ejercicio, cuando aumenta tanto la frecuencia respiratoria como el volumen corriente, la ventilación minuto puede alcanzar y superar los 100 litro por minuto (17 veces más que los valores en reposo), así como también en atletas varones bien entrenados en deportes de resistencia, la ventilación máxima (VE máx.) puede superar los 185 litros por minuto (**fig. 2.1**), se han encontrado valores de 220 l / min en ciclistas profesionales de resistencia lo cuales no suelen exceder el 55 – 65% de la capacidad vital en los seres humanos, ya sean estos sujetos sedentarios o atletas bien entrenados.

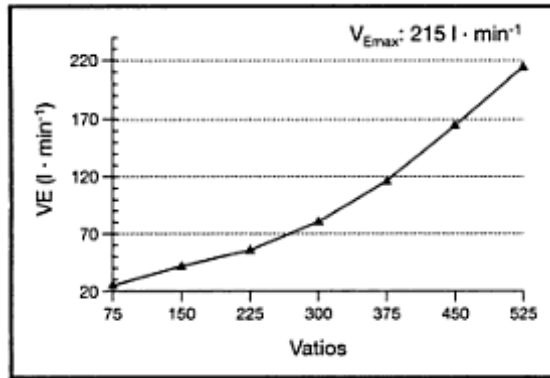


Figura 2.1. Respuesta de la ventilación pulmonar (VE) en un test de esfuerzo hasta el agotamiento.

Fuente: López J. Fisiología del ejercicio, 2006

1.2.2. Volúmenes y capacidades pulmonares

Wilmore y Haskell, 1972 determinó que el valor de la capacidad vital forzada (CVF) en reposo oscila entre 3 y 4 litros en mujeres jóvenes, en sujetos de elevada estatura es posible encontrar valores de 6-7 litros y valores de 7-8 litros en atletas de resistencia aeróbica en alto nivel. Estos altos volúmenes se han justificado clásicamente por las características físicas del sujeto y por la influencia genética, pero el entrenamiento físico no cambia apreciablemente los volúmenes pulmonares estáticos.

López y cols., 2006 menciona que los valores normales del volumen residual pulmonar (VRP) en reposo oscilan entre 0,8 y 1,4 litros para mujeres jóvenes, y entre 1 y 2,5 litros para hombres jóvenes. El volumen pulmonar residual (VR) es el volumen de aire que permanece en los pulmones después de una espiración forzada, el entrenamiento físico aumenta los valores, se ha descrito VRP de 2,4 litros en atletas.

Buno y cols., 1981 observaron un incremento transitorio del VRP después de la realización de ejercicio físico durante la recuperación de un test máximo de esfuerzo de un 21% después de cinco minutos, un 17% después de 15 minutos y un 12% después de 30 minutos. Los valores regresaron a la normalidad a las 24 horas.

El volumen espiratorio forzado (FEV), es medido en el primer segundo de la espiración (FEV_1), se expresa como porcentaje de la CVF (FVE_1 / CVF). Este índice expresa la capacidad espiratoria pulmonar en relación a la resistencia ofrecida por las vías respiratorias al paso del aire hacia el exterior. El valor en sujetos sanos se sitúa alrededor del 85% de CVF.

La máxima ventilación voluntaria (MVV) valora la máxima capacidad mecánica pulmonar de ventilar aire atmosférico. Su evaluación es algo compleja, hay que

solicitar al sujeto que respire la más rápido y profundo posible durante 15 segundos; posteriormente el valor obtenido se extrapola a 60 segundos, obteniendo el valor de la MVV. Dado que la medición de la MVV se ve afectada de forma importante por la motivación y la realización correcta de la prueba de medición, a veces se estima de forma indirecta.

Hanson, 1973 determinó que los valores de MVV en deportistas suelen ser ligeramente superiores a los de la población general. Se ha descrito valores de MVV de 240 l. min^{-1} en deportistas de resistencia varones, con cifras de $130 -140 \text{ l. min}^{-1}$ en mujeres deportistas de altura media alta.

Así en deportistas de élite se encuentra diferencias muy pequeñas entre MVV y $VE_{\text{máx.}}$, ya que su alto grado de entrenamiento les permite alcanzar intensidades de ejercicio que suponen un alto estrés para el sistema ventilatorio. En concreto, se ha observado valores $VE_{\text{máx.}}$ durante ejercicio máxima en ciclistas de élite aficionados y profesionales que suponían en 86,9 y el 90% de su MVV, respectivamente.

No se ha encontrado relación alguna entre los valores de los volúmenes pulmonares estáticos y el rendimiento deportivo, incluso después de ajustar las cifras en relación de tamaño corporal. Tampoco se ha encontrado relaciones significativas entre los valores de la función pulmonar con el $VO_{2\text{máx.}}$.

American Thoracic Society, 1991 determinó que las mujeres poseen menores volúmenes pulmonares estáticos y dinámicos que los hombres, incluso después de corregir los valores por la talla corporal.

Este hecho propicia un mayor uso en la mujer de los volúmenes de reserva ventilatoria en el ejercicio, así como una mayor tasa de flujo espiratorio, lo que influye en el intercambio alvéolo capilar en el ejercicio de elevada intensidad comprometiendo en ocasiones a la saturación arterial de oxígeno.

1.3. Transporte de gases

El oxígeno que difunde desde los espacios alveolares a la sangre capilar pulmonar es transportado a las células por el aparato circulatorio. Si bien el oxígeno se disuelve físicamente en el plasma, más del 98% del gas es transportado en combinación química con la hemoglobina (Hb) de los glóbulos rojos.

- **Presión parcial de oxígeno (PO₂):** las moléculas del oxígeno disueltas en la sangre genera una presión que es más baja que la capilar pulmonar por

efecto de la admisión venosa anatómica y funcional. Como en las arterias no hay intercambio gaseoso, la presión de oxígeno es la misma en cualquier arteria y su valor es un reflejo del estado de la función captadora de oxígeno del pulmón. En el territorio venoso, la presión de oxígeno cae por el paso de oxígeno de los capilares a los tejidos, como existe una variación considerable en el consumo de oxígeno de los distintos órganos es distinta es así que en grupos musculares en actividad extraen mucho más que los que están en reposo.

- **Contenido de oxígeno:** está determinado tanto por la presión parcial de oxígeno como por la cantidad de hemoglobina de la sangre en 100ml de sangre obtenida por punción, el contenido de oxígeno es de solo 0,3 ml físicamente disueltos y el resto está ligado químicamente a la hemoglobina.
- **Capacidad de oxígeno:** es la máxima cantidad de oxígeno que puede ser transportado en 100ml de sangre expuesta directamente al aire ambiental, fuera del organismo. Depende básicamente de la cantidad de hemoglobina, que es capaz de transportar 1,34 ml de oxígeno por cada gramo. En condiciones normales la sangre que tiene 15 g de Hb por 100ml, tiene una capacidad de 20,4 ml de oxígeno, de los cuales 0,3 ml están disueltos en el plasma y 20,1 ml están unidos a la Hb.
- **Saturación de oxígeno:** es el contenido de oxígeno de una muestra de sangre expresado en porcentajes de su capacidad. Normalmente, con una presión parcial de O_2 de 80-90 mm Hg la saturación arterial de oxígeno es de 94-97%. El pequeño porcentaje de Hb no saturada se explica porque la Hb se satura 100% sólo por encima de 240 mm Hg de presión parcial de oxígeno.

1.3.1. Transporte de oxígeno disuelto físicamente en el plasma.

El oxígeno disuelto constituye solo una pequeña fracción del contenido total de oxígeno de la sangre y está en directa relación con la presión parcial de oxígeno. Por cada mm Hg de presión parcial de oxígeno, se disuelven 0,003 ml de O_2 en cada 100ml de sangre. Por ello, en condiciones normales, con una PO_2 arterial cercana a 100mmHg, esta cantidad es de 0,3 ml/100 ml sangre, volumen absolutamente insuficiente para los requerimientos metabólicos.

1.3.2. Transporte de oxígeno combinado con la hemoglobina

La hemoglobina actúa como un vehículo que se carga de oxígeno en los capilares pulmonares y lo transporta a los tejidos. La Hb es una proteína del glóbulo rojo, compuesta por la globina y cuatro grupos Hem. El grupo Hem está constituido por 4 núcleos pirrólicos que tienen en un núcleo central Fe^{++} , cada molécula de Hb puede transportar 4 moléculas de O_2 , en forma de un compuesto lábil de oxihemoglobina.

1.3.3. Transporte de CO_2

El CO_2 se produce en las mitocondrias, como producto final del metabolismo celular. Desde las mitocondrias atraviesa el citoplasma, pasa a la sangre en los capilares tisulares y es llevado al alvéolo, desde donde se elimina a la atmósfera gracias a la ventilación alveolar.

El CO_2 es transportado en la sangre, tanto en combinación química como en solución física. Debido a que el CO_2 tiene la propiedad de hidratarse, formando ácido carbónico en una reacción del equilibrio ácido base.

La cantidad de CO_2 en la sangre arterial es aproximadamente en 100ml de sangre.

1.3.4. Transporte del CO_2 en el plasma

Parte se mantiene disuelta físicamente en el plasma, dependiendo de la presión parcial del CO_2 y de su coeficiente de solubilidad, otra parte forma compuestos carbónicos con las proteínas plasmáticas en una reacción rápida que no requiere de catalizador, una pequeña cantidad reacciona con el agua, para formar ácido carbónico.

1.3.5. Transporte del CO_2 por el glóbulo rojo.

La mayor parte del CO_2 que difunde desde los tejidos hacia los capilares entra al glóbulo rojo, donde se transporta una pequeña fracción permanece disuelta en el líquido dentro del glóbulo o una parte del CO_2 que penetra al glóbulo rojo, se hidrata como en el plasma, pero a mayor velocidad, ya que en el eritrocito existe una alta concentración de las enzimas anhidrasa carbónica que cataliza la reacción. El bicarbonato que se forma en disocia en H^+ y HCO_3^- . Los iones H^+ son captados por la hemoglobina y los aniones HCO_3^- salen del glóbulo rojo hacia el plasma, donde la concentración de este ion es menor, intercambiándose por el anion Cl^- .

1.4. Difusión o intercambio de gases respiratorios durante el ejercicio

La difusión es el proceso de intercambio gaseoso el cual se produce a través de la membrana alvéolo capilar o membrana respiratoria, los factores que afectan al

intercambio gaseoso son los siguientes: espesor de la membrana, superficie de la membrana, coeficiente de difusión del gas en la membrana y gradiente de presión entre ambos lados de la membrana. La realización de ejercicio físico altera a algunos de estos factores mejorando con ello el intercambio gaseoso.

Se define la capacidad de difusión como el volumen de gas que difundirá a través de la membrana para un gradiente de presión de 1mm Hg en un minuto.

La cantidad de O₂ y de CO₂ disueltos en la sangre obedece a la ley de Henry y es dependiente de la temperatura de la sangre, de la presión parcial del gas en el alvéolo y de la solubilidad del mismo. Durante el ejercicio la temperatura de la sangre no cambia de forma significativa, y la solubilidad del gas permanece constante, el factor principal que determina la cantidad de gas disuelto es la presión parcial en el alvéolo.

Wasserman y cols., 1994 mencionan que durante el ejercicio, según aumenta el gasto cardíaco pasa más cantidad de sangre desaturada por las zonas del pulmón cociente VA/Q bajo, la hipoxemia arterial se hace más acentuada. Afortunadamente, las pequeñas arterias que llegan a esa zonas pulmonares mal ventiladas con cociente Va/Q bajo se constriñen bajo la influencia de una PAO₂ cada vez menor. Esto deriva el flujo sanguíneo a zonas relativamente bien ventilada y, generalmente, evita que la hipoxemia se acentúe y progrese según aumenta la intensidad de ejercicio. Si la ventilación de una zona del pulmón queda abolida (VA tiende a cero), en las zonas no ventiladas, la presión alveolar de los gases será aproximadamente la misma que la que tiene la sangre venosa (PO₂= 40 mm Hg; PCO₂= 45 mm Hg. Si por otra parte, la perfusión tiende a cero, el aire alveolar será igual que el aire inspirado humidificado (PO₂ = 149 mm Hg; PCO₂= 0 mm Hg) **fig.2.2**, ya que no hay sangre para poder realizar el intercambio. Esto quiere decir que el aire alveolar no pierde oxígeno ni recibe CO₂ procedente de la sangre venosa. En cualquier caso, las alteraciones en la relación VA/Q es normal, la PO₂ es de 204 mm Hg y la PCO₂ de 40 mm Hg

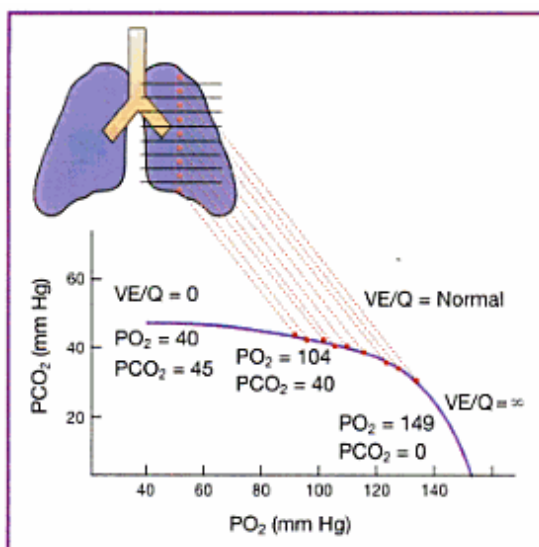


Fig. 2.2.- Distribución topográfica de la relación VE/Q

Fuente: López J. Fisiología del ejercicio, 2006

1.4.1. Difusión del oxígeno

López y cols., 2006 establece que las personas entrenadas físicamente tienen mayor capacidad de difusión que las sedentarias tanto en reposo como durante el ejercicio, siendo más ostensible estas diferencias en aquellos sujetos que realizan actividades de resistencia. **(Fig. 2.3)**

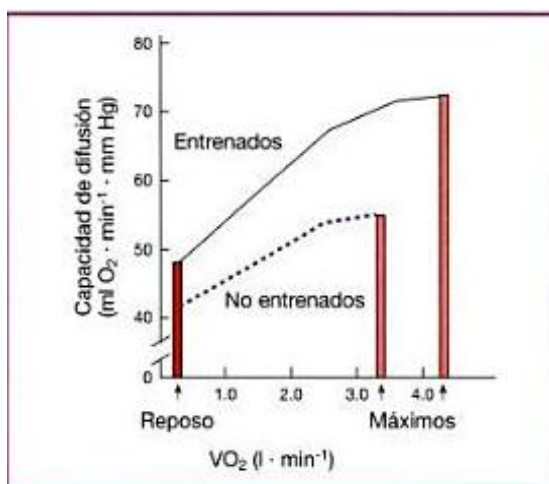


Fig. 2.3.- Aumento de la capacidad de difusión durante el ejercicio en sujetos entrenados y no entrenados

Fuente: López J. Fisiología del ejercicio, 2006

Durante el ejercicio la capacidad de difusión para el oxígeno puede aumentar hasta los 75 mm. Min⁻¹. mmHg⁻¹ (el triple respecto a la cifras de reposo), justificándose este aumento por la apertura de capilares pulmonares que estaban cerrados en reposo y por una mayor y por una mayor dilatación de los capilares ya abiertos, con lo que se posibilita

un aumento de la superficie el de intercambio y aumenta por consiguiente el área total de difusión.

La capacidad de difusión del oxígeno aumenta de forma casi lineal al ir aumentando la intensidad del ejercicio, llegando a hacer una meseta cerca del esfuerzo máximo. Durante el ejercicio intenso, el gasto cardíaco aumenta, luego el flujo sanguíneo pulmonar se acorta hasta los 0,4 - 0,6 segundos con respecto a los valores de reposo (0,75 segundos), llegando incluso a tiempos de tránsito menores (<0,25 segundos) en ejercicios agotadores y en personas muy bien entrenadas.

La capacidad de difusión del oxígeno se mantiene, el tiempo de tránsito no se sitúa por debajo de 0,25 segundos, en cuyo caso la difusión de oxígeno sería un claro factor limitante del rendimiento físico. **(Fig. 2.4)** En cualquier caso, no parece que esto sea habitual, excepto quizás en sujetos muy entrenados físicamente en resistencia aeróbica capaces de desarrollar muy elevados gastos cardíacos durante el ejercicio. Además, se considera que conforme aumenta la intensidad del ejercicio, se incrementa el volumen de sangre de los capilares pulmonares, llegando a aumentar este volumen hasta tres veces en comparación con el reposo. El mayor volumen sanguíneo pulmonar ayuda a mantener una velocidad de flujo pulmonar relativamente baja durante la actividad física.

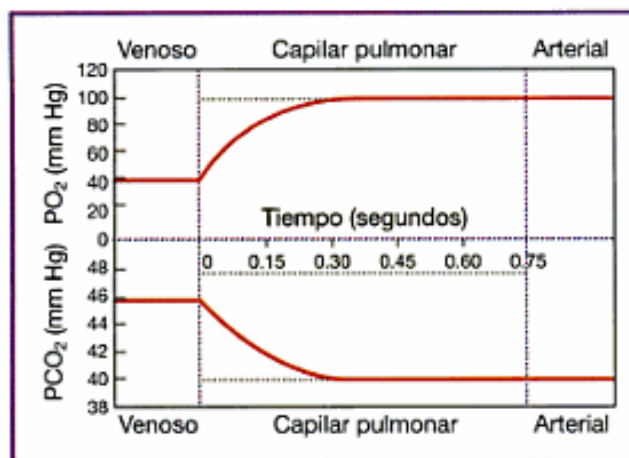


Fig. 2.4.- Tiempo de tránsito de los hematíes a través de los capilares pulmonares.

Fuente: López J. Fisiología del ejercicio, 2006

1.4.2. Difusión del CO₂

En condiciones normales de reposo, la presión parcial de CO₂ en el alvéolo (PaCO₂) es de aproximadamente 40 mm Hg, mientras que la sangre venosa que abandona el ventrículo derecho lo hace con una PCO₂ de unos 46 mm Hg, lo que establece un gradiente alvéolo capilar de aproximadamente 6 mm Hg a la entrada de la membrana respiratoria y de < 1 mm Hg como promedio integrado en todo el recorrido. Sin embargo,

esta pequeña diferencia es suficiente para asegurar en intercambio de CO₂, ya que el coeficiente de difusión de este gas es 20 veces superior al del oxígeno, por lo que se puede considerar que la capacidad de difusión es aproximadamente 20 veces mayor.

La capacidad de difusión del CO₂ es de unos 400 ml.min⁻¹ en reposo, aunque al ser el gradiente de presión a través de la membrana respiratoria menor de 1 mm Hg, el volumen de CO₂ que difunde por minuto es de unos 200 ml, aumentando de forma importante durante el ejercicio. Este aumento de la capacidad de difusión para el CO₂ durante el ejercicio se debe al aumento de perfusión pulmonar que se produce como respuesta al mismo, lo cual permite un aumento importante de la superficie de intercambio gaseoso.

Por otra parte, durante el ejercicio, el tiempo que tarda la sangre en obtener la misma presión parcial que el gas alveolar es similar que en el caso el oxígeno en condiciones normales, de manera que existen una reservas adecuadas de difusión de CO₂: eso sí, siempre que el tiempo de tránsito de los hematíes no descienda por debajo de 0,25 segundos. **(Fig. 2.4)**

1.4.3. Patrón respiratorio

López, 2006 menciona que en sujetos sanos el patrón respiratorio durante el ejercicio a bajas intensidades es incremental, se caracteriza por un aumento de la VE que se produce por incrementos tanto del volumen corriente como de la frecuencia respiratoria. Cuando el VC (volumen corriente) alcanza aproximadamente entre el 50 % y el 60% de la capacidad vital durante el ejercicio a altas intensidades, se produce un patrón taquipneico en el que el aumento de la VE se debe a un aumento de la FR, mientras que el VC se mantiene constante o aumenta muy ligeramente.

El valor alcanzado por el volumen corriente en un esfuerzo máximo está determinado por la capacidad vital del sujeto el 65 % CVF (capacidad vital forzada). La frecuencia respiratoria, en cambio aumenta desde el reposo hasta el esfuerzo máximo de manera progresiva, observándose valores de 35 rpm (respiraciones por minuto) en sedentarios y de 70 rpm en entrenados.

Nerary y cols., 1995 describieron en la cinética de la frecuencia respiratoria en el transcurso de una prueba de esfuerzo de carácter incremental que la respuesta no era lineal, sino que se producía un aumento desproporcionado de la misma a partir de la transición aeróbica - anaeróbica (**fig. 2.5**), la estimulación del centro respiratorio por el descenso del pH sanguíneo podría justificar en parte este incremento desproporcionado,

por lo que la taquipnea se considera un buen índice de la aparición de acidosis metabólica durante el ejercicio.

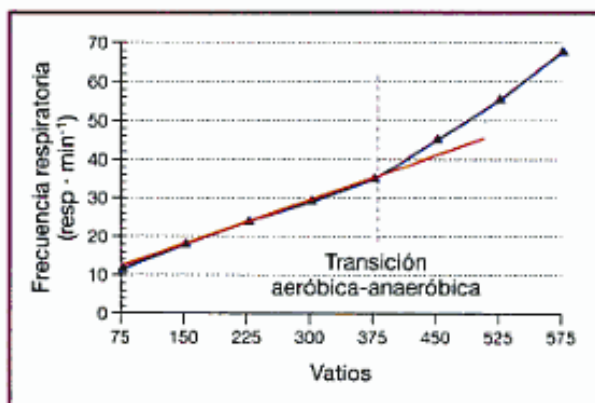


Figura 2.5. Respuesta de la frecuencia respiratoria al ejercicio de tipo incremental (test de esfuerzo).

Fuente: López J. Fisiología del ejercicio, 2006

La mayor parte de los estudios realizados con personas no entrenadas y con deportistas han observado una estabilización de VC (volumen corriente) a partir de una determinada carga de trabajo, Lucia y cols., 1999 demostraron que en ciclistas profesionales esto no siempre ocurría, sino que el VC seguía aumentando hasta el final de la prueba incremental (**fig. 2.6**). Es decir que el patrón taquipnéico que ha sido observado en otros estudios con sujetos sedentarios y entrenados no se evidenciaba en este grupo de deportistas de resistencia aeróbica.

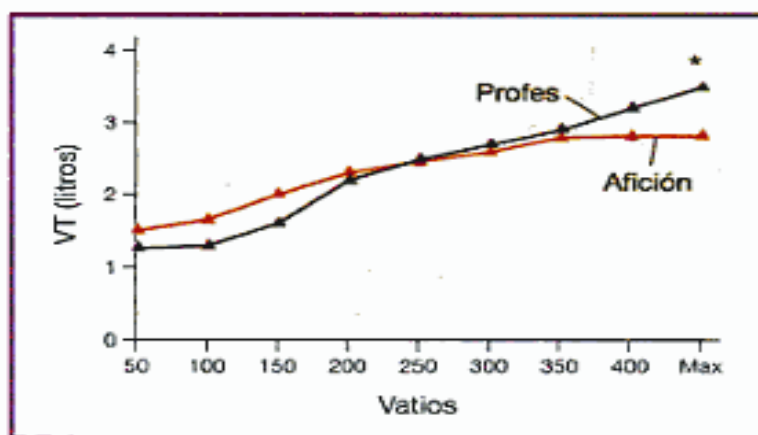


Figura 2.6. Respuesta del volumen tidal (VT) al ejercicio de tipo incremental (test de esfuerzo) en ciclistas aficionados y profesionales. * $p < 0,05$ (proles vs afición)

Fuente: Modificada de Lucia y cols, 1999.

Los datos disponibles apuntan a que la mejora de la condición física se asocia con un aumento del VC y una disminución de la frecuencia respiratoria para un mismo valor de VE.

En adultos sanos, el cociente VE/VO_2 , que se conoce como el equivalente ventilatorio del oxígeno, suele mantenerse alrededor de 25 (es decir, 25 litros de aire ventilado por litro de oxígeno consumido) en ejercicios realizados a una intensidad no superior a 55% del consumo máximo de oxígeno.

Cuando el ejercicio desarrollado es de alta intensidad, el VE/VO_2 puede superar el valor de 30 litros de aire por litros de oxígeno consumido, reflejando con ello modificaciones en el equilibrio metabólico del organismo y también una menor eficiencia respiratoria; así ventilar 1 litro de aire alveolar tiene un costo de oxígeno más elevado. El equivalente ventilatorio es progresivamente mayor en adultos jóvenes y en niños, alcanzado por ejemplo valores en torno a los 32 litros en niños de seis años de edad.

1.4.4. Ejercicio en altitud (Respuesta ventilatoria)

López, 2006 menciona que al realizar ejercicio en altitud hay una respuesta aguda, la ventilación se eleva por encima de los valores obtenidos al nivel del mar para la misma carga de trabajo, si bien este cambio no es significativo hasta que se alcanza 2400 m. de altitud aproximadamente, si se encuentra una reducción de la saturación de oxígeno del 93 al 89%, esta respuesta ventilatoria incrementada no logra compensar el efecto, a una altitud de 3.048 m, por lo tanto la PaO_2 disminuye hasta 67 mm Hg siendo la SaO_2 de tan solo 90% una situación que estimula significativamente la ventilación.

Durante el periodo de estancia en la altitud, se presenta una respuesta crónica donde la ventilación pulmonar se mantiene elevada. Esta hiperventilación disminuye la $PaCO_2$, aumentando por tanto el pH sanguíneo. Para evitar que el líquido cefalorraquídeo se alcalinice, los quimiorreceptores periféricos aumenta la excreción urinaria de bicarbonato, lo que disminuye la reserva alcalina afectando al taponamiento del ácido láctico producido en ejercicio de alta intensidad, constituyendo uno de los factores que disminuyen el rendimiento deportivo en altura.

Las personas que nacen y viven en altitud presentan una respuesta ventilatoria diferente, pues tienden a hipoventilar y a mantener un menor gradiente alvéolo- arterial de oxígeno, posiblemente porque presentan una mayor capacidad de difusión pulmonar y una mayor densidad capilar pulmonar.

1.4.5. Ventilación durante la recuperación post ejercicio

Durante la recuperación tras el ejercicio tienen lugar principalmente dos cambios en la ventilación. En primer lugar, y tan pronto como cesa el ejercicio, la ventilación minuto desciende bruscamente. La razón de dicho descenso abrupto radica probablemente en

que la actividad motora ha cesado, y por tanto desaparece el estímulo nervioso desde los receptores localizados en el músculo y en las articulaciones.

Tras esta primera fase de abrupto descenso en la ventilación, este de torna gradual, hasta alcanzar valores de reposo. Y cuanto más intenso sea el ejercicio, más larga será la duración de esta fase. A su vez, esta fase de la respuesta ventilatoria estaría asociada a un menor estímulo de la ventilación por un descenso de la producción de CO₂.

1.5. Concepto de consumo máximo de oxígeno (VO_{2máx}.)

Se define el VO_{2máx} como la cantidad máxima de O₂ que el organismo es capaz de captar, transportar y consumir por unidad de tiempo. En realidad, el factor limitante es la capacidad de utilizar el oxígeno y la cantidad de oxígeno transportado es siempre superior a la cantidad de oxígeno utilizado. El oxígeno consumido en nuestras mitocondrias equivale al oxígeno absorbido en nuestros alvéolos, ya que la función del sistema ventilatorio es permitir que la sangre reponga, a su paso por los capilares pulmonares, el oxígeno que le ha sido extraído, en los capilares sistémicos. El VO_{2máx} se expresa normalmente en cantidades absolutas (ml. Min⁻¹) o en cantidades relativas al peso corporal del sujeto (ml. Kg⁻¹.min⁻¹).

El VO_{2máx} es un parámetro indicador de la capacidad funcional de los individuos de su potencia aeróbica.

1.6. Factores respiratorios que pueden limitar el rendimiento físico

1.6.1. Reflejo metabólico respiratorio

El reflejo metabólico respiratorio se produce como consecuencia de la fatiga de los músculos respiratorios (MR) ante un esfuerzo intenso y mantenido. La respuesta del sistema nervioso simpático es una vasoconstricción que afecta al flujo sanguíneo de los músculos esqueléticos activos por medio de un reflejo metabólico mediado por la musculatura respiratoria. Como resultado, se provoca una disminución del flujo sanguíneo y aumento de la gravedad de la fatiga de los músculos esqueléticos, inducida por el ejercicio y redistribuyendo el flujo para preservar la función respiratoria sin comprometer la demanda energética de los MR. Un aumento en la fatiga de los músculos esqueléticos puede desempeñar un papel esencial en la determinación de la tolerancia al ejercicio a través de un efecto directo en el desarrollo de fuerza muscular.

Durante ejercicios intensos, se ha estimado que los MR pueden llegar a utilizar un 16% del gasto cardíaco, disminuyendo la disponibilidad de oxígeno para la musculatura esquelética responsable del movimiento, por lo que se podría considerar al sistema respiratorio como un limitante del consumo de oxígeno máximo ($VO_{2m\acute{a}x}$) y, por lo tanto, del rendimiento en estos deportistas.

Por tanto, en caso de que las necesidades de oxígeno de los MR sean muy elevadas, se generará una demanda competitiva con respecto a los músculos esqueléticos activos, que podrían ver limitado el aporte de oxígeno a sus células, y ello provocar un descenso del rendimiento. Los resultados de Harms y cols., 1998 mostraron correlaciones inversas entre el aumento del trabajo respiratorio y el flujo sanguíneo de los músculos, por ello, puede considerarse que el trabajo respiratorio durante un ejercicio máximo puede comprometer la perfusión y el consumo de oxígeno (VO_2) de los músculos.

Esto produciría una competencia por el flujo total de sangre, disminuyendo el tiempo de trabajo y la fuerza producida. Romer y cols., 2002 estimaron que en sujetos sanos y tras provocar fatiga de los músculos respiratorios, una reducción del 30% en la fuerza del cuádriceps, lo cual significaría un descenso significativo en el rendimiento.

Mc Connell y cols., 2002 reflejan cómo un adecuado protocolo de entrenamiento de los MR puede producir una mejora en la tolerancia a la fatiga y mayor eficiencia respiratoria, lo que podría retrasar la aparición del reflejo metabólico respiratorio.

1.6.2. Limitación de la difusión pulmonar

El tiempo medio de estancia del hematíe en el capilar pulmonar en reposo es de 0,75 segundos aproximadamente. Por otra parte, la mayor parte del intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el alvéolo y el capilar pulmonar tiene lugar en los primeros 0,25 segundos. Durante el ejercicio físico, el aumento del gasto cardíaco condiciona necesariamente un descenso del tiempo de tránsito de los glóbulos rojos en contacto con el alvéolo; si el gasto cardíaco llega a ser muy elevado, aspecto no infrecuente entre deportistas de resistencia, es posible que el tiempo medio de estancia del hematíe con el capilar sea inferior de 0,25 segundos, en cuyo caso estaríamos ante una limitación de la difusión de gases, que necesariamente limitaría el rendimiento físico, especialmente en actividades de resistencia.

La hipoxemia severa y/o la desaturación de la oxihemoglobina arterial en respuesta al ejercicio máximo parecen ocurrir en el 40-50% de los atletas de resistencia altamente

entrenados. Numerosos mecanismos se han esgrimido para justificar la hipoxemia en estos atletas: shunt venoarterial, hipoventilación alveolar relativa y desigualdad VE/Q. Ya que la respiración de aire rico en oxígeno suele normalizar los valores de PaO₂, se ha sugerido que la difusión pulmonar puede también actuar como un factor causal; una de las razones que afectaría a la difusión pulmonar sería la acumulación de agua extravascular en el intersticio pulmonar. En este sentido, Turcotte y cols., en 1997 examinaron la desaturación arterial de la oxihemoglobina observada en atletas de resistencia altamente entrenados está relacionada con una disminución de la capacidad de difusión pulmonar. Participaron en el estudio 24 atletas de resistencia de nivel internacional, realizando un test máximo de esfuerzos mantenidos al 60 y 90% del VO_{2máx}. Durante los test se valoró la saturación arterial de oxígeno mediante oximetría de pulso, antes y después de los test se estudio la capacidad de difusión pulmonar. Los resultados mostraron que trece sujetos presentaron desaturación de la oxihemoglobina (**fig. 2.7**), no encontrándose diferencias en los valores de VO_{2máx}, ni en otros parámetros ergoespirométricos entre los sujetos que desaturaban y los que no lo hacían.

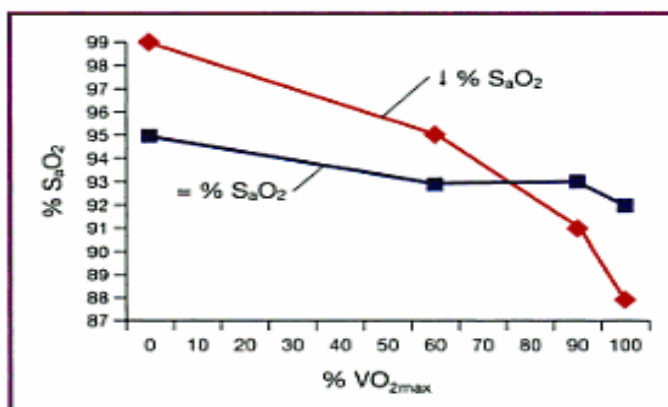


Fig 2.7.- Respuesta relativa de la saturación arterial de la oxihemoglobina(% SaO₂)al ejercicio incremental de carácter máximo en un grupo de deportistas de resistencia aeróbica. En azul, se muestran los valores medios de aquellos deportistas que no presentaron desaturación de la oxihemoglobina(n=11), mientras que en rojo se muestran aquellos (n=13) que respondieron con desaturación.

Fuente: Modificada de Turcotte R, Kiteala L, Marcotte JE, Perrault H. Eur J Appl Physiol, 1997; 75: 425-430)

No hubo diferencias en la capacidad de difusión pulmonar entre los dos grupos (**fig.2.8**). Los autores concluyen que la desaturación de oxihemoglobina inducida por el ejercicio de tipo submáximo de alta intensidad no está relacionada con diferencias en la difusión pulmonar, aunque durante el ejercicio máximo la saturación de oxígeno podría estar limitada por una ventilación relativa menor.

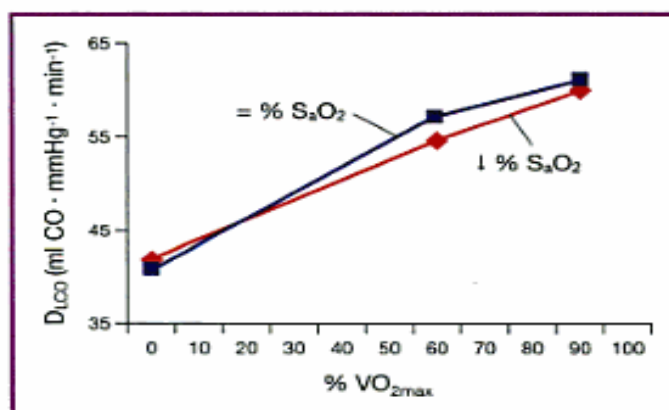


Fig 2.8.- Respuesta de la capacidad de difusión pulmonar (DLCO) al ejercicio incremental de carácter máximo en un grupo de deportistas de resistencia aeróbica, que no presentaron desaturación de la oxihemoglobina (n=11 en azul), mientras que en rojo se muestran aquellos (n=13) que respondieron con desaturación.

Fuente: Modificada de Turcotte R, Kiteala L, Marcotte JE, Perrault H. Eur J Appl Physiol, 1997; 75: 425-430)

1.6.3. Limitación de la mecánica pulmonar

Durante el ejercicio la inspiración es auxiliada por los músculos intercostales externos y otros músculos no principales de la inspiración. La espiración, por otro lado, se torna activa con contracción de los músculos de la pared abdominal y músculos intercostales internos para contribuir al aumento de la presión. Además, durante el ejercicio físico ocurre la transición de un flujo laminar a través de las vías respiratorias a un flujo turbulento, lo que implica necesariamente aumentar a presión para mantener o aumentar el flujo ventilatorio, con ello el trabajo respiratorio realizado.

Normalmente la ventilación máxima ($VE_{m\acute{a}x.}$) obtenida en ejercicio corresponde aproximadamente con el 75% de la máxima ventilación voluntaria (MVV), lo que se ha interpretado como indicativo de que los factores mecánicos no limitan la ventilación durante el ejercicio.

1.6.4. Fatiga muscular respiratoria

Es la disminución reversible de la fuerza que el músculo puede desarrollar durante la contracción sostenida o repetitiva, incapaz de mantener el nivel de ventilación suficiente, de acuerdo a las necesidades requeridas. La fatiga muscular respiratoria puede aparecer por falta de la contractilidad de los músculos o porque la carga sea tan elevada que supere la eficiencia de los mismos.

En general, los músculos respiratorios (MR) se muestran resistentes a la fatiga, no obstante, se ha observado un descenso de la fuerza y del rendimiento físico de estos músculos después de realizar un ejercicio de resistencia aeróbico intenso.

López, 2006 establece que el diafragma es considerado como un músculo con buena capacidad oxidativa, sin embargo, después de ejercicios de resistencia aeróbica prolongados se ha observado un agotamiento de las reservas de glucógeno tanto en diafragma como en los intercostales, lo que implica la posibilidad de que los MR puedan fatigarse por depleción de sustratos en este tipo de ejercicio. En este sentido se muestra que esta capacidad oxidativa puede ser mejorada mediante cargas de resistencia durante la inspiración.

En relación a la ventilación pulmonar, se ha demostrado un descenso de la máxima ventilación voluntaria (MVV) después de ejercicios físicos aeróbicos de larga duración, con descensos significativos de las presiones inspiratorias y espiratorias. Por otra parte, se ha observado un descenso del tiempo de resistencia al ejercicio, después de haber realizado durante un tiempo tasas de ventilación máxima o después de someterse a una carga de resistencia inspiratoria.

Por otra parte, el aumento de producción de lactato en las células de los músculos respiratorios puede auxiliar a la instauración de fatiga en estos músculos. De la misma forma, después de ejercicios extendidos de resistencia se ha observado agotamiento de las reservas de glucógeno tanto en diafragma como en los intercostales, lo que implica la posibilidad de que los músculos respiratorios puedan fatigarse por depleción de sustratos en este tipo de ejercicio.

McConnell y Sharpe en el 2006 investigaron si se llegaba a producir fatiga en los músculos inspiratorios después de un ejercicio de carácter máximo de corta duración en sujetos jóvenes. Se valoró, de forma indirecta, la fuerza de la musculatura respiratoria a través de mediciones estáticas de la presión inspiratoria en boca durante esfuerzos inspiratorios oclusivos. Se valoró el pico de presión y presión máxima promediada, después de haber realizado un ejercicio de tipo incremental diseñado para alcanzar el agotamiento en 10-15 minutos. Los resultados mostraron un descenso significativo tanto del pico de presión como de la presión máxima promediada. (**figs 2.9 – 2.10**) Los datos del estudio parecen soportar la existencia de fatiga inspiratoria tras ejercicio extenuante en jóvenes moderadamente entrenados. Así pues, se sugiere que los MR son resistentes a la fatiga en condiciones no patológicas y en reposo, pero que durante el ejercicio intenso y prolongado es posible la instauración de fatiga muscular respiratoria.

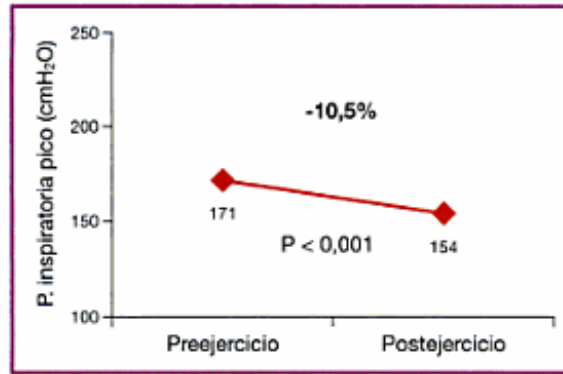


Figura 2.9.- Presión inspiratoria pico antes y después de un ejercicio realizado hasta el agotamiento en 10-15 minutos.

Fuente: Modificada de McCornell AK, Caine MP, Sharpe GP. 1997

Conocidos los principales factores respiratorios limitantes del ejercicio físico aeróbico, se puede afirmar que el compromiso energético de los MR con respecto a los músculos esqueléticos activos y la fatiga propia de los MR, son los dos principales factores donde el entrenamiento de la musculatura respiratoria puede provocar las mayores mejoras en el rendimiento físico aeróbico máximo y submáximo.

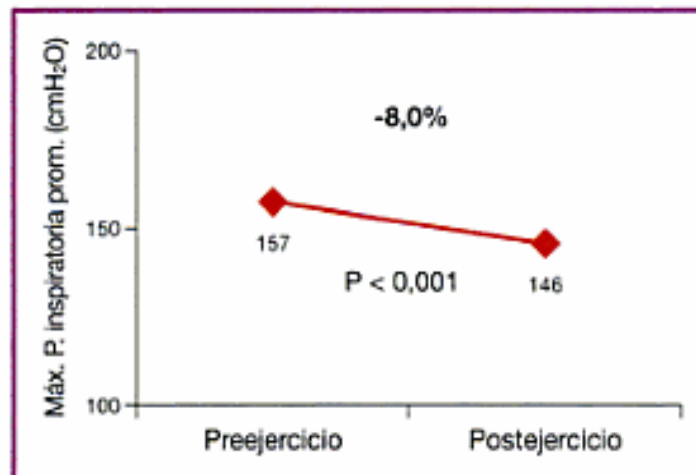


Fig. 2.10.- Presión (P) inspiratoria pico promediada antes y después de un ejercicio realizado hasta el agotamiento en 10-15 minutos

Fuente: Modificada de McCornell AK, Caine MP, Sharpe GP. 1997

1.6.5. Demanda energética de los músculos respiratorios

En caso de que el requerimiento de oxígeno de los músculos respiratorios sea muy elevado durante el ejercicio (10% de gasto energético basal), se producirá una demanda competitiva con respecto a los músculos esqueléticos locomotores activos, que podrían ver condicionado el aporte de sangre oxigenada a sus células y ello provocar un descenso del rendimiento.

1.7. Costo energético de la ventilación

En reposo y durante un ejercicio ligero en sujetos sanos, el requerimiento energético de la ventilación es pequeño, alcanzando en general valores entre 1,9 y 3,1 ml de oxígeno por litro de aire ventilado, lo que corresponde aproximadamente el 4 % de la producción energética total del organismo. En orden que la frecuencia y la profundidad de la respiración de la ventilación aumenta con el ejercicio, el coste energético de la ventilación aumenta progresivamente, pudiendo alcanzar hasta 89 ml de oxígeno por litro de aire ventilado, cuando la respiración es superior a 100 l. min^{-1} , lo que corresponde con un 5 -10 % de la producción energética total.

1.8. Relación ventilatoria en natación

En deportes como la natación, los nadadores de competición requieren de una habilidad de regulación para conseguir un patrón de respiración hermética a volúmenes y ratios de flujo que son mucho más altos que el ejercicio terrestre. De acuerdo con esto, una musculatura inspiratoria y espiratoria bien acondicionada es un prerrequisito para una eficiente mecánica cardiovascular. Desde este punto de vista, la demanda sobre los MR incluye la necesidad de expandir las paredes de la cavidad torácica contra la presión adicional provocada por la inmersión en el agua, aumento del flujo de carga resistiva debido a las tasas de alto flujo durante la inspiración y la espiración, un aumento de la velocidad de contracción de los MR y mayor rendimiento de los músculos accesorios para ayudar a los movimientos de natación. Desde esta perspectiva, se demuestra que un entrenamiento de los MR en nadadores crea una tendencia a la mejora de la velocidad en competición, y mejoras de las funciones pulmonares tales como la PIM y PEM. **(Imagen2.2)**



Imagen 2.2.- Natación estilo libre

Fuente: Selección de Natación de Pichincha 2013

1.9. Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca está determinada por el número de impulsos eléctricos generados en el nodo sinusal, que a su vez, durante un ejercicio físico, está determinado por la estimulación del sistema nervioso vegetativo (el sistema nervioso simpático acelera el ritmo cardíaco y el parasimpático, lo frena).

A intensidades bajas de ejercicio, el aumento de la frecuencia cardíaca es casi el único responsable del aumento del gasto cardíaco, pues el volumen sistólico apenas se modifica. Durante el ejercicio dinámico, la frecuencia cardíaca aumenta de forma proporcional a la intensidad del ejercicio hasta llegar a la máxima intensidad. De manera que si estudiamos el comportamiento de este parámetro durante la realización de un ejercicio de tipo incremental en el laboratorio, obtenemos una relación lineal entre la intensidad y la frecuencia cardíaca hasta finalizar o alcanzar el ejercicio máximo (Fig.2.11)

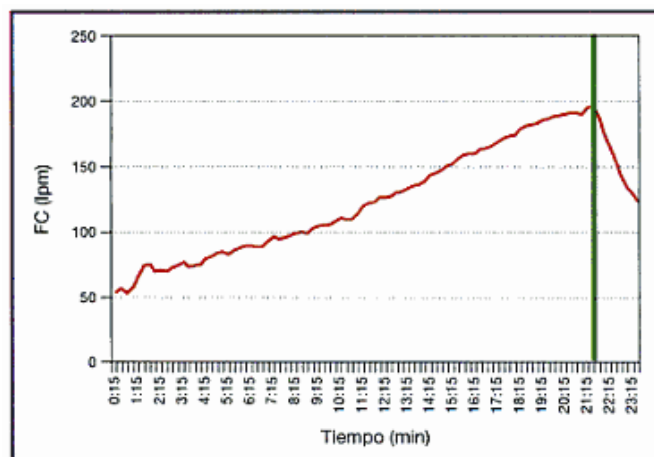


Figura 2.11.- Representación real del comportamiento de la frecuencia cardíaca durante un ejercicio incremental hasta el agotamiento. Obsérvese el descenso brusco al finalizar el ejercicio.

Fuente: López J. Fisiología del ejercicio, 2006

Si controlamos la frecuencia cardíaca del deportista desde la situación de reposo, se detecta en la mayoría de los casos la respuesta anticipatoria debida a los impulsos nerviosos corticales que acompañan a la programación cortical del acto motor. Se manifiesta con un aumento de la frecuencia cardíaca antes de que se inicie el ejercicio. Algunos autores defienden que la frecuencia cardíaca hasta aproximadamente 170 latidos por minuto, y que a partir de aquí la frecuencia tiende a aumentar lentamente y a acercarse asintóticamente a un valor máximo. La magnitud de la respuesta de la frecuencia cardíaca depende fundamentalmente del número, y tamaño de grupos musculares implicados en el ejercicio.

1.10. Pulso

El pulso arterial es la expansión, contracción regular y repetitiva de una arteria, la cual depende de las contracciones del ventrículo izquierdo, la cantidad de sangre que es eyectada en cada sístole, la frecuencia, ritmicidad con que ocurre, y la onda de presión que se produce a través del sistema arterial que depende también de la distensibilidad de las arterias.

El pulso normal se palpa como una onda, con una fase ascendente y otra descendente. Normalmente tiene una amplitud que permite palparlo fácilmente en las arterias superficiales para valorar su ritmo.

1.10.1. Técnica de medición de pulso

El pulso se palpa manualmente con los dedos índice y medio, los dedos deben situarse cerca de una arteria y se palpa en distintas partes del cuerpo, como los siguientes:

- **Pulso braquial.** Se palpa sobre la cara anterior del pliegue el codo, hacia medial. Se conoce también como pulso humeral.
- **Pulso carotídeo.** Se busca en el recorrido de las arterias carótidas, medial al borde anterior del músculo esternocleidomastoideo. **(Imagen 2.3 y 2.5)**

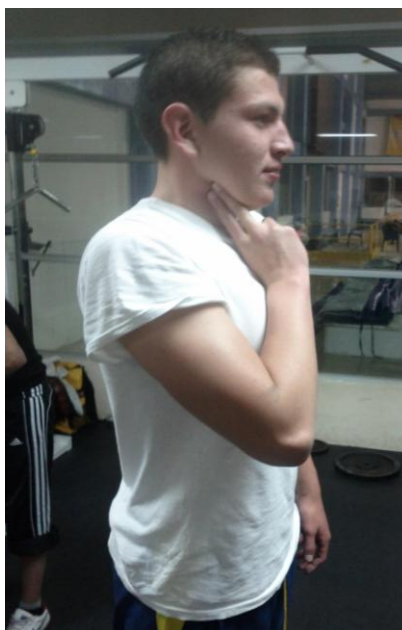


Imagen 2.3.- Toma de pulso carotídeo

Fuente: Selección de Natación de Pichincha 2013

- **Pulso radial.** Se palpa en la cara anterior y lateral de las muñecas, entre el tendón del músculo flexor radial del carpo y la apófisis estiloides del radio.

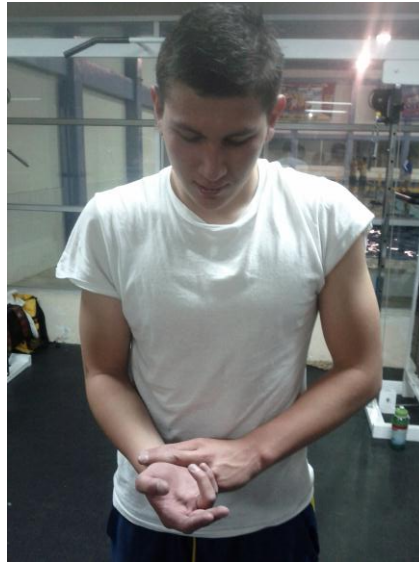


Imagen 2.4.- Toma de pulso radial

Fuente: Selección de Natación de Pichincha 2013

- **Pulso femoral.** Se palpa bajo el pliegue inguinal, hacia medial.
- **Pulso tibial posterior** Se palpa detrás de los maléolos internos de cada tobillo.
- **Pulso poplíteo.** Se palpa en la cara posterior de las rodillas, ya sea estando el paciente en decúbito dorsal o prono. Puede convenir efectuar una palpación bimanual.
- **Pulso pedio.** Se palpa en el dorso de los pies, lateral al tendón extensor del dedo gordo. Una palpación transversal a la dirección de la arteria, con dos o tres dedos, puede facilitar ubicar el pulso
- **Pulso axilar.** Se palpa profundo en la fosa de la axila, por detrás del borde posterior del músculo pectoral mayor.

El tiempo exacto es un minuto, ya que las pulsaciones se miden en minutos. Se puede tomar las pulsaciones en treinta segundos y luego multiplicar por dos para conocer las que tienes en un minuto.

Durante el ejercicio

Se valora en 10 segundos y se multiplica por 6. En los deportistas las pulsaciones bajan a una velocidad alucinante, suele tomarse las pulsaciones en seis segundos y luego multiplicarlo por diez. **(Imagen 2.4, 2.5)**

1.10.2. Margen de error

Se registra las pulsaciones en treinta segundos con un margen de error de +1 a -1, la toma en quince segundos con un margen de error de +4 a -4 y en el caso de hacerlo en seis segundos el margen de error es de -9 a 9.



Imagen 2.5.- Toma de pulso carotídeo durante el entrenamiento

Fuente: Selección de Natación de Pichincha 2013

1.10.3. Valores de referencia

Atletas bien entrenados de 40 a 60 pulsaciones por minuto (p.p.m) en reposo, puede aumentar hasta 220 p.p.m aproximadamente durante la actividad física o una emoción es muy intensa. (Tabla 2.1)

Pulso	Intensidad del ejercicio	Tipo de capacidad
60 - 80	Reposo	Aeróbica
90 - 120	Muy baja	Aeróbica
130 - 150	Baja	Aeróbica
160 - 170	Mediana	Aeróbica
180 - 190	Alta	Anaeróbica
200 - 220	Muy alta	Anaeróbica

Tabla 2.1: Valores referenciales

Fuente: Gutiérrez, D "Educación Física. Nociones Fundamentales". Editorial Larense.

1.11. Valoración del esfuerzo percibido escala modificada de BORG

El Dr. Gunnar Borg en 1998, estableció la correlación entre sensación del esfuerzo y la carga de entrenamiento de cómo perciben los deportistas este trabajo, generando una escala de 20 niveles, la cual se modificó posteriormente a sólo 11 niveles para una más

fácil aplicación. Es una forma subjetiva de controlar el nivel de exigencia de la carga de entrenamiento. La escala tiene un qué valor numérico que va de cero a diez. **(Tabla 2.2)**

Valor	Denominación
10	Muy, muy duro Máximo
9 8 7	Muy duro
6 5	Duro
4	Más bien duro
3	Moderado
2	Leve
1	Muy Leve
0	Nada

Tabla 2.2.- Escala subjetiva del esfuerzo percibido

Fuente: Modificada Dr. Gunnar Borg

1.12. Valoración de la fuerza del diafragma

La evaluación de la fuerza forma parte del control del entrenamiento con el objetivo de proporcionar constante información acerca de efectos del trabajo realizado, valorar la relevancia de la fuerza y potencia en el rendimiento específico, definir el perfil del deportista, comparar la relación entre progresos en fuerza y potencia, predecir los resultados, prescribir el entrenamiento más adecuado en función necesidades de fuerza y potencia en el deporte, valoración de la influencia de la fuerza y la potencia sobre las de las cualidades, discriminar entre deportistas del mismo y de diferentes niveles deportivos, contribuir a la identificación de talentos, y del estado físico-técnico de deportista.

1.12.1. Fuerza máxima

La capacidad máxima o fuerza, se define como la máxima contracción muscular voluntaria de la que el deportista es capaz de levantar al menos una vez. Esto recibe la denominación de una repetición máxima (1-RM). Requiere una total movilización de su sistema neuromuscular.

1.12.2. Cálculo de 1RM

Para el cálculo de peso máximo abdominal con pesos se debe efectuar una serie de calentamiento del ejercicio utilizando la menor carga posible, debe efectuarse entre 10 a 12 repeticiones con un minuto de recuperación, se debe efectuar una nueva serie aumentando ligeramente el peso con respecto a la serie precedente, completando entre 8 a 10 repeticiones con un minuto y medio de recuperación, efectuar una nueva serie aumentando ligeramente el peso con respecto a la serie precedente, completando entre 6 a 8 repeticiones con dos minutos de recuperación.

Para efectuar el cálculo de pesos máximos realizamos una serie del ejercicio cargando el máximo peso (**imagen 2.8**) que se piensa poder utilizar en una ejecución completa y correcta del ejercicio, con la ayuda de la fórmula de Eppley:

$$1Rm = ((0,033 * \text{peso utilizado}) * \text{repeticiones}) + \text{peso utilizado}.$$



Imagen 2.8.- Entrenamiento diafragmático con pesos

Fuente: Selección de Natación de Pichincha 2013

1.12.3. Medición de la fuerza muscular del diafragma.

Bellemore, 1995 describe el estudio de la fuerza de los músculos respiratorios valora la máxima tensión que es capaz de generar en una inspiración forzada. Estas presiones se generan contra una vía aérea ocluida un esfuerzo espiratorio máximo y se mide mediante traductores de presión (manómetro de presión).

1.12.4. La Presión Inspiratoria Máxima (PIM)

Es el reflejo de la funcionalidad máxima de la musculatura inspiratoria y su valoración está adquiriendo cada vez mayor importancia, dado que nos permite comparar los resultados con valores de referencia publicados en la literatura internacional, así como comprobar su evolución individual ligada a un programa de entrenamiento específico o de rehabilitación respiratoria. (**Imagen 2.6**)



Imagen 2.6.- Valoración de Presión máxima espiratoria máxima

Fuente: Selección de Natación de Pichincha 2013

1.12.5. Técnica de la prueba:

Se mide cuando los músculos inspiratorios están en su punto máximo de tensión, después de una inspiración máxima, es decir, cerca de la capacidad pulmonar total, el paciente debe realizar la prueba en posición sedente solicite al paciente que exhale suave pero completamente, y que luego inhale tan fuerte y rápido como le sea posible. Obtenga tres intentos reproducibles. Permita que el paciente descanse de 30-60 segundos entre un intento y otro para la medida. **(Imagen 2.7)**

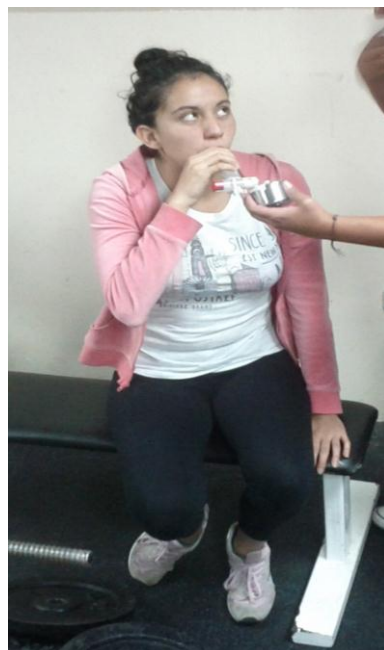


Imagen 2.7.- Valoración de presión inspiratoria máxima

Fuente: Selección de Natación de Pichincha 2013

1.12.6. La presión espiratoria máxima (PEM)

Se mide cuando los músculos espiratorios se hallan en su máxima longitud, es decir, cerca del volumen residual, solicite al paciente que inhale profundo y completamente y luego que exhale tan fuerte y rápido como le sea posible, obtenga tres intentos reproducibles, permita que el paciente descanse de 30-60 segundos entre un intento y otro, advertir al paciente que realizar esfuerzos respiratorios intensos puede molestar sus oídos a pesar de lo cual debe realizar un esfuerzo máximo.

1.12.7. Técnica de la prueba:

El paciente debe realizar la prueba en posición sedente. Para la medida de la PEM solicite al individuo que inhale profundo y completamente y luego que exhale tan fuerte y rápido como le sea posible. Obtenga tres intentos reproducibles (10% diferencia entre los dos de mayor valor) de un máximo de ocho. Si el último intento es el mayor de todos realice una nueva maniobra. Permita que descanse de 30-60 segundos entre un intento y otro.

1.12.8. Informe:

En el reporte final se presentaran los resultados de los valores medidos para la PIM que corresponderá al valor de presión negativa informada en cm H₂O, y los valores de la PEM que corresponderá al valor de presión positiva también informada en cm H₂O.

Se reportara el mayor de tres intentos reproducibles teniendo en cuenta que se deben de eliminar los picos de presión registrados menores a un segundo de duración.

De esta forma se presentaran datos (en valor absoluto y como porcentaje de predichos) para lo que se utilizara como valores de referencia los propuestos por Black y Hyatt, 1971 (**tabla 2.3**).

En la interpretación debe tenerse en cuenta los porcentajes de los valores medidos con relación a las ecuaciones de referencia, considerándose normal las medidas > 80% del valor predicho, con el fin de individualizar los resultados por genero y edad. También se han propuesto límites de normalidad como valor absoluto para la PIM medida a VR de 75cm H₂O para hombres y 50cm H₂O para mujeres, y para la PEM de 100cm H₂O para hombres y 80cm H₂O para mujeres.

Si la PIM es menor a 25 mm H₂O indica incapacidad para realizar respiraciones profundas y la PEM inferior a más 40 cm H₂O sugiere una incapacidad para toser adecuadamente.

	Mujer	Hombre
PIM, cmH2O	104-(0.51 x edad)	143-(0.55 x edad)
PEM, cmH2O	170-(0.53 x edad)	268-(1.03 x edad)

Tabla 2.3. Ecuaciones de referencia de Black/Hyatt

Fuente: Black y Hyatt

1.13. Metodología del entrenamiento

1.13.1. Fuerza

La fuerza muscular depende de la masa muscular, de la contractilidad, de la carga mecánica, de la longitud muscular y de la velocidad de acortamiento.

González-Badillo y Ribas, 2002 describe que el músculo esquelético está diseñado para producir fuerza, es decir, para acelerar una masa o deformarla. La masa a acelerar es una parte de nuestro cuerpo, ya sea una extremidad, un segmento de la extremidad o el globo ocular.

1.14. La programación del entrenamiento de la fuerza

La programación debe asegurar, por una parte, la unidad del proceso de entrenamiento y, por otra, la flexibilidad del mismo, como consecuencia del control y evaluación sistemática del propio proceso. Sólo la evaluación del proceso del proceso de entrenamiento puede justificar las revisiones oportunas de la programación.

1.15. Metodología del entrenamiento de la fuerza

La fuerza puede desarrollarse de forma general o de forma especial, un entrenamiento general de la fuerza es aquel que se desarrolla de manera multilateral y multifacética de los grupos musculares más importantes del cuerpo independientemente de la disciplina deportiva, por fuerza especial se entiende por aquella fuerza que se basa en la especificidad de la disciplina deportiva practicada.

El desarrollo de la fuerza para cualquier disciplina deportiva se basa en mayor o menor medida del desarrollo de la fuerza máxima, de la fuerza velocidad y de la fuerza resistencia.

1.15.1.Principios del entrenamiento

❖ Aspecto cuantitativo

Duración

Representa la duración del estímulo de entrenamiento o carga, la que determina la fuente energética que asegura la posibilidad de continuar con el ejercicio. Así, los esfuerzos cortos e intensos se producen gracias al metabolismo anaeróbico, mientras que los esfuerzos largos y de intensidad baja o media, se llevan a cabo gracias al metabolismo aeróbico.

Volumen

Es el parámetro cualitativo, es decir que indica la cantidad total de carga de la actividad ejecutada en el entrenamiento. Dependiendo del sistema de entrenamiento empleado se puede expresar en:

- Unidad de longitud (distancia recorrida)
- Unidad de tiempo (tiempo total de trabajo)
- Número de ejercicios realizados
- Número de repeticiones de los esfuerzos, ejercicio o elemento técnico ejecutado en un tiempo dado.

Frecuencia del estímulo o carga:

Representa la cantidad de sesiones de entrenamiento que el sujeto realiza en un microciclo, semana, macrociclo, etc. La frecuencia representa el número de sesiones en una unidad cíclica de la planificación y que se determina generalmente en los microciclos.

❖ Aspecto cualitativo:

Intensidad

Es la componente cualitativa del trabajo ejecutado en un periodo determinado de tiempo. Es un valor absoluto y se refiere, al grado de actividad o potencia de un musculo (grado de esfuerzo requerido al realizar el estímulo) y el nivel de carga de entrenamiento.

Es la calidad del estímulo en un periodo de tiempo determinado, también plantea que las unidades de tiempo en que se mide la intensidad del estímulo son múltiples dependiendo de la disciplina deportiva. A más trabajo realizado por unidad de tiempo, mayor será la intensidad. (**Tabla 2.4**)

- En deportes de lanzamiento y saltos; se cuantifica mediante la altura o la amplitud (m)
- En el deporte que involucran velocidad; se cuantifica mediante la velocidad (m/s)
- En actividades contra resistencia; se cuantifica la magnitud de la carga (Kg., Kgm, watos).
- En deportes de equipo; el ritmo del juego permite valorar la intensidad

Nº correspondiente a la intensidad	Porcentaje del rendimiento máximo individual	Intensidad
1	30-50%	Bajo
2	50-70%	Intermedio
3	70-80%	Medio
4	80-90%	Submáximo
5	90-100%	Máximo
6	100-105%	Supermáximo

Tabla 2.4 La escala de intensidades.

Fuente: Harre (1973)

Densidad

Indica relación entre la duración del esfuerzo y la pausa de recuperación. Dicha densidad deberá ser considerada tanto como densidad intra-sesión y como densidad inter-sesión

Harre 1973 propuso una relación de densidad optima entre el trabajo y del descanso.

- Para el desarrollo de la resistencia básica, la densidad optima está entre 1:0.5-1:1
- Para la resistencia con el empleo la intensidad elevada la densidad es de 1:3 a 1:6
- Para el entrenamiento de la fuerza máxima o potencia la densidad es de 1:2 a 1:5 dependiendo del porcentaje de la carga y el ritmo de ejecución

Progresión:

La progresión de la carga de entrenamiento debe ajustarse según el mejoramiento de las aptitudes motoras y atléticas. La carga (el volumen y la intensidad) tiene que aumentar en términos tanto de entrenamiento general como específico. La intensidad es inversamente proporcional a la duración, a medida que la duración aumenta, la intensidad

disminuye y viceversa. La carga, que a veces debe elevarse al máximo se cambia en una forma de olas ascendentes como una función de carga y recuperación.

1.15.2. Métodos de desarrollo de la fuerza

Según Zatsiorski, 1987

Esfuerzos máximos

Se realizan en una intensidad entre 90 a 100%, se realizan de 3 a 5 series, se realizan de 1 a 3 repeticiones, las ventajas que este entrenamiento presenta es que crea un gran impacto sobre los mecanismos nerviosos (reclutamiento, sincronización y frecuencia elevada), se usa sólo para alto rendimiento pues requiere de 5 a 7 días de recuperación y se tiene que alternar con otros métodos.

Esfuerzos repetidos

Los esfuerzos repetidos se desarrollan en una intensidad de 70-80% se realizan 6 series y 6 repeticiones. Este método presenta ventajas porque se puede usar no en alto rendimiento además existe una mejor adaptación para desentrenados y jóvenes.

La recuperación entre sesiones es pequeña, 2 días. Se pueden aplicar más sesiones por semana, los Inconvenientes que presenta es que no se implican los mecanismos nerviosos y se requiere de un alto volumen de trabajo, hasta la fatiga para conseguir incrementos de fuerza.

Esfuerzos dinámicos

La variante se realiza entre el 20 al 50% de intensidad las series son variables con la condición que no lleguen a producir cansancio nervioso, se realizan de 1 a 8 repeticiones, es ventajoso pues mejora la velocidad en la ejecución. No se requiere de cargas altas y se dan inconveniente pues requiere en todo instante de una alta concentración. Se debe alternar con métodos de altas intensidades para no disminuir la fuerza máxima.

1.15.3. Frecuencia de entrenamiento

Fox, 1975 determinó por medio de una comparación de la mejora en VO_{2max} entre programas de entrenamiento de dos y cuatro sesiones a la semana, observó que no había diferencias en la mejora cuando se comparaban aunque la disminución en la frecuencia cardíaca submáxima era mayor cuando se entrenaba cuatro veces a la semana. En el caso de deportistas de resistencia para alcanzar los altos volúmenes de trabajo requeridos es necesario recurrir a un mayor número de sesiones de entrenamiento semanales.

Neufer, 1989 describe que en cuanto a la frecuencia mínima necesaria para mantener las adaptaciones logradas con el entrenamiento, parece que reducciones de hasta dos terceras partes de la frecuencia de entrenamiento no afectan al $VO_{2m\acute{a}x}$ o el tiempo hasta la fatiga a intensidades submáximas siempre que se mantenga la intensidad de entrenamiento. Parece, por tanto, que la magnitud y tipo de adaptaciones asociadas al entrenamiento aeróbico están más relacionadas al entrenamiento aeróbico están más relacionados con otros parámetros del entrenamiento, fundamentalmente la intensidad, que con la frecuencia.

1.16. Plan de entrenamiento en natación

Los nadadores de la selección de Pichincha mantienen una planificación anual en el **(anexo 3)** en la cual se especifica las capacidades a desarrollar, la competencia fundamental, competencias preparatorias, número de semanas, objetivos de cada semana, volumen general, volumen por cualidad, mesociclos, pruebas médicas, mesociclos de preparación.

Capacidades: RI, RII, MVO2, RL, TOL (tabla 2.5)

- **RI (Resistencia Aeróbica 1)** tiene una duración de 45 minutos a una hora y media se encuentra en la esfera aeróbica, el pulso referencial es de 120-140, la misma se aplica en corta media y larga distancia, el umbral de lactato es de 2 a 3 milimoles de lactato capilar.
- **RII (Resistencia Aeróbica 2)** tiene una duración de 30 minutos a 45 minutos se encuentra en una esfera aeróbica y el pulso es de 140 a 160, la misma se aplica a corta, media y larga, el umbral de lactato es de 4 a 6 milimoles a nivel capilar.
- **RL (resistencia Lactácida)** tiene una duración de 5 a 15 minutos se desarrolla en una esfera anaeróbica con un pulso referencial de 180 a 200 se aplica en distancias cortas y medias, el lactato que se movilice de referencia de 9 a 12 milimoles de lactato capilar.
- **TOL (tolerancia)** tiene una duración de 30 segundos a 3 minutos es intensidad anaeróbica puede ser de corta o media distancia y se eleva a más de 12 milimoles de lactato capilar.
- **VO₂máx (máximo consumo de oxígeno)** la duración de esta capacidad es de 3 minutos a 7 minutos, en corta y media duración, para referencia se moviliza de 7 a 9

milimoles de lactato capilar en esta cualidad le recuperación toma entre 48 a 72 horas.

CAPAC.	DURAC.	ESFERA	PULSO	MÉTODO	LACTATO
RI	45' - 1:30	AERÓBICA	120-140	CORTA MEDIA LARGA	2,3 mM
RII	30' - 45'	AERÓBICA	140-160	CORTA MEDIA LARGA	4,6 mM
RL	5' - 15'	ANAERÓBICA	180-200	CORTA MEDIA	9,12mM
TOL	30 s - 3'	ANAERÓBICA	200	CORTA MEDIA	12mM
VO₂máx	3' A 7'	ANAERÓBICA	160-180	CORTA MEDIA	7,9mM

Elaborado por: Isabel Masson

Tabla 2.5.- Cualidades de entrenamiento

1.17. Plan de entrenamiento específico

	MESES	ABRIL				MAYO					JUNIO			JULIO			
	Nº DE SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Entrenamiento del diafragma con pesos	SEMANAS	1-7	8-14	15-21	22-28	29-5	6-12	13-19	20-26	27-2	3-9	10-16	17-23	24-30	1-7	8-14	
	OBJETIVOS	MVO2	R2	R2	R2	RL	MVO2	R2	R2	R2	RL	MVO2	RL	MVO2	TOL	R2	
	VOLUMEN	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	6x6 ss	
	DURACION	EJECUCION	7 min	7 min	7 min	7 min	7 min	7 min	7 min	7 min	7 min	7 min	7 min	7 min	7 min	7 min	7 min
		PAUSA	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg	30 seg
		TOTAL	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min
	INTENSIDAD	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	
	DENSIDAD	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	
	EVALUACION	02-abr		15-abr			06-may		20-may			10-jun		17-jun			
	CARGA SEMANAL	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	L-MI	

	MESES	ABRIL				MAYO					
	Nº DE SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Inspiración contra resistencia	VOLUMEN	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	
	DURACION	EJECUCION	15 mins	15 mins	15 mins	15 mins	15 mins	15 mins	15 mins	15 mins	15 mins
		PAUSA	7 min	8 HORAS	8 HORAS	8 HORAS	8 HORAS	8 HORAS	8 HORAS	8 HORAS	8 HORAS
		TOTAL	22 mins	22 mins	22 mins	22 mins	22 mins	22 mins	22 mins	22 mins	22 mins
	INTENSIDAD	Progresiva	Progresiva	Progresiva	Progresiva	Progresiva	Progresiva	Progresiva	Progresiva	Progresiva	
	DENSIDAD	1:0,5	1:0,5	1:0,5	1:0,5	1:0,5	1:0,5	1:0,5	1:0,5	1:0,5	
	RESISTENCIA	7mm		6mm			5mm		4mm		
CARGA SEMANAL	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	

	MESES	JUNIO				JULIO		
	Nº DE SEMANAS	10	11	12	13	14	15	
Inspiración contra resistencia	VOLUMEN	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	2 Jornadas (AM-PM)	
	DURACION	EJECUCION	15 mins	15 mins	15 mins	15 mins	15 mins	15 mins
		PAUSA	8 HORAS	8 HORAS	8 HORAS	8 HORAS	8 HORAS	8 HORAS
		TOTAL	22 mins	22 mins	22 mins	22 mins	22 mins	22 mins
	INTENSIDAD	Progresiva	Progresiva	Progresiva	Progresiva	Progresiva	Progresiva	
	DENSIDAD	1:0,5	1:0,5	1:0,5	1:0,5	1:0,5	1:0,5	
	RESISTENCIA	3mm			2mm			
CARGA SEMANAL	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S	L-M-MI-J-VI-S		

Elaborado por: Isabel Masson

Tabla 2.6.- Plan de entrenamiento respiratorio nadadores de la selección de Pichincha

1.18. Entrenamientos específicos de los músculos respiratorios

Las posibles adaptaciones de los músculos respiratorios derivadas del entrenamiento específico podrían influir en la energética de los mismos, los hace más eficientes y junto con los músculos locomotores activos, es posible que un entrenamiento específico de los músculos respiratorios de cómo resultado una mejora de la capacidad aeróbica y del rendimiento de resistencia en atletas altamente entrenados. No parece que este tipo de trabajo específico pueda tener efectos sobre una posible limitación de los procesos de difusión de gases entre alvéolo y sangre capilar pulmonar. (fig. 2.12)



Figura 2.12. Posibles indicaciones del entrenamiento específico de los músculos respiratorios

Fuente: López J. Fisiología del ejercicio, 2006

Inbar y cols, 2000; Volianitis y cols., 2001; Sonetti y cols., 2001 implementaron un programa específico para los músculos respiratorios en atletas de resistencia durante 10 semanas los atletas recibieron un entrenamiento de los músculos inspiratorios /resistencia igual al 80% de la presión inspiratoria máxima, los resultados del estudio muestran la efectividad de un programa de ejercicio específico de los músculos respiratorios se dio un aumento en el grupo experimental de la fuerza y de la resistencia de los músculos inspiradores (fig. 2.13). No se observaron cambios en los parámetros ergoespirométricos máximos ($VE_{máx.}$), saturación arterial de oxígeno ni $VO_{2máx.}$

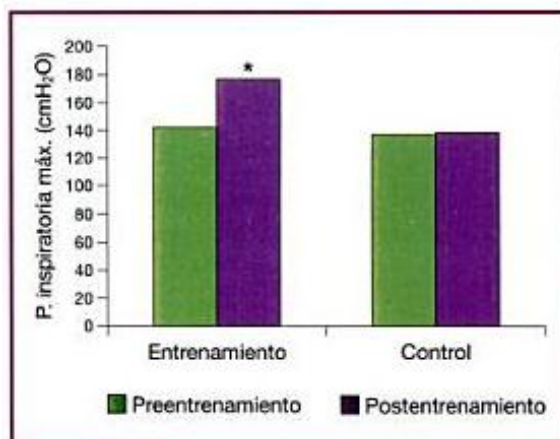


Figura 2.13. Valores de la presión (P) inspiratoria máxima antes y después de un periodo de diez semanas, en el grupo que entreno los músculos respiratorios (entrenamiento) y en el grupo que no lo hizo (control).
*:p<0,01 preentrenamiento vs postentrenamiento.

Fuente: Ibar O, Weiner P, Azgoud y Rotstein A, Weintey Y. Specific inspiratory muscle training in web-trained endurance athletes. Med Sci Sport Exerc, 2000; 32: 1233-1237

En la **figura 2.14** se muestran los posibles efectos de los músculos respiratorios sobre los factores que pueden condicionar el rendimiento aeróbico.

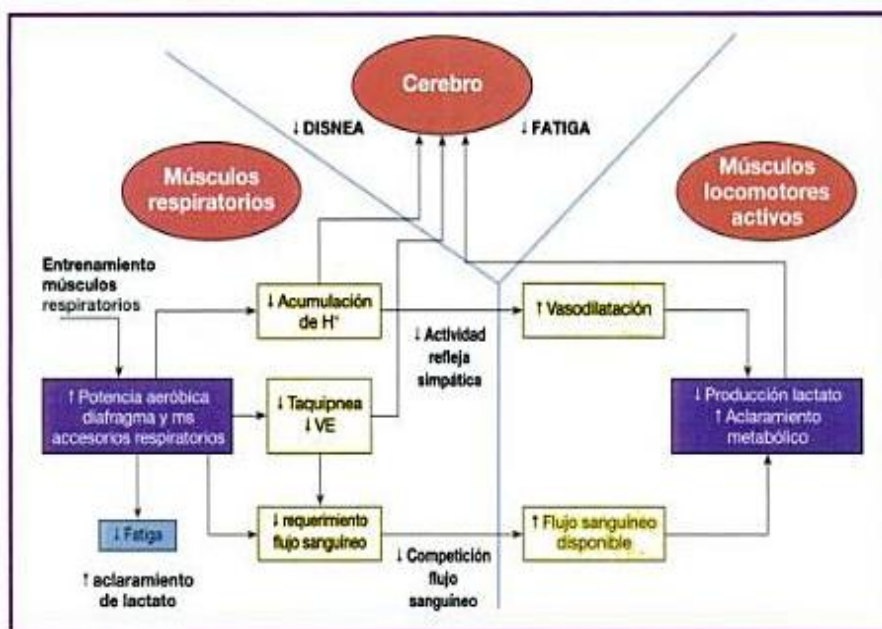


Figura 2.14. Efectos del entrenamiento de los músculos respiratorios sobre factores que pueden condicionar el rendimiento físico aeróbico.

Fuente: López J. Fisiología del ejercicio, 2006

1.18.1. Entrenamiento del diafragma con pesos

El entrenamiento con pesos es un método popular de entrenamiento de fuerza en el cual se usa la fuerza de gravedad para que se produzca mayor amplitud del músculo que se opone a la contracción muscular, se utilizan normalmente rutinas de entrenamiento basadas en series y repeticiones.

1.18.2. Técnica

- El deportista adopta una posición en decúbito supino
- Se coloca un peso (1,5 a 3 kg) sobre la región del epigastrio del abdomen del deportista series de 12 y 10 repeticiones correspondientemente.
- Se pide al deportista que respire lo más profundo que pueda mientras y mantiene estable la porción superior del tórax. La resistencia no debe interferir con excursión completa del diafragma y la elevación normal del área epigástrica.
- Se aumenta gradualmente el tiempo que respira contra la resistencia del peso. El peso puede aumentar cuando el deportista logre mantener durante 15 minutos el patrón de respiración diafragmática sin el empleo de los músculos accesorios de la inspiración
- Para entrenamiento la repeticiones se realizan con el 70% del peso máximo (1RM) seis series (**Imagen 2.9**)



Imagen 2.9.- entrenamiento diafragmático con pesos

Fuente: Selección de Natación de Pichincha 2013

1.19. Tipos de dispositivos de entrenamiento de la musculatura inspiratoria

En la década de los 80 los dispositivos y métodos de EMI (entrenamiento de musculatura inspiratoria) se iniciaron como programas de rehabilitación, con el objetivo de mejorar la fuerza y la resistencia de los MR (músculos respiratorios), obteniendo como resultado una reducción en la sensación de disnea y un incremento de la tolerancia al ejercicio.

Hay tres tipos de dispositivos para el entrenamiento de la musculatura inspiratoria: dispositivos umbral, dispositivos de carga resistiva y dispositivos de hiperpnea isocápnica voluntaria.

1.19.1. Dispositivo umbral

El entrenamiento mediante umbral de carga respiratoria se obtiene mediante un pequeño dispositivo de mano que permite el flujo de aire durante la inspiración, únicamente después de alcanzar una cierta presión inspiratoria. El nivel del esfuerzo requerido por los músculos inspiratorios puede ajustarse mediante la tensión de un muelle o resorte y puede ajustarse de acuerdo con un porcentaje de la presión máxima inspiratoria del paciente (PIM). La tensión del muelle determina la apertura de la válvula a una presión prefijada, con un rango entre 0 y 45 cm de agua. El dispositivo está concebido para que no haya flujo significativo por debajo del valor umbral; una vez superado éste y abierta la válvula, la resistencia lineal al incremento de flujo debe ser inapreciable (*Inspiratory Pressure Threshold Device*[®], Cedar Grove, NJ, EE.UU.).

1.19.2. Dispositivo de carga resistiva

Uno de los dispositivos utilizados es Inspiratory muscle trainer (Smiths Medical ASD, Inc, USA) el cual consiste en un pequeño dispositivo con una boquilla, conexión cónica y un puerto de oxígeno 15mm o para control de presión (**imagen 2.10**). Contiene resistencias con código de color que varían el tamaño de la abertura por la cual el sujeto debe respirar. Cuanta más pequeña es la abertura, mayor será la resistencia a la inspiración. En total cuenta con 6 resistencias inspiratorias u orificios que adaptan la entrada del aire al cuerpo del dispositivo. Los diámetros son de 7 mm (azul), de 6 mm (amarillo), de 5 mm (verde), de 4 mm (celeste), de 3 mm (blanco) y de 2 mm (rojo). En este tipo de entrenamiento se le pide al sujeto que inspire por medio de estos orificios con diámetros progresivamente menores. El objetivo, al igual que en el resto de los dispositivos es aumentar la carga sobre los músculos inspiratorios.



Imagen 2.10.- Entrenador inspiratorio

Fuente: Rev Andal Med Deporte. 2012; 5 (4):163-170

1.19.3. Técnica

El procedimiento consiste solicitar al deportista una inspiración a través del dispositivo a volumen corriente normal, inicialmente colocando el dial en el agujero de mayor

diámetro que ofrecerá una menor resistencia, la misma que forma gradual bajo la planificación mensual se irá disminuyendo el diámetro del orificio para ofrecer mayor resistencia. Se utiliza una pinza nasal para la realización de los ejercicios. Tiene como objetivo brindar una resistencia progresiva ante la inspiración para con ello lograr fortalecer los músculos respiratorios, es usado en rehabilitación respiratoria para pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (epoc).

El dispositivo *Power-Breathe*, patentado por *IMT Technologies LTD*. Consiste en un aparato de entrenamiento de la musculatura inspiratoria que comprende una boquilla, un cuerpo principal y un regulador que, mediante una válvula, permite controlar la resistencia del paso del aire, permitiendo de esta forma el entrenamiento de los músculos inspiratorios. Presenta en total 12 modelos diferenciados, agrupados en 4 series y 3 niveles de resistencia cada uno, adaptados a las características de la población a la que va dirigido (**imagen 2.11**).



Imagen 2.11. Dispositivo *PowerBreathe*, de IMT Technologies LTD.

Fuente: Rev Andal Med Deporte. 2012;05:163-70

1.19.4. Hiperpnea isocápnica voluntaria (voluntary isocapnic hyperpnea)

Este dispositivo consiste en un aparato en el cual se aumenta el nivel de ventilación del sujeto hasta un nivel previamente determinado, que suele estar entre el 60-70% de la MVV. Esta hiperventilación provoca un aumento de la frecuencia respiratoria, que puede llegar a alcanzar 50-60 rpm, y del VT, de 2,5 a 3,5 l. Este modo de entrenamiento de la MR requiere que el paciente realice períodos prolongados de hiperpnea con una duración de hasta 15 minutos y con una frecuencia de dos veces al día, de 3 a 5 veces por semana, durante 4-5 semanas. El indicador clave para determinar el nivel de hiperpnea que debe alcanzar el paciente es la capacidad ventilatoria máxima sostenida, que se define como el nivel máximo de ventilación que puede ser mantenido en condiciones isocápnicas durante 15 minutos. Para evitar la consiguiente hipocapnia, este tipo de

entrenamiento se debe realizar respirando por medio de un circuito isocápnic, es decir, que mantenga los niveles estables de CO₂. Por ello, y debido a lo complejo del circuito de reinhalación requerido para esta modalidad de entrenamiento, los estudios al respecto son escasos pero, sin excepción, han demostrado mejoría del 20 al 55 % en la resistencia a la fatiga de los músculos ventilatorios. Este tipo de entrenamiento mejora principalmente la resistencia respiratoria, en vez de la fuerza, dado que el tipo de carga al que se someten los músculos es de baja intensidad y larga duración.

Un dispositivo que utiliza el principio de hiperpnea isocápnic es el SpiroTiger® (**imagen 2.12**), desarrollado por *Ideag Lab* (Suiza). El entrenamiento de los MR mediante este dispositivo consiste en mantener una frecuencia de respiración elevada pero manteniendo una concentración de CO₂ en sangre constante; para lo cual incorpora una bolsa calibrada donde se recoge el aire exhalado por el paciente y se mezcla con aire ambiente en la siguiente inspiración.



Imagen 2.12. Dispositivo *SpiroTiger*. Laboratorios Ideag AG. Suiza.

Fuente: Rev Andal Med Deporte. 2012; **5 (4)**:163-170

1.20. Efectos del entrenamiento de los MR en el rendimiento deportivo

A continuación se reflejan algunas de las investigaciones más representativas a este respecto y se muestra una tabla resumen con los protocolos, sujetos y resultados obtenidos (**tabla 2.7**).

Autor	n	Método	Cambios rendimiento y Pimax
Volianitis et al ¹⁷	14 sujetos (7 GE-7 GC)	GE: 50% Pimax, 2d/s, 11 semanas	GE: Pimax +45% y mejoría prueba remo. CC: Pimax +5%
Sonetti et al ²⁷	17 sujetos ciclistas (GE: 9 GP:8)	GE: entrenamiento respiratorio hiperpnea durante 5 semanas, 25 sesiones, 30 min/día, 5 días a la semana), entrenamiento muscular respiratorio	GE: +8% Pimax. Test 8 km +26%
Stuessi et al ²⁵	28 sujetos ciclistas (13 GE, 15 GC)	GE: 40 sesiones de 30 min. GC: no entrenó	GP: +3,7 Pimax. Test 8 km: +16%, GE: +5,2% resistencia muscular respiratoria GC: no mostraron mejoras
Gerthig et al ¹²	15 sujetos (5 GE, 5 GC, 5 GP)	EMR: hiperpnea isocapnica GE: 80% Pimax, 3 d/s, 10 semanas GP: carga mínima GC: no EMI	GE: Pimax +34% GP: sin cambios GC: sin cambios Todos: sin cambios en VO ₂ max, ni Wmax Mejoría en prueba time-trial-test GE: +12% resistencia muscular respiratoria
Holm et al ²⁶	20 sujetos ciclistas (10 GE, 6 GC, 4 GP)	GE: 20 sesiones de 45 min GP: 20 sesiones de 5 min. GC: no entrenó	Mejora en VE, VO ₂ y disminución del PCO ₂ Mejora rendimiento contrarreloj ciclista en un 47%
Griffiths et al ²⁸	17 sujetos remeros (GE: 7 GC: 10)	EMR: hiperpnea isocapnica Entrenamiento respiratorio 4 semanas + 6 semanas entrenamiento habitual + ER. Pimax 50%	GC y GP: no mostraron mejoras GE: Pimax +26%. PEmax: 31%
Aznar-Lalín et al ²⁸	18 sujetos ancianos	GE: entrenamiento respiratorio 8 semanas (EMI)	No mejoras en test ergómetro remo de 6 min máximo El GE mejoró la fuerza de los músculos inspiratorios, el tiempo hasta el agotamiento en una prueba de esfuerzo y el tiempo dedicado a realizar ejercicio moderado a vigoroso
Dickinson et al ⁴⁸	1 atleta JJOO Atenas 2004	GP: 8 semanas simulacro de entrenamiento Entrenamiento respiratorio hiperpnea de 11 semanas 5 veces por semana. Power Breathe: 60% Pimax	Pimax +31%
Kilding et al ²²	16 nadadores	Entrenamiento respiratorio umbral 30 repeticiones 2 veces al día 6 semana	Reducción tiempo de recuperación entre carreras Prueba 100 m. Mejora tiempo: -1,7%
Frank et al ¹⁰	26 sujetos con sobrepeso y obesidad (IMC = 31,3)	GE: entrenamiento resistencia hiperpnea normocápnica durante 5 semanas, 30 min + nociones de nutrición durante 6 meses. GC: nociones de nutrición 6 meses	Prueba 200 m. Mejora tiempo: -1,5% Prueba 400 m. Empeora tiempo: +0,6% Pérdida de peso similar en ambos grupos (4,2 frente a 3,7 kg P < 0,005).
			Test de ciclismo: GE mayor distancia recorrida que GC: (1678 frente a 1824 m; P < 0,001).GE: menor percepción de la disnea

N: número de sujetos; GE: grupo experimental; GC: grupo control; GP: grupo placebo; EMI: entrenamiento musculatura inspiratoria; Pimax: presión inspiratoria máxima; PEmax: presión espiratoria máxima; Wmax: trabajo máximo; d/s: días semana; km: kilómetros; m: metros.

Tabla 2.7.- Resumen de los resultados de distintas investigaciones relacionadas con el entrenamiento de la MR y su influencia en el rendimiento físico.

Se ha demostrado la evidencia científica sobre la fatiga que sufren los MR durante el ejercicio, después de carreras de larga distancia como la maratón, esta fatiga muscular se puede prolongar hasta tres días después de haber finalizado el ejercicio. Además, se ha estimado que la fatiga de los MR puede provocarse en ejercicios de corta duración pero de mayor intensidad.

Kilding y cols., 2010 aplicaron a un grupo de nadadores, especialistas en tres distancias distintas, un entrenamiento de los músculos inspiratorios de 6 semanas de duración, obteniendo resultados positivos. El grupo control mejoró, con respecto al grupo placebo, en tiempos de las pruebas de 100 m y 200 m, con cambios significativos en la PIM y en la percepción de esfuerzo subjetivo.

Inbar y cols, 2000 entrenaron de forma específica los MR de un grupo de atletas de resistencia con el fin de valorar su influencia sobre la capacidad aeróbica. Durante 10 semanas y seis sesiones por semana, con una duración de 30 minutos, los atletas recibieron un entrenamiento de los músculos inspiratorios con una resistencia igual al 80% de la presión inspiratoria máxima. Los resultados mostraron un aumento de la fuerza y de la resistencia de los músculos inspiradores, pero no se observaron cambios en los parámetros ergoespirométricos máximos ($VE_{máx.}$), saturación arterial de oxígeno, ni del $VO_{2máx.}$

Se han estudiado los efectos del entrenamiento de los MR y su relación sobre la concentración de lactato en sangre, el VO_2 durante el ejercicio y su relación con el rendimiento físico. En este estudio, una población de 20 sujetos activos físicamente, realizó entrenamiento de los MR mediante sesiones de 30 minutos de hiperpnea isocápnic, durante 4 semanas, 5 días a la semana. Los resultados obtenidos mostraron una mejora significativa en los tests de resistencia respiratoria y del tiempo de resistencia en cicloergómetro. Con respecto al consumo de oxígeno no se modificó en ninguna de las condiciones, mientras que el lactato alcanzó menores concentraciones en sangre después del entrenamiento de los MR. La disminución del lactato sanguíneo estuvo causada por un aumento de su consumo por los MR entrenados.

Boutellier y cols., 1992 realizaron una investigación sobre los efectos del entrenamiento de los MR sobre la capacidad de resistencia. Durante 4 semanas y mediante la realización de hiperventilación voluntaria de 85-160 l/minutos durante 30 minutos al día, los sujetos entrenaron sus MR. Antes y después del período de

entrenamiento los sujetos realizaron un test de resistencia respiratoria (hiperventilación voluntaria manteniendo una frecuencia respiratoria de entre 42-48 rpm, y un volumen tidal entre 2,5-3,25 l) y ergoespirométricos para evaluar los efectos del entrenamiento de los MR. Los resultados mostraron un aumento del tiempo de resistencia de los MR y disminución de la ventilación pulmonar (VP) en una determinada intensidad. Sin embargo, los valores del umbral anaeróbico (UA) y del $VO_{2máx}$ no se modificaron después del entrenamiento.

En ciclistas también se han encontrado mejoras en el rendimiento de los músculos inspiratorios y en el rendimiento físico. Se han demostrado cambios positivos en las funciones pulmonares dinámicas, en la percepción de esfuerzo y las pruebas específicas de este deporte (20 km y 40 km). Se han encontrado mejoras en el rendimiento de ciclistas mediante el entrenamiento de la MR con hiperpnea isocápnic, con incrementos del + 5,2% y + 12% de la resistencia muscular respiratoria, respectivamente. Sonetti y cols., 2001 en un estudio con 17 ciclistas, encontraron mejoras en la PIM y en el rendimiento físico en un test de 8 km.

En un estudio realizado con remeros, se les aplicó tres propuestas diferentes en el calentamiento: calentamiento submáximo específico de remo, calentamiento específico de remo y calentamiento "plus" que consistió en combinar el específico de remo con la suma de un entrenamiento específico para los MR. Los resultados sugieren que la combinación del calentamiento específico de la musculatura respiratoria y del específico de remo es el idóneo en la preparación de la competición para mejorar valores de potencia media durante una prueba de esfuerzo máximo en 6 minutos. El remo es un deporte que requiere una gran potencia aeróbica y ventilación por minuto, normalmente mayor de 200 l/min^1 en la élite masculina, el pico de flujo espiratorio puede obtener valores sobre 15 l/s^1 . La carga de la respiración durante el remo provoca una demanda adicional para los MR, que deben estabilizar el tórax durante la batida con la pala, como también lograr la respiración con sus debidos movimientos de la caja torácica. Además, una alteración de los patrones de reclutamiento de los MR puede tener efectos en la eficiencia de la mecánica de la respiración y en la acción de remar, por sus perjudiciales consecuencias para el rendimiento. Griffiths y cols., 2007 al demostraron mejoras en estos deportistas en los valores del PIM y de la potencia. La prueba consistió en un test de 6 minutos al máximo esfuerzo en un grupo control sobre el grupo no entrenado, después de un entrenamiento de la musculatura inspiratoria y espiratoria de seis semanas de duración.

Gething y cols, 2004 al valoraron el efecto de 10 semanas de entrenamiento de los músculos inspiratorios sobre el rendimiento en deportistas, los cuáles desarrollaron un test de carga constante. Observaron que, después del periodo de entrenamiento, se atenuaba la frecuencia cardiaca, la ventilación pulmonar y la percepción subjetiva del esfuerzo, mejorando además el tiempo hasta el agotamiento.

También se han realizado estudios sobre el entrenamiento de los MR en personas ancianas. Se valoraron los efectos de 8 semanas de entrenamiento de los músculos inspiratorios sobre 18 sujetos ancianos moderadamente activos. Se observaron mejoras significativas en la fuerza de los músculos inspiratorios, en el tiempo hasta el agotamiento en una prueba de esfuerzo máximo y en el tiempo dedicado a realizar actividad de intensidad moderada a vigorosa.

Sabine y cols., 2012 tras una revisión sistemática de 46 estudios sobre el entrenamiento MR en sujetos sanos observaron que los dos tipos más comunes de entrenamiento de la musculatura respiratoria, fuerza muscular inspiratoria y entrenamiento de la resistencia muscular respiratoria, poseen efectos parecidos, aunque se obtenían mejoras superiores en los practicantes de deportes de mayor duración. Por otro lado, observaron mejores efectos en aquellos estudios que combinaron el entrenamiento de la MR inspiratoria/espíratória.

2. Capítulo III. – Resultados y discusión

3.1. Resultados

De los 10 deportistas convocados en el estudio, se encontró 7 hombres, y 3 mujeres, de edad promedio 16 años, y talla promedio 169 cm, de quienes se toma variables dependientes tales como, la frecuencia respiratoria (FR), pulso, fuerza máxima, velocidad de nado, y percepción de la fatiga.

Las investigaciones internacionales previamente consultadas revelan que, determinados protocolos de entrenamiento específico de músculos respiratorios sobre deportistas, producen resultados positivos en el rendimiento físico, especialmente en deportes caracterizados por mantener altos niveles de intensidad durante tiempos prolongados, tal como natación, y ciclismo.

Los estudios reflejan mejoras en parámetros de rendimiento físico, en los cuales se destacan el aumento de la capacidad aeróbica, de la velocidad de competición y reducción de la fatiga, en general, los estudios se realizaron tanto en nadadores, como en ciclistas de alto nivel competitivo.

En el presente trabajo, se valoró datos iniciales, en el mes de abril, progresivos en el mes de mayo, y con resultados finales, en el mes de junio, tras la aplicación del protocolo de entrenamiento respiratorio creado y adaptado a la planificación anual de los deportistas.

Desde el punto de vista deportivo hubo resultados satisfactorios; estos resultados reflejan una ventaja competitiva, ante el rival que no esté expuesto a este estímulo.

Resultados de mejoras en porcentajes.

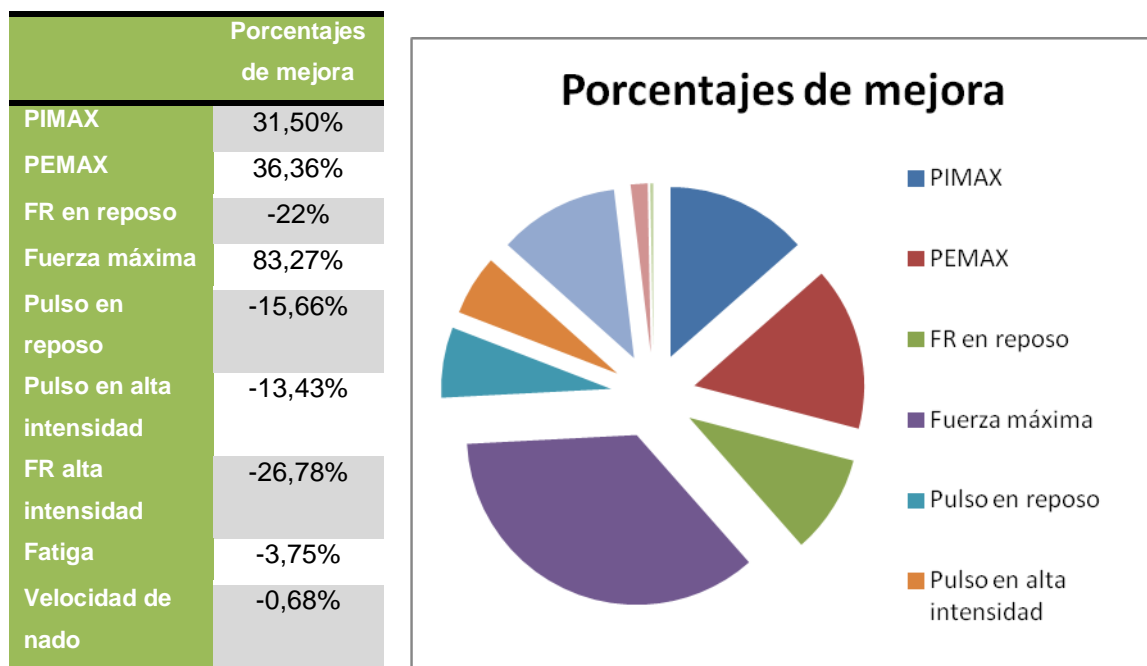


Gráfico 3.1 Porcentajes de evolución de las variables comparadas entre las mediciones de Abril a Junio

Elaborado por: Isabel Masson

En el **gráfico 3.1** se presenta los resultados en porcentajes de cada una de las variables analizadas, las que reflejan una respuesta favorable frente a, la aplicación del protocolo.

VARIABLES COMO Presión Inspiratoria Máxima (PIM) con una mejora de 31,50%, la Presión Espiratoria Máxima (PEM) 36,36%, y la Fuerza Máxima (FM) con un 83,27%, que son características de fuerza, aumentaron sus valores significativamente tras la aplicación del protocolo respiratorio, por lo tanto los resultados se presentan en unidades positivas.

Los resultados de las variables que disminuyeron en el proceso, como frecuencia respiratoria en reposo con -22%, frecuencia respiratoria en alta intensidad con -26,78%, pulso en reposo con -15,66%, pulso en alta intensidad con -13,43%, percepción de la fatiga con -3,75%, y la velocidad de nado con un -0,68%, son representadas como unidades negativas pues disminuyeron, tales resultados muestran la efectividad del proceso.

División por grupos por edad, género y altura

	MUESTRA
HOMBRES	7
MUJERES	3
17-19 años	4
14-16 años	6
170cm-150cm	5
171 cm o mas	5

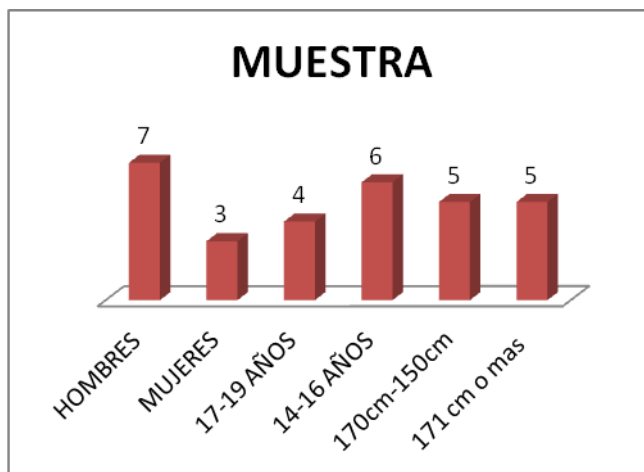


Gráfico 3.2 División de la muestra por grupos por edad, género y altura.

Elaborado por: Isabel Masson

En el **gráfico 3.2** se observa la división de la muestra según grupos etarios, género, y altura. Dentro de la división según género, se encontró siete hombres y tres mujeres dando un total de 10 participantes, se nota la mayor presencia del sexo masculino en esta disciplina deportiva, misma que según estadísticas deportivas corresponde a, concurrencias similares a nivel mundial.

Según la edad, se dividió en dos grupos etarios, uno de 14 a 16 años el cual está compuesto por, 6 nadadores, y otro cuya edad este comprendida entre los 17 a 19 con la representación de 4 nadadores, esta diferencia entre uno a otro grupo se debe que a, partir de los 18 años los nadadores asisten a la universidad, y muchos de ellos abandonan la práctica, al no regirse al horario de entrenamientos.

La última categoría según el rango de estatura, se dividió en dos, uno cuyos deportistas midan entre 150 a 170 cm, y el siguiente, comprendido en aquellos que miden más de 171 cm, en ambos grupos se encontraron el mismo número de nadadores siendo grupos equitativos.

División por género de cada grupo expuesto.

Variables	MUJERES	HOMBRES
17-19 años	1	3
14-16 años	2	4
170cm-150cm	3	2
171 cm o mas		5

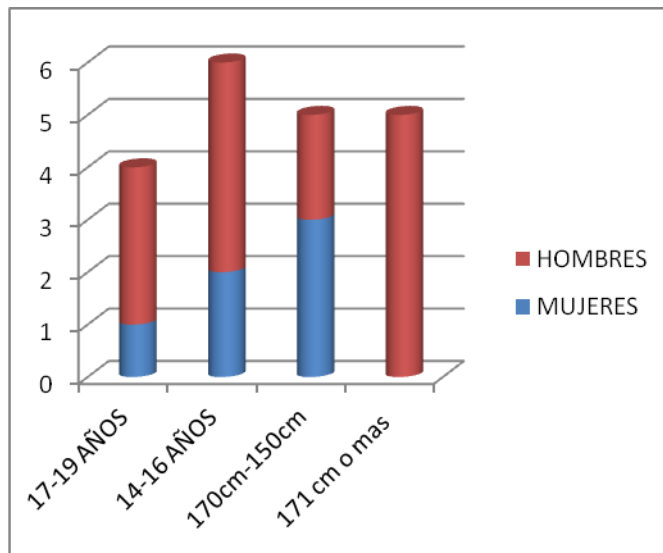


Gráfico 3.3 División según género de grupos de edad y altura.

Elaborado por: Isabel Masson.

En el **gráfico 3.3** se presenta cantidad de participantes hombre y mujeres, correspondientes a cada grupos según la edad, y estatura.

Es así que, se observa como las mujeres se encuentran en el grupo de altura entre los 150 a 170 cm, y la mayoría de los hombres en el grupo cuya altura es, de mas de 171 cm, esta diferencia por género es propia de la especie pues los hombres tienen una mayor altura, que las mujeres.

Según el grupo de edad se observa que, existe una mínima diferencia en el número de hombres, y mujeres, que no es significativa.

Desarrollo de la velocidad de nado

	ABRIL	MAYO	JUNIO	PORCENTAJE
VELOCIDAD DE NADO	0:02:25	0:02:43	0:02:24	-0,68%

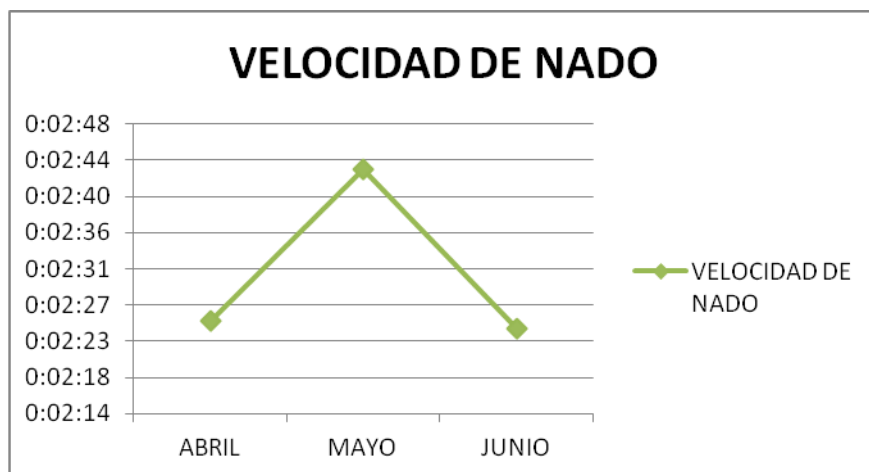


Gráfico 3.4: Desarrollo de la velocidad de nado en 200 m entre Abril, Mayo y Junio

Elaborado por: Isabel Masson

La velocidad de un nadador se cuantifica, como el tiempo que le toma cumplir una distancia específica, en cada país se establece tiempos bases para poder participar en competencias de alta categoría, que los nadadores deberán cumplir en competencias específicas. La natación al ser un deporte individual, requiere del esfuerzo de cada nadador.

La natación es tan exacta y demandante que por una milésima de segundo, se puede perder la prueba es por ello que el principal objetivo de un nadador es ser el más rápido, como se observa en el **gráfico 3.4** tras la implementación del plan de entrenamiento, mejoraron los tiempos notablemente con una disminución de un segundo.

Esta mejora representa un 0,68%, este resultado es similar a los resultados en la investigación de Kilding y cols. en el 2010, en la cual se obtuvo una mejora de 1,5% tras la aplicación de protocolos similares, al ejercitar con un dispositivo umbral durante 6 semanas.

El análisis de la velocidad de nado ambas investigaciones valoraron en una distancia de 200m, consiguiendo resultados positivos, estos logros son de gran importancia, para conseguir una ventaja ante el rival.

Resultados de mejora porcentual en la velocidad de nado según grupos de edad

VELOCIDAD DE NADO POR EDAD	
14-16 AÑOS	-1,55%
17-19 AÑOS	0,60%

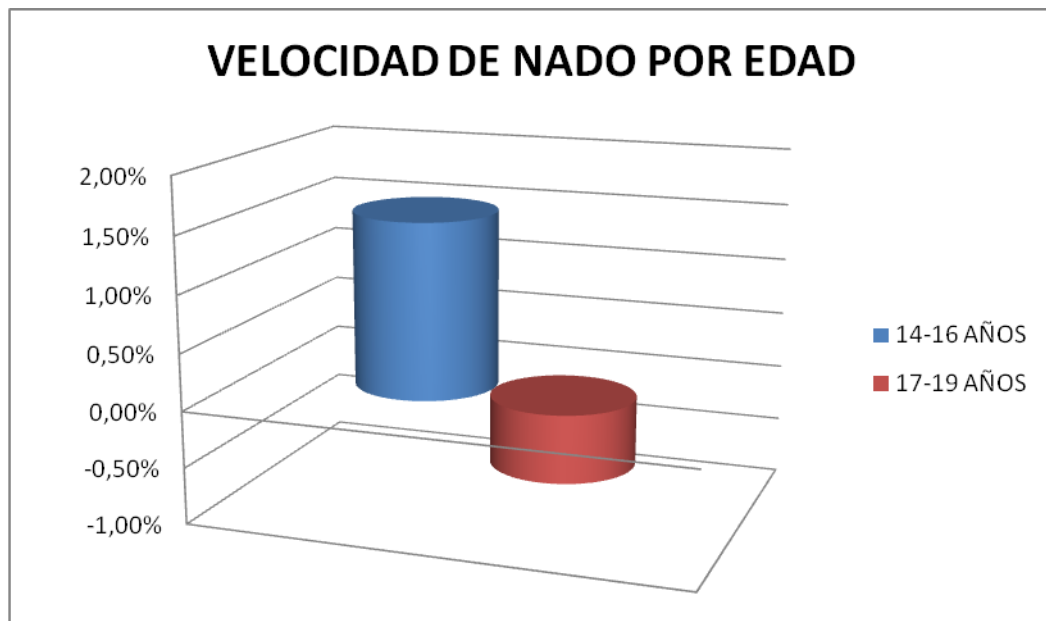


Gráfico 3.5: Porcentaje de mejora de velocidad de nado 200 m según grupo de edad

Elaborado por: Isabel Masson

Como se muestra en el **gráfico 3.5** los nadadores de edades, entre los 17 a 19 años aumentaron el tiempo de nado, esta respuesta es consecuencia del tiempo que llevan realizando el deporte y su edad, ambos factores influye en la adaptación a un nuevo estímulo, pues requieren de mayor tiempo de adaptación.

En el **gráfico 3.5** se muestra que el grupo de edad entre los 14 a 17 años, se mejoro un 1,55%, coincidiendo con los resultados de la investigación de de Kilding y cols., en el 2010, con lo que se llega a la conclusión que, la aplicación del protocolo respiratorio, resulta ser de mayor beneficio con los deportistas que son más jóvenes, y que se encuentran en la etapa de acondicionamiento, crecimiento y desarrollo.

Velocidad de nado valores internacionales

MUJERES	PAÍS	TIEMPO	ALTURA
Alison Schmitt	USA	0:01:53.12	1,85 m
Camille Muffat	FRA	0:01:55.58	1,83 m
Bronte Barratt	AUS	0:01:55.81	1,71 cm
VARONES			
Yanick Agnel	FRA	0:01:43.14	2,02 m
Sun Yang	CHN	0:01:44.93	1,98 m
Park Tae-Hwan	KOR	0:01:44.93	1,83 m
Ryan Lochte	USA	0:01:45.04	1,88 m

Tabla 3.1: Tiempos internacionales en 200m Libre Olimpiadas Londres 2012

Elaborado por: Isabel Masson

Para resaltar la importancia de una milésima de segundo en la **tabla 3.1** se presentan los resultados en 200 metros estilo libre de las “Olimpiadas de Londres 2012”, donde se observa como la diferencia de un segundo o menos, posiciona a los mejores nadadores del mundo en el pódium.

Se observa además, la diferencia en la velocidad de los nadadores varones en relación a la velocidad de las nadadoras, llegando a ser esta de 10 segundos, estos valores se deben a las características fisiológica propias de cada género, pues en deportes de velocidad y fuerza, según estudios se determinó que, la influencia de la fisiología del cuerpo marca un contraste significativo.

Desarrollo de la velocidad de nado según género

VELOCIDAD DE NADO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PORCENTAJE
MUJERES	0:02:22	0:02:28	0:02:20	-1,40%
VARONES	0:02:15	0:02:27	0:02:14	-0,74%

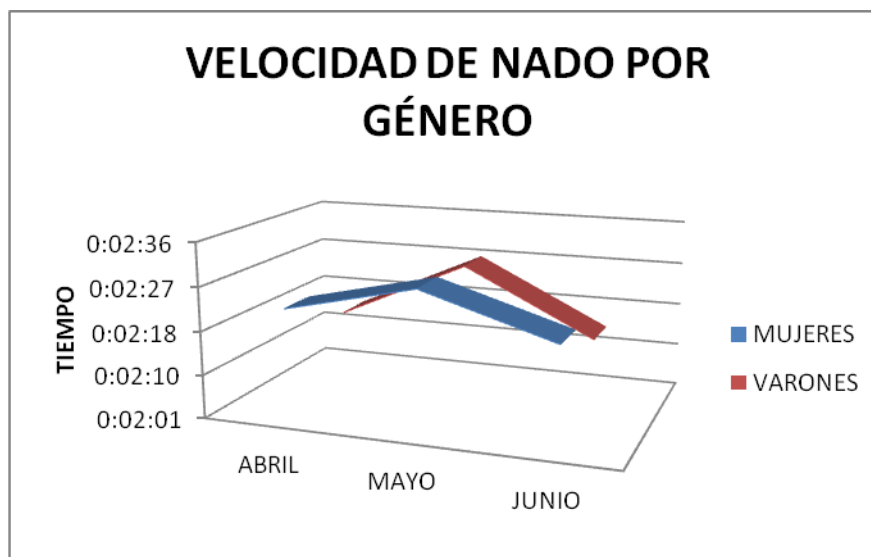


Gráfico 3.6: Desarrollo de la velocidad de nado según género entre Abril, Mayo y Junio

Elaborado por: Isabel Masson

En el **gráfico 3.6** se observa los resultados del desarrollo de la velocidad de nado, dividido según género, se encontró una diferencia en los tiempos finales de 6 segundos menos en el tiempo de los nadadores varones, con relación al tiempo final de las nadadoras.

Como se mencionó, la velocidad de los nadadores varones en la olimpiadas, fue superior al de las mujeres, por la diferencias fisiológicas, en el presente estudio se valoró la velocidad promedio sin considerar el estilo en el que se desarrolló, estos resultados coinciden con los resultados olímpicos, aseverando de esta manera que las diferencias por género, representan un importante factor deportivo.

En los resultados finales el porcentaje de mejora tras las aplicación del entrenamiento respiratorio en varones representa, un -0,74% y en mujeres un -1,40%, ambos resultados positivos a nivel deportivo, sin embargo, es de mayor proporción en las mujeres.

Desarrollo de velocidad según el estilo

ESTILO	ABRIL	MAYO	JUNIO	Porcentaje
LIBRE	0:02:07	0:02:20	0:02:08	0,78%
MARIPOSA	0:02:20	0:02:27	0:02:16	-2,85%
PECHO	0:02:37	0:02:45	0:02:37	0%

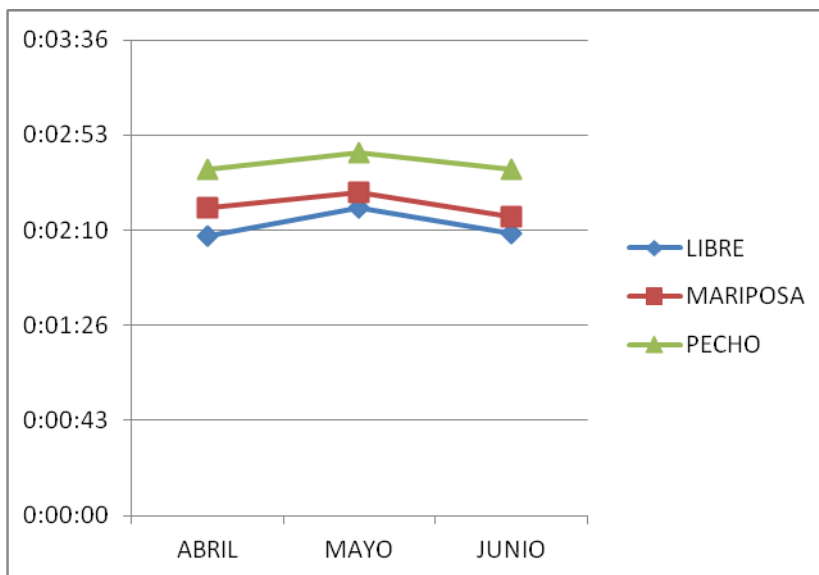


Gráfico 3.7: Desarrollo de la velocidad según estilos en 200m entre Abril, Mayo y Junio.

Elaborado por: Isabel Masson

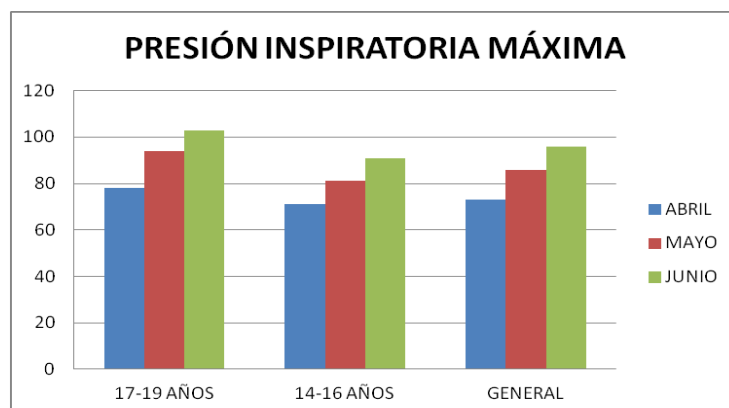
En el **gráfico 3.7** se muestra los tiempos de nado dividido por estilos, se encontró en el estilo mariposa, con una disminución de 4 segundos.

En el estilo libre en el mes de mayo se obtuvo un aumento amplio que disminuyó y con un resultado final de la elevación de un segundo, estas variaciones son debido al proceso de adaptación.

En los resultados en el estilo pecho, no se encontró un cambio aparente con los resultados finales, sin embargo en el mes de mayo se observa que el tiempo de nado se elevó, y posteriormente se iguala al tiempo inicial, estos hallazgos son a consecuencia de la adaptación normal al exponer a los deportistas a un estímulo, al cual no habían estado sometidos.

Desarrollo de la presión inspiratoria máxima

PIM	ABRIL	MAYO	JUNIO	PORCENTAJE
17-19 AÑOS	78	94	103	32,05%
14-16 AÑOS	71	81	91	28,16%
GENERAL	73	86	96	31,50%



Elaborado por: Isabel Masson

Gráfico 3.8: Desarrollo de la Presión Inspiratoria Máxima valorados entre Abril, Mayo y Junio

En el **gráfico 3.8** se reflejan los valores de la presión inspiratoria máxima (PIM) promedio inicial, al mes de entrenamiento, y los valores finales; las cifras variaron significativamente, con una mejora del 31,50%. En el presente estudio se encontró una notable diferencia cuantitativa en los grupos por edad, es así que los nadadores de edad entre los 17 a 19 años, presentan el valor de PIM (78cm de H₂O) más alto que, aquellos cuyas edad está comprendida entre los 14 a 16 años (73cm de H₂O), lo que se debe al efecto proporcional del tiempo que, se han dedicado a realizar la disciplina. Los resultados muestran además un aumento más significativo del 32,05% en el grupo de entre 17-19 años y de un solo 28,16% en aquellos que tienen una edad entre 14 a 16 años. Consideraciones bibliográficas generales mencionan una fórmula, para cálculos de predichos, según la edad (a mayor edad menor valor) mismo concepto que se contrapone con los datos del presente estudio, por lo cual basados en los datos obtenidos, se establece que, tras la aplicación de un protocolo de ejercicios respiratorios es posible aumentar la fuerza del diafragma respiratorio, la cual es directamente proporcional a la presión medida, en cm H₂O, también se dice que la fórmula no se aplica a deportistas porque, al estar sometidos a entrenamientos constantes hace que su fisiología cambie y se adapte al deporte.

Los valores referenciales de personas sedentarias, no son datos referenciales para los deportistas.

Desarrollo de la presión espiratoria máxima

PEM	ABRIL	MAYO	JUNIO	Porcentaje
17-19 AÑOS	73	89	99	35,61%
14-16 AÑOS	61	69	83	36,06%
GENERAL	66	77	90	36,36%

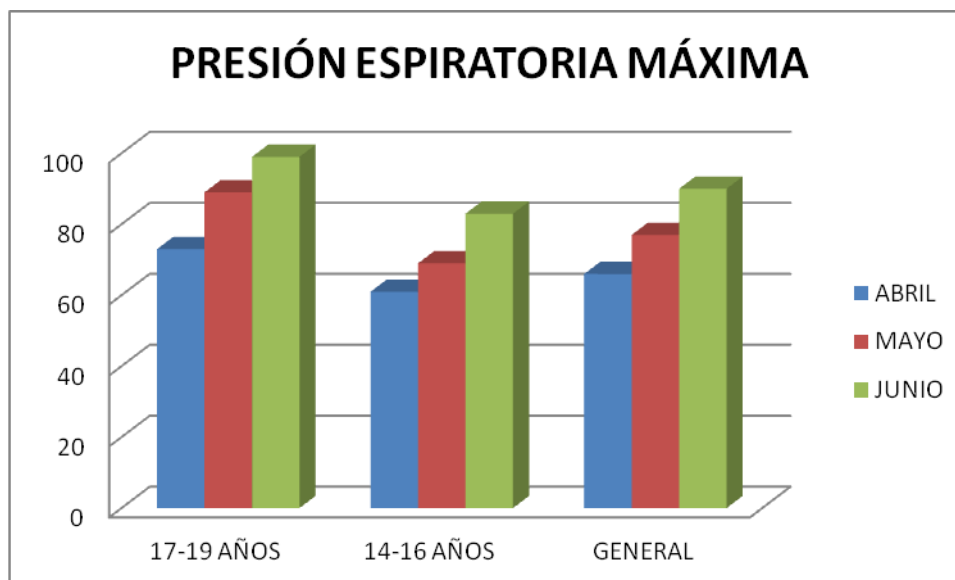


Gráfico 3.9: Desarrollo de la Presión Espiratoria Máxima valorado entre Abril, Mayo y Junio

Elaborado por: Isabel Masson

En el **gráfico 3.9** se observa que la presión espiratoria máxima general mejoró un 36,36%, resultado efectivo que muestra un aumento de la fuerza de los músculos espiratorios, a consecuencia del protocolo de entrenamiento respiratorio.

En relación con el grupo etario, el desarrollo en la presión espiratoria máxima, se obtuvo valores finales más altos en nadadores cuya edad está comprendida entre 17 a 19 años, con una diferencia de 16 cm de H₂O, en comparación a los más jóvenes (14-16 años), estos resultados son consecuencia del tiempo que han dedicado a la práctica de la disciplina.

A nivel porcentual se encuentra que en los nadadores entre 17-19 años, mejoraron un 35,61% y los nadadores cuya edad está entre 14-16 años obtuvieron un desarrollo mayor con un 36,06%, lo que demuestra que los menores, tienen una mejor capacidad de adaptación al entrenamiento respiratorio.

Desarrollo de la fuerza máxima

FUERZA MÁXIMA (1RM)	ABRIL	MAYO	JUNIO	PORCENTAJE
GENERAL	44	60,83	80,62	83,27%
170cm-150cm	36	48,37	75,84	110,67%
171 cm o mas	52	73,3	85,4	64,23%

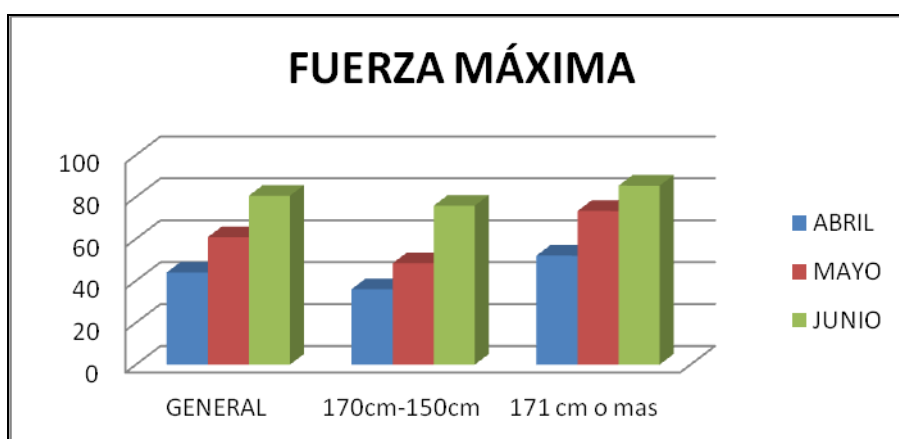


Gráfico 3.10: Desarrollo de la Fuerza Máxima valorados entre Abril, Mayo y Junio

Elaborado por: Isabel Masson

La fuerza máxima (1RM) es la variable con la mejor gran respuesta o hallazgo en el presente trabajo, se consiguió un aumento del 83,27 %. En el **gráfico 3.10** se observan las variaciones de la fuerza, existe una diferencia importante en relación con el factor de estatura, los nadadores de mayor altura son capaces de levantar más peso, 85,4 kg en relación, a los de menor altura 75,84 kg, lo cual se debe a las diferencias fisiológicas de género, pues como se mencionó anteriormente todas las mujeres se encuentran en un rango de menor altura.

En relación porcentual se muestran los resultados donde los nadadores de mayor altura consiguieron un desarrollo del 64,23% y los de menor altura un 110,67%, en los nadadores de menor altura un mejor resultado, lo que coincidiendo con resultados anteriores, muestra que las mujeres tienen una mejor respuesta a nivel de desarrollo de la fuerza, consiguiendo mayor desarrollo en un mismo tiempo.

Los resultados generales muestran la efectividad del protocolo, pues la fuerza máxima aumento en 36,62 kg al culminar el proceso.

Desarrollo de la frecuencia respiratoria valorada en reposo

FRECUENCIA RESPIRATORIA EN REPOSO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PORCENTAJE
GENERAL	20	19	15,6	-22%



Gráfico 3.11: Desarrollo de la frecuencia respiratoria en reposo valorada entre Abril, Mayo y Junio

Elaborado por: Isabel Masson

En el **gráfico 3.11** se observa como la frecuencia respiratoria en reposo disminuyó, en relación a los valores iniciales se encontró una reducción de 4,4 respiraciones por minuto en el mes de junio, lo que representa una reducción del -22%, este resultado es positivo, pues refleja una mejora de la capacidad cardio respiratoria, y es consecuencia de la adaptación del sistema cardio respiratoria al entrenamiento aplicado sobre los deportistas.

Los valores referenciales como pulso y frecuencia respiratoria en reposo, son diferentes entre personas sedentarias, y en los deportistas se tienen menores valores debido a los cambios fisiológicos de los organismos ante el ejercicio.

Desarrollo de la frecuencia respiratoria medida en alta intensidad

FRECUENCIA RESPIRATORIA EN ALTA INTENSIDAD	ABRIL	MAYO	JUNIO	PORCENTAJE
GENERAL	56	59	41	-26,78%

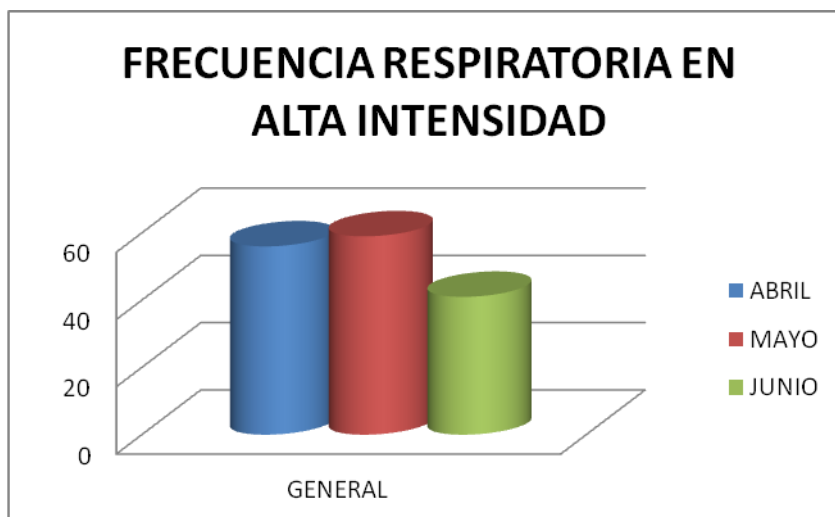


Gráfico 3.12: Desarrollo de la frecuencia respiratoria en alta intensidad entre Abril, Mayo y Junio

Elaborado por: Isabel Masson

En el **gráfico 3.12** se muestran los cambios posteriores al plan de entrenamiento respiratorio, la respuesta fue positiva, y se observa una disminución de -26,78% de la frecuencia respiratoria en alta intensidad, en relación al valor inicial, este cambio representa una disminución de 15 respiraciones por minuto, este valor es altamente positivo, y es consecuencia de un proceso de adaptación, en la valoración media se observa que, se produjo una elevación de tres respiraciones por minuto, respuesta normal por la curva de adaptación que experimenta el deportista, al iniciar un protocolo nuevo de entrenamiento, además considerando que este protocolo fue una implementación adicional al entrenamiento deportivo diario.

Desarrollo del pulso en reposo

Pulso en reposo	ABRIL	MAYO	JUNIO	Porcentaje
GENERAL	83	69	70	-15,66%



Gráfico 3.13: Desarrollo del pulso en reposo entre Abril, Mayo y Junio

Elaborado por: Isabel Masson

El porcentaje de mejora que se obtuvo fue del -15,66%. En el **gráfico 3.13** se observa que, tras el primer mes de aplicación del entrenamiento respiratorio se obtuvo una caída significativa del pulso en reposo, de 14 pulsaciones por minuto.

En la siguiente valoración en el **gráfico 3.13**, se observa claramente un aumento mínimo, esta variación es consecuencia de la curva normal de adaptación cardio respiratoria al estímulo de fortalecimiento respiratorio.

Desarrollo del pulso en alta intensidad

Pulso en Alta Intensidad	ABRIL	MAYO	JUNIO	Porcentaje
GENERAL	134	119,6	116	-13,43%

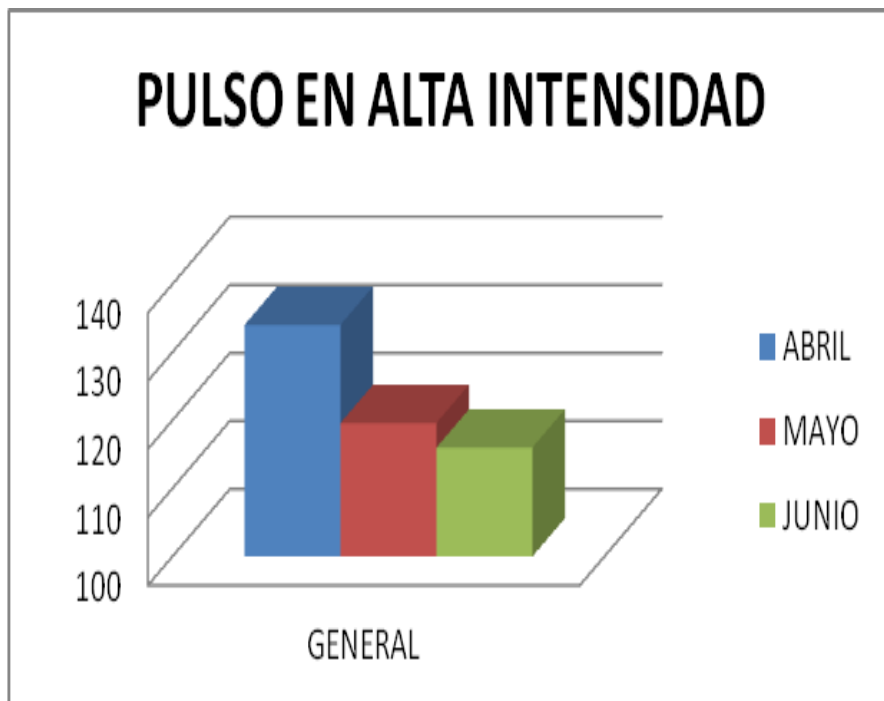


Gráfico 3.14: Desarrollo del pulso en alta intensidad valorado entre Abril Mayo y Junio

Elaborado por: Isabel Masson

En el **gráfico 3.14** se observa la disminución del pulso en alta intensidad durante todo el proceso al inicio una drástica disminución de 14,4 pulsaciones por minuto.

En el mes de junio se obtuvo una considerable reducción de 3,6 pulsaciones por minuto, estas valoraciones se realizaron ante un similar estímulo intenso, lo cual revela que, al culminar el proceso se obtuvo un aumento de la capacidad cardíaca, estos resultados a nivel deportivo representan una beneficiosa consecuencia.

Estas mejoras representan un -13,43% en relación a los valores iniciales.

Desarrollo de la percepción de la fatiga

Percepción de fatiga	ABRIL	MAYO	JUNIO	Porcentaje
GENERAL	8	8	7,7	-3,75%

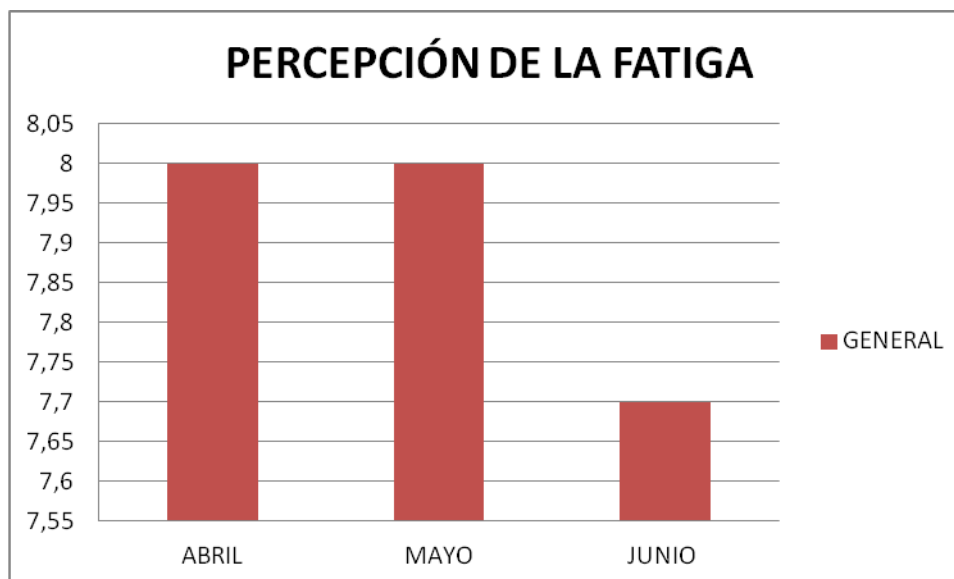


Gráfico 3.15: Desarrollo de la percepción de la fatiga entre Abril, Mayo y Junio

Elaborado por: Isabel Masson

La fatiga en alta intensidad después de la aplicación del entrenamiento específico respiratorio, se redujo un -3,75 %.

Como se muestra en el **gráfico 3.15**, la percepción del esfuerzo disminuyó un 0,3 en relación a la percepción inicial, lo cual demuestra que el nadador percibe menos fatiga, ante un mismo estímulo en distancia, pero a mayor intensidad pues como se mencionó anteriormente al concluir el proceso, los nadadores fueron mas rápidos.

Estos resultados concuerdan con otros estudios publicados, en cuanto al aumento del rendimiento, y a la disminución de la percepción de fatiga en nadadores, es así que, con la aplicación de un programa de entrenamiento específico de los músculos respiratorios, se desarrolla la fuerza de estos, lo que produce un aumento del rendimiento deportivo (aumento de la velocidad, reducción de tiempos y marcas, fortalecimiento físico, aumento de nivel competitivo) y la reducción de la percepción de la fatiga.

Resultados comparativos sobre valores de fuerza

	PIM	PEM	FUERZA MÁXIMA (1RM)
ABRIL	73	66	44
JUNIO	96	90	80,62
Porcentaje	-31,50%	-36,36%	-83,22%

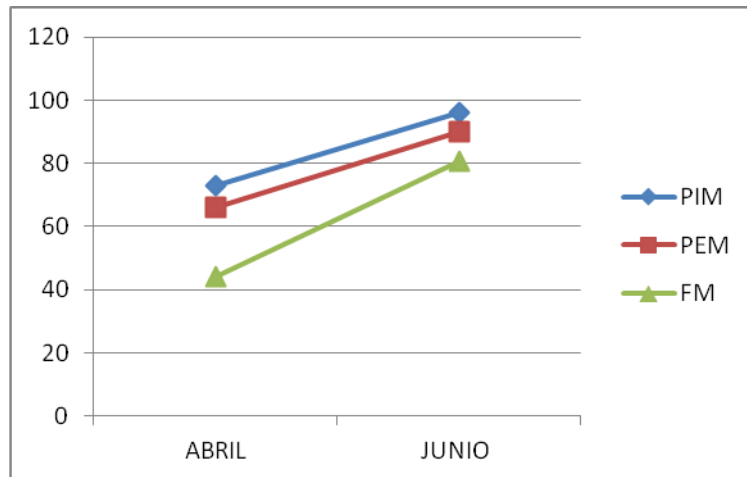


Gráfico 3.16: Progresión de la presión inspiratoria máxima (PIM), presión espiratoria máxima (PEM) y fuerza máxima (FM).

Elaborado por: Isabel Masson

Los variables analizadas influyen unas con otras, es así que la fuerza del diafragma medida como PIM valores de presión que son directamente proporcionales, y la valoración de la fuerza de los músculos espiratorios, como PEM revela una directa relación con la fuerza máxima, es evidente en el **gráfico 3.16** que los valores se mejoraron, mes a mes, lo que demuestra que el plan respiratorio específico obtuvo un resultado positivo y efectivo, es así como se observa que los valores tras la aplicación se elevaron en todas sus instancias, lo cual permite deducir que, las fuerzas aumentaron tras la aplicación del protocolo.

Resultados comparativos sobre medidas valoradas en reposo

	ABRIL	JUNIO	Porcentaje
Frecuencia Respiratoria en reposo	20	15,6	22%
Pulso en reposo	83	70	15,66%

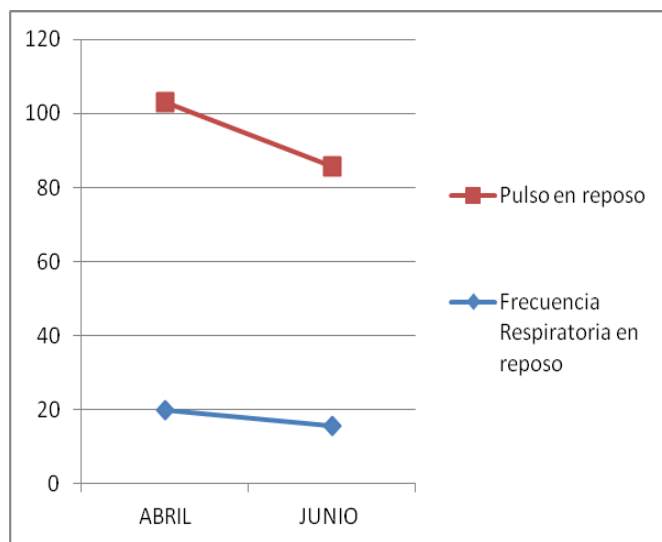


Gráfico 3.17: Comparación de variaciones de Abril a Junio sobre variables medidas en reposo

Elaborado por: Isabel Masson

Sin duda valores como el pulso y frecuencia respiratoria, están íntimamente relacionados por la influencia de uno sobre el otro, y su trabajo armónico.

Los valores medidos en reposo como el pulso y la frecuencia respiratoria están ligados, a la capacidad cardio respiratorio, al culminar el proceso se observa una disminución considerable, en el **gráfico 3.17** se muestra la disminución de ambas variables, resultado positivo con el cual se concluye que, el plan de entrenamiento respiratorio tuvo su efectividad, y cumplió con su objetivo principal.

Resultados comparativos del desarrollo de las variables medidas en alta intensidad

	ABRIL	JUNIO	Porcentaje
Pulso en Alta Intensidad	134	116	13,43%
Frecuencia Respiratoria Alta intensidad	56	41	26,78%
Fatiga en Alta Intensidad	8	7,7	3,75%

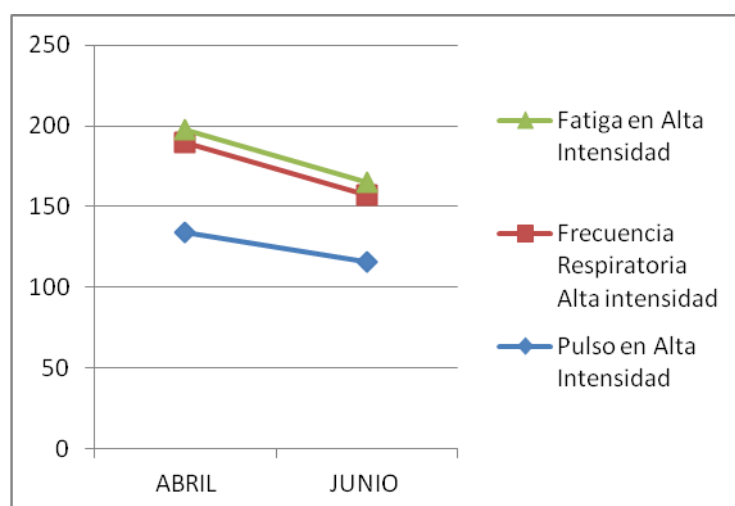


Gráfico 3.18: Comparación de variaciones de Abril a Junio sobre variables medidas en alta intensidad

Elaborado por: Isabel Masson

En el **gráfico 3.18** se observa la disminución de las variables en alta intensidad medidas en situaciones similares, la reducción de estos parámetros tanto como el pulso, la frecuencia respiratoria, y la percepción de la fatiga, muestra que el plan de entrenamiento respiratorio sobre deportistas fue favorable, estos resultados muestran que se dio una adaptación positiva del organismo ante el estímulo.

La elevación de estas variables es proporcional, según el esfuerzo que el nadador realice, es por ello que los resultados que se obtienen en este trabajo, permiten deducir que los nadadores serán capaces de realizar mayores esfuerzos, con una mejor adaptación a nivel competitivo, y con ello mejorar sus marcas en gran escala.

En relación a la variabilidad del esfuerzo percibido en la primera y segunda valoración, no existe variación, se observa que pese al incremento de la intensidad, la percepción del esfuerzo disminuyó.

4. CONCLUSIONES

El estudio se realizó en nadadores de alto rendimiento de la Selección de Pichincha 2013, cuyo promedio de edad es de 16 años y altura promedio de 169,9 cm, basado en los resultados de la implementación y aplicación del plan de entrenamiento muscular respiratorio, la positiva adaptación del sistema cardio respiratorio se evidencio en los efectos sobre el rendimiento deportivo traducido por la velocidad de nado.

Se obtuvo la disminución del pulso en reposo de un -15,66% y en alta intensidad un -13,43%. En lo referente a la frecuencia respiratoria se consiguió una reducción de -22% en reposo y de -26,78% en alta intensidad, lo que permite concluir que el sistema cardio respiratorio es más eficiente y resistente.

La variable con mejor respuesta fue la fuerza máxima, con un incremento del 83,27%, específicamente en el grupo cuya altura está entre los 150 a 170 cm se obtuvo un aumento del 110,67%, este grupo está compuesto en su mayoría por mujeres, lo que permite establecer que el desarrollo mayor de la fuerza de ellas se alcanzó debido a la más rápida adaptación al cambio.

La fuerza del diafragma y músculos inspiratorios medida como la presión inspiratoria máxima aumentó un 31,50% y la fuerza de los músculos espiratorios medida como la presión espiratoria máxima se incremento en un 36,36% por lo tanto la fuerza muscular respiratoria se incrementó tras la aplicación del programa de entrenamiento.

La velocidad de nado en general mejoró un -0,68%, desde el punto de vista deportivo este cambio representa uno de los beneficios más importantes. En mujeres se optimizó en un -1,40%, y en varones un -0,74%, los resultados evidenciaron datos negativos como el aumento del 0,60% en la velocidad de nado en los nadadores cuya edad está entre los 17 a 19 años, sin embargo en los nadadores entre los 14 a 16 años se consiguió una mejora del -1,55%, estos datos demuestran que los mejores resultados se consiguieron en mujeres y en nadadores de menor edad debido a una mejor adaptación al entrenamiento.

La percepción de la fatiga disminuyó -3,75%, considerando que se realizó un esfuerzo de mayor intensidad pues la velocidad de nado aumentó. Las cifras de la percepción de la fatiga son bajas lo que significa a nivel competitivo los nadadores podrán realizar mayores esfuerzos, para mejorar sus marcas.

Sin embargo es necesario recalcar que no se anula la influencia el entrenamiento diario, tanto en agua como en el gimnasio, pues estos resultados son producto del

acople de ambos entrenamientos más el plan de fortalecimiento muscular respiratorio en los nadadores.

Es importante mencionar que durante el transcurso de esta investigación, no se presentó la deserción de ninguno de los nadadores del equipo, finalizando con el mismo número de participantes con los que se inició, tampoco surgieron problemas como la pérdida del equipo de fortalecimiento personal suministrado a cada nadador.

5. RECOMENDACIONES

Aquellos que consideren a esta investigación como un precedente para futuros estudios, es recomendable tomar en cuenta otros factores que no se consideraron durante este proceso, como el nivel de condición física de los sujetos a evaluar, tiempo de entrenamiento y competencia en el deporte, altitud del país en donde viven, una mayor muestra poblacional sectorizando género, edad y otros factores que consideren pertinentes para obtener mayor certeza en los resultados.

Es recomendable que las mediciones de pulso y frecuencia respiratoria se realicen en un minuto y con la ayuda de sistemas digitales automáticos que aportarían mayor validez y confiabilidad.

Se recomienda que terapeutas físicos y respiratorios monitoricen e incorporen un programa de entrenamiento específicos, según la necesidad y estandarizar pautas de intervención adaptable al deporte.

Es un reto trabajar con deportistas jóvenes que buscan el más alto nivel por tanto es fundamental que se incentive diariamente a los deportistas sobre los beneficios que obtendrán con un entrenamiento muscular respiratorio.

6. Lista de Anexos

ANEXO 1: Carta de conocimiento informado

ANEXO 2: Formatos individual de resultados

7. Lista de Tablas

Tabla 1.1.- Cronograma de recolección de datos y cambio de resistencias

Tabla 1.2: Operanización de variables

Tabla 2.1: Valores referenciales

Tabla 2.2.- Escala subjetiva del esfuerzo percibido

Tabla 2.3. Ecuaciones de referencia de Black/Hyatt

Tabla 2.4 La escala de intensidades.

Tabla 2.5.- Cualidades de entrenamiento

Tabla 2.6.- Plan de entrenamiento respiratorio nadadores de la selección de Pichincha

Tabla 2.7.- Resumen de los resultados de distintas investigaciones relacionadas con el entrenamiento de la MR y su influencia en el rendimiento físico.

Tabla 3.1: Tiempos internacionales en 200m Libre

8. Índice de gráficos

Imagen 2.1.- Toma de frecuencia respiratoria

Imagen 2.2.- Natación estilo libre

Imagen 2.3.- Toma de pulso carotideo

Imagen 2.4.- Toma de pulso radial

Imagen 2.5.- Toma de pulso radial

Imagen 2.6.- Valoración de Presión máxima espiratoria máxima

Imagen 2.7.- Valoración de presión inspiratoria máxima

Imagen 2.8.- Entrenamiento diafragmático con pesos

Imagen 2.9.- entrenamiento diafragmático con pesos

Imagen 2.10.- Entrenador inspiratorio

Imagen 2.11. Dispositivo *PowerBreathe*, de IMT Technologies LTD.

Imagen 2.12. Dispositivo *SpiroTiger*. Laboratorios Ideag AG. Suiza.

9. Índice de Figuras

Figura 2.1. Respuesta de la ventilación pulmonar (VE) en un test de esfuerzo hasta el agotamiento.

Fig. 2.2.- Distribucion topografica de la relacion VE/Q

Fig. 2.3.- Aumento de la capacidad de difusion durante el ejercicio en sujetos entrenados y no entrenados

Fig. 2.4.- Tiempo de tránsito de los hematíes a través de los capilares pulmonares.

Figura 2.5. Respuesta de la frecuencia respiratoria al ejercicio de tipo incremental (test de esfuerzo).

Figura 2.6. Respuesta del volumen tidal (VT) al ejercicio de tipo incremental (test de esfuerzo) en ciclistas aficionados y profesionales. * $p < 0,05$ (proles vs afición)

Fig 2.7.- Respuesta relativa de la saturación arterial de la osihemoglobina(% SaO₂)al ejercicio incremental de carácter máximo en un grupo de deportistas de resistencia aerobica. En azul, se muestran los valores medios de aquellos deportistas que no presentaron desaturación de la oxihemoglobina(n=11), mientras que en rojo se muestran aquellos (n=13) que respondieron con desaturación.

Fig 2.8.- Respuesta de la capacidad de difusión pulmonar (DLCO) al ejercicio incremental de carácter máximo en un grupo de deportistas de resistencia aerobica, que no presentaron desaturación de la oxihemoglobina (n=11 en azul), mientras que en rojo se muestran aquellos (n=13) que respondieron con desaturación.

Figura 2.9.- Presión inspiratoria pico antes y después de un ejercicio realizado hasta el agotamiento en 10-15 minutos.

Fig. 2.10.- Presión (P) inspiratoria pico promediada antes y después de un ejercicio realizado hasta el agotamiento en 10-15 minutos.

Figura 2.11.- Representacion real del comportamiento de la frecuencia cardíaca durante un ejercicio incremental hasta el agotamiento. Observese el descenso brusco al finalizar el ejercicio.

Figura 2.12. Posibles indicaciones del entrenamiento específico de los músculos respiratorios

Figura 2.13. Valores de la presión (P) inspiratoria máxima antes y después de un periodo de diez semanas, en el grupo que entreno los músculos respiratorios (entrenamiento) y en el grupo que no lo hizo (control). *: $p < 0,01$ preentrenamiento vs postentrenamiento.

Figura 2.14. Efectos del entrenamiento de los músculos respiratorios sobre factores que pueden condicionar el rendimiento físico aeróbico.

10. Índice de gráficos

Gráfico 3.1 Porcentajes de evolución de las variables comparadas entre las mediciones de Abril a Junio

Gráfico 3.2 Division de la muestra por grupos por edad, género y altura.

Gráfico 3.3 División según género de grupos de edad y altura.

Gráfico 3.4: Desarrollo de la velocidad de nado en 200 m entre Abril, Mayo y Junio

Gráfico 3.5: Porcentaje de mejora de velocidad de nado 200 m según grupo de edad

Gráfico 3.6: Desarrollo de la velocidad de nado según género entre Abril, Mayo y Junio

Gráfico 3.7: Desarrollo de la velocidad según estilos en 200m entre Abril, Mayo y Junio.

Gráfico 3.8: Desarrollo de la Presión Inspiratoria Máxima valorados entre Abril, Mayo y Junio

Gráfico 3.9: Desarrollo de la Presión Espiratoria Máxima valorado entre Abril, Mayo y Junio

Gráfico 3.10: Desarrollo de la Fuerza Máxima valorados entre Abril, Mayo y Junio

Gráfico 3.11: Desarrollo de la frecuencia respiratoria en reposo valorada entre Abril, Mayo y Junio

Gráfico 3.12: Desarrollo de la frecuencia respiratoria en alta intensidad entre Abril, Mayo y Junio

Gráfico 3.13: Desarrollo del pulso en reposo entre Abril, Mayo y Junio

Gráfico 3.14: Desarrollo del pulso en alta intensidad valorado entre Abril Mayo y Junio

Gráfico 3.15: Desarrollo de la percepción de la fatiga entre Abril, Mayo y Junio

Gráfico 3.16: Progresión de la presión inspiratoria máxima (PIM), presión espiratoria máxima (PEM) y fuerza máxima (FM).

Gráfico 3.17: Comparación de variaciones de Abril a Junio sobre variables medidas en reposo

Gráfico 3.18: Comparación de variaciones de Abril a Junio sobre variables medidas en alta intensidad

11. Lista de Abreviaturas

FR: Frecuencia respiratoria

Q: gasto cardiaco

VC: Volumen corriente

VE: ventilación minuto

VE máx.: Ventilación pulmonar máxima

VT: Volumen total

PIM: Presión inspiratoria máxima

VR: Volumen residual

CPT: Capacidad pulmonar total

PEM: Presión espiratoria máxima

VO_{2máx.}: Consumo máximo de oxígeno

CVF: capacidad vital forzada

MVV: Máxima ventilación voluntaria

VE/VO₂: Equivalente ventilatorio

VO₂: Volumen de oxígeno

VE máx.: Ventilación máxima

MVV: máxima ventilación voluntaria

ANEXO 1

FORMATO

Nombre:

Edad:

Peso:

Altura:

Datos	Primera toma	Segunda toma	Toma final
Frecuencia respiratoria en reposo:			
Frecuencia respiratoria en alta intensidad:			
PIM:			
PEM:			
Grado de fatiga en alta intensidad:			
Pulso en reposo:			
Pulso en alta intensidad:			
Tiempo de nado rápido en 200 metros:			
Fuerza máxima en diafragma con peso:			

ANEXO 2

Carta de conocimiento informado

Por la presente yo, _____, con CI. _____, nadador de la selección de Pichincha, autorizo y acepto participar en el proyecto de tesis "Desarrollo de la fuerza del diafragma con ejercicios respiratorios". Formando parte del estudio de tesis para la titulación en licenciatura en la carrera de terapia física de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, mediante la coordinación de Isabel Masson.

La investigación se me ha explicado, el mismo que es piloto, es fundamental para medir el efecto del fortalecimiento del diafragma.

Estoy enterado y acepto que los datos demográficos (edad, sexo, antigüedad deportiva, especialidad, tipo de respiración, evaluaciones de fuerza máxima, PIM, PEM,FR, pulso) y los resultados de las evaluaciones pre y post fortalecimiento sean analizados, discutidos y autorizo sean utilizados para su publicación en revistas científicas internacionales y en textos especializados.

Con el conocimiento de que mi identidad será utilizada como dato y los resultados se analizarán como grupo y mi nombre no aparecerá en la publicación.

Estoy enterado(a) que este estudio es confidencial y libre de costo.

ATENTAMENTE

Nombre

Firma

Teléfono

12. Referencias

- American, T. S. (1991). Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis*, 144-1202.
- Baker, L. (2007). *Calentamiento específico de la musculatura inspiratoria mejora el rendimiento en natación*. Buffalo: Universidad de Buffalo.
- Bellemare, F. y. (1995). Force reserve of the diaphragm in patients with chronic obstructive pulmonary disease.
- Biolaster. (20 de 01 de 2009). *Entrenamiento Muscular Respiratorio*. Obtenido de Biolaster apoyo tecnológico deportivo: <http://www.biolaster.com/>
- Black, L. H. (1971). Maximal static respiratory pressures in generalized neuromuscular disease. *Respir Dis*, 641–650.
- Borg, G. (1998). Borg's Perceived Exertion And Pain Scales. Human Kinetics Publishers.
- Boutellier, U. B. (1992). The respiratory system as an exercise limiting factor in normal trained subjects. En *Eur J Appl Physiol*. (págs. 347-53.).
- Buno, M. y. (1981). The effect of an acute bout of exercise on selected pulmonary function measurement. En *Med Sci Sports Exerc* (págs. 13-290).
- Fox, E. (1975). Las respuestas metabólicas y circulatorias. En *La especificidad de la formación* (págs. 1-83). Med Sci Sports.
- Gething A., W. M. (2004). Inspiratory resistive loading improves cycling capacity: a placebo controlled trial. En *Sports Med*. (págs. 730-6.).
- González M., V. P. (2012). Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 163-170.
- González, J. y. (2002). Entrenamiento de fuerza. En *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza* (págs. 100-106). INDE.
- Griffiths, L. y. (2007). The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. En *Eur J Appl Physiol* (págs. 457-66).
- Hanson, J. (1973). La estequiometría de la respiración impulsada Potasio Transporte en Corn mitocondrias. *Plant Physiol*, 357-362.
- Harre, D. (1973). En *Teoría del entrenamiento deportivo* (págs. 100-288). Stadium S.R.L.
- Ibar, O. W. (2000). Specific inspiratory muscle training in well-trained endurance athletes. En *Med Sci Sport Exerc* (págs. 1233-1237).
- Inbar, O. W. (2000). Specific inspiratory muscle training in well-trained endurance athletes. En *Med Sci Sports Exerc*. (págs. 32:1233-37).
- Kilding, A. B. (2010). Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. En *Eur J Appl Physiol*. (págs. 108-505).
- López, J. (2006). *Fisiología del ejercicio*. Buenos Aires: Pamamericana XVII.
- López, J. S. (2006). Effects of electrical stimulation on VO₂ kinetics and delta efficiency in healthy young men. *Sports Med*.

- Lucia, A. (1999). La ventilación pulmonar durante el ejercicio. En E. L. J., *Fisiología del Ejercicio* (págs. 342-348). Panamericana.
- McConnell, A. C. (1997). Inspiratory muscle training device with variable loading. En *IMT Technologies Ltd. Pat.* (págs. 08-16.).
- McConnell, A. c. (2002). The role of inspiratory muscle function and training in the genesis of dyspnoea in asthma and COPD. En *Primary Care Respiratory Journal* (págs. 186-94.).
- McConnell, A. y. (2006). The effect of inspiratory muscle training upon maximum lactate steady-state and blood lactate concentration. En *Eur J Appl Physiol* (págs. 277-84).
- Mulas, L. (2006). La ventilación pulmonar durante el ejercicio. En J. Lopez, *Fisiología del ejercicio* (págs. 357-340).
- Neary, J. N. (1995). Validity of breathing frequency to monitor exercise intensity in trained cyclist. En *J Sports Med* (págs. 255-259).
- Neufer, P. (1989). The effect of detraining and reduced training on the physiological adaptation to aerobic exercise training. En *Sports Med* (págs. 302-320).
- Sabine, I. H. (2012). Effect of Respiratory Muscle Training on Exercise Performance in Healthy Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. En *Sports Medicine*. (págs. 707-24).
- Sonetti, D. W. (2001). Effects of respiratory muscle training versus placebo on endurance exercise performance. En *Respiration Physiology* (págs. 185-99).
- Turcotte, R. K. (1997). Respuesta relativa de la saturación arterial. En *Appl Physiol* (págs. 425-430).
- Volianitis, S. M. (2001). Inspiratory muscle training improves rowing performance. En *Med Sci Sports Exerc.* (págs. 33-803.).
- Wasserman, K. y. (1994). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *The American Journal of Physiology*, 844-852.
- Wilmore, J. y. (1972). Body composition and endurance capacity of professional football players. En *Journal of Applied Physiology* (págs. 564-567).
- Zatsiorki, C. (1987). Desarrollo de la fuerza. En *Biomecánica de los ejercicios físicos* (págs. 5-40). Moscú: Ráduga.