PERIODIZATION OF APNEA TRAINING

Francisco de Asís Fernández Martínez

DEPARTAMENTO DE ACTIVIDAD FÍSICA Y CIENCIAS DEL DEPORTE

FACULTAD DE CIENCIAS DEL DEPORTE (TOLEDO)

UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA

Toledo, 2015

Tesis para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Castilla-la Mancha

PERIODIZATION OF APNEA TRAINING

Francisco de Asís Fernández Martínez

Tesis Doctoral dirigida por:
Pr. Dr. D. José María González Ravé

Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte
Facultad de Ciencias del Deporte (Toledo)
Universidad de Castilla-la Mancha

Toledo, 2015

PERIODIZATION OF APNEA TRAINING

Francisco de Asís Fernández Martínez

Fernández FA, 2015
Facultad de Ciencias del Deporte (Toledo) - UCLM.
Spain
frandeasis.fdez@gmail.co

DEPARTAMENTO DE ACTIVIDAD FÍSICA Y CIENCIAS DEL DEPORTE

Facultad de Ciencias del Deporte (Toledo)

Dr. D. José María González Ravé, Profesor Titular de la Universidad de Castilla-la Mancha en la Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo,

Certifica,

Que el trabajo de Tesis Doctoral desarrollado por D. Francisco de Asís Fernández Martínez, titulado *Periodization of Apnea Training*, ha sido realizado bajo mi dirección, y en mi opinión, reúne los requisitos para poder proceder a iniciar los trámites pertinentes para su presentación a la Comisión de Doctorado de la Universidad de Castilla-la Mancha y su posterior defensa ante el tribunal.

Y, para que conste, expido la presente certificación en Toledo, a 6 de Noviembre de 2015.

Fdo.: Dr. D. José María González Ravé.

PERIODIZATION OF APNEA TRAINING

Francisco de Asís Fernández Martínez

ABSTRACT

Introduction. During apnea, several processes try to adapt the organism to state of heterostasis triggered. Performance factors of Apnea Indoor (static apnea and dynamic apnea, with and without fins) have been studied previously. This Doctoral Thesis assesses the correlation between a range of specific Apnea Indoor performance factors - total storage of O2/CO2, metabolic rate and tolerance to asphyxia - with actual performance of it. Furthermore are gains in Apnea Indoor performance influenced by periodized training or physical training on the other.

Materials & Methods. Twenty-nine male breath-hold divers (aged 36 ± 5.07 years, BMI 22.8 ± 1.43) with 1.09 ± 0.66 years of experience in Apnea Indoor were divided in three groups; two periodized training groups - cross training (CT; n = 10) and specific apnea training (SAT; n = 9) - and a control group (CG; n = 10). The periodized training was carried out for 22 weeks, with weekly microcycles of 3 x 90 minute sessions. In order to know the correlation between the different performance factors and actual performance in "Apnea Indoor", as well as adaptations achieved by the different training programs, several tests were performed before and after training programs

Results. Results suggest Apnea Indoor is correlated with height (r = 0.491), vital capacity (r = 0.539), blood volume (r = 0.466), minimum heart rate achieved during the static apnea in dry conditions (r = - 0.624), lean body mass (r = 0.406) and the minimal value of oxygen saturation reached during the static apnea in dry conditions (r = - 0.485). Control group divers improved performance by 4.6 %, whereas CT and SAT divers improved performance by 30.3% and 27.0%, respectively. CT and SAT training programs had similar improvements in performance, however CT showed better dynamic apnea performance while SAT showed better static apnea performance.

Conclusions. Concerning to amateurs breath-hold divers, the most decisive performance factors in Apnea Indoor, are: the total storage of O2/CO2 in the organism and individual tolerance to asphyxia. Moreover, results show a considerable increase on Apnea Indoor performance through the inclusion of a periodized training by objectives and contents in the medium and long term; furthermore, inclusion of physical training, combined to apnea training, increase performance in dynamic disciplines - DYN and DNF, regarding to an exclusive and isolated apnea training.

Keywords: Breath hold-diving, Training, Testing, Periodization, Performance predictors, Apnea-Indoor.

PERIODIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO EN APNEA

Francisco de Asís Fernández Martínez

RESUMEN

Introducción. Tras la ruptura de la respiración, comienzan a producirse una sucesión de procesos encaminados a adaptar el organismo a la heterostasis provocada. Los diferente factores de rendimiento de la "Apnea Indoor" (apnea estática y apnea dinámica, con y sin aletas) han sido estudiados con anterioridad. En esta Tesis doctoral se estudia el grado de correlación existente entre algunos de los factores de rendimiento de la Apnea Indoor - almacenaje total de O2/CO2, metabolismo basal y tolerancia a la asfixia - con el rendimiento específico de la misma. Además, se analizan los posibles beneficios sobre el rendimiento en Apnea Indoor que otorga el entrenamiento periodizado, por un lado, y la inclusión de cargas físicas por el otro.

Metodología. Veintinueve apneístas masculinos (36±5.07 años, IMC 22.8±1.43) con 1.09±0.66 años de experiencia en la Apnea Indoor fueron divididos en dos grupos de entrenamiento periodizado - entrenamiento cruzado (EC; n=10) y entrenamiento en apnea tradicional (EAT; n=9) - y un grupo control (GC; n=10). El programa de entrenamiento implantado, para los dos grupos de entrenamiento periodizado, fue de veintidós semanas de duración con microciclos semanales de tres sesiones de entrenamiento de noventa minutos. Con el fin de conocer el grado de correlación existente entre los factores del rendimiento de la Apnea Indoor con el rendimiento específico de la misma, así como las adaptaciones logradas por los diferentes grupos de entrenamiento, se realizaron una serie de test antes y después de los programas de entrenamiento.

Resultados. Los resultados muestran una correlación entre el rendimiento en la Apnea Indoor y la altura (r = 0.491), la capacidad vital (r = 0.539), volemia (r = 0.466), frecuencia mínima alcanzada durante la anea estática en seco (r = - 0.624), la masa magra corporal (r = 0.406) y la SpO2 mínima alcanzada durante la apnea estática en seco (r = - 0.485).

Tras la intervención de los entrenamientos, los apneístas del grupo control mejoraron su rendimiento en Apnea Indoor en un 4.6 %, mientras que el grupo de EC y EEA mejoraron en un 30.3 % y 27 % respectivamente. Las mejoras producidas sobre el rendimiento en Apnea Indoor tras ambos entrenamientos periodizados - EC y EEA - fueron similares, no obstante mientras que la apnea estática mejora mas en el grupo de EEA, las disciplinas dinámicas obtienen mejores resultados tras el EC.

Conclusiones. En apneístas de nivel medio, los factores de rendimiento más determinantes de la Apnea Indoor, son: el almacenaje total de O2/CO2 en el organismo y la capacidad física/mental individual del apneísta para soportar las condiciones extremas de hipoxia e hipercapnia. Por otra parte, los resultados ponen de manifiesto la considerable mejora producida sobre el rendimiento en la Apnea Indoor a través de la inclusión de un sistema de entrenamiento periodizado en objetivos y contenidos a medio y largo plazo; además, la inclusión de cargas físicas asociadas al entrenamiento de apnea, incrementa el rendimiento en las disciplinas dinámicas - DYN y DNF, respecto a un entrenamiento de apnea exclusivo y aislado.

Palabras clave: Apnea, Entrenamiento, Periodización, Test, Factores de rendimiento.

GLOSARIO DEABREVIATURAS

(Por orden alfabético)

A/G	Relación porcentaje grasa pélvica androide y ginoide. A/G ratio
AT	Almacén Total de O_2 y CO_2
CNF	Peso Constante sin aletas
CWT	Peso Constante con aletas
FSC	Flujo Sanguíneo Cerebral
CV	Capacidad Vital
DMO	Densidad mineral ósea
DNF	Apnea Dinámica sin aletas
DYN	Apnea Dinámica con aletas
EC	Entrenamiento Cruzado
ECG	Electrocardiograma
EEA	Entrenamiento Específico en Apnea
EG	Exhalación glosofaríngea
ENS	Eficiencia de nado subacuático
EP	Entrenamiento periodizado
FC	Frecuencia Cardiaca
FC_{max}	Frecuencia cardiaca máxima
FC_r	Frecuencia cardiaca en reposo
FC_{sta}	Frecuencia cardiaca media durante la apnea estática en seco
$FC_{min-sta}$	Frecuencia cardiaca mínima durante la apnea estática en seco
FIM	Inmersión Libre
GC	Grupo control
Hb	Hemoglobina
Hct	Hematocrito
Hm	Hematíes
IG	Inhalación glosofaríngea
Mb	Mioglobina
MMC	Masa magra corporal
$PaCO_2$	Presión parcial de dióxido de carbono en sangre arterial
PBP	Physiological Break Point
PC	Periodo Competitivo
PGC	Porcentaje de grasa corporal
PMMC	Porcentaje de masa magra corporal
PPG	Periodo Preparatorio General
PPE I	Periodo Preparatorio Específico I
PPE II	Periodo Preparatorio Específico II
SaO_2	Saturación arterial de oxígeno
SpO_2	Estimación indirecta de la SaO_2 mediante pulsioximetría.
SpO_{2sta}	Saturación de oxígeno tras la apnea estática en seco
STA	Static Apnea
$Time_{sta}$	Tiempo trascurrido en la apnea estática máxima en seco
TA	Tolerancia a la Asfixia
TM	Tasa Metabólica
TM_{sta}	Tasa metabólica durante la apnea estática en seco
TM_r	Tasa metabólica en reposo
VO_{2min}	Consumo mínimo de oxígeno
VO_{2max}	Consumo de oxígeno máximo
VO_{2r}	Consumo de oxígeno en reposo
V	Volemia
VR	Volumen residual

ÍNDICE DEL CONTENIDO

GLOSARIO DEABREVIATURAS……..……..... i

1.-INTRODUCCIÓN……..... 1-34

1.1.- Concepto de Apnea Deportiva……..…….....……....…… 1

1.2.- Fisiología humana durante la apnea…….....……..…..…… 3

1.2.1.- Cambios en el sistema cardiovascular.....…… .……..…..… 4

1.2.2.- Hipercapnia y acidosis.....…..…… ...……..... 6

1.2.3.- Hipoxia.....…… ……...…...…….…. 7

1.3.- Factores de rendimiento en la apnea estática y dinámica…....…...……..……..… 9

1.3.1.- Almacén total de O2/CO2 en el organismo...….....……..…... 10

1.3.2.- Tasa metabólica.....…..……....……..... 14

1.3.3.- Tolerancia a la asfixia.....……....…… ……..……..…..…… 15

1.3.5.- Economía de nado subacuático o "work economy"…….....…..… 17

1.4- Entrenamiento de los factores de rendimiento…….....……...……... 19

1.4.1.- Entrenamiento específico para el aumento del AT……..... 19

1.4.2.- Entrenamiento específico para la reducción de la TM…….....…..... 21

1.4.3.- Entrenamiento específico para la capacidad individual a la TA……..... 22

1.4.4.- Entrenamiento específico para la mejora de la ENS…….....…… 24

1.5.- Periodización del entrenamiento en Apnea Indoor.....…….....… 26

1.5.1.- Temporalidad necesaria para alcanzar las adaptaciones perseguidas..... 27

1.5.2.- Distribución de las cargas de entrenamiento.....…….....……...… 28

1.5.3.- Distribución del volumen, intensidad y contenido del entrenamiento…..….. 30

1.6- Control del entrenamiento.....…….....……..... 31

2.- OBJETIVOS Y DISEÑO DE LA TESIS…….....……..... 35

3.- DISEÑO Y METODOLOGÍA.....……..... 36-77

3.1.- Participantes.....……..…….....……… 36

3.1.1.- Características y distribución de la muestra.....…..... 36

3.1.2.- Criterios de inclusión y exclusión..... 37
3.1.2.- Consentimiento..... 38
3.2.- Diseño de la investigación..... 39
3.2.1- Variables dependientes..... 40
3.2.2- Variables independiente..... 41
3.3.- Procedimientos..... 42
3.4.- Programa de entrenamiento..... 44
3.4.1- Bloques de entrenamiento común y específicos..... 47
3.4.2- Periodización de las cargas de entrenamiento..... 48
3.4.3- Programas de entrenamiento para el desarrollo de la Apnea Indoor..... 56
3.5.- Test control y equipamiento..... 61
3.5.1- Hemograma..... 62
3.5.2- Cálculo de la volemia..... 62
3.5.3- Espirometría..... 63
3.5.4- Test incremental..... 64
3.5.5- Test de composición corporal..... 66
3.5.6- Cálculo de la tasa metabólica en reposo..... 67
3.5.7- Cálculo de la tasa metabólica durante la apnea..... 69
3.5.8- Test de tolerancia a la asfixia..... 70
3.5.9- Test incremental por etapas 72
3.5.10- Test específicos de rendimiento 74
3.6.- Análisis..... 76
3.6.1- Análisis de datos..... 76
3.6.2- Análisis estadístico..... 76

4.- RESULTADOS..... 78-99
4.1.- Factores de Rendimiento en apnea Indoor..... 79
4.1.1.- Relación del factor "AT" con el rendimiento en Apnea Indoor..... 79
4.1.2.- Relación del factor "TM" con el rendimiento en Apnea Indoor..... 81
4.1.3.- Relación del factor "TA" con el rendimiento en Apnea Indoor..... 83
4.2.- Entrenamiento periodizado..... 85
4.2.1.- Rendimiento específico en Apnea Indoor..... 85
4.2.2.- Factor específico de rendimiento: Almacén total de O_2/CO_2 (AT)..... 86

4.2.3.- Factor específico de rendimiento: Tasa Metabólica (TM)..... 88
4.2.4.- Factor específico de rendimiento: Tolerancia a la Asfixia (TA)..... 90
4.3.- Entrenamiento asociado..... 92
4.3.1.- Rendimiento específico en Apnea Indoor..... 92
4.3.2.- Factor específico de rendimiento: Almacén total de O_2/CO_2 (AT)..... 94
4.3.3.- Factor específico de rendimiento: Tasa Metabólica (TM)..... 96
4.3.4.- Factor específico de rendimiento: Tolerancia a la Asfixia (TA)..... 98

5,.- DISCUSIÓN GENERAL…..... 100-116
4.1.- Factores de Rendimiento en la Apnea Indoor..... 100
4.2.- Entrenamiento Periodizado..... 106
4.3.- Entrenamiento Asociado..... 111

6.a.- CONCLUSIONS..... 117
6.b.- CONCLUSIONES..... 118

7.- PLAN DE DIFUSIÓN..... 119-120

8.- LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN..... 121

9.- PERSPECTIVA FUTURA..... 122

AGRADECIMIENTOS..... 123-125

REFERENCIAS……..... 126-144

1.- INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1.- CONCEPTO DE LA APNEA DEPORTIVA

Durante la apnea o "apnoia", que significa literalmente "sin respiración", el ser humano se sumerge en el agua durante periodos de ruptura respiratoria voluntaria, de manera similar a como lo hacen los mamíferos acuáticos [1]. El buceo a pulmón es una actividad antigua que ha sido desarrollada en determinadas poblaciones - buceadoras Ama en Japón o los pescadores/recolectores Sama-Bajau en el sudeste asiático - como un medio de vida, en donde pasan sumergidos en el agua de 2 a 9 h diarias [2-3].

Cualquier persona que sea capaz de nadar puede practicar la apnea deportiva, ya sea aguantar la respiración durante unos minutos o recorrer sumergidos varios metros; no obstante, como en muchos otros deportes, alcanzar un alto rendimiento requiere de una predisposición física y psicológica y de varios años de entrenamiento deliberado.

En las distintas disciplinas, los apneístas compiten por permanecer el mayor tiempo posible bajo el agua en una posición estática - Apnea Estática (STA) -, para cubrir la máxima distancia posible en piscina - Apnea Dinámica con aletas (DYN) o Apnea Dinámica sin aletas (DNF) - y para descender la mayor cantidad de metros posibles en el mar - Peso Constante con aletas (CWT), Peso Constante sin aletas (CNF) o Inmersión Libre (FIM). Durante los últimos 10 años, en todas las disciplinas de la Apnea Indoor u Outdoor, se ha producido una considerable evolución de las marcas en competición [4]. Esto se debe, entre otros factores: al mayor conocimiento de las capacidades limitantes de las diferentes disciplinas, a la mejor distribución de las cargas de entrenamiento, al aumento de academias de formación especializadas y al desarrollo tecnológico

en el equipamiento del apneísta. Todo esto unido a: una mayor difusión en cursos, congresos o seminarios, al aumento de fichas federativas, junto con una mayor aceptación y difusión social, ha contribuido a desarrollar este deporte y por ende a la creciente captación de talentos - ya sean deportistas, entrenadores o científicos-.

En la Tabla 1 se muestran los actuales records del mundo, registrados en competiciones AIDA *("Association Internationale pour le Développement de l'Apnée"),* de cada una de las disciplinas de la Apnea Indoor.

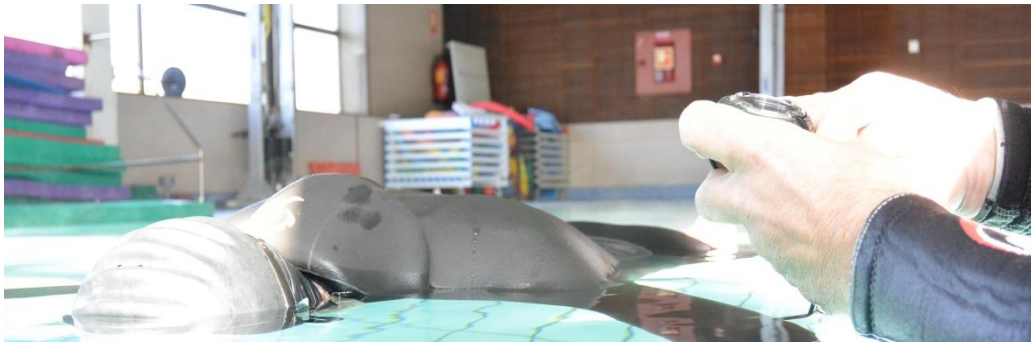
	Categoría	**WR**	**Deportista**
STA	Masculina	11 min. 35 s.	Mifsud
	Femenina	9 min 2 s.	Molchanova
DYN	Masculina	281 m.	Colak
	Femenina	237 m.	Molchanova
DNF	Masculina	226 m.	Malina
	Femenina	182 m.	Molchanova

Tabla 1. Resultados de los record mundiales, registrados por AIDA, en las tres disciplinas de la Apnea Indoor: apnea estática - STA, apnea dinámica con aletas - DYN, y apnea dinámica sin aletas - DNF. Datos facilitados por <aidainternational.org>.

1.2.- FISIOLOGIA HUMANA DURANTE LA APNEA

Tras la ruptura de la respiración, comienzan a producirse una sucesión de procesos encaminados a adaptar el organismo a la heterostasis provocada. En un mismo sujeto, la duración de la apnea será la que defina la aparición de los diferentes procesos, así como la magnitud de respuesta de los mismos (Fig. 1).

La apnea puede ser dividida en dos fases, delimitadas por el punto de ruptura fisiológico o *"physiological break point"* (PBP), que se sitúa tras la primera contracción diafragmática e intercostal [5-8].



0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00
1ª Fase						**2ª Fase**				**Ruptura de la apnea**
↑ $PaCO_2$ ↓ PaO_2										
Bradicardia. Vasoconstricción periférica.	Estabilización de la FC.					Contracciones diafragmáticas e intercostales. ↑ Ácido lactico . ↓ pH intramuscular. ↑ Presión arterial . Hipoxia severa (↑FSC, Bradicardia acentuada, Vasoconstricción periférica).				Valor mínimo de SaO_2 ↑ Frecuencia Cardiaca

Figura 1. Procesos ocurridos en el organismo, durante una apnea estática (STA) de 5 minutos, en un apneísta cuya marca personal en STA es de 5 minutos.

Durante la primera fase de la apnea o *"Easy Going Phase"* el apneísta no tiene la urgencia de respirar; mientras que en una segunda fase o *"Struggle Phase",* que comienza tras el PBP, el apneísta soporta una creciente necesidad de respirar, que se ve reflejada en los movimientos respiratorios involuntarios, destacándose por encima de todos, las contracciones diafragmáticas [5].

Mientras que la duración de la primera fase está delimitada por la estimulación de los receptores en los centros respiratorios - principalmente por el aumento de la presión parcial de dióxido de carbono en sangre arterial ($PaCO_2$), que desencadena los movimientos respiratorios involuntarios-, la duración de la segunda fase viene determinada por la tolerancia psico-física del apneísta a la heterostasis desencadenada [5-6, 9-10].

1.2.1.- Cambios en el sistema cardiovascular

Durante la inmersión en apnea se producen ciertas alteraciones en el sistema cardiovascular, desencadenadas en gran medida por el reflejo de inmersión, como son la bradicardia y la vasoconstricción periférica [11-15]. Estos procesos están encaminados a la reducción del consumo de oxígeno y la redistribución preferencial de sangre hacia el corazón, pulmones y cerebro. En las disciplinas dinámicas, la bradicardia inducida tras la inmersión es lo suficientemente potente como para anular el aumento de la frecuencia cardiaca (FC) producido por el ejercicio [16-17].

Tras la aparición de la apnea, durante los primeros 10 segundos se produce un aumento de la FC seguido de un descenso de la misma - bradicardia - y de una contracción simultánea de los vasos periféricos, que acaecen principalmente en los primeros 30 segundos de apnea [18-20]. A partir de estos primeros 30 segundos, el ritmo cardíaco se estabiliza reduciéndose paulatinamente con la

aparición de la hipoxia [21-22]; es decir, tanto la bradicardia como la vasoconstricción periférica dependerán del tiempo que se permanezca con las vías aéreas sumergidas, siendo inversamente proporcional al tiempo de apnea, o lo que es lo mismo, al nivel de hipoxia en el organismo [23].

El aumento de volumen pulmonar tras la última inspiración pre-apnea, acentuado por la "inhalación glosofaríngea" (IG) o *"lung packing"*, sumado a la recentralización del flujo sanguíneo por vasoconstricción periférica provocará un aumento de presión intratorácica en todas direcciones [24-26]. Esta presión interna desencadena una reacción en los receptores de presión del sistema nervioso simpático que causa, a su vez, una disminución de la circulación de sangre a los órganos que son más resistentes a la anoxia, como son las extremidades [27-29]. Todos estos mecanismos están correlacionados con el rendimiento en apnea [30-31]. Este aumento de la presión intratorácica dificulta por un lado la circulación de la sangre venosa, lo que disminuye el gasto cardiaco, mientras que por otro lado aumenta la presión arterial [24, 32-33]; no obstante, la presión arterial solo se eleva notablemente cuando la bajada de SaO_2 es severa, provocando la estimulación de los quimiorreceptores arteriales que producen un aumento de la presión sanguínea y bradicardia acentuada, en algunos casos por debajo incluso de los 20 lpm [23, 34].

Los cambios sobre la presión arterial durante la apnea han sido controvertidos en los últimos años [17, 32, 35]. Así, Breskovic, estudió los cambios cardiovasculares producidos durante la apnea estática y dinámica. Los resultados mostraron un aumento moderado de la presión arterial durante la apnea estática y dinámica [36]. Por otro lado, Sieber y cols., midieron la presión arterial a 10 msw (metros de profundidad en agua salada), en apneístas de élite durante 2 minutos de STA. Los resultados mostraron valores de la presión arterial sin cambios en comparación con los valores obtenidos en la

superficie [17]. Recientemente, Perini y cols., informaron de continuos cambios de la presión arterial mediante fotopletismografía durante una STA en superficie. Los resultados mostraron un aumento significativo de la SYS (193 mmHg) y DYS (127 mmHg) al final de la STA.

Los cambios cardiovasculares producidos durante la apnea dependen pues de: la duración de la apnea, aumento de la presión intratorácica y magnitud del reflejo de inmersión [37-40]; todo esto bajo la activación simultánea de sistema nervioso simpático y parasimpático [28, 41].

1.2.2.- Hipercapnia y Acidosis

Durante la inmersión, la PaO_2 descenderá y la $PaCO_2$ aumentará, de manera directamente proporcional a la duración de la apnea y al mayor consumo energético. Así, el buen funcionamiento del sistema respiratorio y circulatorio aseguran la entrega de O_2 y la recogida de CO_2 en los tejidos.

Existen dos vías para la regulación de la respiración: control químico de la respiración (quimiorreceptores) y control neurológico de la respiración [42-43]. Los apneístas de élite están expuestos, en competición, a una alta estimulación - hipoxia e hipercapnia - de los quimiorreceptores de O_2 y CO_2 [44]. Así, el aumento progresivo de la $PaCO_2$, durante la apnea, estimula los centros respiratorios en el cerebro, quien ordena al diafragma y músculos intercostales que comience a respirar; desencadenando las contracciones involuntarias de dichos músculos [45]; además, cuando el sistema buffering no es capaz de amortiguar el ácido láctico producido por el metabolismo anaeróbico, el cuerpo empieza a acumularlo, que a pesar de ser parcialmente taponado, alcanzará niveles post-apnea dinámica de 8-10 $mmol/L^{-1}$ y post-apnea estática de aproximadamente unos 5 $mmol/L^{-1}$[46-47]. La mioglobina muscular, aparte de

ayudar a mantener los niveles de O_2 en la circulación central, retrasa la acumulación de ácido láctico debido al menor uso del sistema energético anaeróbico [46]. Como resultado de reacciones químicas intensificadas causadas por una disminución de la SaO_2, el SNS se activa provocando la contracción de los vasos sanguíneos periféricos [13, 30-31]. Esta vasoconstricción periférica es uno de los principales causantes de la pobre metabolización láctica, debido a que restringe gran parte de la circulación de la sangre hacia áreas sensibles a la hipoxia, como son el cerebro, el corazón y los pulmones, dejando así áreas sin la suficiente oxigenación como para metabolizar el ácido láctico [48-49]. Toda esta acumulación de ácido láctico conlleva una bajada del pH intramuscular que dificulta -"el músculo arde"-, todavía más, la contracción muscular. Por otro lado, los glóbulos rojos expulsados al torrente sanguíneo mediante la contracción del bazo durante la hipoxia ayudarán a la metabolización del ácido láctico [50-53].

1.2.3.- Hipoxia

Mientras que la $PaCO_2$ es el factor predominante en la ruptura de la apnea en amateurs, los apneístas entrenados pueden incluso traspasar su límite con un síncope hipóxico. Tal y como se mencionaba anteriormente, la entrega de oxígeno sobre los tejidos no vitales irá disminuyendo progresivamente a lo largo de la apnea; así, la circulación de la sangre hacia al cerebro es más alta que en los otros tejidos, causada principalmente por la dilatación de los vasos sanguíneos del encéfalo que se produce tras el aumento de la concentración de CO_2 en la sangre [54].

Al comienzo de la apnea, la $PaCO_2$ es más baja y la PaO_2 más alta en apneístas de élite en comparación con los amateurs; mientras que al final de la apnea

máxima la situación se invierte, mostrando que los apneístas entrenados pueden tolerar niveles más altos de hipercapnia y una hipoxia más severa [33].

Después de una apnea máxima, la PaO_2 se puede reducir a 20-30 mmHg, con una saturación de oxígeno de un 50% en amateurs y 30% en profesionales [27, 55]. Con una SaO_2 extremadamente baja, las primeras respiraciones tras la apnea deben de perseguir la rápida y eficaz restitución de los valores basales de saturación de oxígeno; para ello, los apneístas realizan inspiraciones profundas y exhalaciones pasivas, manteniendo apneas inspiratorias de 2 segundos con el fin de generar una mayor presión intrapulmonar que permita una difusión del oxígeno más acelerada. Este protocolo de respiración, además, permite que la presión de O_2 no caiga aún más tras la apnea evitando así el síncope hipóxico.

Todas estas perturbaciones en los gases arteriales causan un gran estrés de los quimiorreceptores, que provocan al final de la apnea, un aumento de la actividad nerviosa simpática muscular de aproximadamente un 2,000% [14].

De acuerdo con Dujic y cols., el aumento en el flujo sanguíneo cerebral (FSC) podría compensar la reducción de la SaO_2 y mantener así la oxigenación del tejido cerebral. Esta intensificación del FSC se debe en gran medida al efecto Bohr; es decir, con altas concentraciones de dióxido de carbono en el organismo, las transferencias de oxígeno a los tejidos - el tejido cerebral en particular - se ven facilitadas [56].

1.3.- FACTORES DE RENDIMIENTO EN LA APNEA DEPORTIVA

Teniendo en cuenta que la investigación de la presente Tesis Doctoral se centra en el estudio de la Apnea Indoor, que incluye exclusivamente a la STA, DYN y DNF entre sus disciplinas de competición, no se ha tenido en cuenta "la

adaptación a la profundidad" como un factor de rendimiento, ya que este sería un factor limitante única y exclusivamente de las modalidades de Apnea Outdoor - CWT, CNF o FIM [57].

El conocimiento exhaustivo de las capacidades limitantes, de un deporte determinado, es fundamental para poder desarrollar una adecuada programación del entrenamiento, ya que, a partir de estos factores de rendimiento se empezará a planificar y periodizar los distintos tipos de entrenamientos necesarios para lograr la adaptación deseada y alcanzar así un mejor rendimiento final. En la apnea estática los principales factores de rendimiento son: la capacidad total de almacenamiento de O_2 y CO_2 en el organismo (AT), la tasa metabólica (TM) y la tolerancia individual a la asfixia (TA) [58] (Fig. 2). Por su parte, en las pruebas dinámicas, a los tres factores anteriores debemos sumar la eficiencia de nado subacuático (ENS) o *"work economy*" como capacidad limitante del rendimiento (Fig. 2) [46].

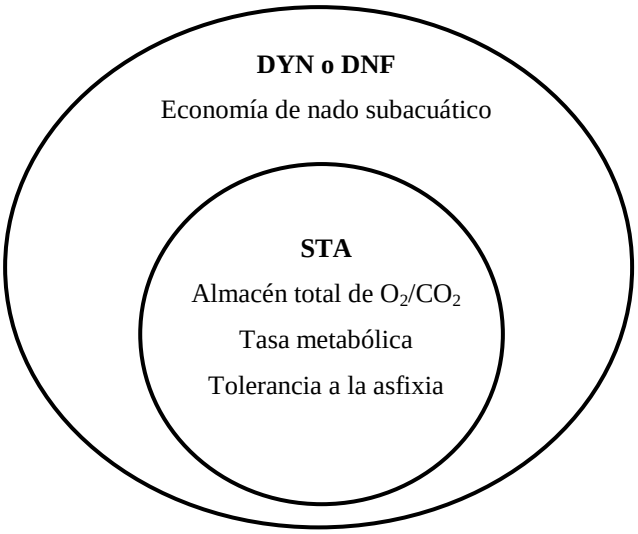


Figura 2. Factores de rendimiento de la apnea estática y la apnea dinámica.

1.3.1.- Almacén total de O2/CO2 en el organismo

La cantidad total de oxígeno de la que puede disponer el cuerpo durante la apnea depende principalmente de la capacidad pulmonar y de la hemoglobina circulante en el organismo. En la Tabla 2 se puede observar una comparativa del almacén de O_2, en el cuerpo, de una persona normal y de un apneísta de élite. Gracias al aumento de O_2 en los pulmones, la sangre arterial se puede re-oxigenar eficientemente, provocando una SaO_2 cercana al 95-98 % incluso después de una apnea de 3 minutos [58].

CONTROL: CPT 5.5 l			**ÉLITE: CPT 11 l**	
ml de O_2	% Total O_2		% Total O_2	**ml de O_2**
1,996 ml	100 %	TOTAL	100 %	**3,200 ml**
820 ml	41 %	Pulmones	51.5 %	**1,650 ml**
880 ml	44 %	Hemoglobina	34.4 %	**1,100 ml**
240 ml	12 %	Mioglobina	7.5 %	**240 ml**
56 ml	2.8 %	Tejidos	1.9 %	**60 ml**
100 ml	+ 5 %	Bazo	+ 4.7 %	**150 ml**
2096ml		Total + Bazo	**3350 ml**	

Tabla 2. Comparativa del almacén de O_2, en el cuerpo, de un sujeto control vs. un apneísta de élite. CPT = Capacidad Pulmonar Total. Los datos e interpretación de la tabla fueron obtenidos de los estudios de Schagatay y Rahn [58-59].

Tal y como muestra la Tabla 2, los apneístas profesionales disponen de un mayor almacén de oxígeno, respecto a la población general, proveniente de los pulmones, hemoglobina , mioglobina muscular, tejidos y reservorio de hematíes

en el bazo. Según el estudio publicados por Rahn, frente a una persona normal de 70 Kg que puede almacenar 1.996 ml (820 ml en pulmones y 880 en sangre, y resto en tejidos) se estima que un apneísta de élite, del mismo peso, es capaz de almacenar hasta 3.200 ml de oxígeno en el organismo (1.650 ml en pulmones, 1.100 ml en sangre y el resto los tejidos) [59]. Debido al entrenamiento constante en hipoxia, los apneístas son capaces de almacenar una alta cantidad de oxígeno, no solo en los pulmones, sino también en la sangre circulante. Este aumento esta provocado, entre otros factores, por una mayor actividad de la hormona glicoproteíca EPO [60]

La capacidad pulmonar total del apneísta se obtiene de la suma de su volumen residual (VR) y su capacidad vital (CV). Esta última, es uno de los principales factores de rendimiento en la Apnea Indoor; así, una CV extra supondría una extensión de la apnea de muchos segundos [61]. Schagatay y cols., informaron de una correlación positiva entre la CV y el rendimiento en apnea [62]; además de una CV de aproximadamente dos litros mayor en apneístas que en el grupo control para una misma estatura y edad [63].

El apneísta, debido al eficaz uso del diafragma, intercostales y escalenos entre otros músculos inspiratorios, conseguirá alcanzar el 100% de la CV con la última respiración; e incluso la incrementará usando una técnica llamada "inhalación glosofaríngea" (IG) [64]. La respiración glosofaríngea fue descrita por primera vez en la década de 1950 en pacientes con una debilidad muscular respiratoria grave [65]. Esta técnica implica el llenado de los pulmones hasta la CV máxima y tomar una bocanada de aire con la glotis cerrada; así, el aire se comprime dentro de la orofaringe y luego, mediante el uso de la lengua a modo de pistón, se introduce el aire a presión en los pulmones. Este proceso se repetirá varias veces hasta conseguir una nueva e implementada capacidad pulmonar; no obstante, el aumento extremo de la CV provoca que los

pulmones presionen fuertemente el diafragma y las vísceras hacia abajo, y la caja torácica y el corazón en todas direcciones. Con el fin de evitar un excesiva tensión durante la apnea, el apneísta deberá alcanzar un equilibrio entre una alta CV y una buena relajación [66]. Por el lado contrario, mediante la técnica de exhalación glosofaríngea (EG) se consigue disminuir aún más el VR alcanzado tras una espiración máxima; en esta ocasión, el aire pasa desde los pulmones hacia la orofaringe para seguidamente cerrar la glotis y exhalar el aire acumulado [67-68]. En un estudio de Loring y cols. se exploró los efectos mecánicos de la inhalación glosofaríngea (IG) y exhalación glosofaríngea (EG) en el sistema respiratorio [69].

Durante las respiraciones previas a la apnea, los apneístas tratarán de eliminar el CO_2 (conservado mayoritariamente en los tejidos y en el músculo en particular) y de almacenar el O_2 en pulmones, sangre (conservado principalmente en la sangre venosa) y tejidos [34, 70].

Por otra parte, si bien parte del oxígeno se disuelve físicamente en el plasma, más del 99% del gas es transportado en combinación química con la hemoglobina (Hb) de los hematíes. La capacidad de la sangre para transportar oxígeno depende de la concentración de la Hb (14-18 g/dl en hombres y 12-15 g/dl en mujeres), la capacidad de fijación de O_2 por la Hb (1.34 ml O_2/g) y el porcentaje de saturación de la Hb (96% a la salida de los pulmones) [71]. La Hb transporta el oxígeno, a través de la sangre, desde los capilares pulmonares hasta los tejidos y el dióxido de carbono desde los tejidos hasta los alveolos desde donde se elimina a la atmósfera gracias a la ventilación alveolar. Al entregar O_2, en los tejidos, la Hb oxigenada se transforma en Hb reducida, que por ser un ácido débil tiene poder tamponador de H^+. Por lo tanto, la Hb circulante no sólo determinará el almacenamiento de O_2 disponible en la sangre, sino también la capacidad del organismo para tamponar el CO_2 excedente,

reforzada cuando la SaO_2 es baja -"efecto Haldane". Ambos factores tendrán una influencia importante en la duración de la apnea [58]. Los niveles de Hb encontrados en apneístas profesionales comparados con deportistas de resistencia o con la población general revelan cierta controversia, ya que no es concluyente si un alto nivel basal de hemoglobina es un factor de preselección o mayor rendimiento en la apnea deportiva.[72-73]

El almacén de oxígeno en la mioglobina (Mb) de la célula muscular puede representar un reservorio fundamental de dicho gas [74-75]; así, un hipotético incremento de la mioglobina provocaría un aumento del oxígeno disponible en la musculatura específica durante las apneas dinámicas; lo que por un lado, alargaría el tiempo disponible en el que el apneísta puede basarse principalmente en el oxígeno almacenado en el músculo (metabolismo aeróbico), y por otro lado, ayudaría a mantener el nivel de O_2 circulante disponible para el corazón, pulmones y cerebro [46, 76]. Por último, para remarcar la más que probable influencia de la mioglobina en la inmersión en apnea, es importante recordar que en los mamíferos marinos la concentración de mioglobina puede ser 10 veces mayor que en las especies terrestres [1, 76].

En una situación de hipoxia, provocada hacia el final de la apnea, el bazo - con un almacén de unos 250 ml de sangre y con un 80% de hematocrito - se contrae, incorporando hematíes extras en el sistema circulatorio [38, 77-78]; produciéndose un aumento de la concentración de oxígeno entre el 2.8 y el 9.6% y un incremento paralelo de la capacidad de almacenamiento del CO_2 [79-80]. Varios minutos después de la ruptura de la apnea, el efecto hematológico provocado por el bazo se perderá, volviendo así a valores basales de Hb y hematocrito [51, 80]. Angelica y Schagatay, analizaron la influencia del bazo sobre el rendimiento en apnea, informando de que el bazo de los apneístas puede liberar hasta 600 ml - comparados con los 100 ml de una

persona normal - lo que supone un tiempo de apnea extra de aproximadamente 30 - 40 segundos [81].

La relación existente entre el volumen total de sangre en el organismo y el rendimiento en apnea fue investigado por Schagatay, quien concluye en su revisión [58] que el volumen total de sangre en el organismo parece estar relacionado con una gran habilidad de buceo a pulmón libre.

1.3.2.- Tasa metabólica

La apnea, es un deporte en el que la capacidad del individuo para mantener un bajo coste energético, o consumo mínimo de oxígeno, es más determinante para el rendimiento que la capacidad aeróbica máxima individual, o consumo máximo de oxígeno.

La TM oscilará desde los momentos previos a la apnea hasta los momentos finales de la misma; así, durante la pre-apnea y en los momentos iníciales de la apnea, el deportista intentará rebajar al mínimo su TM mediante la auto-relajación de cuerpo y mente, mientras que en la 2ª fase de la apnea - donde el apneísta tiene la apremiante necesidad de respirar - el sujeto tratará de no malgastar el poco oxígeno que le queda mediante una adecuada concentración. Así, un apneísta con una FC basal de 55 lpm es capaz de mantener una media de 40-45 lpm durante la STA y de bajar a valores mínimos de 25-30 lpm durante la misma [13, 34]. Las condiciones ambientales, la edad, el sexo, la morfología, la composición corporal, el estado nutricional, la hora del día, el estado de relajación psico-física, el reflejo de buceo o la actividad física son algunos de los factores que condicionan la TM, y por ende el consumo de oxígeno durante la apnea [82-84]. Autores como Schagatay [58] afirman que la habilidad, por parte del deportista, de mantener una tasa metabólica baja

durante la apnea es probablemente el principal factor de rendimiento en la STA. Por otro lado, se sabe que un incremento de la masa muscular irá acompañado de un aumento de la tasa metabólica basal [85]; no obstante, el tejido magro posee una mayor vascularización que el tejido graso, con lo que un aumento de la masa magra corporal conllevará un aumento de la volemia, que solo será efectiva si va acompañada de un incremento de los eritrocitos circulantes [86-87]; además, la reserva de oxígeno de la mioglobina muscular supone un aumento en el tiempo de utilización de la vía energética aeróbica por parte de los músculos específicos de nado[46, 75-76]. Las características morfológicas de un apneísta de elite no se han estudiado a fondo; pero, si tenemos en cuenta el rendimiento global en Apnea Indoor, y dejando de lado la especificidad de cada disciplina, un apneísta debería tener un buena altura (alta CV), una musculatura razonable y la suficiente grasa subcutánea para evitar la aparición de escalofríos que aumenten el gasto energético [46, 88-90].

Además de todo esto, debemos prestar atención a la ingesta de alimentos que, tras la digestión, producirán un aumento del metabolismo celular y de la producción total de CO_2 [83] .

1.3.3.- Tolerancia a la asfixia

Debido a la progresiva acumulación de CO_2 y disminución de O_2, se produce la estimulación de los receptores de la respiración que resultan en fuertes contracciones de la musculatura inspiratoria [44]; la creciente acumulación de CO_2 y ácido láctico produce una progresiva acidificación, provocando de este modo una sensación de “quemazón” - comentarios de apneístas - en la musculatura específica de nado [91]. La visión tradicional de que la acidificación limita el rendimiento mediante la interrupción de los procesos

contráctiles ha sido cuestionada por la investigación más reciente, sugiriendo varios mecanismos posibles, tales como el agotamiento de ATP, la acumulación de fosfato inorgánico o los efectos negativos sobre la disponibilidad de calcio y su unión a la troponina. No obstante, las molestias inducidas por la acidosis pueden limitar el rendimiento, incluso antes de que las funciones musculares sean inhibidas [92-97].

Mientras que los apneístas poco entrenados no son capaces de aguantar las sensación de asfixia derivada de los altos niveles de CO_2 y acidosis; los apneístas entrenados si lo son, enfrentándose entonces a una hipoxia severa con el riesgo de accidentes o descalificaciones por un presíncope o síncope hipóxico.

Algunos científicos señalan que mientras que los apneístas amateurs pueden alcanzar una SaO_2 del 50% antes del sincope, los apneístas de élite podrán llegar hasta valores del 30 % de SaO_2 [58]; por otro lado, los valores de SaO_2 registrados en las pruebas estáticas y dinámicas son similares, lo que sugiere que los apneístas alcanzan un valor similar en la estimulación de los quimiorreceptores de oxígeno en todas las disciplinas [36].

Además, la disposición mental del apneísta juega un papel clave hasta el final de la inmersión; siendo en ese punto de la prueba cuando el apneísta debe manejar la creciente urgencia por respirar, la acidosis en sangre, las poderosas contracciones en la musculatura inspiratoria, una fuerte sensación de asfixia y una saturación casi al límite; todo esto, al mismo tiempo que es capaz de mantener un estado óptimo de relajación/concentración que le permita mantener una TM baja y poder así conservar el mayor oxígeno posible a pesar de estas condiciones de estrés. Esta 2ª fase de la apnea o "fase de lucha" tiene una gran importancia en la duración de la misma, y por lo tanto en el rendimiento de la Apnea Indoor [46, 98].

1.3.5.- Economía de nado subacuático o "Work economy"

Además de los factores mencionados anteriormente - AT, TM y TA -, la eficiencia energética del nado subacuático, es un factor clave para alcanzar un rendimiento óptimo en las disciplinas dinámicas [46]. Así, el impulso producido para desplazarse durante la inmersión en apnea deberá ser lo más eficiente posible; lo que dependerá en gran medida de la hidrodinámica alcanzada sumada a la adecuada frecuencia y amplitud de ciclo.

Uno de los factores que afectan a la hidrodinámica es la flotabilidad del apneísta. El porcentaje de grasa corporal (PGC), unido a la CV del apneísta, dotarán al sujeto de una mayor flotabilidad positiva, mientras que la densidad mineral ósea (DMO) y la masa magra corporal (MMC) repercutirán negativamente sobre la flotabilidad del apneísta [99]. De esta manera, con el fin de alcanzar una flotabilidad neutra que permita aplicar todo el impulso (y gasto energético) en un avance exclusivamente horizontal, los apneístas hacen uso de "lastres" de cuello y cintura para regular su flotabilidad.

Un buen especialista en apnea dinámica debe tener pues, una elevada habilidad en el nado específico acompañada de una buena economía de trabajo; es decir, por un lado, la velocidad de nado no debiera ser demasiado lenta ya que el metabolismo continuará consumiendo O_2 a un ritmo constante, y por el otro, la energía empleada en el impulso debería permanecer dentro de ciertos límites energéticos - es importante advertir que la resistencia al agua aumenta exponencialmente con el aumento de la velocidad - que permitirán la prolongación de la contracción muscular lo máximo posible antes de llegar a la hipoxia severa.

Se sabe que los nadadores entrenados utilizan menos oxígeno que los no entrenados para una misma velocidad de nado y que además, también nadan más rápido con un coste energético equivalente a los no entrenados [100]; además, una proporción relativamente alta de los ex-nadadores de competición se encuentra entre los mejores atletas en las disciplinas dinámicas en comparación con otras disciplinas de apnea, lo que nos acerca a la idea de cómo la ENS es un factor esencial para el rendimiento de las disciplinas dinámicas.

En DYN el uso de la monoaleta es probablemente una opción más eficiente en comparación con al uso de las bialetas; además la fatiga de la musculatura específica, como por ejemplo en los cuádriceps, es mayor en el nado con bialetas - siendo en ocasiones la causante de la ruptura de la apnea-. Unos años atrás, tanto en DYN y CWT, las bialetas eran el principal medio de propulsión, mientras que ahora la monoaleta predomina entre los apneístas de élite. Por supuesto, la técnica del nadador y la posición hidrodinámica adoptada resultan esenciales para la eficiencia del nado con aletas [101-103].

Por otro lado, el uso de trajes de neopreno mejora la hidrodinámica respecto al uso de bañadores, debido a la resistencia ofrecida por la piel humana; además, el uso de gafas y pinza genera menos resistencia al avance que el uso de máscaras; así como el uso de gorro, capucha o el afeitado de la cabeza ayudarán a mejorar la hidrodinámica, o lo que es lo mismo, a reducir el coste energético durante el nado subacuático [104-106].

1.4.- ENTRENAMIENTO DE LOS FACTORES DE RENDIMIENTO

Una vez conocidas la capacidades limitantes del rendimiento en Apnea Indoor, en este apartado, se propondrán los estímulos necesarios para lograr la

adaptación de dichas capacidades. A continuación se mostraran qué tipo de entrenamientos han demostrado especial utilidad en el desarrollo del almacén total de O2/CO2 en el organismo - AT, la disminución de la tasa metabólica - TM, el aumento de la tolerancia individual del apneísta a la asfixia - TA, y la mejora de la eficiencia de nado subacuático - ENS.

1.4.1.- Entrenamiento específico para el aumento del AT

Con el fin de mejorar el AT, el entrenador deberá de prescribir entrenamientos que persigan el aumento del volumen de sangre total o volemia (V) acompañado de un crecimiento paralelo del Hematocrito (Hct), un aumento del volumen y contractibilidad esplénica, un aumento de la mioglobina muscular y un aumento de la CV.

El aumento de la cantidad total de eritrocitos está mediado por la hormona glicoproteína EPO, que es predominantemente sintetizada por los riñones en respuesta a la hipoxia crónica [107-109]. Se podrá pues, lograr un aumento de la Hb y Hct mediante la realización de dos tipos de entrenamiento diferentes en hipoxia: el primero mediante el entrenamiento específico en apnea, donde el deportista puede alcanzar valores de 50 % de SaO_2 durante unos pocos segundos tras una apnea máxima, y el segundo mediante un entrenamiento en altura, en donde por ejemplo un deportista a 4250 m se mantiene en valores del 80.7 y 89.6 % de SaO_2 durante varios horas/días [110].

Por otro lado, a través del desarrollo de la fuerza hipertrofia y la resistencia aeróbica y anaeróbica se consigue un aumento en el volumen sistólico cardiaco, un incremento en la densidad capilar miocárdica, un desarrollo en su capacidad de dilatación; además de una adaptación periférica vascular para poder acoger la mayor cantidad de sangre circulante proveniente desde el

corazón [111]; todo esto asociado al aumento de la volemia con aumento paralelo del Hct y de la mioglobina muscular [87, 112]. Un estudio de Prommer, que comparó a apneístas amateurs, buceadores con botella y triatletas, concluyó que los triatletas - los que mejor capacidad aeróbica presentaban - disponían de un mayor volumen de sangre unidos a altos niveles de Hb [73].

Se pensaba que para conseguir la máxima contracción esplénica, y consiguiente aumento de la Hb y Hct en el torrente sanguíneo, se requiere la realización de de 3 a 5 apneas [81, 98]; no obstante, un reciente estudio ha sugerido que una única apnea máxima es capaz de lograr la máxima contracción alcanzable por el bazo [113]. En dicho estudio, se muestra una correlación positiva entre el tiempo en apnea y la mayor contracción del bazo. Mientras que la respuesta aguda de contracción esplénica, debida a la hipoxia, ha sido demostrada en numerosos artículos [51, 114-115], el aumento del volumen y la capacidad contráctil del bazo provocada por el entrenamiento en apnea a largo plazo, es hoy en día discutido entre los investigadores [113, 115-116].

Observando la tabla 2 (apartado 1.3.1; pág. 10), se ve como el aumento de la CV, por parte del apneísta, tiene una gran influencia sobre el incremento del oxígeno total almacenado en el organismo; además, la alta correlación de la CV con el rendimiento en Apnea Indoor [117] y el amplio margen de mejora existente con un entrenamiento adecuado, hacen de la adaptación de este factor una pieza angular de los entrenamientos. A pesar de que la CV suele permanecer constante en adultos, varios artículos muestran como a través del acondicionamiento físico en músculos, tendones, ligamentos y articulaciones que intervienen en la mecánica respiratoria, sumado al aprendizaje de técnicas

específicas de respiración, como la inhalación y exhalación glosofaríngea, pueden aumentar la CV del apneísta más allá de los 2 litros [64].

1.4.2.- Entrenamiento específico para la reducción de la TM

Por otro lado, con el objetivo de reducir y economizar la TM durante la apnea, en los entrenamientos se deberá incidir sobre todos los factores contribuyentes del gasto metabólico.

El entrenamiento crónico específico en apnea - STA, DYN o DNF - aumenta el nivel de respuesta del reflejo de inmersión - mucho más marcado en las personas entrenadas, incluso hasta cinco veces más, que en personas no entrenadas [118]. Esta adaptación, lograda con el entrenamiento, permitirá al apneísta alcanzar con mayor celeridad su FC mínima que , si es mantenida en el tiempo, reducirá notablemente el costo energético durante la apnea; permitiendo así la preservación del oxígeno circulante.[119]

A través del entrenamiento en resistencia se pueden conseguir una bradicardia sinusal para una misma intensidad submáxima, ya sea en ejercicio o en reposo [111]; esta adaptación, sumada al aumento del volumen de las cavidades cardíacas y a la adaptación vascular periférica, permitiría reducir la FC durante los momentos previos a la apnea y durante la apnea misma; prolongando así la duración de la apnea debido a la preservación de oxígeno inducida por un menor gasto cardiaco.

El entrenamiento adecuado de la fuerza hipertrofia conseguirá obtener una musculatura eficiente que permita realizar un esfuerzo determinado con el menor coste energético posible. Para ello se ha de llevar a cabo entrenamientos de fuerza que incluyan ejercicios calisténicos - son aquellos en los que el objetivo principal es el movimiento de diversos grupos musculares, más que el

realizar movimientos muy controlados que involucren a escasos grupos musculares.

Por otro lado, se han de realizar ejercicios técnicos sobre la correcta respiración previa y posterior relajación durante la apnea; así, mediante la repetición de los protocolos previos a la apnea, se busca automatizar todo el proceso y disminuir el estrés que provoca lo desconocido, reduciendo de esta manera la frecuencia cardiaca o la actividad cerebral - que recordemos utiliza el 20-30% del oxígeno disponible [58]. Se conocen técnicas de relajación para reducir el consumo de oxígeno en un 32 % [120].

1.4.3.- Entrenamiento específico para la capacidad individual a la TA

Con el propósito de mejorar la tolerancia individual a la asfixia, los entrenamientos persiguen: la adaptación de los quimiorreceptores de la respiración a altos niveles de hipoxia/hipercapnia, la mejora del sistema buffering para sintetizar el ácido láctico y la tolerancia a la acidosis; todo ello unido al objetivo de alcanzar una fuerte predisposición física y mental frente a la sensación de asfixia.

Para lograr una mejor adaptación de los quimiorreceptores de O_2 y CO_2 - es decir, a la hipoxia e hipercapnia - se deberán de realizar ejercicios que estimulen o desencadenen dichos procesos. En primer lugar, para realizar una correcta adaptación a la hipoxia, los apneístas realizan 2 o 3 apneas máximas con recuperaciones completas, tratando de eliminar todo el CO_2 posible durante la recuperación. El objetivo es alcanzar la mínima SaO_2 posible (evitando el presíncope) al final de la apnea; para ello será necesario realizar apneas eficientes, maximizando el AT y minimizando la TM. Varios estudios sugieren que el nivel tolerable SaO_2 en el cerebro humano puede reducirse por el

entrenamiento de apnea [27, 55, 121]. En segundo lugar, en lo referente a la adaptación a la hipercapnia, se realizan series de apneas de corta duración y con una recuperación incompleta de entre 10 y 30 segundos; de esta forma, el cuerpo ira acumulando CO_2 durante cada serie, por lo que en la última serie la estimulación del quimiorreceptor de CO_2 será mucho mayor que en la primera apnea. Es recomendable realizar el trabajo de adaptación a la hipercapnia y tolerancia a la acidosis mediante series de apnea dinámica, ya que por motivos mencionados anteriormente, en estas disciplinas se genera una mayor estimulo de los procesos que se pretende adaptar en comparación con la STA. Joulia comparó en su estudio [122] a apneístas de nivel alto y experimentados (con 440 s. en STA) con apneístas de nivel bajo (145 s. en STA) concluyendo que los deportistas involucrados en programa de entrenamiento en apnea de larga duración presentan un acidosis sanguínea y un estrés oxidativo menores tras la realización de una apnea o de un esfuerzo físico; imitando así las respuestas de los mamíferos acuáticos

Además de las series cortas de apnea, para la mejora del sistema buffering y tolerancia a la acidosis, se puede realizar un entrenamiento asociado de resistencia de alta intensidad, en intensidades por encima del umbral láctico - momento en el cual el cuerpo no es capaz de sintetizar el ácido láctico producido y se empieza a acumular en la sangre [123-124]. Los circuitos de fuerza-resistencia que impliquen la participación de varios grupos musculares (ejercicios calisténicos) con recuperaciones incompletas también estarían indicados para la mejora del sistema buffering y de la resistencia a la fatiga.

La predisposición mental para afrontar la sensación de asfixia, es realizada mediante el entrenamiento de la meditación o de la concentración durante la fase de lucha; para ello, se realizan apneas lo suficientemente largas como para superar la 1ª fase de la apnea y adentrarse, tras las primeras contracciones, en la

2ª fase. Una vez metidos en la "fase de lucha", el apneísta debe de practicar la autoconfianza, el afán de superación y el aguante constante sobre las ganas de respirar. No obstante, en los entrenamiento, la duración de las apneas pueden verse reducidas si trabajamos en *"exhale"* (al 20-50 % de la CV individual), debido a que, al disponer de menos cantidad de oxígeno, se estimularán antes los quimiorreceptores de la respiración.

La TA es mucho menor en no entrenados, pero similar en los apneístas aficionados y profesionales; esto sugiere que este factor puede haber sido ya explotado entre los apneístas de élite.[33]

1.4.4.- Entrenamiento específico para la mejora de la ENS

En último lugar, para alcanzar una eficiente economía de trabajo durante el nado subacuático, se deberá entrenar la hidrodinámica, flexibilidad corporal y técnica específica de nado en DNF o DYN.

Una buena técnica facilita la realización de la tarea con un mínimo de gasto energético; así, cada deportista adapta sus condiciones antropométricas a la técnica, dando al movimiento su propia personalidad. Es difícil encontrar dos movimientos técnicos idénticos; no obstante, la técnica deportiva está continuamente evolucionando en busca de alcanzar un mayor rendimiento (Fig. 3). Para el desarrollo de una técnica adecuada es necesario tener conciencia sobre la evolución de los resultados; analizando el gesto técnico mediante análisis de vídeo, corrigiendo errores y repitiendo este proceso una y otra vez hasta lograr un correcto gesto técnico automatizado, que además de ser más hidrodinámico consume menos oxígeno.

Cualquier ejercicio técnico nuevo se debe de realizar en las primeras fases de la sesión de entrenamiento ya que el apneísta, sin fatiga, es capaz de asimilar

mejor los conceptos [125]; además la automatización de un gesto ya aprendido no necesita de estas condiciones especiales en la sesión de entrenamiento.

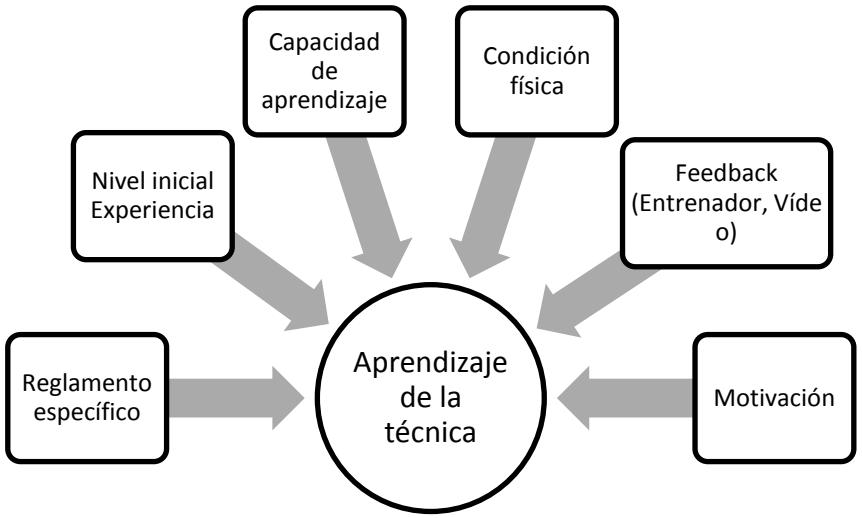


Figura 3. Factores intrínsecos y extrínsecos al apneísta que influyen en el aprendizaje de la técnica en DYN y DNF.

Para encontrar el equilibrio entre una postura hidrodinámica y una postura relajada será necesario la inclusión de un entrenamiento asociado de estiramientos que incidan en el aumento de la flexibilidad/elasticidad general del apneísta permitiendo una mayor movilidad articular. Por otro lado, las diferencias en el aprendizaje de las técnicas de DYN y DNF es reseñable, distinguiéndose la diferente participación muscular entre ambas. Mientras que en DNF adquiere gran importancia la eficiencia de la patada, brazada y la coordinación e hidrodinámica entre ambas; en DYN, cobra gran importancia la flexibilidad de hombros, espalda y cadera; así como la coordinación del movimiento propulsivo ondulatorio.

1.5.- PERIODIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO EN APNEA INDOOR

A pesar de las mejoras y los avances en equipamiento o nutrición, el entrenamiento sigue siendo el factor extrínseco más influyente en el rendimiento de la Apnea Indoor. Como en cualquier otro deporte, el máximo rendimiento se alcanza mediante la predisposición genética necesaria y el entrenamiento deliberado, distribuido sistemáticamente en objetivos y contenidos a corto y medio plazo [126].

La bibliografía consultada apunta a que fueron los soviéticos, a partir de Matveyev en los años 50-60, quienes plantearon los conceptos actuales sobre la periodización del entrenamiento [127-128]; no obstante otros autores como Issurin, Tschiene o Bompa [126-127, 129-130] fueron introduciendo nuevas aportaciones acordes con las nuevas exigencias competitivas.

La periodización tradicional se puede establecer en base a uno o varios picos de forma; no obstante, las premisas en las que se basa este diseño tradicional hacen que solo se pueda establecer un único pico de forma, mientras que los otros picos son menores [131]. Así, Matveyev [132] estructura su macrociclo en tres grandes periodos durante la temporada - periodo preparatorio, periodo competitivo y periodo de transición. El periodo preparatorio se subdivide en: una fase general, cuyo propósito es establecer una introducción a los sistemas de entrenamiento que se pretenden realizar, una mejora de la condición física general y un aumento de las destrezas motoras; y una fase específica, orientada hacia el desarrollo de las cualidades físicas y técnicas específicas de cada deporte, introduciendo los diferentes ejercicios técnicos en su contexto real.

A pesar de la aportaciones citadas anteriormente, gran parte de la información sobre modelos de periodización hallados en la literatura son experiencias propias no avaladas por la investigación experimental [133]; así, desde un punto

de vista científico, y no solo en la apnea deportiva, es difícil encontrar estudios sobre un programa de entrenamiento de más de 12 semanas de intervención aplicando modelos de periodización categóricamente definidos y controlados.
En el caso particular de la Apnea Indoor, se han publicado algunos artículos que hablan del rol del entrenamiento en la mejora de la apnea deportiva [54] o de la influencia del entrenamiento en apnea sobre otros deportes [134]; sin embargo, no se ha encontrado ninguna referencia científica sobre la periodización del entrenamiento en la misma.

1.5.1.- Temporalidad necesaria para alcanzar las adaptaciones perseguidas

Desde el punto de vista biológico, todo estímulo externo - como por ejemplo el ejercicio - produce una respuesta aguda o adaptación a largo plazo en el organismo; es decir una carga externa (ejercicio) produce un carga interna individual sobre el organismo [131]. Así, la respuesta aguda al entrenamiento no genera cambios duraderos sobre el individuo; hace falta pues, una estimulación durante un determinado periodo de tiempo que genere adaptaciones crónicas sobre el sistema musculo-esquelético, nervioso, endocrino, cardiovascular o respiratorio [129, 131].
El tiempo requerido para obtener las adaptaciones necesarias, que permitan a un apneísta alcanzar un rendimiento óptimo, es complejo de determinar. Algunos autores como Hentsch, Schagatay, Joulia o Lemaitre han estudiado los efectos producidos por el entrenamiento en apnea de varias semanas [6, 118, 135-136]. En el estudio de caso de Schagatay y Johansson [4] se demostró como un entrenamiento de 9 meses fue suficiente para lograr pasar de un nivel moderado a ganar un campeonato del mundo en CWT; no obstante, la mayoría de los records mundiales han sido establecidos por apneístas de más de 30 años

(Trubridge, Lozano, Colak..) e incluso por encima de los 40 años (Molchanova, Mifsud) y con varios años de experiencia en la disciplina, lo que sugiere que, a pesar de que el acondicionamiento físico o incluso la técnica puedan ser maximizadas en uno o dos años, la experiencia necesaria para alcanzar un nivel elevado en meditación y control del estrés en situaciones de competición - hipoxia/hipercapnia - requieren de un nivel de experiencia acumulado durante varios años de entrenamiento deliberado [54] .

Así pues, el tiempo necesario de preparación depende de la previa acumulación y continuidad del entrenamiento (tanto actual como el acumulado con los años) y de los compromisos competitivos de la temporada [137].

1.5.2.- Distribución de las cargas de entrenamiento

Según Platonov [138], los componentes de la carga de entrenamiento se definen por: la naturaleza de los ejercicios, la intensidad del trabajo, la duración del trabajo y la duración y naturaleza de los intervalos de reposo situados entre los ejercicios y el número de repeticiones.

La distribución de las cargas define la forma en que se colocan las diferentes cargas en una sesión, microciclo, mesociclo o macrociclo. De este modo la cargas pueden repartirse uniformemente durante el macrociclo (cargas regulares), repartiendo los contenidos de entrenamiento en más tiempo; o concentrarse en fases definidas del ciclo (cargas concentradas), agrupando los contenidos de entrenamiento en poco tiempo [131]. De tal manera que, para asegurar un efecto acumulativo óptimo se debe diseñar una combinación racional de las diferentes cargas de entrenamiento; es decir, la elección de un intervalo optimo de recuperación-estímulo de carga, y la alternancia de éstas [131].

Así como en otros deportes se ha estudiado la combinación óptima de carga de entrenamiento y recuperación para alcanzar el rendimiento máximo [139], en la apnea deportiva, no existen evidencias científicas en este sentido; remarcando así la importancia de los resultados ofrecidos por la presente investigación.

Con el fin de evitar la fatiga y monotonía en los entrenamientos, algunos estudios señalan la importancia de presentar alternancia entre las sesiones y en la carga de entrenamiento [140]; además, se ha demostrado que los modelos de carga periodizada siempre muestran mayores incrementos en el rendimiento máximo de la temporada [141-142]. No obstante, debido a la falta de evidencia, es necesario desarrollar los conocimientos teórico sobre periodización del entrenamiento en situaciones reales, en entrenamientos programados de larga duración, interviniendo en los contenidos o secuencias de entrenamiento, distribución de la carga, etc.

1.5.3.- Distribución del volumen, intensidad y contenido del entrenamiento

Con el fin de realizar el estímulo óptimo sobre las diferentes adaptaciones requeridas, tanto el volumen como la intensidad de entrenamiento, no pueden, ni deben, mantenerse constantes durante la temporada. El modelo tradicional de Matveyev de los años 50-60, expone que, salvo al inicio de la temporada, el volumen e intensidad del entrenamiento no pueden incrementarse a la vez; asimismo, propone un aumento del volumen desde el inicio de la preparación hasta la mitad de la temporada, donde alcanzará un pico máximo. Es en este momento, a partir del cual se va incrementando la intensidad en el detrimento del volumen hasta el final de la temporada; sin embargo, la eliminación tan temprana del volumen no permitía lograr el máximo rendimiento en la fase final de la temporada. Lo que hizo que se corrigiera unas décadas más tarde,

sugiriendo en la fase pre-competitiva un incremento del volumen - aunque no como en la primera etapa - para después volver a incrementar la intensidad hasta su pico máximo [143]. En la figura 4, se presenta de forma simplificada la distribución del volumen e intensidad de entrenamiento expuesta por Matveyev.

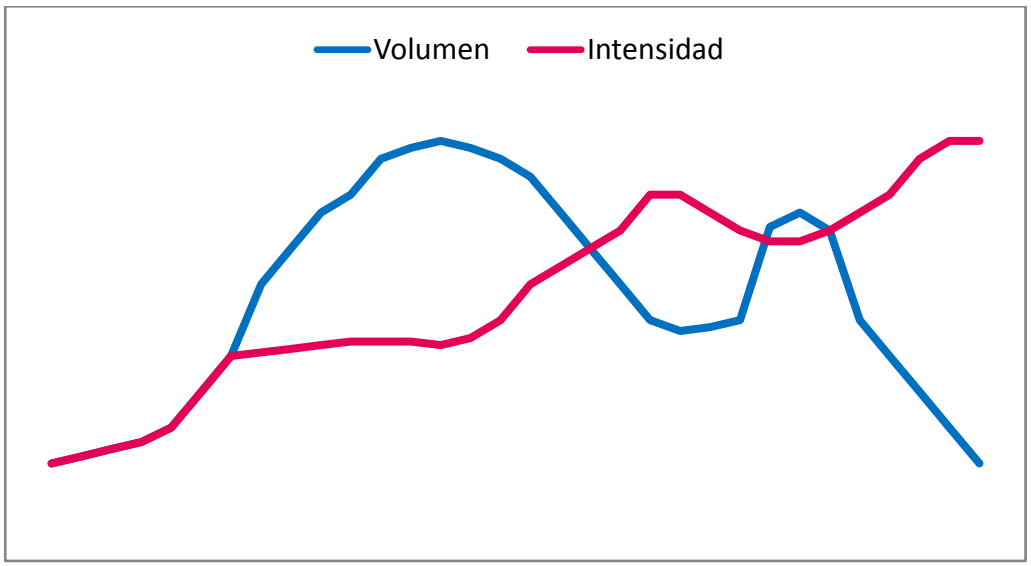


Figura 4. Evolución del Volumen e Intensidad según el modelo de Matveyev para pruebas de resistencia.

Otro componente clave de la periodización del entrenamiento es la "secuencialidad" en la programación de los contenidos y el "principio de especificidad" [137]. Una vez que se han sentado las bases del entrenamiento general, se debe desarrollar las condiciones específicas de acuerdo a las características particulares de cada disciplina deportiva. A pesar de la

diversidad en los modelos de periodización, todos ellos comulgan en este principio.[143]

1.6.- CONTROL DEL ENTRENAMIENTO

La frecuencia cardiaca se ha usado habitualmente como recurso para determinar la intensidad del esfuerzo y efectuar el control y valoración de la intensidad de las cargas de entrenamiento, no obstante, en la apnea se recomienda el uso de valoraciones subjetivas individuales sobre el esfuerzo realizado; como por ejemplo las escalas de esfuerzo percibido (EEP) o escala de Borg [144-145]. La valoración EEP es una descripción del conjunto de sensaciones que se producen a nivel del sistema cardio-respiratorio, musculo-esquelético, así como del estado de los sistemas energéticos y metabólicos [145-146]. La escala original consiste en una tabla con números entre 6 y 20, acompañados de valoraciones nominales desde muy, muy ligero a muy, muy fuerte. Dicha escala, a fin de facilitar el autocontrol de la intensidad durante el entrenamiento, evolucionó hacia otra escala de valores entre 0 y 10 [144-145, 147-148].

Por otra parte, la realización de test de control durante la temporada ayudarán al entrenador a controlar y valorar las progresiones realizadas por los deportistas, ofreciendo una herramienta válida, tanto al entrenador como al apneísta, para corregir o complementar el diseño y la programación del entrenamiento sesión tras sesión, temporada tras temporada.

A continuación se muestran algunos de los test utilizados para el control y valoración de la Apnea Indoor, siendo tarea del entrenador considerar que tipo de test se deben realizar, teniendo en cuenta circunstancias como: el tiempo de realización del test, los recursos materiales y humanos necesarios, proceso de

evaluación requerido, costes asumibles etc. Tampoco es motivo de este apartado exponer la descripción exhaustiva de cada uno de los test control, que pueden hallarse con facilidad en los manuales técnicos.

Para calcular la capacidad pulmonar total del apneísta se han de realizar por separado la medición, mediante espirometría, de la CV y la medición, mediante plestimografía, del VR del apneísta [26]. Por otro lado, mediante un hemograma se obtendrá el valor de la hemoglobina circulante [70]. Para el cálculo de la mioglobina muscular sería necesaria realizar una biopsia muscular [58]. Además, a través de la técnica ecográfica se pueden adquirir datos tanto del volumen y contracción esplénica [149] como del volumen de las cavidades cardiacas [111]. Todo lo anterior, unido a la realización de prueba cardiopulmonar en ejercicio que permite evaluar de manera simultánea la capacidad de los sistemas respiratorio y cardiovascular [150], dará información suficiente sobre el almacenamiento total y capacidad de transporte de oxígeno y dióxido de carbono por parte del individuo.

Respecto a la evaluación de la tasa metabólica del apneísta, se deberían incluir la medición de: la composición corporal mediante "Dual-energy X-ray absorptiometry" (DXA) o a través de bioimpedancia eléctrica [151], la tasa metabólica en reposo (TM_r) mediante calorimetría indirecta [152] y la tasa metabólica durante la apnea estática (TM_{ap}) a través la FC obtenida mediante pulsioximetría o electrocardiograma [153]. Además de lo anterior, con el objetivo de analizar el estímulo provocado por el reflejo de inmersión, se puede analizar a través de la piel ("skin blood flow") la vasoconstricción periférica mediante un "laser doppler flowmeter" situado en un puto periférico, como por ejemplo los dedos de la mano [18, 154-155]. La técnica "Laser Doppler" mide la velocidad del movimiento de los glóbulos rojos. La medición invasiva del

flujo sanguíneo se produce a través de la arteria poplítea derecha - flujo sanguíneo periférico, y a través de la arteria carótida interna derecha - flujo sanguíneo cerebral [156-157].

Con el objetivo de medir y analizar la técnica individual en cada una de las disciplinas dinámicas de la Apnea Indoor se sugiere realizar una grabación de vídeo mediante la colocación cámaras en distintos planos del movimiento. Una vez editados los datos ofrecidos por la grabaciones, se procederá al análisis de los imágenes por parte del entrenador y del deportista. El feedback recibido mediante este tipo de mediciones ofrecerá tanto al entrenador como al apneísta la información necesaria para poder reevaluar constantemente los entrenamientos y equipo (lastre, traje, etc.) más adecuados [158-159].

Por último, para evaluar de la tolerancia individual a la asfixia, se sugiere realizar test de apnea estática en seco. Durante dicho test se monitorizará, mediante un pulsioxímetro, la SpO_2. La correlación del valor mínimo de saturación de oxígeno con el tiempo alcanzado en STA es un buen punto de control para conocer la tolerancia del apneísta a la hipoxia. Por otro lado, en algunas investigaciones [18] se ha usado una abrazadera neumática colocada por debajo del pecho, conectada a su vez a una grabadora y amplificador analógico para registrar los movimientos respiratorios involuntarios (contracciones diafragmáticas e intercostales)). Por último, medir la concentración de ácido láctico tras la realización de un apnea máxima [160], puede ofrecer información relevante sobre el aporte de la vía anaeróbica, estado del sistema buffering o la tolerancia al ácido láctico por parte del apneísta [92]. La tabla 3 muestra una síntesis de los test más relevantes para el control del rendimiento del apneísta.

Test	Objetivo del Test	FR medido
Espirometría	Obtención de la Capacidad Vital..	Almacén total de O_2/CO_2 en el organismo
Plestimografía	Obtención del Volumen Residual	
Hemograma	Medición de los niveles de Hemoglobina, Hematíes y Hematocrito en sangre.	
Ecografía	Obtención del volumen y contractibilidad esplénica. Obtención del volumen de las cavidades cardiacas.	
Test Incremental	Análisis de la FC máxima y del $VO2_{max.}$	
Biopsia muscular	Obtención de la mioglobina muscular.	
Composición corporal	Análisis de la proporción y distribución de la grasa, tejido magro y densidad mineral ósea en el cuerpo.	Tasa metabólica
TM_r	Test de calorimetría indirecta mediante el análisis de gases. Obtención de las cal*min producidas.	
TM_{ap}	Obtención de la FC media y mínima durante la apnea mediante la realización de un ECG.	
Flujo sanguíneo	Medición de la vasoconstricción periférica (reflejo de inmersión).	
Análisis de la técnica	Análisis de video y posterior evaluación de errores. Análisis hidrodinámico.	Eficiencia de nado subacuático
Análisis del ácido láctico	Calculo de la concentración del ácido láctico tras determinados esfuerzos.	Tolerancia a la asfixia
Contracciones	Medición de las contracciones diafragmáticas e intercostales mediante el uso de una abrazadera neumática	
Pulsioximetría	Análisis de la SpO_2 durante la apnea.	

Tabla 3. Test de control y valoración realizados en Apnea Indoor. Factor de Rendimiento, FR; Tasa metabólica en reposo, TM_r; Tasa metabólica durante la apnea, $TM_{ap.}$

2.- OBJETIVOS

La motivación principal del autor para realizar esta Tesis Doctoral fue la de profundizar en sus conocimientos como entrenador, desde una perspectiva científica y práctica, con el deseo de aportar rigor y nuevos conocimientos aplicados al campo de la periodización y control del entrenamiento en la apnea deportiva.

Los objetivos generales que persigue la presente Tesis Doctoral son los siguientes:

1) Analizar la correlación existente entre los factores de rendimiento de la Apnea Indoor con el rendimiento específico en la misma.

2) Describir la repercusión que tiene la adecuada periodización del entrenamiento sobre las adaptaciones producidas en los distintos factores de rendimiento de la Apnea Indoor y el rendimiento específico de la misma.

3) Estudiar la repercusión, sobre el rendimiento en Apnea Indoor, de la introducción de cargas físicas asociadas al entrenamiento específico de apnea.

3.- DISEÑO Y METODOLOGÍA

3.1.- PARTICIPANTES

3.1.1.- Características y distribución de la muestra

Un total de 29 apneístas masculinos (36 ± 5.07 años, IMC 22.8 ± 1.43), pertenecientes al Club Apnea Madrid y con licencia en vigor, expedida por la Federación Madrileña de Actividades Subacuáticas (FMDAS), participaron voluntariamente en el estudio. El nivel medio de experiencia de los sujetos en el entrenamiento de la Apnea Indoor era de 1.09±0.66 años; no obstante gran parte de la muestra tenía experiencia previa en buceo con botella o en pesca subacuática. Entre los participantes, se encontraban los dos últimos campeones autonómicos, en categoría masculina, de Apnea Indoor (Open de Madrid 2014 y 2015) y los cinco últimos campeones autonómicos, en categoría masculina, por las disciplinas de STA, DYN y DNF (Open de Madrid 2014 y 2015); además de los tres actuales *"recordman"* de la autonomía de Madrid para las disciplinas de STA, DYN y DNF. El equipo madrileño, formado en su totalidad por sujetos pertenecientes a esta muestra obtuvo la medalla de bronce en los campeonatos de España 2014 y 2015, celebrados en Madrid y Valladolid respectivamente. Tras la inclusión de los participantes en el estudio, los sujetos fueron divididos de forma aleatoria en dos grupos de entrenamiento periodizado (EP) - entrenamiento cruzado (EC) (n=10) y entrenamiento específico en apnea (EEA) (n=9) - y un grupo control (GC) (n=10) con un entrenamiento no periodizado. Respecto a la distribución de la carga semanal, el número de horas de trabajo en los grupos de entrenamiento periodizado fue de 4.5 horas por semana, mientras que a los miembros del grupo control se les dio autonomía para que se

organizasen el entrenamiento libremente. Las características generales de la muestra vienen reflejadas en la tabla 4.

	EC (n=10)	EEA (n=9)	GC (n=10)
Edad (años)	36.4±10,45	34.33±7.79	39±7,11
Altura (m)	1.76±0.07	1.79±0.09	1.75±0.07
Masa (kg)	75.33±12.78	74.37±13.27	71.88±9.4
Experiencia en Apnea Indoor (años)	1.21±0.65	1.21±0.72	0.82±0.66
Entrenamiento /semana (h)	4.5	4.5	Libre

Tabla 4. Características generales de los sujetos participantes en el estudio. EC: Entrenamiento Cruzado; EEA: entrenamiento específico en apnea; GC: grupo control.

3.1.2.- Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión a la hora de participar en el estudio han sido los siguientes:

- Estar en posesión de la licencia federativa en vigor por la federación española de actividades subacuáticas (FEDAS).
- Haber realizado un curso formativo en prevención de riesgos, rescate y salvamento acuático asociados a la práctica de la Apnea Indoor.
- Haber completado la fase de familiarización previa a los entrenamientos programados.

- Ser mayor de 18 años.
- No padecer problemas cardiovasculares y/o respiratorios que impidan el correcto desarrollo de los programas de entrenamiento.
- No estar bajo medicación que pueda poner en peligro al sujeto cuando éste realizando el programa de entrenamientos.
- No participar, por parte de los grupos de EP, en otras actividades de carácter físico durante la realización de la investigación.
- Asistencia al primer y segundo test de control.

Además, el criterio de inclusión a la hora de participar en alguno de los grupos de entrenamiento periodizado - EC o EEA - del estudio, fue la asistencia mínima de un 80% de las 66 sesiones de entrenamiento programadas. De este modo, de los 32 sujetos que iniciaron el estudio, tres fueron excluidos porque no fueron capaces de completar al menos el 80% de las sesiones programadas; obteniéndose una asistencia media del 85.1% en los grupos de entrenamiento periodizado.

3.1.3.- Consentimiento

Todos los sujetos participantes en el estudio firmaron un consentimiento informado para aceptar su inclusión en el mismo y dar así permiso al investigador principal del uso sobre los datos relacionados con la investigación; además, siendo conscientes de que podían abandonar la investigación en cualquier momento. Se han respetado las directrices de investigación según el acuerdo de Helsinki respecto a investigaciones de esta naturaleza.

3.2.- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Con el fin de responder a cada uno de los objetivos planteados en este estudio, se realizó un diseño experimental de intervención, basado en el paradigma de investigación cuantitativa, que se desarrolló durante dos temporadas consecutivas - 2013/14 y 2014/15, con un aclarado de la muestra entre ambas. Los diferentes tipos de entrenamiento periodizado, de 22 semanas de duración, se implantaron sobre un grupo de 19 apneístas de nivel autonómico-nacional que fueron entrenados personalmente por el investigador. El diseño de la investigación se muestra a continuación (Figura 5).

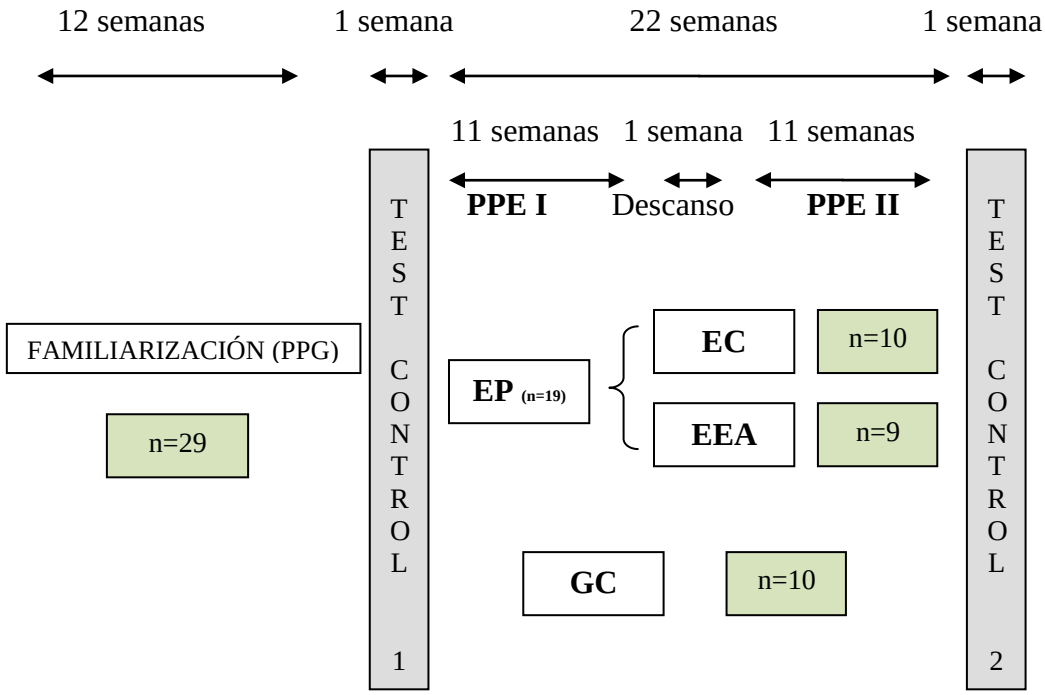


Figura 5. Diseño general de la investigación. EP = grupos de Entrenamiento Periodizado; EC= Entrenamiento Cruzado; EEA= Entrenamiento Específico en Apnea, GC= Grupo Control. PPG: Periodo Preparatorio General; PPE I y II: Periodo Preparatorio Específico I y II.

3.2.1.- Variables dependientes

A continuación se presentan las variables dependientes, medidas en el presente estudio, distribuidas dentro del factor de rendimiento al que intentan dar respuesta:

a) Almacén total de O_2/CO_2 - AT:

- Hemoglobina (Hb), Hematocrito (Hct) y Hematíes (Hm).
- Volemia (V).
- Consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}).
- Capacidad vital (CV).

b) Tasa metabólica - TM:

- Tasa metabólica en reposo (TM_r), expresada en cal*min. Calculada a través de calorimetría indirecta mediante el Consumo de oxígeno en reposo (VO_{2r}).
- FC en reposo (FC_r).
- FC mínima durante la apnea estática en seco ($FC_{min\text{-}sta}$).
- FC media durante la apnea estática en seco (FC_{sta}).
- Porcentaje de grasa corporal (PGC).
- Masa magra corporal (MMC).
- Porcentaje de masa magra corporal (PMMC).
- Densidad mineral ósea (DMO).

c) Tolerancia a la asfixia - TA.

- Saturación de oxígeno tras la apnea estática en seco (SpO_{2sta}).
- Análisis de la concentración de ácido láctico en un test por etapas.

Además de todo lo anterior, se midió el rendimiento específico en cada una de las disciplinas y el rendimiento global en Apnea Indoor.

- Tiempo alcanzado en STA ($Time_{sta}$).
- Distancia recorrida en DYN.
- Distancia recorrida en DNF.
- Rendimiento global en Apnea Indoor mediante el sistema de puntos AIDA que se detallará más adelante en el apartado 3.5.10 (pág. 74).

Por otro lado, la Frecuencia cardiaca máxima (FC_{max}) fue calculada con el fin de convertir el resto de resultados sobre FC en un porcentaje de dicha FC_{max}.

3.2.2.- Variable independiente

La aplicación del entrenamiento en cada uno de los grupos de investigación fue la variable independiente. Distinguiéndose entre:

a) Grupo de Entrenamiento Cruzado (EC): Entrenamiento mixto de cargas física de fuerza hipertrofia y resistencia aeróbica y anaeróbica con el entrenamiento en las tres disciplinas - STA, DYN y DNF - de la Apnea Indoor. Desarrollado durante 22 semanas de entrenamiento con una frecuencia semanal de 3 sesiones de 90 minutos cada una.

b) Grupo de Entrenamiento Específico en Apnea (EEA): Entrenamiento en piscina basado, única y exclusivamente, en el entrenamiento de las tres disciplinas - STA, DYN y DNF - de la Apnea Indoor. Desarrollado durante 22 semanas con una frecuencia semanal de 3 sesiones de 90 minutos cada una.

Con el fin de comparar los resultados entre ambos entrenamientos periodizados y el Grupo Control (GC), se agruparon los datos obtenidos por el grupo de EC y el grupo de EEA, dando así lugar al grupo de entrenamiento periodizado (EP).

3.3.- PROCEDIMIENTOS

Los apneístas, participantes en el estudio fueron seleccionados por el investigador principal siguiendo los criterios de inclusión mencionados anteriormente. Una vez firmados todos los consentimientos, se solicitaron los permisos pertinentes para la utilización de las instalaciones destinadas al entrenamiento (IES San Fernando, Madrid) y a la evaluación (Universidad de Castilla-la Mancha); además, se contactó con la clínica médica (Betanzos 60, Madrid) para la realización y coordinación de la extracción sanguínea necesaria para la prueba del hemograma.

Desde Septiembre a Diciembre se llevó a cabo una familiarización (Preparatorio General) del entrenamiento hasta el primer punto de control. Se realizaron dos pruebas de control: una medición pre-test antes de la aplicación de los entrenamientos programados y una medición post-test al finalizar las 22 semanas de entrenamiento. En estos test de control se llevaron a cabo pruebas para evaluar los diferentes factores de rendimiento en Apnea Indoor así como el rendimiento específico en las diferentes disciplinas - STA, DYN y DNF. La evaluación se produjo a lo largo de una semana, distribuyéndose de la siguiente manera: por un lado, los test específicos en STA, DYN y DNF se realizaron, a las 19:30, el Lunes, Miércoles y Viernes respectivamente y por otro durante el fin de semana se llevaron a cabo, por orden cronológico, las siguientes mediciones:

Sábado - 8 am: A primera hora de la mañana, y en ayunas, los apneístas acudieron a la clínica médica para realizarse un hemograma.

Sábado - 10 am: Tras ser instruidos en la técnica correcta, los sujetos hicieron la prueba de espirometría para la obtención de la CV individual.

Sábado - 11 am: Con el apneísta tumbado hacia arriba, se le calculó la FC_r y la tasa metabólica en reposo (TM_r) mediante calorimetría indirecta; o lo que es lo mismo, mediante el consumo de oxígeno a través de la medición directa de gases. Una vez terminada la medición de gases, y para la obtención de la tasa metabólica durante la apnea (TM_{sta}), el apneísta realizó, en decúbito prono, una apnea estática máxima en seco, donde se obtuvieron la FC_{sta} y la $FC_{min\text{-}sta.}$

Sábado - 3 pm: El último test del día fue un test incremental para el cálculo del $VO2_{max}$ y la FC_{max} mediante el análisis directo de gases y la realización de un ECG en esfuerzo.

Domingo - 8 am: Al día siguiente, en ayunas y tras el vaciado vesical, los apneístas desprovistos de cualquier objeto metálico procedieron a realizarse el test de composición corporal mediante Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA).

Domingo - 10 am: Tras la composición corporal, los sujetos ejecutaron, en decúbito prono, un test de apnea estática máxima en seco para la obtención de la saturación de oxígeno mínima alcanzada durante dicho test (SpO_{2sta}).

Domingo - 5 pm: Para finalizar la batería de test, y con la intención de analizar la concentración de ácido láctico en sangre, se les realizó un test incremental por etapas; usando el descanso entre dichas etapas para la extracción de sangre capilar.

Seguidamente al pre-test, se iniciaron los entrenamientos en los dos grupos experimentales. Así, la temporada de entrenamiento se desarrolla desde Enero a Junio, tomando como punto de competición, paralelo al estudio que nos ocupa, el Open de Madrid y el Campeonato de España, celebrados en Junio y Julio respectivamente. La temporalidad de la investigación, de 37 semanas incluyendo la familiarización del entrenamiento y los test de control, viene reflejada en la tabla 5.

Semana 1	Distribución de la muestra y Gestión de recursos
Semana 1ª -12ª	Familiarización del entrenamiento
Semana 13ª	Pre-Test
Semana 14ª - 24ª	Programa de entrenamiento
Semana 25ª	Descanso
Semana 26ª -36ª	Programa de entrenamiento
Semana 37ª	Post-Test

Tabla 5. Temporalidad de la investigación.

3.4.- PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO

Tras la familiarización o PPG se desarrolló un programa de entrenamiento para los dos grupos de EP de 22 semanas de duración dónde se optó por la implantación de un modelo de periodización de cargas regulares, con un Periodo Preparatorio Específico I (PPE I) y un Periodo Preparatorio Específico II (PPE II) - de 11 microciclos semanales cada uno -, ya que se pensó que era lo más adecuado dado que había un único periodo competitivo durante la temporada [161].

Todos los entrenamientos tuvieron lugar en la piscina semiolímpica, de 25 metros, del IES San Fernando de Madrid (Ilustración 1), y fueron diseñados, guiados y controlados por el investigador principal del estudio.

Ilustración 1. Apneístas del grupo de Entrenamiento Cruzado - EC, y del grupo de entrenamiento específico en apnea - EEA, en la instalaciones acuáticas del IES San Fernando (Madrid). Foto: © Club Apnea Madrid.

Cada microciclo de carga estaba compuesto por tres sesiones de entrenamiento de 90 minutos de duración cada una; así, durante cada sesión, y antes de la parte principal del entrenamiento, se realizó un calentamiento durante 25 minutos mediante ejercicios de movilidad articular, estiramientos específicos y ejercicios técnicos de respiración y relajación. Respecto a la parte principal, en la sesión 1 (Lunes), el grupo de EC realizó durante 15 minutos un circuito de fuerza en seco con ejercicios calisténicos para seguidamente realizar un entrenamiento de 45 minutos en natación, mientras que el grupo EEA realizó un entrenamiento específico en apnea deportiva durante 1 hora. Los Miércoles y Viernes los dos grupos experimentales entrenaron, durante una hora, específicamente en apnea deportiva (Figura 6).

<table>
<tr><th></th><th>Lunes</th><th>Miércoles</th><th>Viernes</th></tr>
<tr><td>Calentamiento
(25 min)</td><td colspan="3">Movilidad articular, estiramiento torácicos, técnicas de respiración y de relajación.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Parte Principal
(1 hora)</td><td>EC*</td><td rowspan="2">EC y EEA</td><td rowspan="2">EC y EEA</td></tr>
<tr><td>EEA</td></tr>
<tr><td>Vuelta a la calma
(5 min)</td><td colspan="3">Estiramientos globales</td></tr>
</table>

* En las últimas 3 semanas de entrenamiento se sustituye el día de entrenamiento físico por un entrenamiento específico en Apnea Indoor; es decir, durante las últimas 3 semanas de la temporada, ambos grupos, realizan el mismo entrenamiento.

Figura 6. Modelo de microciclo semanal para los grupos experimentales: grupo de Entrenamiento Cruzado, EC; y grupo de Entrenamiento Específico en Apnea, EEA.

3.4.1.- Bloques de entrenamiento común y específicos

Durante la temporada fueron desarrollados, por ambos grupos de EP, las siguientes capacidades comunes (Tabla 6) y específicas (Tabla 7 y 8).

Tipo de tarea	Tipo de Entrenamiento	Factor de rendimiento entrenado	Frecuencia /Semanal	Tiempo
Técnicas de respiración	Calentamiento (en seco)	AT	3 veces	15 min
Acondicionamiento de la musculatura inspiratoria	Calentamiento (en seco)	AT		
Técnicas de relajación	Calentamiento (en seco)	TM	3 veces	10 min

Tabla 6. Bloque de entrenamiento común de los grupos de EP desarrollados durante el calentamiento en seco. Capacidad total de almacenamiento de O_2 y CO_2 en el organismo, AT; tasa metabólica, TM; tolerancia individual a la asfixia, TA.

Tipo de tarea	Tipo de Entrenamiento	Factor de rendimiento entrenado	Frecuencia /Semanal	Tiempo
Técnicas de relajación (en apnea, en el agua)	STA o DYN o DNF	TM	1 vez (solo un tipo de tarea y entrenamiento por día)	1 hora
Técnica y Fuerza específica de nado subacuático	DYN o DNF	ENS		1 hora
Entrenamiento en Hipoxia o Hipercapnia	STA o DYN o DNF	TA	2 veces (solo un tipo de tarea y entrenamiento por día)	1 hora

Tabla 7. Bloque de entrenamiento específico del grupo de EEA desarrollados durante la parte principal del entrenamiento. Capacidad total de almacenamiento de O_2 y CO_2 en el organismo, AT; tasa metabólica, TM; tolerancia individual a la asfixia, TA.

Tipo de tarea	Tipo de Entrenamiento	Factor de rendimiento entrenado	Frecuencia /Semanal	Tiempo
Entrenamiento de resistencia en natación	Entrenamiento asociado	AT, TM, ENS y TA.	1 vez *	45 min
Circuito de fuerza	Entrenamiento asociado	AT, TM, ENS y TA.		15 min
Técnicas de relajación (en apnea, en el agua)	STA o DYN o DNF	TM	1 vez (solo un tipo de tarea y entrenamiento por día)	1 hora
Técnica y Fuerza específica de nado subacuático	DYN o DNF	ENS		1 hora
Entrenamiento en Hipoxia o Hipercapnia	STA o DYN o DNF	TA	1 vez (solo un tipo de tarea y entrenamiento por día)	1 hora

* Las últimas 3 semanas de entrenamiento se sustituye el día de entrenamiento asociado por el entrenamiento en Hipoxia o Hipercapnia en STA, DYN o DNF; pasando este último a entrenarse 2 veces por semana.

Tabla 8. Bloque de entrenamiento específico del grupo de EC desarrollado durante la parte principal del entrenamiento. Capacidad total de almacenamiento de O_2 y CO_2 en el organismo, AT; tasa metabólica, TM; tolerancia individual a la asfixia, TA; economía de nado subacuático, ENS.

3.4.2.- Periodización de la cargas de entrenamiento

Con el objetivo de lograr un único y máximo pico de forma al final de los entrenamientos programados se desarrolló un entrenamiento periodizado tradicional de cargas regulares, distribuido en: un Periodo Preparatorio General (PPG) y dos Periodos Preparatorios Específico (PPE I y II). Durante el PPG se realizó una familiarización de los entrenamientos haciendo hincapié en el aprendizaje de varias técnicas específicas como: la respiración diafragmática, técnicas de relajación, protocolos de seguridad o técnicas de propulsión

subacuática en DNF y DYN entre otras. El objetivo de la familiarización fue, en primer lugar, el dotar a los apneístas de una formación sólida en prevención y seguridad para poder encarar los entrenamientos programados con el máximo de garantías; y en segundo lugar, proveer a los deportistas de unos fundamentos técnicos básicos. Por otro lado, el Periodo Preparatorio Específico se subdividió en dos: en primer lugar, y durante 11 semanas, se desarrolló el Periodo Preparatorio Específico I (PPE I) que perseguía la adaptación a la hipercapnia y acidosis por parte del organismo, la mejora de la economía de nado subacuático, la capacidad de relajación, el aumento de la volemia con aumento asociado del hematocrito, el aumento de la contractibilidad y volumen esplénica, el aumento de la mioglobina, la mejora del reflejo de inmersión y el aumento de la capacidad pulmonar; y en segundo lugar tras 1 semana de descanso, se implementó el Periodo Preparatorio Específico II (PPE II), durante 11 semanas, cuyo propósito además de consolidar las adaptaciones producidas durante el PPE I, fue la mejora de la tolerancia a la asfixia individual y la adaptación a hipoxia severa por parte del organismo.

Así, la evolución del volumen y la intensidad de las cargas de entrenamiento, durante la temporada, estuvo determinada por los objetivos específicos de cada factor de rendimiento en cada uno de los periodos. En la figura 9 vienen representados el volumen por la frecuencia semanal de entrenamiento - escala de 1 a 3 -, y la intensidad mediante la escala de esfuerzo percibido o escala de Borg - escala del 1 al 10 -. Así, la intensidad del entrenamiento se fue controlando mediante la estimación individual del esfuerzo realizado.

Tal y como viene reflejado en dicha figura, el grupo de EEA dedicó un mayor volumen de trabajo al entrenamiento específico en STA, DYN y DNF; mientras que el grupo de EC dedicó parte de las sesiones al acondicionamiento físico mediante entrenamientos de resistencia y fuerza.

ENTRENAMIENTO CRUZADO		MES	ENE				FEB				MAR					ABR				MAY				JUN				
		PERIODO	PPE I													PPE II												
FACTORES DE RENDIMIENTO		SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Entrenamiento asociado	Entrenamiento de resistencia (natación)	Sesiones/semana	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1					
		EEP (Borg) (1-10)	3	7	3	8	3	9	3	10	3	10	3			8	3	8	3	8	3	8	3					
	Circuito de Fuerza (en seco)	Sesiones/semana	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1					
		EEP (Borg) (1-10)	2	3	4	5	6	7	8	9	9	10	10			9	9	8	8	8	8	8	8					
AT (en seco)	Técnicas de respiración	Sesiones/semana	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
		EEP (Borg) (1-10)	6	6	6	6	5	5	5	5	4	4	4			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	Acondicionamiento de la musculatura inspiratoria (en	Sesiones/semana	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
		EEP (Borg) (1-10)	6	6	6	6	5	5	5	5	4	4	4			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
TM	Técnicas de Relajación (en seco)	Sesiones/semana	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
		EEP (Borg) (1-10)																										
	STA, DYN/DNF (Técnica de relajación)	Sesiones/semana	1		1		1		1			1		1			1		1		1		1		1			
		EEP (Borg) (1-10)																										
ENS (en agua)	DYN/DNF (Técnica y Fuerza especifícade nado subacuática)	Sesiones/semana		1		1		1		1		1				1		1		1		1		1		1		
		EEP (Borg) (1-10)		2		4		6		8		10				9		9		8		8		7		7		
TA	STA (Hipoxia)	Sesiones/semana			1			1			1			2				1			1					2		
		EEP (Borg) (1-10)			7			7			7			10				8			9					10		
	DYN (Hipoxia)	Sesiones/semana														1				1				2				
		EEP (Borg) (1-10)														8				9				10				
	DNF (Hipoxia)	Sesiones/semana															1				1				2			
		EEP (Borg) (1-10)															8				9				10			
	DYN (Hipercapnia)	Sesiones/semana	1				1			1			1						1									
		EEP (Borg) (1-10)	6				7			9			10						10									
	DNF (Hipercapnia)	Sesiones/semana		1			1			1			1										1					
		EEP (Borg) (1-10)		6			7			9			10										10					

TEST CONTROL 1 — DESCANSO — TEST CONTROL 2

ENTRENAMIENTO ESPECÍFICO DE APNEA		MES	ENE				FEB				MAR					ABR				MAY				JUN				
		PERIODO	PPE I													PPE II												
FACTORES DE RENDIMIENTO		SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Entrenamiento asociado	Entrenamiento de resistencia (natación)	Sesiones/semana																										
		EEP (Borg) (1-10)																										
	Circuito de Fuerza (en seco)	Sesiones/semana																										
		EEP (Borg) (1-10)																										
AT (en seco)	Técnicas de respiración	Sesiones/semana	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
		EEP (Borg) (1-10)	6	6	6	6	5	5	5	5	4	4	4			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	Acondicionamiento de la musculatura inspiratoria (en	Sesiones/semana	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
		EEP (Borg) (1-10)	6	6	6	6	5	5	5	5	4	4	4			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
TM	Técnicas de Relajación (en seco)	Sesiones/semana	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
		EEP (Borg) (1-10)																										
	STA, DYN/DNF (Técnica de relajación)	Sesiones/semana	1		1		1		1			1		1			1		1		1		1		1			
		EEP (Borg) (1-10)																										
ENS (en agua)	DYN/DNF (Técnica y Fuerza especifícade nado subacuática)	Sesiones/semana		1		1		1		1		1				1		1		1		1		1		1		
		EEP (Borg) (1-10)		2		4		6		8		10				9		9		8		8		7		7		
TA	STA (Hipoxia)	Sesiones/semana			2			2			2			2				2			2					2		
		EEP (Borg) (1-10)			7			7			7			10				8			9					10		
	DYN (Hipoxia)	Sesiones/semana														2				2				2				
		EEP (Borg) (1-10)														8				9				10				
	DNF (Hipoxia)	Sesiones/semana															2				1				2			
		EEP (Borg) (1-10)															8				9				10			
	DYN (Hipercapnia)	Sesiones/semana	2				2			2			2						2									
		EEP (Borg) (1-10)	6				7			9			10						10									
	DNF (Hipercapnia)	Sesiones/semana		2				2			2			2									2					
		EEP (Borg) (1-10)		6				7			9			10									10					

TEST CONTROL 1 — DESCANSO — TEST CONTROL 2

* En gris, el entrenamiento específico de cada grupo de entrenamiento.

Figura 9. Periodización de las cargas para el grupo de entrenamiento cruzado - EC, y el grupo de entrenamiento de apnea tradicional - EEA.

A continuación se muestra detalladamente las tres sesiones de entrenamiento semanales: sesión 1 (Tabla 7 y 8), sesión 2 (Tabla 9) y sesión 3 (Tabla 10) - para los grupos de EC y EEA.

Semana	Grupo de Entrenamiento Cruzado. SESIÓN 1 (LUNES) Parte principal del entrenamiento Descripción del entrenamiento	Objetivos
1	**R :** 45 min de nado continuo al 3 de la EEP. **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=20, r=30´´. EEP= 2.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
2	**R :** Natación al 7 de la EEP. Series= 2, R= 3´, Repeticiones=10 (25 m), r=30´´. **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=24 r=30´´. EEP= 3.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
3	**R :** 45 min de nado continuo al 3 de la EEP. **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=28, r=30´´. EEP= 4.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
4	**R :** Natación al 7 de la EEP. Series= 3, R= 3´, Repeticiones=6 (25 m), r=30´´ . **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=32 r=30´´ . EEP= 5.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
5	**R :** 45 min de nado continuo al 3 de la EEP. **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=36, r=30´´. EEP= 6.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
6	**R :** Natación al 7 de la EEP. Series= 3, R= 3´, Repeticiones=8 (25 m), r=30´´ . **C-Fz**: 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=40 r=30´´. EEP= 7.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
7	**R :** 45 min de nado continuo al 3 de la EEP. **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=44, r=30´´. EEP= 8.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
8	**R :** Natación al 7 de la EEP. Series= 3, R= 3´, Repeticiones=10 (25 m), r=30´´ . **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=48 r=30´´ . EEP= 9.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
9	**R :** 45 min de nado continuo al 3 de la EEP. **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=48, r=30´´. EEP= 9.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
10	**R :** Natación al 7 de la EEP. Series= 3, R= 3´, Repeticiones=10 (25 m), r=30´´ . **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=50 r=30´´ . EEP= 10.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
11	**R :** 45 min de nado continuo al 3 de la EEP. **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=50, r=30´´. EEP= 10,	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
12	**R :** Natación al 7 de la EEP. Series= 3, R= 3´, Repeticiones=10 (25 m), r=30´´ . **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=50 r=30´´. EEP= 9,	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
13	**R :** 45 min de nado continuo al 3 de la EEP. **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=50, r=30´´. EEP= 9,	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering

14	**R :** Natación al 7 de la EEP. Series= 3, R= 3´, Repeticiones=10 (25 m), r=30´´ . **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=50 r=30´´. EEP= 8.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
15	**R :** 45 min de nado continuo al 3 de la EEP. **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=50, r=30´´. EEP= 8,	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
16	**R :** Natación al 7 de la EEP. Series= 3, R= 3´, Repeticiones=10 (25 m), r=30´´ . **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=50 r=30´´. EEP= 8.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
17	**R :** 45 min de nado continuo al 3 de la EEP. C-Fz: 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=50, r=30´´. EEP= 8,	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
18	**R :** Natación al 7 de la EEP. Series= 3, R= 3´, Repeticiones=10 (25 m), r=30´´ . C-Fz: 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=50 r=30´´. EEP= 8.	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
19	**R :** 45 min de nado continuo al 3 de la EEP. **C-Fz:** 10 ejercicios en seco y en apnea. Repeticiones=50, r=30´´. EEP= 8,	Acondicionamiento físico en fuerza y resistencia . Aumento de la Volemia. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
20	**DYN (O2):** Calentamiento. Repeticiones= 4, Distancia en apnea= 60% MP r=3´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 10.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
21	**DNF (O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 10.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
22	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 10.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.

* R= Entrenamiento en resistencia; C-Fz= Circuito de fuerza; EEP= Escala de esfuerzo percibido (1-10) (Borg); STA o DYN o DNF (O2)= Entrenamiento en hipoxia; DYN o DNF (CO2)= Entrenamiento en hipercapnia.

Tabla 7. Sesión 1 (LUNES) en el grupo de EC.

Semana	Grupo de Entrenamiento a¡en Apnea Tradicional. SESIÓN 1 (LUNES) Parte principal del entrenamiento Descripción del entrenamiento	Objetivos
1	**DYN (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´.R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 6. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
2	**DNF (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 6. . **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
3	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 7.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.
4	**DYN (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 7. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
5	**DNF (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 7. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering

6	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 7.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.
7	**DYN (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 9. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
8	**DNF (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 9. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
9	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 7.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.
10	**DYN (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=5´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 10. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
11	**DNF (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=5´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 10. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
12	**DYN (O2):** Calentamiento. Repeticiones= 4, Distancia en apnea= 60% MP, r=3´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 8.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
13	**DNF (O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 8.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
14	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 8.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.
15	**DYN (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=5´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 10. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
16	**DYN (O2):** Calentamiento. Repeticiones= 4, Distancia en apnea= 60% MP r=3´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 9	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
17	**DNF (O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 9.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
18	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 9.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.
19	**DNF (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=5´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 10. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
20	**DYN (O2):** Calentamiento. Repeticiones= 4, Distancia en apnea= 60% MP r=3´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 10.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
21	**DNF (O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 10.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
22	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 10.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.

*STA o DYN o DNF (O2)= Entrenamiento en hipoxia; DYN o DNF (CO2)= Entrenamiento en hipercapnia.

Tabla 8. Sesión 1 (LUNES) en el grupo de EEA.

Semana	Grupos de EC y de EAT. SESIÓN 2 (MIÉRCOLES) Parte principal del entrenamiento Descripción del entrenamiento	Objetivos
1	**TR:** En STA tratar de aumentar el tiempo de la 1ª fase de la apnea (hasta la 1º contracción). Tiempo= 20 min. Aumento de tiempo en DYN (sin importar la distancia recorrida). Tiempo= 20 min.	Disminución de la TM durante la apnea.
2	**T/Fz-nado:** Ejercicios de técnica específica de nado en DYN y DNF. Tiempo 30 min. Ejercicios de hidrodinámica. Tiempo= 10 min. Ejercicios de Fz especifica de nado de DYN. 20 min. EEP = 2.	Aumento de la hidrodinámica y de la eficiencia de nado subacuático.
3	**TR:** En STA tratar de aumentar el tiempo de la 1ª fase de la apnea (hasta la 1º contracción). Tiempo= 20 min. Aumento de tiempo en DYN (sin importar la distancia recorrida). Tiempo= 20 min.	Disminución de la TM durante la apnea.
4	**T/Fz-nado:** Ejercicios de técnica específica de nado en DYN y DNF. Tiempo 30 min. Ejercicios de hidrodinámica. Tiempo= 10 min. Ejercicios de Fz especifica de nado de DYN. 20 min. EEP = 4.	Aumento de la hidrodinámica y de la eficiencia de nado subacuático.
5	**TR:** En STA tratar de aumentar el tiempo de la 1ª fase de la apnea (hasta la 1º contracción). Tiempo= 20 min. Aumento de tiempo en DYN (sin importar la distancia recorrida). Tiempo= 20 min.	Disminución de la TM durante la apnea.
6	**T/Fz-nado:** Ejercicios de técnica específica de nado en DYN y DNF. Tiempo 30 min. Ejercicios de hidrodinámica. Tiempo= 10 min. Ejercicios de Fz especifica de nado de DYN. 20 min. EEP = 6.	Aumento de la hidrodinámica y de la eficiencia de nado subacuático.
7	**TR:** En STA tratar de aumentar el tiempo de la 1ª fase de la apnea (hasta la 1º contracción). Tiempo= 20 min. Aumento de tiempo en DYN (sin importar la distancia recorrida). Tiempo= 20 min.	Disminución de la TM durante la apnea.
8	**T/Fz-nado:** Ejercicios de técnica específica de nado en DYN y DNF. Tiempo 30 min. Ejercicios de hidrodinámica. Tiempo= 10 min. Ejercicios de Fz especifica de nado de DYN. 20 min. EEP = 8.	Aumento de la hidrodinámica y de la eficiencia de nado subacuático.
9	**TR:** En STA tratar de aumentar el tiempo de la 1ª fase de la apnea (hasta la 1º contracción). Tiempo= 20 min. Aumento de tiempo en DYN (sin importar la distancia recorrida). Tiempo= 20 min.	Disminución de la TM durante la apnea.
10	**T/Fz-nado:** Ejercicios de técnica específica de nado en DYN y DNF. Tiempo 30 min. Ejercicios de hidrodinámica. Tiempo= 10 min. Ejercicios de Fz especifica de nado de DYN. 20 min. EEP = 10.	Aumento de la hidrodinámica y de la eficiencia de nado subacuático.
11	**TR:** En STA tratar de aumentar el tiempo de la 1ª fase de la apnea (hasta la 1º contracción). Tiempo= 20 min. Aumento de tiempo en DYN (sin importar la distancia recorrida). Tiempo= 20 min.	Disminución de la TM durante la apnea.
12	**T/Fz-nado:** Ejercicios de técnica específica de nado en DYN y DNF. Tiempo 30 min. Ejercicios de hidrodinámica. Tiempo= 10 min. Ejercicios de Fz especifica de nado de DYN. 20 min. EEP = 9.	Aumento de la hidrodinámica y de la eficiencia de nado subacuático.
13	**TR:** En STA tratar de aumentar el tiempo de la 1ª fase de la apnea (hasta la 1º contracción). Tiempo= 20 min. Aumento de tiempo en DYN (sin importar la distancia recorrida). Tiempo= 20 min.	Disminución de la TM durante la apnea.
14	**T/Fz-nado:** Ejercicios de técnica específica de nado en DYN y DNF. Tiempo 30 min. Ejercicios de hidrodinámica. Tiempo= 10 min. Ejercicios de Fz especifica de nado de DYN. 20 min. EEP = 9.	Aumento de la hidrodinámica y de la eficiencia de nado subacuático.
15	**TR:** En STA tratar de aumentar el tiempo de la 1ª fase de la apnea (hasta la 1º contracción). Tiempo= 20 min. Aumento de tiempo en DYN (sin importar la distancia recorrida). Tiempo= 20 min.	Disminución de la TM durante la apnea.
16	**T/Fz-nado:** Ejercicios de técnica específica de nado en DYN y DNF. Tiempo 30 min. Ejercicios de hidrodinámica. Tiempo= 10 min. Ejercicios de Fz especifica de nado de DYN. 20 min. EEP = 8.	Aumento de la hidrodinámica y de la eficiencia de nado subacuático.
17	**TR:** En STA tratar de aumentar el tiempo de la 1ª fase de la apnea (hasta la 1º contracción). Tiempo= 20 min. Aumento de tiempo en DYN (sin importar la distancia recorrida). Tiempo= 20 min.	Disminución de la TM durante la apnea.
18	**T/Fz-nado:** Ejercicios de técnica específica de nado en DYN y DNF. Tiempo 30 min. Ejercicios de hidrodinámica. Tiempo= 10 min. Ejercicios de Fz especifica de nado de DYN. 20 min. EEP = 8.	Aumento de la hidrodinámica y de la eficiencia de nado subacuático.
19	**TR:** En STA tratar de aumentar el tiempo de la 1ª fase de la apnea (hasta la 1º contracción). Tiempo= 20 min. Aumento de tiempo en DYN (sin importar la distancia recorrida). Tiempo= 20 min.	Disminución de la TM durante la apnea.

20	**T/Fz-nado:** Ejercicios de técnica específica de nado en DYN y DNF. Tiempo 30 min. Ejercicios de hidrodinámica. Tiempo= 10 min. Ejercicios de Fz especifica de nado de DYN. 20 min. EEP = 7.	Aumento de la hidrodinámica y de la eficiencia de nado subacuático.
21	**TR:** En STA tratar de aumentar el tiempo de la 1ª fase de la apnea (hasta la 1º contracción). Tiempo= 20 min. Aumento de tiempo en DYN (sin importar la distancia recorrida). Tiempo= 20 min.	Disminución de la TM durante la apnea.
22	**T/Fz-nado:** Ejercicios de técnica específica de nado en DYN y DNF. Tiempo 30 min. Ejercicios de hidrodinámica. Tiempo= 10 min. Ejercicios de Fz especifica de nado de DYN. 20 min. EEP = 7.	Aumento de la hidrodinámica y de la eficiencia de nado subacuático.

*TR= Técnicas de relajación; T/Fz-nado= Técnica y Fuerza de nado específica en DYN y DNF.

Tabla 9. Sesión 2 (MIÉRCOLES) en los grupos de EC y EEA.

Semana	Grupos de EC y de EAT. SESIÓN 3 (VIERNES) Parte principal del entrenamiento Descripción del entrenamiento	Objetivos
1	**DYN (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´.R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 6. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
2	**DNF (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 6. . **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
3	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 7.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.
4	**DYN (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 7. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
5	**DNF (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 7. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
6	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 7.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.
7	**DYN (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 9. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
8	**DNF (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 9. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
9	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 7.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.
10	**DYN (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=5´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 10. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering

11	**DNF (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=5´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 10. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
12	**DYN (O2):** Calentamiento. Repeticiones= 4, Distancia en apnea= 60% MP, r=3´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 8.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
13	**DNF (O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 8.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
14	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 8.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.
15	**DYN (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=5´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 10. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
16	**DYN (O2):** Calentamiento. Repeticiones= 4, Distancia en apnea= 60% MP r=3´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 9	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
17	**DNF (O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 9.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
18	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 9.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.
19	**DNF (CO2):** Serie 1. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=20´´. R= 3´. Serie 2. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=10´´. R= 3´. Serie 3. Repeticiones= 6, Distancia en apnea: 25 m, r=5´´. R= 3´. Serie 4. (estilo libre) Repeticiones= 10, Distancia en apnea: 25 m, r=30´´. EEP= 10. *Se usan aletas cortas. **A máxima velocidad de nado.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de CO2. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado. Mejora del sistema buffering
20	**DYN (O2):** Calentamiento. Repeticiones= 4, Distancia en apnea= 60% MP r=3´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 10.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
21	**DNF (O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 10.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea. Aumento de la hidrodinámica y en la eficiencia de nado.
22	**STA(O2):** Exhale. Repeticiones= 6, Tiempo en apnea= 1´, r=15´´. STAmax. Repeticiones= 3, Tiempo en apnea= marca personal, r=10´. (Con seguridad del compañero) EEP= 10.	Adaptaptación de los quimiorreceptores de O2. Disminución de la TM durante la apnea.

*STA o DYN o DNF (O2)= Entrenamiento en hipoxia; DYN o DNF (CO2)= Entrenamiento en hipercapnia.

Tabla 10. Sesión 3 (VIERNES) en los grupos de EC y EEA.

3.4.3.- Programas de entrenamiento para el desarrollo de la Apnea Indoor

El programa de entrenamiento diseñado trató de reunir los principios de progresión, especificidad e individualidad del entrenamiento; además, dicho programa de entrenamiento deberá producir un estímulo lo suficientemente intenso como para provocar la respuesta de adaptación deseada, sin llegar a

producir fatiga (sobrentrenamiento). Una vez alcanzada la adaptación del estímulo por parte del organismo, será necesario que se incremente - o modifique - para poder continuar con la progresión. Teniendo en cuenta todas estas directrices, se muestra a continuación los contenidos de entrenamiento que se han llevado a cabo durante la presente investigación:

a) Técnicas de respiración (en seco). Con el objetivo de aumentar la CV del apneísta, se realizaron técnicas específicas de respiración durante 7 minutos antes de la parte principal, que consistieron en el uso de la "triple respiración". Se trata de secuenciar correctamente la respiración diafragmática, torácica y clavicular; así, cada una de estas tres secuencias provoca el llenado de aire en una zona distinta de los pulmones, por lo que la respiración completa, combinando los tres tipos de respiración, permite llenar y vaciar los pulmones completamente [162].

b) Acondicionamiento de la musculatura inspiratoria y sinergista (en seco). Se trabajó, durante 8 minutos antes de la parte principal, mediante estiramientos torácicos específicos en inspiración máxima. El objetivo era aumentar la amplitud de movimiento provocado por la mejora en la elasticidad de la columna vertebral, articulaciones costovertebrales, articulaciones costoesternales y los músculos implicados en los procesos inspiratorios (tanto los que producen el movimiento como los que con su elasticidad permiten una mayor inspiración) - músculos intercostales externos, diafragma, músculo esternocleidomastoideo, escalenos, pectorales mayor y menor, músculo dorsal ancho, músculos serratos anterior y posterior, músculos intercostal interno y los músculos de la pared abdominal.

c) Técnicas de Relajación (en seco). Después de trabajar el acondicionamiento físico de la musculatura inspiratoria y la técnica respiratoria, se entrenó durante 10 minutos técnicas autógenas de relajación con el objetivo de bajar la tasa metabólica del apneísta y poder así encarar en mejores condiciones la parte principal del entrenamiento. Además, el entrenamiento en meditación debía de ayudar al apneísta a conseguir una mayor capacidad de relajación ante situaciones de estrés o de competición [163].

d) Entrenamiento de resistencia en natación. El grupo de EC realizó una serie de ejercicios en natación para la mejora de la resistencia aeróbica y anaeróbica. Los ejercicios se alternaron, cada semana, entre un entrenamiento continuo - consistente en un nado continuo a estilo libre durante 45 min - y un entrenamiento interválico intensivo - con series de 25 m de natación a estilo libre y recuperaciones incompletas-. En este último tipo de entrenamiento se fue aumentando el volumen de la carga a lo largo de la temporada; empezando con 2 series de 10 repeticiones con descanso de 30 segundos y acabando con 3 series de 10 repeticiones con descanso de 30 segundos. La bajada de la EEP, por parte de los apneístas, en las últimas sesiones del macrociclo se debe a la adaptación al entrenamiento de resistencia lograda por los mismos.

e) Circuito de Fuerza (en seco). Otro de los ejercicios realizados exclusivamente por el grupo de EC fue el circuito de fuerza en seco. Los apneístas realizaron 10 series de ejercicios, que implicaron a una gran cantidad de grupos musculares, con 30 segundos de descanso entre ejercicio y ejercicio. La intensidad y volumen de entrenamiento fueron aumentando a lo largo de las sesiones; pasando de las 20 repeticiones iníciales en cada ejercicio a hacer 50 repeticiones al final de la temporada. En esta ocasión la bajada en la EEP en las

últimas sesiones - de 9 a 7 con la misma densidad de trabajo - se debe a la adaptación y tolerancia a la hipercapnia desarrollada por los apneístas y producida por el entrenamiento.

f) Técnica de relajación en STA, DYN y DNF. Se entrenaba durante 1 hora - con 20 minutos dedicados a cada una de las disciplinas (STA, DYN y DNF) - al apneísta para aumentar la capacidad de control y relajación en situaciones de hipoxia e hipercapnia. En la STA los apneístas debían de permanecer relajados y contabilizar el tiempo trascurrido hasta la 1ª contracción diafragmática/intercostal. El tiempo trascurrido hasta el PBP debía, por supuesto, ir aumentando con el paso de las semanas. Respecto a las disciplinas dinámicas, se dio la instrucción de realizar apneas de larga duración; es decir, en vez de contabilizar los metros, se tuvo en cuenta el tiempo trascurrido en DYN o DNF, permitiendo así al apneísta adoptar una postura relajada - sin importar la hidrodinámica - que le hiciera consumir el mínimo oxígeno posible.

g) Técnica y Fuerza específica de nado subacuático en DYN/DNF. Para la mejora de la ENS, los apneístas realizaron un entrenamiento secuenciado en tres partes: primero se trabajó la técnica específica en DYN/DNF durante 15 min cada una, seguidamente se realizaron ejercicios para la mejora de la hidrodinámica durante 10 minutos y por último se entrenó la fuerza específica de nado en ambas disciplinas, haciendo hincapié en el desarrollo de la musculatura específica en DYN (Deltoides, Serrato anterior, Iliopsoas, Cuádriceps, Recto abdominal, Tibial anterior) y en DNF (Dorsal ancho, Aductores de cadera, Abductores de cadera, Tríceps, Pectoral mayor y menor, Deltoides).

h) STA (O_2) (Hipoxia). Para mejorar la TA de los apneístas fue necesario realizar una serie de ejercicios que desencadenaran la hipoxia e hipercapnia en el organismo. En los ejercicios de hipoxia el objetivo era alcanzar la mínima SaO_2 posible; por lo tanto los descansos fueron completos - de 10 min - y las apneas máximas (marca personal). Teniendo en cuenta la especificidad de este factor en el rendimiento de la Apnea Indoor, se entrenó con alta intensidad en la recta final del PPE II, en donde la EEP de los apneístas tras este tipo de entrenamiento tenía que rondar los 10 puntos. Debido al posible presíncope, este tipo de entrenamiento se realizó, siempre, bajo la supervisión de un compañero.

i) DYN y DNF (O_2) (Hipoxia). El objetivo y los procedimientos fueron los mismos que en el entrenamiento de "STA (O_2) (Hipoxia)"; no obstante, en esta ocasión la seguridad la hizo un compañero equipado con bialetas. El entrenamiento, tanto en hipoxia como en hipercapnia fue de 1 hora de duración.

j) DYN y DNF (CO_2) (Hipercapnia). En este tipo de entrenamiento, al contrario que en los de hipoxia, se perseguía aumentar la tolerancia de los apneístas frente a altos niveles de CO_2 y acidosis en el cuerpo; además de mejorar el sistema buffering de aclarado del ácido láctico. Debido a esto, la STA, al producir menos hipercapnia que las pruebas dinámicas [118, 160], se descartó para este tipo de entrenamiento. Así pues, se realizaron ejercicios en DYN o DNF, dependiendo la sesión, de varias repeticiones con recuperaciones incompletas para impedir la eliminación del CO_2 e ir aumentando progresivamente, repetición a repetición, el nivel de CO_2 en sangre. A fin de alcanzar una mayor acumulación de CO_2 en el organismo, en este tipo de entrenamiento, la velocidad de nado aplicada fue la máxima individual. Así, el

entrenamiento constaba de 3 series de 6 repeticiones de 25 m cada una - en dinámicas con aletas cortas o en DNF - y de una última serie de 10 repeticiones en estilo libre de natación (en apnea). La recuperación fue de 3 minutos entre cada serie y variable entre las repeticiones, siendo la recuperación entre las repeticiones la que marcó la intensidad del entrenamiento; pasando de 30", en las 4 series, al principio de temporada a 20 ´´ en la 1ª serie, 10´´ en la 2ª serie, 5´´ en la 3ª serie y 30´´ en la última serie.

3.5.- TEST DE CONTROL Y EQUIPAMIENTO

La batería de test se realizó a lo largo de una semana - y excepto la extracción sanguínea y posterior análisis - todos los test tuvieron lugar en las instalaciones de la Facultad en Ciencias del Deporte de la Universidad de Castilla-la Mancha (Ilustración 2). Las condiciones ambientales de los laboratorios oscilaron entre 22-25 ºC y 51-59% de humedad; mientras que la temperatura del agua en la piscina varió entre los 26-27 ºC. Antes de la realización de los test, cada sujeto firmó un consentimiento informado en donde se les notificaba, de forma verbal y escrita, sobre las indicaciones, contraindicaciones y posibles riesgos que conllevaba la realización de los test. El "factor grupo" (detallado en el apartado 3.2.2; pág. 41) fue la variable independiente del estudio; por otro lado, las variables dependientes (detalladas en el apartado 3.2.1; pág. 40) medidas en la presente tesis fueron las siguientes:

- Hb, Hct, Hm, V, VO_{2max}, FC_{max}, CV, VO_{2r}, FC_r, $FC_{min\text{-}sta}$, FC_{sta}, PGC, MMC, PMMC, DMO, SpO_{2r}, SpO_{2sta} y concentración de ácido láctico.

Ilustración 2. Instalaciones del Módulo Acuático y del Laboratorio de Entrenamiento Deportivo de la Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo (UCLM). Foto: Fernández, FA.

3.5.1.- Hemograma

La extracción de sangre se llevó a cabo en una clínica especializada (Betanzos 60, Madrid) a primera hora de la mañana y en ayunas; así, la ingesta de alimentos y bebida no fue permitida durante las 8 horas previas a la realización del test. Una vez realizada la extracción se envió la muestra de sangre al laboratorio (Megalab S.A) para su posterior análisis. Así, los parámetros analizados fueron la Hb circulante con valores de referencia de 13 a 17 g/L, el Hct con valores de referencia del 39 al 50 % , y el número de Hm con valores normales de 4.3 a 5.7 mln/mm^3 o /μL [164].

3.5.2.- Calculo de la volemia

Para realizar el cálculo indirecto de la volemia individual, a través de la fórmula de Nadler [Volemia = 0,3669 × altura (m) ^{3} + 0.03219 × peso (Kg) + 0.6041] para hombres [165], se obtuvieron la talla y el peso. Dichas mediciones se realizaron a las 9 de la mañana y en ayunas mediante una báscula mecánica de

columna con tallímetro SECA (modelo 720, Vogel & Halke, Alemania). Para la medición de la altura se pidió al sujeto que se descalzara y que, con los pies juntos y en posición erecta, realizara una inspiración. Respecto a la medición del peso, se invitó a los participantes a realizar un vaciado vesical antes de subirse a la báscula.

3.5.3.- Espirometría

Por su parte, la espirometría, fue realizada en el laboratorio a través de un espirómetro portable (Spirostik/Bluecherry. Geratherm Respiratory GmbH) con el fin de obtener la CV del apneísta (Ilustración 3). De manera previa a la realización de la prueba, el sujeto fue instruido sobre la maniobra a realizar. Se precisaba que el deportista, tras una inspiración máxima, realizase una exhalación hasta su volumen residual logrando llenar y vaciar sus pulmones completamente [166-167], no estando permitidas maniobras de IG durante la inspiración. Así, para la adecuada realización de la prueba, el sujeto utilizó una pinza nasal con el fin de evitar fugas de aire por la nariz durante la fase espiratoria. Toda la maniobra fue repetida tres veces, siendo anotado únicamente el máximo valor de CV alcanzado en cualquiera de los tres intentos.

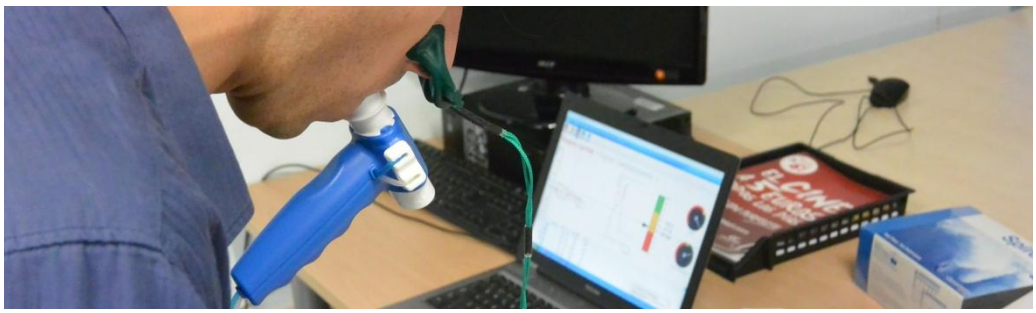


Ilustración 3. Test de espirometría realizado para la obtención de la CV del apneísta.

3.5.4.- Test incremental (Smith)

Se analizó la capacidad aeróbica máxima ($VO2_{max}$) y la frecuencia cardiaca máxima (FC_{max}) del apneísta mediante un test incremental basado en el test de Smith y cols, [168]. Así, el valor máximo de consumo de oxígeno, expresado en ml/kg/min, se obtuvo mediante la medición directa de gases a través del analizador de mesa del laboratorio (Ultima CPX™. Medical Graphics Corporation). Por otro lado la FC fue monitorizada a lo largo de todo el test mediante un electrocardiógrafo conectado a un ordenador (ECG recorder, WelchAllyn®CardioPerfect™Workstation) que recibía la señal desde diez electrodos - cuatro electrodos periféricos y seis electrodos precordiales - colocados de la siguiente manera sobre el cuerpo del apneísta:

Ilustración 4. Colocación de los diferentes electrodos periféricos y precordiales, en el cuerpo del apneísta, para la realización de un electrocardiograma..

- Cuatro electrodos periféricos que pueden situarse sobre las muñecas y tobillos, o próximos a los hombros y caderas, pero deben estar equilibrados (derecho vs izquierdo).

- Seis electrodos precordiales que van colocados en la región precordial:

V1: En el Cuarto espacio intercostal, en el borde derecho del esternón.

V2: En el Cuarto espacio intercostal, en el borde izquierdo del esternón.

V3: A la mitad de distancia entre los electrodos V2 y V4.

V4: En el quinto espacio intercostal en la línea medio-clavicular.

V5: En la misma línea horizontal que el electrodo V4, pero en la línea axilar anterior.

V6: En la misma línea horizontal que los electrodos V4 y V5, pero en la línea medio-axilar.

El test se realizó en un cinta ergométrica (H/P Cosmos Pulsar, H/P/COSMOS 3P 4.0 ®, H/P/COSMOS. Sports&Medical, Alemania), comenzando con un calentamiento a 8 km/h durante 5 minutos. Una vez concluido el calentamiento, se fue incrementando la velocidad cada minuto en 1 km/h hasta la extenuación del deportista. La pendiente permaneció constante, en un 1%, durante todo el test (Tabla 11).

Etapa	0	1	2	3	4	5	n
Duración (min)	5	1	1	1	1	1	1
Pendiente (%)	1	1	1	1	1	1	1
Velocidad (km/h)	x	x + 1	x + 2	x + 3	x + 4	x + 5	x + n

Tabla 11. Protocolo del test incremental basado en el test de Smith y cols., [168]; x = 8km/h.

En este tipo de test, incremental y sin recuperaciones, el $VO2_{max}$ se define como la media de los dos mayores valores en 15 segundos consecutivos del VO_2 alcanzados sobre el final de la prueba. Todo esto, siempre y cuando se cumplan los siguientes criterios: la aparición de una meseta del VO_2 a pesar del aumento en la intensidad del esfuerzo, haber alcanzado un cociente respiratorio (VCO_2/VO_2) igual o superior a 1.15 y alcanzar la frecuencia cardiaca máxima teórica del sujeto [150, 169]. En caso de no haberse cumplido con alguno de estos criterios, el máximo valor de VO_2 registrado en la prueba no podrá considerarse VO_{2max} y se denomina VO_{2pico}.

3.5.5.- Test de composición corporal

Todos los sujetos fueron citados a las ocho de la mañana para realizarse la composición corporal mediante un escáner de Densitometría Fotónica dual de Rayos X (DXA) (GE Lunar Prodigy Bone Densitometer, Bedford, USA) que divide el cuerpo en masa magra, masa mineral ósea y masa grasa [170]; es decir, todos ellos fueron medidos entre las ocho y diez de la mañana con al menos ocho horas en ayunas (de bebida y comida), con vaciado vesical y tras 12 horas sin realizar esfuerzos físicos. Para la realización de la prueba, los sujetos debían de quedarse en ropa interior, desprovistos de cualquier tipo de objeto metálico - collares, relojes, anillos, gafas... - que llevasen encima; además, se había de anotar cualquier clase de implante o prótesis que tuviese el apneísta, para ponderarlo en el análisis ulterior. Durante la realización de la prueba, tal y como se muestra en la Ilustración 5, el apneísta permaneció inmóvil en decúbito supino a lo largo de los seis minutos que duraba el test. Una vez finalizada la prueba, se obtuvieron los informes individuales en donde venían reflejaron los valores del porcentaje de grasa corporal, masa magra

corporal, porcentaje de masa magra corporal y densidad mineral ósea de cada uno de los sujetos.

Ilustración 5. Test DXA para la valoración de la composición corporal del apneísta. Foto: Fernández, FA.

3.5.6.- Test de tasa metabólica en reposo

Para la obtención de la tasa metabólica en reposo (TM_r) se calculó, mediante calorimetría indirecta, el consumo de oxígeno a través de la medición directa de gases. La calorimetría indirecta es un método no invasivo que se basa en que todos los procesos metabólicos dependen de la oxidación biológica; es decir, de la oxidación que se produce en la célula. Es por ello que, medir la tasa de consumo de oxígeno nos da una buena estimación de la tasa de producción de calor y de la tasa metabólica [152]. Debido a la gran variedad de factores condicionantes/contaminantes internos y externos al sujeto [83], los requisitos para la realización del test debían de guardar un estricto protocolo; esto significa que el sujeto debía de permanecer en ayunas durante las ocho horas

previas a la realización de la prueba, debía de estar relajado física y mentalmente, acostado en posición supina y la temperatura ambiental debía de oscilar en un rango confortable alrededor de los 23-24 °C. Por otro lado el sujeto no debe tener ningún temor acerca de la prueba.

Previamente a la realización del test, el apneísta - en posición supina, con ojos cerrados y en un laboratorio en silencio - permanece relajado durante diez minutos. Una vez alcanzados los diez minutos de relajación previa, con el apneísta en decúbito supino (Ilustración 6), da comienzo el test monitorizándose durante cinco minutos la respiración de los apneístas a través de una máscara conectada a un analizador de gases de mesa (Ultima CPX™. Medical Graphics Corporation). El dato obtenido sobre el VO_2 relativo, expresado en ml/kg/min, fue convertido en METS - unidad de medida del índice metabólico y corresponde a 3,5 ml O_2/kg/min -; y este, a su vez, fue convertido en calorías por minuto mediante la siguiente formula [*Cal*min= METS*3.5*Peso corporal / 200]*.

Ilustración 6. Test para la valoración de la tasa metabólica en reposo - TM_r. Foto: © Club Apnea Madrid.

Por otro lado, para llevar a cabo el registro de la frecuencia cardiaca en reposo - FC_r, se monitorizó la FC durante todo el test mediante un electrocardiógrafo conectado a un ordenador (ECG recorder, WelchAllyn® CardioPerfect™ Workstation). La colocación de los electrodos - cuatro electrodos periféricos y seis electrodos precordiales, fue la misma que el test incremental (apartado 3.5.4; pág. 64).

3.5.7.- Cálculo de la tasa metabólica durante la apnea

Una vez terminada la medición de gases, y para la obtención de la TM_{sta}, el apneísta, tras 5 minutos de cuenta-atrás realizó una apnea estática máxima (en seco) en posición prona, con la cabeza y brazos relajados encima de una mesa, colocada para la ocasión, en frente de la camilla (Ilustración 7). Al alcanzar los últimos 30 segundos de la cuenta regresiva, se colocó una pinza nasal o "noseclip" al apneísta con el fin de evitar así posibles fugas de aire por la nariz durante la segunda fase de la apnea o "fase de lucha". En la última respiración previa a la apnea, el sujeto realizó una exhalación hasta su volumen residual seguida de una inspiración profunda pero no máxima - no estando permitida la IG. Una vez en apnea, el sujeto debía de permanecer el mayor tiempo posible antes de volver a respirar. La prueba se realizó bajo la seguridad y control del investigador principal, quién estaba en posesión de un curso en primeros auxilios y salvamento - otorgado por la Federación Madrileña de Socorrismo y Salvamento; además del título de administrador de oxígeno - homologado por la Federación Española de Actividades Subacuáticas.

Para el registro de la frecuencia cardiaca durante la apnea se monitorizó la FC del apneísta durante todo el test mediante un electrocardiógrafo conectado a un ordenador (ECG recorder, WelchAllyn®CardioPerfect™Workstation). La

colocación de los electrodos fue la misma que la usada en el test incremental (apartado 3.5.4; pág. 64). Además, con objetivo de calcular la FC_{sta}, fueron recogidos los datos de FC a partir desde los primeros 30 segundos de apnea - una vez esta se había estabilizado [21-22] - hasta la ruptura de la misma. La frecuencia cardiaca mínima alcanzada durante la apnea - $FC_{min\text{-}sta}$, se obtuvo extrayendo el valor mínimo de FC registrado durante la apnea.

Ilustración 7. Test para la valoración de la tasa metabólica durante la apnea estática máxima - $TM_{sta.}$ .Foto: © Club Apnea Madrid.

3.5.8.- Test de tolerancia a la asfixia

Para la obtención de la saturación mínima de oxígeno durante la apnea (SpO_{2sta}), se realizó un test máximo de apnea estática en seco. Previamente a la realización del test, el apneísta permaneció durante diez minutos relajándose en posición prona, con la cabeza y brazos apoyados encima de una mesa

colocada en frente de la camilla (Ilustración 8). Una vez finalizada la relajación, y manteniendo la posición, el apneísta dispuso de una cuenta-atrás de dos minutos antes de realizar una apnea de calentamiento de dos minutos de duración; seguidamente, pudo recuperar el aliento durante otros dos minutos antes de realizar la siguiente apnea, esta vez máxima. Al alcanzar los últimos 30 segundos de la cuenta-atrás, se colocó en la nariz del apneísta una pinza o "noseclip" con el fin de evitar posibles fugas de aire durante la realización de la apnea. Antes de permanecer en apnea, el deportista realizó una exhalación hasta su volumen residual seguida de una inspiración profunda pero no máxima - no estando permitida la IG. Una vez acabada la cuenta-atrás, el sujeto intentó permanecer en apnea el mayor tiempo posible antes de volver a respirar. Tras la ruptura de la apnea, el deportista permaneció relajado durante dos minutos con el fin de monitorizar la recuperación.

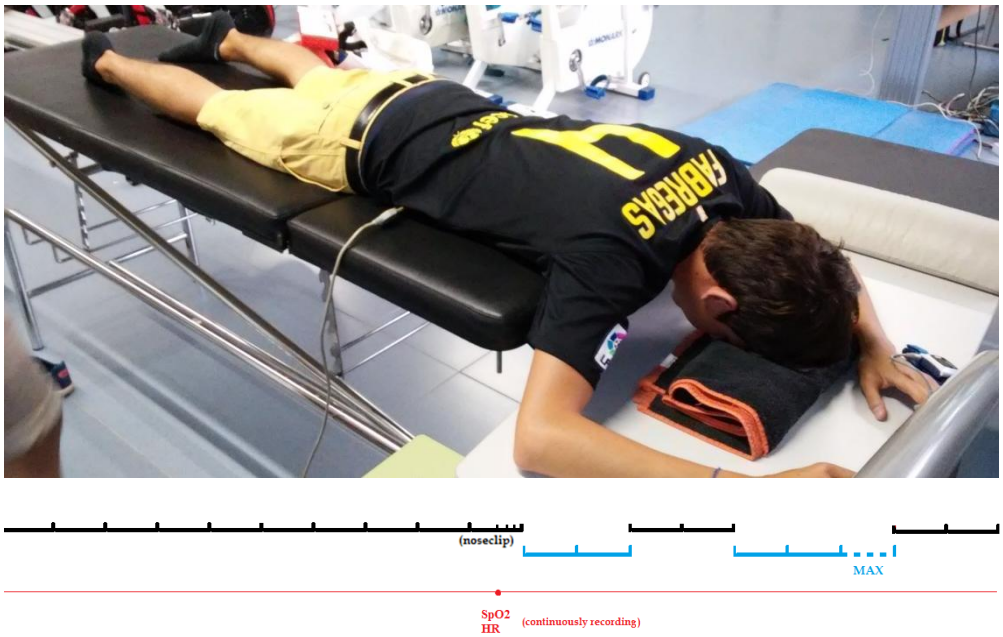


Ilustración 8. Test para el control y valoración de la SpO_2 durante la apnea estática en seco. Foto: Fernández, FA.

La SpO_2 fue monitorizada durante todo el test (Figura 9) mediante la colocación, en el dedo índice de la mano izquierda, de un pulsioxímetro (CMS 50F Oxymeter. SpO2 Assistant Software). La prevención y seguridad de la prueba fueron llevadas a cabo por el investigador principal, que además fue el encargado de tomar el tiempo conseguido en la citada apnea en seco ($Time_{sta}$).

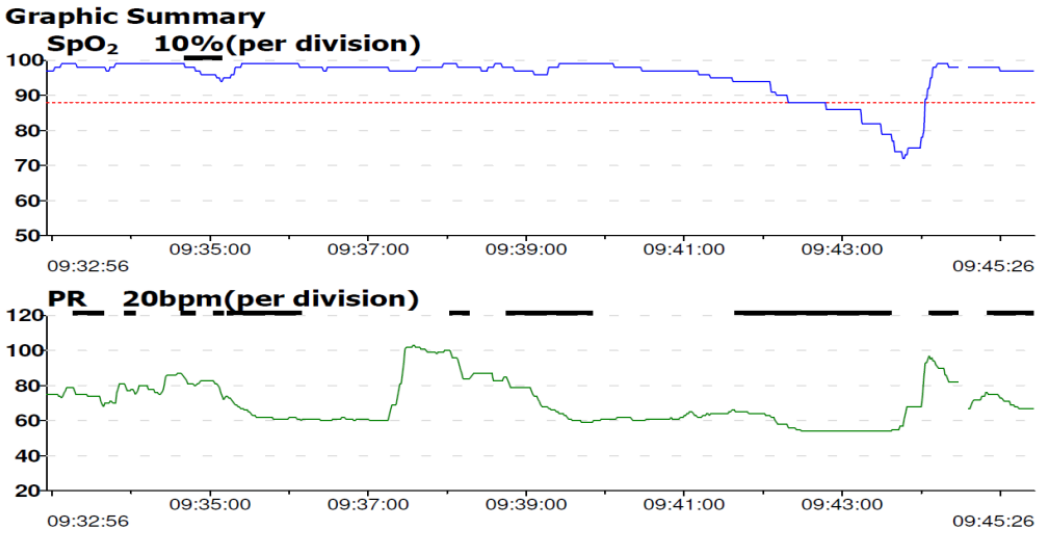


Figura 9. Evolución de la SpO_2 durante una apnea estática máxima en seco.

3.5.9.- Test incremental por etapas (Roecker)

Por otro lado, con el objetivo de analizar la acumulación y el aclarado del ácido láctico del deportista en cuestión, se les aplicó un test por escalones - test de Roecker [171] - en cinta ergométrica (H/P Cosmos Pulsar, H/P/COSMOS 3P 4.0 ®, H/P/COSMOS. Sports&Medical, Alemania).

El test estaba compuesto por tres etapas de una duración de 3 minutos cada una, intercaladas con treinta segundos de pausa para facilitar la obtención de la muestra de sangre capilar (0.5 µL). Cada etapa conllevaba un aumento en la

velocidad de 2 km/h respecto de la etapa anterior, siendo la velocidad inicial de 8 km/h; es decir, la intensidad de las etapas 1, 2 y 3 fue de 8, 10 y 12 km/h. respectivamente; con una pendiente constante del 2% (Tabla 12; Ilustración 9). El análisis de la concentración de ácido láctico en sangre se calculó, tras cada etapa, mediante un analizador portátil (Lactate Scout^{+}. EKF Diagnostics); obteniéndose así valores de ácido láctico tras cada una de las etapas - L1, L2, L3. Además, la FC fue monitorizada a lo largo de todo el test mediante un electrocardiógrafo conectado a un ordenador (ECG recorder, WelchAllyn®CardioPerfect™Workstation) anotando los valores de FC alcanzados al final de cada uno de los tres estadios - FC1, FC2, FC3.

Etapa	1	Descanso	2	Descanso	3	Descanso
Duración	3 min	30 s.	3 min	30 s.	3 min	30 s.
Pendiente (%)	2	0	2	0	2	0
Velocidad (km/h)	8	0	10	0	12	0

Tabla 12. Protocolo del test por etapas de Roecker.

Ilustración 9 . Medición de la concentración del ácido láctico en sangre durante el test incremental por etapas de Roecker [171]. Foto: © Club Apnea Madrid.

3.5.10.- Test específicos de rendimiento

Con la intención de correlacionar las variables mencionadas anteriormente con el rendimiento en Apnea Indoor, se realizó un test específico de cada una de las disciplinas - STA, DYN y DNF. En ninguna de las pruebas estaba permitido el uso de técnicas específicas, tales como: la hiperventilación o la IG.

La STA se realizó en un vaso pequeño de piscina con una temperatura de 26-27 ºC. De manera previa a la realización de la prueba, el apneísta calentó durante 20 minutos mediante el siguiente protocolo: diez minutos de relajación en seco, dos minutos de STA, seis minutos de relajación en el agua y dos minutos de cuenta-atrás previos a la apnea máxima. Durante los últimos 30 segundos de la cuenta-atrás, el deportista se colocó la pinza nasal para seguidamente realizar una exhalación hasta su volumen residual seguida de una inspiración profunda pero no máxima - aproximadamente al 80-85 % de la CV personal. Durante la STA el apneísta permaneció en "posición de medusa" (Ilustración 10) hasta la ruptura de la apnea y sin ningún tipo de feedback sobre su progreso. El apneísta de seguridad fue el encargado de tomar los tiempos y de controlar el protocolo de la prueba.

Ilustración 10. Test máximo para la valoración del rendimiento en apnea estática -STA. Foto: Fernández, FA.

Respecto a las pruebas dinámicas - DYN y DNF, se utilizó una piscina de 25 m (Ilustración 11) que osciló entre los 26-27º C. El protocolo de calentamiento fue el mismo que para la STA. El test consistió en nadar en apnea, con la técnica específica de cada una de las disciplinas, la máxima distancia posible hasta la vuelta a la superficie. Los cambios de trajes de neopreno, lastre o aletas no estuvieron permitidos entre pre-test y post-test, habiendo de realizarse ambas mediciones con el mismo equipo. La prueba en DYN se realizó con bialetas, no estando permitido el uso de la monoaleta.

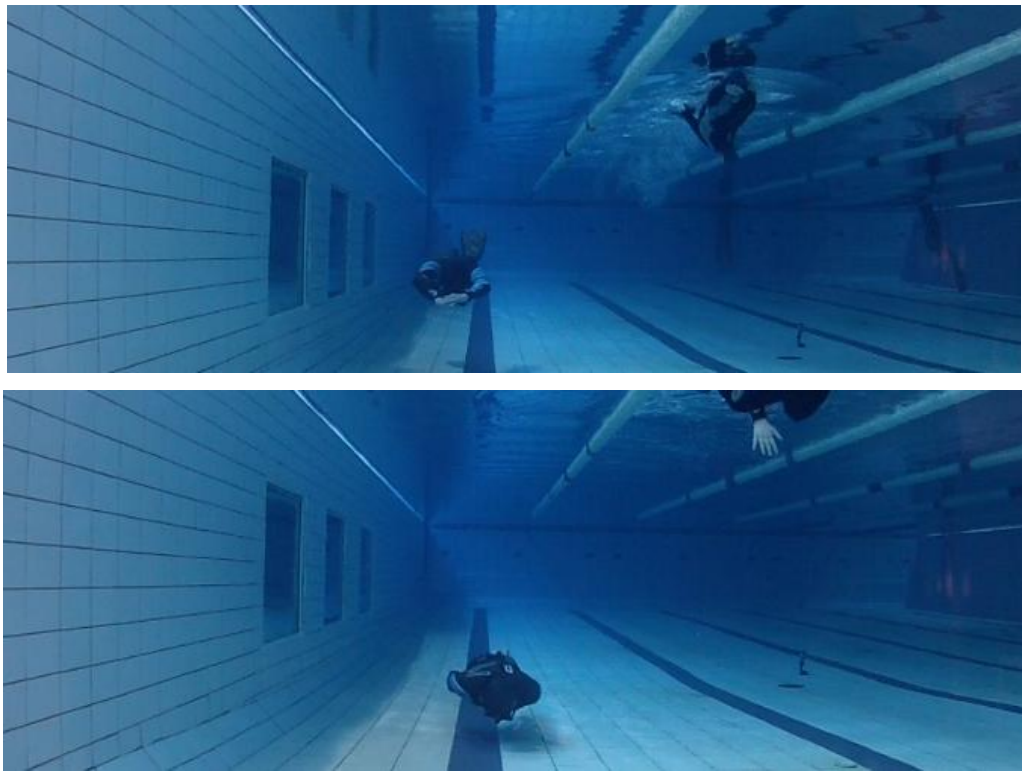


Ilustración 11. Test máximo para la valoración del rendimiento en apnea dinámica con aletas (DYN) y apnea dinámica sin aletas (DNF). Foto: Fernández, FA.

Para poder realizar una valoración general sobre rendimiento de cada apneísta en la Apnea Indoor, se estableció el sistema de puntos de Aida Internacional; que es aplicado en todas sus competiciones con el fin de conocer al deportista más completo. En lo que Anea Indoor se refiere, el procedimiento de puntuación es el siguiente: en la STA se multiplicará por 0.2 cada segundo que el deportista permanece sin respirar, mientras que en DYN y DNF se multiplica por 0.5 cada metro alcanzado en apnea.

3.6.- ANÁLISIS

3.6.1- Análisis de datos

Con el fin comparar y analizar los datos de FC intersujetos, se calculó el % de cada valor de FC sobre la FC_{max}, evaluada previamente, mediante ECG (ECG recorder, WelchAllyn®CardioPerfect™Workstation) en el test incremental de Smith y cols., (168).

El valor de SpO_{2min} corresponde al final de la apnea, no obstante su apreciación en el pulsioxímetro se verá retrasada unos segundos, debido al tiempo de circulación entre los pulmones y la región periférica, como por ejemplo los dedos. Este tiempo se verá aumentado por la vasoconstricción periférica producida por el reflejo de inmersión [34, 36].

3.6.1- Análisis estadístico

Los datos procedentes de los tres grupos (n=29) fueron agrupados y analizados mediante el programa estadístico SPSS 19.0. La homogeneidad de los datos se

calculó mediante el test de normalidad Shapiro-Wilks.

Por otro lado, mediante R Pearson, se agruparon los datos obtenidos en los pre-test y post-test y se calculó la correlación existente entre los valores individuales de Altura, Masa, Hb, Hct, Hm, VO_{2max}, CV, VO_{2r}, FC_r, $FC_{min\text{-}sta}$, FC_{sta}, PGC, MMC, DMO, SpO_{2sta} y ácido láctico con los resultados del rendimiento específico en STA, DYN, DNF y el rendimiento global en Apnea Indoor. Los efectos producidos por el entrenamiento, sobre las variables dependientes, fueron analizados mediante un ANOVA de medidas repetidas con un nivel de significación de $P < 0.05$. Además, se calculó el tamaño del efecto de dichos cambios.

4.- RESULTADOS

Tras la realización de los test de control, y una vez comprobada la normalidad de los datos entre los diferentes grupos de investigación, se pasa a la exposición de los resultados.

En primer lugar, en el apartado 4.1, se muestra el grado de correlación existente entre los distintos factores de rendimiento estudiados - Almacén Total de O_2 y CO_2 en el organismo, Tasa Metabólica y Tolerancia Individual a la Asfixia - y las pruebas específicas de competición en Apnea Indoor - STA, DYN y DNF.

A continuación, en el apartado 4.2, se compara las adaptaciones producidas por el entrenamiento periodizado sobre los distintos factores de rendimiento de la Apnea Indoor y el rendimiento específico de la misma; es decir, se coteja las diferencias producidas por el entrenamiento periodizado respecto al GC.

Por último, en el apartado 4.3, se estudian y comparan las diferentes adaptaciones producidas por el entrenamiento cruzado y el entrenamiento específico en apnea sobre los distintos factores de rendimiento de la Apnea Indoor y el rendimiento específico de la misma.

Con el fin de poder discutir con claridad las diferencias producidas tras los diferentes entrenamientos, los resultados se presentan agrupados en factores de rendimiento de la Apnea Indoor - AT, TM y TA - y rendimiento específico de la misma.

4.1.- FACTORES DE RENDIMIENTO EN APNEA INDOOR

4.1.1.- Relación del factor "AT" con el rendimiento en Apnea Indoor

Como se puede observar en la Tabla 13, existe una correlación directa entre la altura ($r=0.516$; $p<0.05$; Tabla 13), la capacidad vital ($r=0.539$; $p<0.05$; Figura 10) y la volemia del apneísta ($r=0.466$; $p<0.05$; Figura 11) con el rendimiento en Apnea Indoor. Así, la CV presenta un mayor grado de correlación con la disciplina estática ($r=0.601$; $p<0.05$; Tabla 13) que con las disciplinas dinámicas ($r=0.356$ en DYN y $r=0.379$ en DNF; $p<0.05$; Tabla 13).

Sobre el resto de las posibles variables influyentes en el almacén total de oxígeno y dióxido de carbono en el organismo, los resultados indican un falta de correlación entre el consumo máximo de oxígeno, la hemoglobina, numero de hematíes y hematocrito con el rendimiento en cualquiera de las disciplinas de la Apnea Indoor ($p<0.05$; Tabla 13).

	STA	**DNF**	**DYN**	**Apnea Indoor**
Edad	-.015	-.164	.094	-.082
Altura	.491*	.363	.413	.516*
$VO2_{max}$	-.188	-.076	-.110	-.145
CV	.601*	.356	.379	.539*
V	.421	.335	.421	.466*
Hb	.-121	.044	.032	-.084
Hm	-.151	-.068	-.003	-.110
Hct	-.135	-.056	-.023	-.139

Tabla 13. Análisis de correlación entre la edad, altura, VO2max, capacidad vital, CV; volemia, V; hemoglobina, Hb; hematíes, Hm; y hematocrito, Hct - de los apneístas y el rendimiento en Apnea Indoor. *p<0.05.

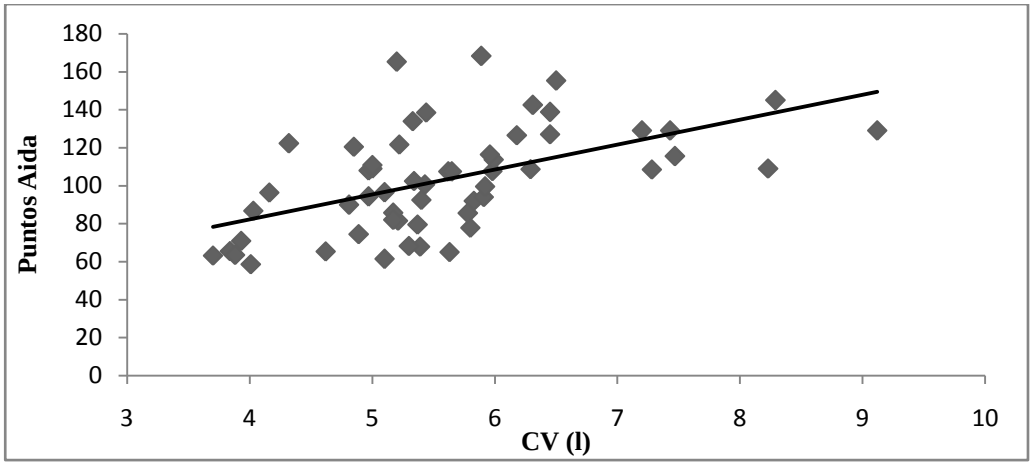


Figure 10. Análisis de correlación de la CV con el resultado final en Apnea Indoor. r = 0.601. p<0.05.

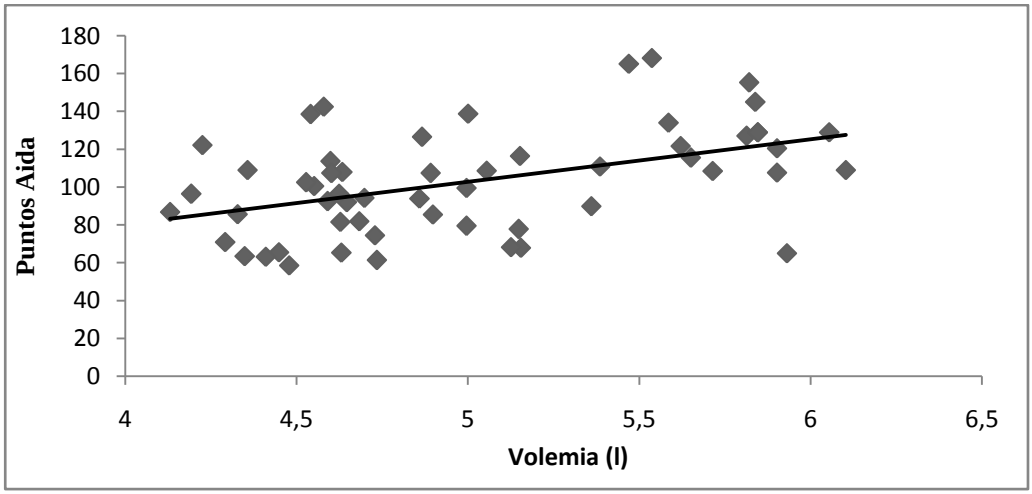


Figure 11. Análisis de correlación de la Volemia con el resultado final en Apnea Indoor. r = 0.466. p<0.05.

4.1.2.- Relación del factor "TM" con el rendimiento en Apnea Indoor

Respecto a los posibles factores influyentes sobre la tasa metabólica del apneísta, los resultados muestran una correlación inversa entre la frecuencia cardiaca mínima alcanzada por el apneísta durante la apnea estática en seco (r= -0.624; p<0.05;Tabla 14; Figura 12) con todas las disciplinas de la Apnea Indoor, particularmente con la apnea estática (r= -0.694; p<0.05). En cuanto a la composición corporal del apneísta, por un lado, se observa en la tabla 14 una ligera correlación entre la masa total (r= 0.345), MMC (r= 0.406; Figura 13) y la DMO (r= 0.377) con el rendimiento en Apnea Indoor - especialmente en DYN; y por otro, una correlación lineal entre el PGC y el rendimiento en Apnea Indoor (r= - 0.024).

	STA	**DNF**	**DYN**	**Apnea Indoor**
Masa	.289	.254	.353	.345
PGC	-.029	-.015	-.012	-.034
MMC	.321	.305	.385	.406
DMO	.219	.385	.420	.377
A/G	-.042	-.046	.022	-.024
TM_r	.263	.179	.292	.270
FC_r	-.073	-072	-.044	-.032
FC_{sta}	-.063	-.094	-.130	-.090
$FC_{min\text{-}sta}$	-.694*	-.499*	-.505*	-.624*

Tabla 14. Análisis de correlación entre la masa, porcentaje de grasa corporal, PGC; masa magra corporal, MMC; densidad mineral ósea, DMO; relación porcentaje grasa androide y ginoide, A/G; tasa metabólica en reposo, TM_r; FC en reposo, FC_r; FC media durante la apnea estática en seco, FC_{sta}; FC mínima durante la apnea estática en seco, $FC_{min\text{-}sta}$ - de los apneístas y el rendimiento en Apnea Indoor. *p<0.05.

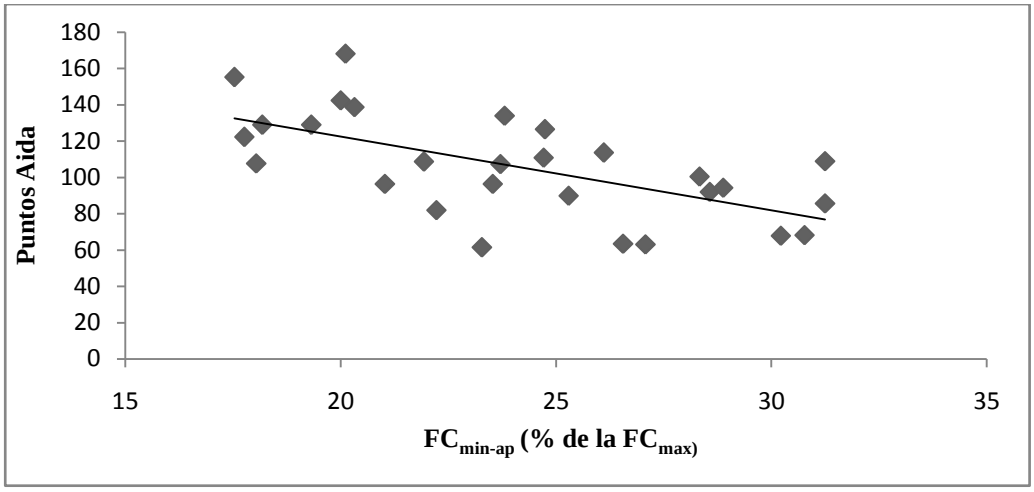


Figure 12. Análisis de correlación entre la FC mínima alcanzada durante la apnea estática en seco, $FC_{min\text{-}sta}$; con el resultado final en Apnea Indoor. r = 0.624. $p<0.05$.

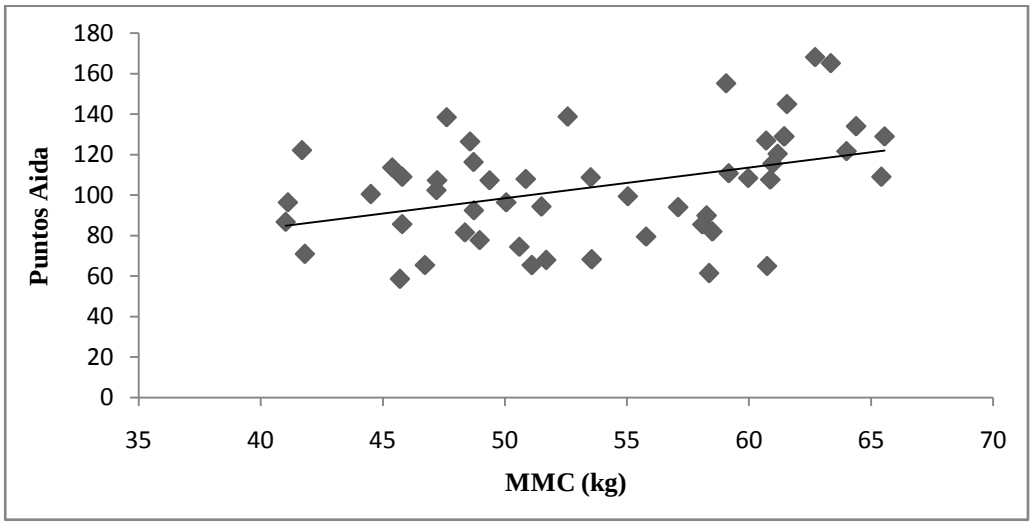


Figure 13. Análisis de correlación entre la masa magra corporal, MMC; con el resultado final en Apnea Indoor. r = 0.406. $p<0.05$.

4.1.3.- Relación del factor "TA" con el rendimiento en Apnea Indoor

Los resultados mostrados en la Tabla 15, indican una correlación inversa moderada entre la saturación mínima de oxígeno alcanzada tras una apnea estática en seco (r=-0.485; p<0.05; Tabla 15; Figura 14) con el rendimiento en Apnea Indoor, particularmente con la STA.

Por otra parte, existe un fuerte correlación (r=0.751; p<0.05; Figura 15) entre el tiempo logrado en la apnea estática en seco con el rendimiento en Apnea Indoor, en especial con la STA (r= 0.780 p<0.05; Tabla 15).

Respecto a los valores de ácido láctico y FC obtenidos mediante el test por etapas de Roecker, los resultados muestran una correlación lineal con el rendimiento en Apnea Indoor.

	STA	**DNF**	**DYN**	**Apnea Indoor**
FC1	-.014	-0.13	.026	.009
FC2	.050	-.031	.056	.034
FC3	-.020	-.127	-.111	-.087
L1	.99	.018	.062	.049
L2	.202	.045	.048	.092
L3	.176	.003	.029	.074
SpO_{2sta}	-.487*	-.337	-.359	-485*
$Time_{sta}$	.780*	.606*	.546*	.751*

Tabla 15. Análisis de correlación entre la FC alcanzada tras la etapa 1,2 y 3 del test de Roecker, FC1, FC2 y FC3; la concentración de ácido láctico alcanzado tras la etapa 1,2 y 3 del test de Roecker, L1, L2 y L3; la mínima saturación de oxígeno tras la apnea estática máxima, $SpO_{2sta;}$; tiempo trascurrido en la apnea estática máxima en seco, $Time_{sta}$ - de los apneístas y el rendimiento en Apnea Indoor. *p<0.05.

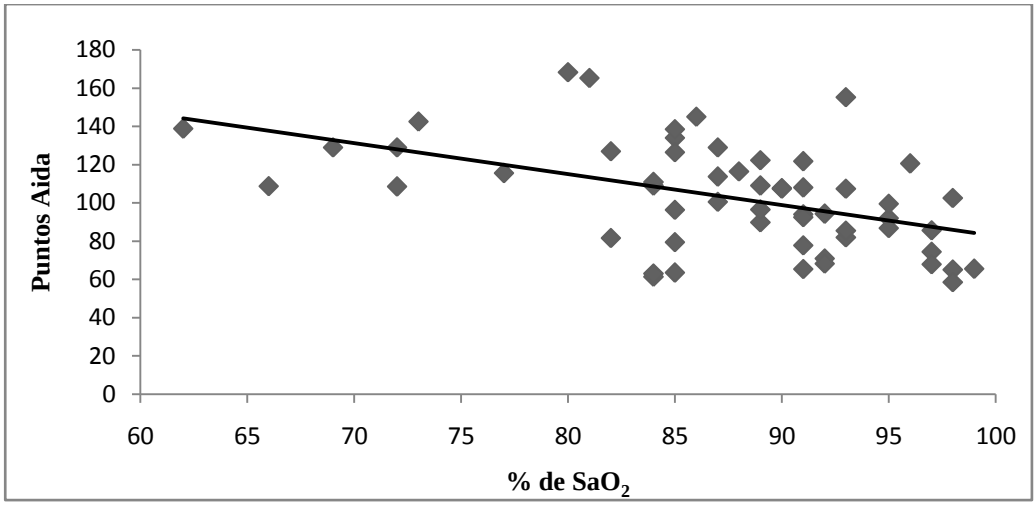


Figure 14. Análisis de correlación entre la saturación de oxígeno alcanzada tras una apnea estática en seco, $SpO2_{sta}$; con el resultado final en Apnea Indoor. r = 0.485. p<0.05.

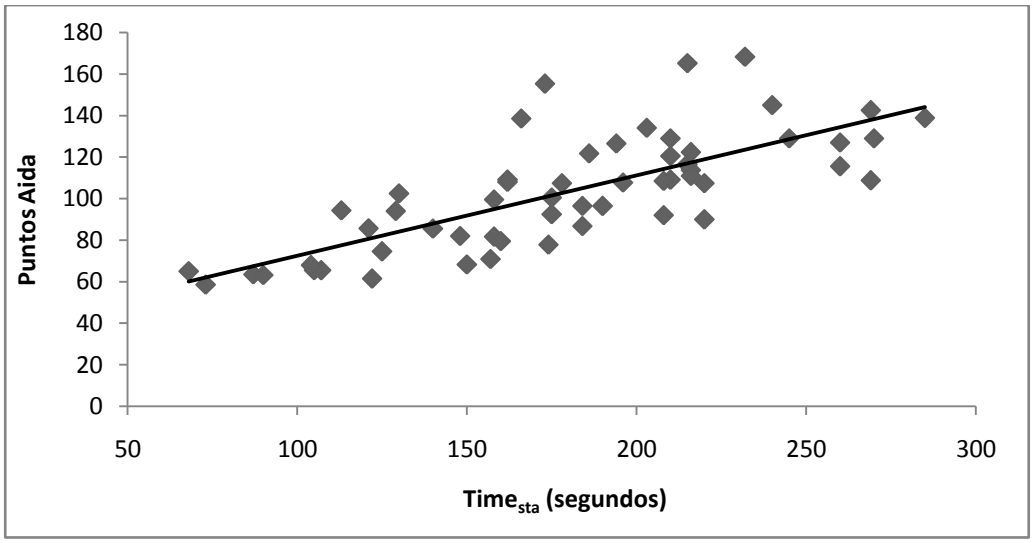


Figure 15. Análisis de correlación entre el tiempo trascurrido en la apnea estática en seco, $Time_{sta;}$ con el resultado final en Apnea Indoor. r = 0.751. p<0.05.

4.2.- ENTRENAMIENTO PERIODIZADO

4.2.1.- Rendimiento específico en Apnea Indoor.

La tabla 16, refleja los resultados obtenidos por los grupos de EP y el GC tras la realización de los entrenamientos; comparando las diferencias producidas sobre el rendimiento específico en Apnea Indoor. De esta manera, se muestra un mejora significativa tras la intervención del entrenamiento periodizado con relación al grupo control respecto al rendimiento global y en todas las disciplinas de la Apnea Indoor ($p<0.05$; Figura 16; Tabla 16). Así, el grupo de EP pasa de los 98.05 puntos en el pre-test a los 126.4 puntos en el post-test; mientras que el grupo de GC pasa de 81.8 puntos en el pre-test a 85.6 puntos en el post-test; es decir, los datos reflejan un aumento de 28.15 puntos en el grupo de EP y de 3.8 puntos en el GC tras la implementación de los entrenamientos.

	Valor medio	**STA** (s.)	**DNF** (m.)	**DYN** (m.)	**Apnea Indoor** (Puntos AIDA)
EP	PRE	*183,95*	*60,15*	*67,75*	*98,05*
	POST	*249,5*	*72,05*	*84,5*	*126,2*
	Dif.	*65,55*	*11,9*	*16,75*	*28,15*
GC	PRE	*151,7*	*44,7*	*58,6*	*81,8*
	POST	*160*	*47,4*	*57,1*	*85,6*
	Dif.	*8,3*	*2,7*	*-1,5*	*3,8*
EP vs. GC	Dif.	*57.25*	*9.2*	*18.25*	*24.35*
	Sig	*.001**	*.000**	*.006**	*.002**
	h_p^2	*.337*	*.392*	*.253*	*.322*

Tabla 16. Diferencias pre-post entre el entrenamiento periodizado - EP, y el GC producidos en STA, DYN y DNF. Anova de medidas repetidas. *$p<0.05$.

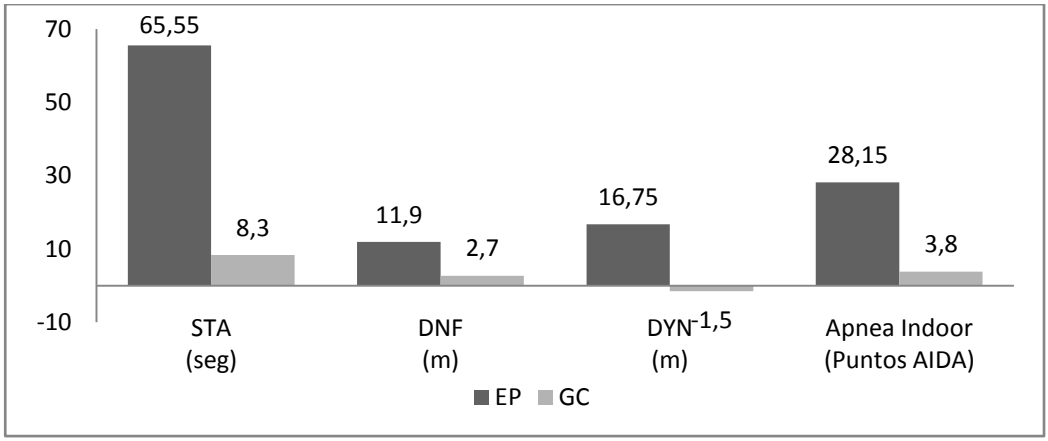


Figure 16. Cambios producidos, entre el pre-test y post-test, sobre las disciplinas de la Apnea Indoor. Se muestra las diferencias producidas entre el grupo de entrenamiento periodizado - EP, y el grupo control - GP, tras 6 meses de entrenamientos. *p<0.05.

4.2.2. Factor específico de rendimiento: Almacén total de O_2/CO_2 (AT)

En la Tabla 17, se observan los resultados - pre y post - de las variables condicionantes del almacén total de O_2 y CO_2 en el organismo; asimismo, se refleja las diferencias producidas entre los grupos de entrenamiento periodizado y el grupo control tras la implementación de los entrenamientos.

Analizando los resultados ofrecidos por la tabla 17, no se detectan diferencias significativas en ninguna de las variables, entre los grupos de EP y GC, tras la intervención de los entrenamientos ($p<0.05$; Tabla 17). No obstante, en el valor de VO_{2max} se observa un tamaño del efecto alto ($h_p^2= 0.183$; $p<0.05$; Tabla 17; Figura 17); mientras en el GC la capacidad aeróbica máxima descendió 2.54 ml/kg/min, en el grupo de EP subió 1.815 ml/kg/min. Respecto a la CV, la tabla 17, revela una mejora de 0.27 l a favor del grupo de EP respecto al GC ($h_p^2= 0.052$; $p<0.05$; Figura 17; Tabla 17). Por último, las diferencias producidas

entre el grupo de EP y el GC respecto a la volemia y las demás variables hematológicas son prácticamente imperceptibles

	Valor medio	VO_2max (ml/kg/min)	CV (l.)	V (l.)	Hb (g/dl)	Hm (/µL)	Hct (%)
EP	PRE	*47,185*	*5,61*	*5,095*	*15,695*	*5,155*	*46,11*
	POST	*49*	*5,945*	*5,05*	*15,53*	*5,125*	*45,75*
	Dif.	*1,815*	*0,335*	*-0,045*	*-0,0525*	*-0,03*	*-0,036*
GC	PRE	*53,06*	*5,2*	*4,88*	*15,52*	*5,27*	*46,92*
	POST	*50,52*	*5,27*	*4,89*	*15,39*	*5,17*	*45,54*
	Dif.	*-2,54*	*0,07*	*0,01*	*-0,13*	*-0,1*	*-1,38*
EP vs. GC	Dif.	*4.35*	*.27*	*.05*	*.03*	*.07*	*1.02*
	Sig	*.023*	*.243*	*.427*	*.675*	*.307*	*.837*
	h_p^2	*.183*	*.052*	*.024*	*.007*	*.040*	*.002*

Tabla 17. Diferencias pre-post entre el entrenamiento periodizado - EP, y el GC producidos sobre el factor de rendimiento: almacén total de O2/CO2 en el organismo - AT. Anova de medidas repetidas. *p<0.05.

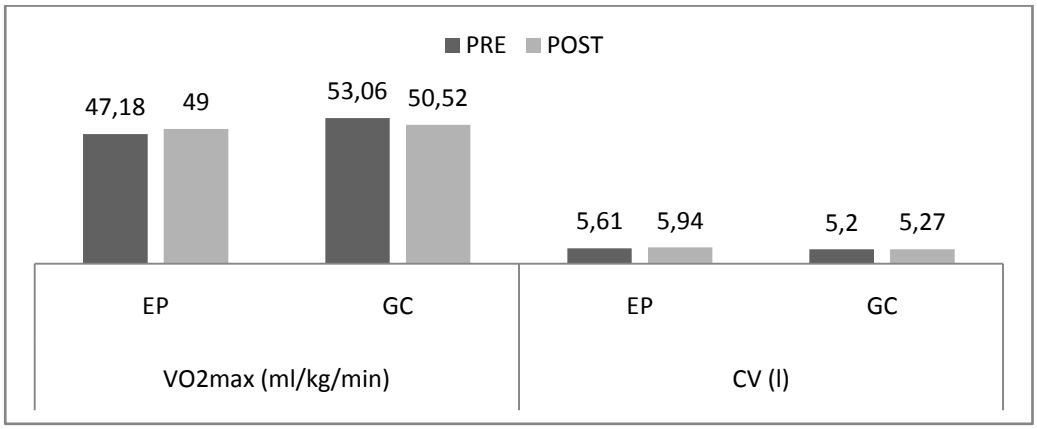


Figure 17. Cambios producidos, entre el pre-test y post-test, sobre el $VO2_{max}$ y la capacidad vital, CV; del apneísta. Se muestra las diferencias producidas entre el grupo de entrenamiento periodizado - EP, y el grupo control - GP, tras 6 meses de entrenamientos. *p<0.05.

4.2.3. Factor específico de rendimiento: Tasa Metabólica (TM)

La Tabla 18, revela los resultados - pre y post - de las variables condicionantes de la tasa metabólica del apneísta. Por otra parte, dicha tabla, exhibe las diferencias ocurridas entre los grupos de entrenamiento periodizado y el grupo control tras la implementación de los entrenamientos. Tal y como se aprecia en la Tabla 18, existe una reducción significativa de la FC mínima alcanzada durante la apnea estática en seco, tras el entrenamiento periodizado respecto al grupo control ($p<0.05$; Tabla 18).

Respecto al resto de los factores que afectan a la tasa metabólica del apneísta, los resultados muestran que no existen diferencias significativas entre los grupos de entrenamiento periodizado y el grupo control ($p<0.05$; Tabla 18).

En alusión a la composición corporal ($p<0.05$; Figura 18; Tabla 18), mientras que el PGC del apneísta descendió tras el entrenamiento periodizado en un 0.6 %, en el grupo control aumentó en un 0.94 %. Por otra parte, la MMC de los sujetos descendió 0.46 Kg tras el programa de entrenamiento periodizado, mientras que en el grupo control sufrió un aumento de 0.36 kg. A pesar del mayor incremento de la MMC por parte del grupo control, el PMMC reveló un mayor crecimiento en el grupo de entrenamiento periodizado, 0.545 %, que en el grupo control, donde prácticamente permaneció estable, -0.01 %.

Por otro lado, la tabla 18, muestra un descenso más acentuado de la FC_r en los grupos de entrenamiento periodizado respecto al grupo control; mientras que los datos observados de TM_r y FC_{sta} no ofrecen prácticamente diferencias entre los grupos.

	Valor medio	Masa (Kg)	PGC (%)	MMC (Kg)	PMMC (%)	DMO (g/cm2)	TM_r (cal*min)	FC_r (%max)	FC_{sta} (%max)	$FC_{min\text{-}sta}$ (%max)
EP	PRE	*74,83*	*25,64*	*53,645*	*71,34*	*1.280*	*1.107*	*29,64*	*30,38*	*23,495*
	POST	*73,60*	*25,03*	*53,185*	*71,885*	*1.279*	*1.181*	*29,32*	*30,47*	*20,96*
	Dif.	*-1,23*	*-0,60*	*-0,46*	*0,545*	*-0,001*	*0,074*	*-0,315*	*0,09*	*-2,535*
GC	PRE	*71,88*	*22,3*	*54,23*	*74,69*	*1.292*	*1,2*	*30,82*	*27,1*	*27,1*
	POST	*72,37*	*23,24*	*54,59*	*74,68*	*1.296*	*1.211*	*30,75*	*27,42*	*27,42*
	Dif.	*0,49*	*0,94*	*0,36*	*-0,01*	*0,004*	*0,011*	*-0,07*	*0,32*	*0,32*
EP vs. GC	Dif.	*1.72*	*1.54*	*0.82*	*0.55*	*1.*	*0.06*	*0.24*	*0.23*	*2.85*
	Sig	*.656*	*.381*	*.753*	*.265*	*.745*	*.495*	*.294*	*.798*	*.024**
	h_p^2	*.008*	*.032*	*.004*	*.042*	*.004*	*.018*	*.042*	*.003*	*.355*

Tabla 18. Diferencias pre-post entre el entrenamiento periodizado - EP, y el GC producidos sobre el factor de rendimiento: tasa metabólica - TM. Anova de medidas repetidas. *p<0.05.

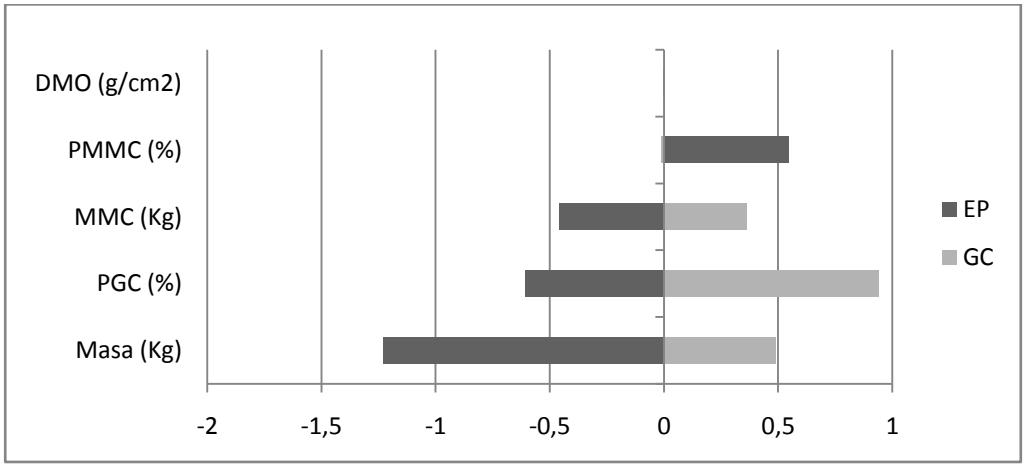


Figure 18. Cambios producidos, entre el pre-test y post-test, sobre la composición corporal del apneísta. Se muestra las diferencias producidas entre el grupo de entrenamiento periodizado - EP, y el grupo control - GP, tras 6 meses de entrenamientos. p<0.05.

4.2.4. Factor específico de rendimiento: Tolerancia a la asfixia (TA)

Tal y como viene reflejado en la tabla 19, los datos de FC obtenidos tras los diferentes estadios en el test incremental por etapas de Roecker señalan que no existen diferencias significativas entre los resultados pre y post-entrenamiento entre los grupos de entrenamiento periodizado y el grupo control ($p<0.05$; Tabla 19; Figura 19). No obstante, el tamaño del efecto de dichas diferencias es elevado; mostrando además una tendencia de comportamiento divergente: mientras que en los grupos de entrenamiento periodizado la FC baja en F1 (-1.6 %), F2 (-1.99 %) y F3 (-0.96 %), en el grupo control aumenta en F1 (8.83 %), F2 (2.63 %) y F3 (1.17%).

Por otro lado, según los resultados ofrecidos en la tabla 19, no existen diferencias significativas entre los grupos de entrenamiento periodizado y el grupo control sobre los valores de concentración de ácido láctico en sangre - L1, L2 y L3; no obstante, dichas diferencias muestran un tamaño del efecto alto ($p<0.05$; Tabla 19; Figura 19).

Respecto al tiempo trascurrido en apnea estática en seco - $Time_{sta}$ - y a la saturación mínima de oxígeno registrada durante la apnea estática en seco - SpO_{2sta}, los resultados revelan que no existen diferencias significativas entre los grupos de investigación ($p<0.05$; Tabla 19; Figura 20). No obstante, las diferencias producidas sobre el $Time_{sta}$ entre los grupos de entrenamiento periodizado y el grupo control presenta un tamaño del efecto alto ($h_p^2= 0.125$; $p<0.05$; Tabla 19).

	Valor medio	FC^1 (%)	FC^2 (%)	FC^3 (%)	L^1 (mmol/L)	L^2 (mmol/L)	L^3 (mmol/L)	SpO_{2sta} (%)	$Time_{sta}$ (s.)
EP	PRE	*74,44*	*85,16*	*92,43*	*2,84*	*4,15*	*6,9*	*87,81*	*179,74*
	POST	*72,84*	*83,17*	*91,47*	*2,83*	*4,33*	*7,31*	*85,04*	*209,05*
	Dif.	*-1,6*	*-1,99*	*-0,96*	*-0,01*	*0,18*	*0,41*	*-2,77*	*29,31*
GC	PRE	*63,94*	*81,49*	*81,55*	*2,64*	*3,4*	*6,35*	*89,78*	*142,44*
	POST	*72,77*	*84,12*	*82,72*	*2,46*	*3,93*	*6,8*	*88,44*	*152,33*
	Dif.	*8,83*	*2,63*	*1,17*	*-0,18*	*0,53*	*0,45*	*-1,34*	*9,89*
EP vs. GC	*Dif.*	*10.43*	*4.62*	*2.13*	*.175*	*.345*	*.04*	*1.43*	*19.43*
	Sig	*.166*	*.206*	*.245*	*.081*	*.056*	*.066*	*.675*	*.065*
	h_p^2	*.075*	*.063*	*.054*	*.117*	*.138*	*.129*	*.007*	*.125*

Tabla 19. Diferencias pre-post entre el entrenamiento periodizado - EP, y el GC producidos sobre el factor de rendimiento: tolerancia a la asfixia - TA. Anova de medidas repetidas. *p<0.05.

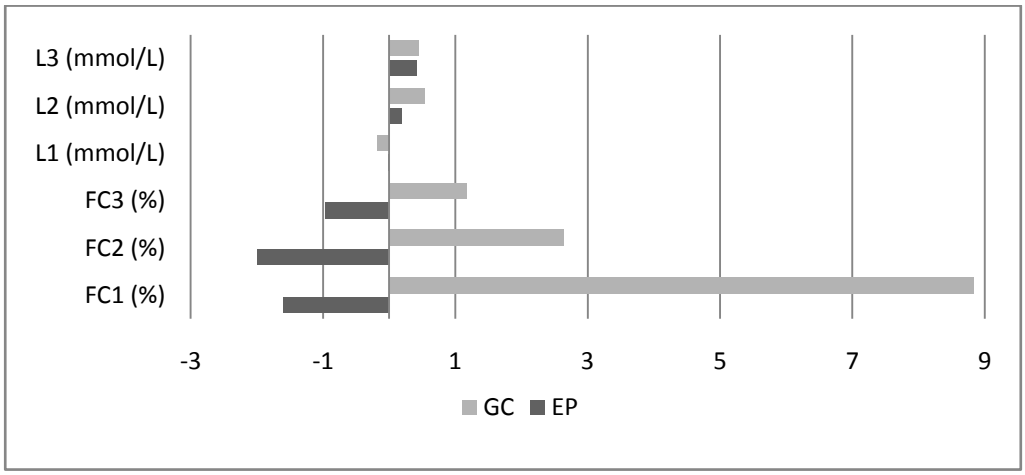


Figure 19. Diferencias entre el pre-post en los grupos de entrenamiento periodizado, EP- y en el GC. Datos sobre la concentración de ácido láctico en cada una de las etapas del test Roecker - L1,L2 y L3, y sobre la FC alcanzada tras cada etapa del test de Roecker.

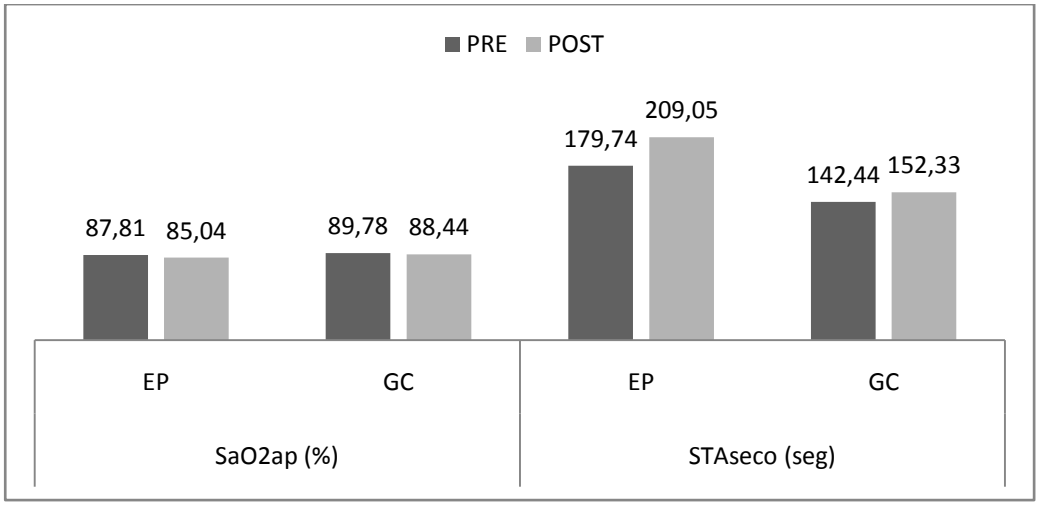


Figure 20. Diferencias entre el pre-post en los grupos de entrenamiento periodizado -EP, y en el GC. Datos sobre la saturación mínima de oxígeno registrada durante la apnea estática en seco - SpO_2, y el tiempo realizado en el test de apnea estática en seco - $Time_{sta}$.

4.3.- ENTRENAMIENTO ASOCIADO

4.3.1.- Rendimiento específico en Apnea Indoor.

La tabla 20 refleja los resultados obtenidos por los grupos de EC y el EEA tras la realización de los entrenamientos; comparando las diferencias producidas sobre el rendimiento específico en Apnea Indoor y sobre cada una de las disciplinas que la componen - STA, DNF y DYN.

Tras la intervención de los entrenamientos, el grupo de EC muestra mejoras significativas sobre el rendimiento en DNF respecto al grupo de EEA ($p<0.05$; Tabla 20; Figura 21). En el resto de las disciplinas - STA y DYN - no se observan diferencias significativas entre los grupos experimentales; no obstante,

las diferencias en la mejora producida en DYN, del grupo EC y respecto al grupo de EEA presenta un tamaño del efecto moderado (h_p^2= 0.068; p<0.05; Tabla 20).

Por último, los resultados muestran que no existen diferencias significativas entre la intervención del EC y el EEA respecto al rendimiento global en Apnea Indoor (p<0.05; Tabla 20; Figura 21). Así, el grupo de EC pasa de los 100.1 puntos en el pre-test a los 130.4 puntos en el post-test; mientras que el grupo de EEA pasa de 96 puntos en el pre-test a 122 puntos en el post-test; es decir, los datos reflejan un aumento de 30.2 puntos en el grupo de EC y de 26 puntos en el grupo de EEA tras la implementación de los entrenamientos.

	Valor medio	**STA** (s.)	**DNF** (m.)	**DYN** (m.)	**Apnea Indoor** (Puntos AIDA)
EC	PRE	*185.3*	*65.1*	*70.8*	*100.1*
	POST	*248.1*	*79.6*	*90.2*	*130.4*
	Dif.	*62.8*	*14.5*	*19.4*	*30.3*
EEA	PRE	*182.6*	*55.2*	*64.7*	*96*
	POST	*250.9*	*64.5*	*78.8*	*122*
	Dif.	*68.3*	*9.3*	*14.1*	*26*
EC vs. EEA	Dif.	*5.5*	*5.2*	*5.3*	*4.3*
	Sig	*.997*	*.030**	*.280*	*.533*
	h_p^2	*.000*	*.247*	*.068*	*.023*

Tabla 20. Diferencias pre-post entre el entrenamiento cruzado - EC, y el entrenamiento específico en apnea - EEA, producidas sobre la STA, DYN y DNF. Anova de medidas repetidas. *p<0.05.

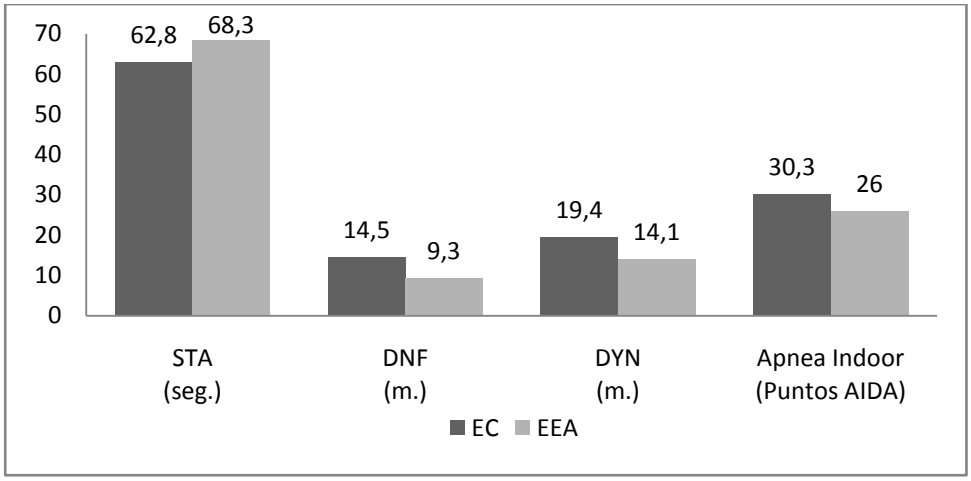


Figure 21. Cambios producidos, entre el pre-test y post-test, sobre las disciplinas de la Apnea Indoor. Se muestra las diferencias producidas entre el entrenamiento cruzado - EC, y el entrenamiento específico en apnea - EEA, tras 6 meses de entrenamientos. *p<0.05.

4.3.2. Factor específico de rendimiento: Almacén total de O_2/CO_2 (AT)

Analizando los resultados que se observa en la tabla 21, no se detectan diferencias significativas en ninguna de las variables condicionantes del almacén total de O_2 y CO_2 en el organismo, entre ambos grupos experimentales, tras la intervención de los entrenamientos ($p<0.05$; Tabla 21).

No obstante, el valor de VO2max aumentó en 3.59 ml/kg/min, en el grupo de EC mientras que tras el EEA se mantuvo prácticamente estable - subió 0.04 ml/kg/min. Respecto a la CV, la tabla 21, revela una diferencia de 0.43 l de mejora a favor del grupo de EC respecto al EEA ($p<0.05$; Tabla 21; Figura 22).

Por último, los resultados reflejan como no se producen apenas diferencias, entre el grupo de EC y el grupo de EAT, respecto a los cambios ocurridos en la volemia y las variables hematológicas.

	Valor medio	VO_2max (ml/kg/min)	CV (l.)	V (l.)	Hb (g/dl)	Hm (/µL)	Hct (%)
EC	PRE	*47.23*	*5.33*	*5.07*	*15.95*	*5.2*	*46.58*
	POST	*50.82*	*5.88*	*5*	*15.87*	*5.19*	*46.58*
	Dif.	*3.59*	*.55*	*-.07*	*-.08*	*-.01*	*0*
EEA	PRE	*47.14*	*5.89*	*5.12*	*15.44*	*5.11*	*45.64*
	POST	*47.18*	*6.01*	*5.1*	*15.19*	*5.06*	*44.92*
	Dif.	*.04*	*.12*	*-.02*	*-.025*	*-.05*	*-.072*
EC vs. EEA	Dif.	*3.55*	*.43*	*.05*	*.17*	*.04*	*.72*
	Sig	*.421*	*.511*	*.792*	*.254*	*.531*	*.380*
	h_p^2	*.038*	*.026*	*.004*	*.076*	*.023*	*.046*

Tabla 21. Diferencias pre-post entre el entrenamiento cruzado - EC, y el entrenamiento específico en apnea - EEA, sobre el factor de rendimiento: almacén total de O2/CO2 en el organismo - AT. Anova de medidas repetidas. *p<0.05.

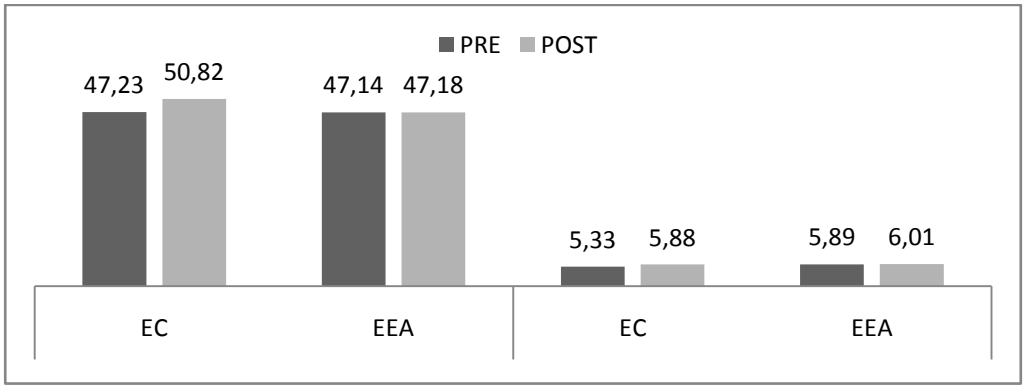


Figure 22. Cambios producidos, entre el pre-test y post-test, sobre el $VO2_{max}$ y la capacidad vital, CV; del apneísta. Se muestra las diferencias producidas entre el grupo de entrenamiento cruzado - EC, y el entrenamiento específico en apnea - EEA, tras 6 meses de entrenamientos. *p<0.05.

4.3.3. Factor específico de rendimiento: Tasa Metabólica (TM)

La Tabla 22, revela los resultados - pre y post - de las variables condicionantes de la tasa metabólica del apneísta - TM. Por otra parte, dicha tabla, exhibe las diferencias ocurridas entre el grupo de EC y el grupo de EEA, tras la intervención de los entrenamientos.

Tal y como se aprecia en la Tabla 22, no existen diferencias significativas entre la adaptación producida, en ambos grupos experimentales, sobre los posibles factores condicionantes de la tasa metabólica del apneísta.

No obstante, respecto a la composición corporal ($p<0.05$; Tabla 22; Figura 23), se observa cómo, mientras que tras la intervención del EC: la masa, el PGC la MMC, descienden 1.85 kg, un 0.87% y un 0.68 % respectivamente ; en el grupo de EEA, la masa, el PGC y la MMC disminuyen de manera menos acentuada 0.66 kg, un 0.34 % y un 0.24 % respectivamente. A pesar de sufrir un mayor descenso de la MMC, el grupo de EC aumentó más su PMMC (0.81 %), que el grupo de EEA (0.28 %).

Por otro lado, los valores de la TM_r, con apenas variaciones entre los grupos, no presentan diferencias significativas entre el grupo de EC y el grupo de EEA ($p<0.05$; Tabla 22).

Por último, mientras que la FC_r aumenta un 1.7 % en el grupo de EC, en el grupo de EEA disminuye un 2.33 % ($p<0.05$; Tabla 22); sin embargo, en relación a la $FC_{sta,}$ la tabla 22 muestra un descenso de un 0.77 % en el grupo de EC y un aumento de 0.95 % en el grupo de EEA. Por otra parte, la $FC_{min\text{-}sta}$ disminuye de manera similar en ambos grupos de entrenamiento.

	Valor medio	Masa (Kg)	PGC (%)	MMC (Kg)	PMMC (%)	DMO (g/cm2)	TM_r (cal*min)	FC_r (%max)	FC_{sta} (%max)	$FC_{min\text{-}sta}$ (%max)
EC	PRE	*75.33*	*26.3*	*54.15*	*70.69*	*1.304*	*1.134*	*27.9*	*30.13*	*24.49*
	POST	*73.48*	*25.43*	*53.47*	*71.5*	*1.307*	*1.151*	*29.6*	*29.36*	*21.69*
	Dif.	*-1.85*	*-.87*	*-.68*	*.81*	*.003*	*.017*	*1.7*	*-0.77*	*-2.8*
EEA	PRE	*74.34*	*24.98*	*53.14*	*71.99*	*1.255*	*1.079*	*31.38*	*30.63*	*22.5*
	POST	*73.73*	*24.64*	*52.9*	*72.27*	*1.250*	*1.211*	*29.05*	*31.58*	*20.23*
	Dif.	*-.61*	*-.34*	*-.24*	*.28*	*-.005*	*0.132*	*-2.33*	*.95*	*-2.27*
EC vs. EEA	Dif.	*1.24*	*.53*	*.44*	*.53*	*.008*	*.115*	*4.03*	*1.72*	*.53*
	Sig	*.954*	*.750*	*.840*	*.736*	*.292*	*.981*	*.190*	*.217*	*.644*
	h_p^2	*.004*	*.007*	*.003*	*.007*	*.065*	*.001*	*.099*	*.088*	*.020*

Tabla 22. Diferencias pre-post entre el entrenamiento cruzado - EC, y el entrenamiento específico en apnea - EEA, producidos sobre el factor de rendimiento: tasa metabólica - TM. Anova de medidas repetidas. *p<0.05.

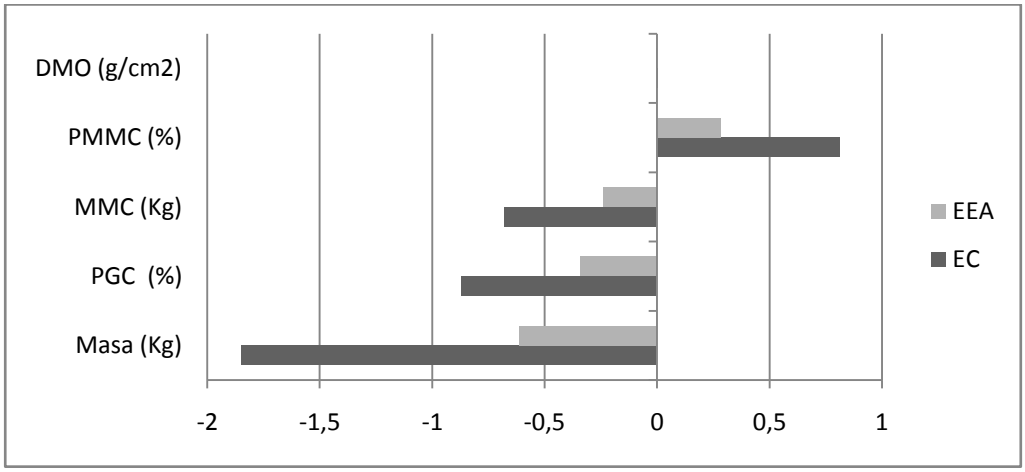


Figure 23. Cambios producidos, entre el pre-test y post-test, sobre la composición corporal del apneísta. Se muestra las diferencias producidas entre el grupo de el entrenamiento cruzado - EC, y el entrenamiento específico en apnea - EEA, tras 6 meses de entrenamientos. *p<0.05.

4.3.4. Factor específico de rendimiento: Tolerancia a la asfixia (TA)

Tal y como viene reflejado en la tabla 23, los datos de FC obtenidos tras los diferentes estadios en el test incremental por etapas de Roecker señalan que no existen diferencias significativas de los resultados pre y post-entrenamiento entre los grupos de entrenamiento periodizado y el grupo control ($p<0.05$; Tabla 23; Figura 24). No obstante, en los resultados exhibidos en el test por etapas de Roecker, tanto los valores de FC como los de concentración del ácido láctico sufren un mayor descenso o menor incremento en el grupo de EC respecto al grupo de EEA. Por otro lado, respecto tiempo alcanzado en el test de apnea estática en seco - $Time_{sta}$ - y a la saturación mínima de oxígeno registrada durante la apnea estática en seco - SpO_{2sta}, los resultados revelan que no existen diferencias significativas entre los grupos experimentales ($p<0.05$; Tabla 23; Figura 25).

	Valor medio	FC^1 (%)	FC^2 (%)	FC^3 (%)	L^1 (mmol/L)	L^2 (mmol/L)	L^3 (mmol/L)	SpO_{2sta} (%)	$Time_{sta}$ (s.)
EC	PRE	*75.84*	*86.53*	*93.43*	*3.05*	*4.3*	*7.2*	*90.3*	*183.7*
	POST	*73.81*	*83.93*	*91.46*	*2.82*	*4.37*	*6.83*	*86.2*	*206*
	Dif.	*-2.03*	*-2.6*	*-1.97*	*-.23*	*.07*	*-.37*	*-4.1*	*22.3*
EEA	PRE	*73.05*	*83.79*	*91.44*	*2.63*	*4*	*6.6*	*85.33*	*175.78*
	POST	*71.88*	*82.41*	*91.49*	*2.85*	*4.3*	*7.79*	*83.89*	*212.11*
	Dif.	*-1.17*	*-1.38*	*.05*	*.22*	*.3*	*1.19*	*-1.44*	*36.33*
EC vs. EEA	*Dif.*	*.086*	*1.22*	*2.02*	*.45*	*.23*	*1.56*	*2.66*	*14.03*
	Sig	*.511*	*.541*	*.717*	*.451*	*.711*	*.868*	*.301*	*.963*
	h_p^2	*.026*	*.022*	*.008*	*.034*	*.008*	*.002*	*.063*	*.000*

Tabla 23. Diferencias pre-post entre el entrenamiento cruzado - EC, y el entrenamiento específico en apnea - EEA, producidos sobre el factor de rendimiento: tolerancia a la asfixia - TA. Anova de medidas repetidas. *$p<0.05$.

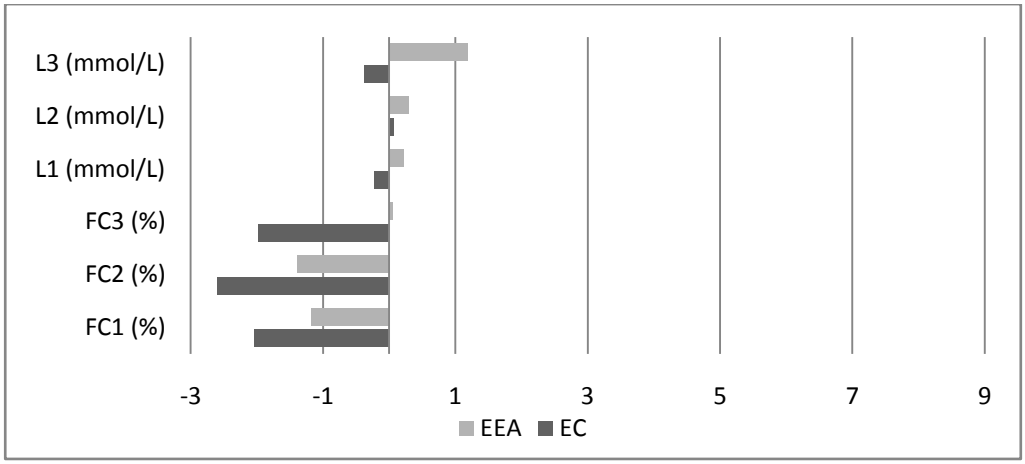


Figure 24. Diferencias entre el pre-post en el entrenamiento cruzado - EC, y el entrenamiento específico en apnea - EEA. Datos sobre la concentración de ácido láctico en cada una de las etapas del test Roecker - L1,L2 y L3, y sobre la FC alcanzada tras cada etapa del test de Roecker.

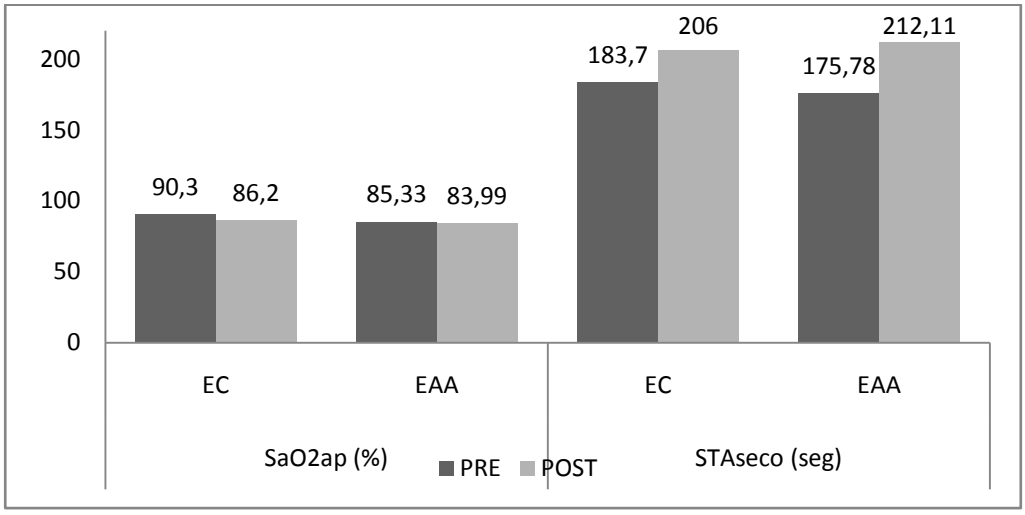


Figure 25. Diferencias entre el pre-post entre el entrenamiento cruzado - EC, y el entrenamiento específico en apnea - EEA. Datos sobre la saturación mínima de oxígeno registrada durante la apnea estática en seco - SpO_2, y el tiempo realizado en el test de apnea estática en seco - $Time_{sta}$.

5.- DISCUSIÓN

5.1.- FACTORES DE RENDIMIENTO EN LA APNEA INDOOR

El primer objetivo de la presente Tesis Doctoral fue el de examinar el grado de correlación existente entre los principales factores de rendimiento en Apnea Indoor conocidos hasta la fecha, minuciosamente descritos en las revisiones de Schagatay [46, 58], y el rendimiento específico de la misma.

El total de oxígeno y dióxido de carbono que el organismo es capaz de almacenar ya ha sido correlacionado, anteriormente, con el rendimiento en apnea - especialmente con la duración de la STA [58, 62, 117]. En la presente Tesis Doctoral se ha subdivido el factor "AT" en varios predictores de rendimiento de la Apnea Indoor. Entre los factores estudiados, la CV ha sido mostrada como un buen predictor del rendimiento de la Apnea Indoor en general ($r= 0.601$. $P<0.05$; Figura 10) y de la STA en particular. Tal y como se muestra en la tabla 2 del apartado 1.3.1, la capacidad pulmonar es especialmente influyente entre los apneístas de élite, siendo uno de los factores más diferenciales entre un apneísta profesional y una persona no entrenada [58]. Así, los resultados confirman los obtenidos por otros estudios, como el de Schagatay [62-63], Whittaker [64], Ferretti [61] o Fernández [117], quienes informaron de la correlación existente entre la CV y el rendimiento en la apnea deportiva. El aumento de la capacidad pulmonar es por lo tanto un claro objetivo a marcar en la periodización del entrenamiento. Por otra parte, los apneístas más altos parecen lograr mejores resultados en competición, esto puede deberse a la correlación existente entre CV y altura o entre la altura y la

eficiencia de nado [172]. Por el contrario, en un estudio que realizó Schagatay [62] sobre 14 apneístas masculinos participantes en el campeonato del mundo, concluyó que la altura no estaba correlacionada con el volumen del bazo; que a su vez si estaba correlacionado con el rendimiento tanto en Apnea Indoor como en Apnea Outdoor.

Según los resultados ofrecidos por la presente investigación, el valor basal de Hb, Hm o Hct no está correlacionado positivamente con el rendimiento en ninguna de las tres disciplinas de la Apnea Indoor; así, el nivel de Hb en sangre no se muestra como un factor de rendimiento en Apnea Indoor, al menos en apneístas de un nivel medio como los estudiados en la presente Tesis Doctoral. Esto coincide con lo descrito por Prommer [73], en cuyo estudio se concluyó que apneístas entrenados y no entrenados tenían niveles similares de Hb basal. Sin embargo, la capacidad por parte de la Hb de almacenar O_2 y CO_2 - ambos factores con gran influencia en la duración de la apnea (42) - contrasta con la falta de correlación encontrada en el presente estudio. También difiere de lo mostrado en el estudio de Bruijn donde apneístas de élite mostraron niveles de Hb basal en reposo superiores a esquiadores de élite y sujetos no entrenados [72]. Una posible razón, de esta divergencia, sería a causa del nivel de la muestra; es decir, que otros factores de rendimiento sean mucho más determinantes que la Hb en un nivel de competencia medio (campeonatos autonómicos o nacionales); concluyendo así, que el nivel de Hb en sangre puede resultar no ser un factor discriminante entre apneístas amateurs, pero sí ser un factor predisponente para alcanzar un alto nivel internacional. No obstante, sería interesante poder comparar en un futuro, el nivel de Hb en sangre entre apneístas de élite y apneístas amateurs analizando así de una manera más precisa la repercusión de la Hb en el rendimiento de la apnea.

Otro de los factores estudiados, la volemia, presentó una correlación positiva con el rendimiento global en Apnea Indoor (r=0466; P<0.05; Figura 11). La relación existente entre el volumen total de sangre en el organismo y el rendimiento en apnea coincide con lo investigado por Schagatay, quien concluye en su revisión que el volumen total de sangre en el organismo parece estar relacionado con una mayor habilidad de buceo a pulmón libre [58]. A esta conclusión conviene añadir el hecho de que en los mamíferos acuáticos, la volemia, representa del 10 al 20 % del peso corporal, mientras que en los mamíferos terrestres la volemia alcanza un 7-8 % del peso corporal [173].

La capacidad que tiene el organismo para transportar oxígeno en una unidad de tiempo está estrechamente relacionado con la preselección de atletas en deportes de resistencia [174-176]; no obstante, el papel que juega el VO_{2max} en el rendimiento de apnea es actualmente un debate abierto entre los científicos y entrenadores. A pesar de que algunos artículos señalan la correlación entre una alta capacidad aeróbica máxima y el rendimiento en apnea [134], otros concluyen que no existe tal relación entre el $VO2_{max}$ y el rendimiento en Apnea Indoor [135]. En la presente Tesis Doctoral, no se encuentra correlación alguna entre el VO_{2max} individual del deportista y su rendimiento en Apnea Indoor; pero, a pesar de esta falta de relación sobre el rendimiento específico, es importante destacar que un apneísta con una alta capacidad aeróbica máxima posee una mejor capacidad de recuperación de los estímulos de entrenamiento tras realizar altas intensidades en la carga de trabajo [177].

La tasa metabólica mínima que es capaz de alcanzar un deportista durante la apnea - y en los momentos previos a la misma - es uno de los principales factores de rendimiento entre los apneístas de élite [46, 58]; así, una posible explicación sobre la falta de correlación mostrada en la presente Tesis Doctoral

entre la TM_r, la FC_r y la FC_{sta} con el rendimiento en Apnea Indoor ha podido deberse a que los apneístas observados no acumularon las suficientes horas de entrenamiento que se requieren para poder alcanzar un nivel aceptable de meditación y auto-relajación [120]. No obstante, a pesar de todo lo anterior, la $FC_{min\text{-}sta}$, evidencia una correlación inversa con el rendimiento de todas las disciplinas ($p=-0.624$; $P<0.05$; Figura 12), y particularmente con el rendimiento de la STA; sugiriendo que los apneístas de nivel medio con mejores resultados en la Apnea Indoor son aquellos que logran bajar sus pulsaciones a valores mínimos, aunque solo sea por un instante.

Por otro lado, parece existir una mayor variabilidad de las características morfológicas entre los apneístas de élite [178] que entre los atletas de élite en otros deportes [46], en donde la especialización alcanzada es mucho mayor. De esta forma, se puede dar el caso de encontrar un campeón autonómico o nacional que apenas entrene 5 horas por semana - algo inconcebible en muchos otros deportes. Ahora bien la búsqueda de record en cada una de las disciplinas exige de un mayor nivel especialización, surgiendo así mayores diferencias entre los apneístas especialistas de cada una de ellas. Por otra parte, de manera similar a como un triatleta necesita desarrollar un óptimo rendimiento en natación, carrera y bicicleta; un apneísta que compita en la Apnea Indoor, debe tratar de buscar un equilibrio en el desarrollo de las tres disciplinas - STA, DYN y DNF. En la presente Tesis Doctoral, los resultados concluyen que el PGC, dentro de los parámetros saludables, no está correlacionado con el rendimiento en Apnea Indoor. En algunos artículos, se sugiere la capacidad de la grasa como aislante térmico; evitando la perdida -consumo - de calorías debidas a los escalofríos producidos por la adaptación del cuerpo al frio exterior [88-90]; no obstante, el uso de trajes de neopreno por parte de los sujetos y la climatización de las piscinas durante los entrenamientos y test de valoración,

han anulado la intervención de este factor. Además, los resultados revelan que la distribución de la grasa a través del cuerpo no guarda relación con el rendimiento global en Apnea Indoor. Es decir, que el ratio A/G, que resulta de la división entre la grasa androide - parte superior del cuerpo - y la grasa ginoide - parte inferior del cuerpo, no está vinculada al rendimiento en ninguna de las disciplinas.

Por el contrario la MMC muestra una correlación moderada con el rendimiento en Apnea Indoor ($r = 0.406$; $P<0.05$; Figura 13). Los datos de correlación mostrados entre la MMC con la disciplinas estática y dinámicas fueron similares (Tabla 14); sugiriendo que la masa muscular puede proponer una serie de beneficios más allá del aumento de la propulsión y velocidad de nado [179] como son el aumento del almacén intramuscular de mioglobina [180] o el aumento de la volemia [86].

Por último, Los resultados reflejan una mayor correlación de la DMO con las pruebas dinámicas que con la prueba estática, particularmente en DNF ($r=0.420$; $P<0.05$; Tabla14). La DMO afecta en gran medida a la flotabilidad del apneísta y esta a su vez en la correcta posición hidrodinámica durante las disciplinas dinámicas; así, un apneísta con una alta DMO necesitará utilizar menos peso en los lastres de cintura y cuello que una persona con baja DMO, facilitando así la gracilidad del movimiento.

Por encima del "umbral anaeróbico" según la definición de Wasserman [181], el rendimiento se caracteriza por someter al organismo a una acidemia metabólica sostenida, como la producida en las pruebas de STA, DYN y DNF [46-47]. La concentración de ácido láctico en la sangre sólo se puede determinar de forma discontinua; así, el uso de procedimientos de interpolación de puntos sobre un gráfico es esencial en la evaluación de la cinética de la

concentración de ácido láctico durante el ejercicio [171]; no obstante, el objetivo del test incremental por etapas de Roecker utilizado en la presente investigación no era medir la correlación de los diferentes valores de ácido láctico obtenidos al final de cada etapa con el rendimiento en Apnea Indoor; si no, observar (como veremos en los apartados siguientes - 4.2 y 4.3 -) la evolución de la curva dibujada por los 3 valores de ácido láctico y FC tras las diferentes intensidades de 8, 10 y 12 km/h con el fin de analizar los cambios producidos por el entrenamiento sobre la implicación de los diferentes sistemas energéticos - aeróbico y anaeróbico -, y la capacidad de amortiguación del ácido láctico por parte del sistema buffering. Así, los valores de concentración de ácido láctico en sangre, obtenidos al final de cada una de las etapas del test incremental de Roecker, mostraron una falta de correlación con el rendimiento en Apnea Indoor; sugiriendo la nula facultad de este tipo de test para predecir de forma directa el rendimiento en la Apnea Indoor.

Por otro lado, los resultados mostraron una correlación inversa entre la SpO_2 mínima alcanzada en la prueba de apnea estática máxima - $SpO_{2min\text{-}sta}$, y el rendimiento en Apnea Indoor en general ($r = 0.485$; $p<0.05$; Figura 14) y en STA en particular. Ferretti y cols,. [33] concluyeron que, la tolerancia a la asfixia individual es mucho menor en no entrenados, pero similar en los apneístas aficionados y profesionales; además sus resultados coinciden con los de esta Tesis Doctoral en el hecho que, entre los apneístas amateurs, aquellos que son capaces de alcanzar niveles inferiores de SpO_2, y por la tanto de soportar durante más tiempo la hipoxia, son los que obtienen mejor rendimiento deportivo. Por último, y aunque de forma previsible, existe una fuerte correlación entre el tiempo conseguido en el test de STA en seco y los resultados en todas las disciplinas ($P<0.05$; Figura 16; Tabla 12), sugiriendo

que la duración de la apnea es tan importante en disciplinas estáticas como dinámicas.

En resumen, un apneísta capaz de alcanzar un valor mínimo en SpO_2 o un valor máximo de concentración de ácido láctico tendrá una tolerancia individual a la asfixia mayor y un alargamiento de la 2ª fase o "fase de lucha". Debido a esto su rendimiento aumentará respecto a otro apneísta que no sea capaz de soportar estos niveles de acidosis e hipoxia; no obstante entre los apneístas de élite - con una tolerancia a la asfixia similar [33] - los principales factores de rendimiento en la Apnea Indoor son: la tasa metabólica alcanzada durante la apnea, la economía de nado subacuático o el total de O_2/CO_2 que sean capaces de almacenar en el organismo.

4.2.- ENTRENAMIENTO PERIODIZADO

En algunos de los artículos consultados se habla del rol que desempeña el entrenamiento sobre las adaptaciones producidas por los apneístas [182] o de la influencia del entrenamiento en apnea para con otros deportes [134, 183]. Curiosamente, a pesar de que en todos ellos se cita al entrenamiento como uno de los grandes responsables de la mejora del rendimiento, en ninguno de los artículos revisados hasta la fecha se ha realizado un análisis detallado de los métodos de entrenamiento utilizados o de la distribución de las cargas durante la temporada. Actualmente, según la evidencia consultada, no existe ningún trabajo que haya estudiado la implicación que tiene la periodización del entrenamiento sobre el rendimiento en la apnea deportiva. Debido a esto, uno de los principales objetivos de la presente Tesis Doctoral ha sido describir cómo a través de los principios de entrenamiento, una adecuada distribución de las

cargas y una correcta evolución en el volumen e intensidades de las mismas, se puede mejorar considerablemente el rendimiento en la Apnea Indoor, de la misma manera que lo hace en muchos otros deportes [126]. Para ello, se han medido las adaptaciones producidas en los apneístas inducidas por un entrenamiento periodizado de 22 semanas de duración. En este apartado, se analizan los efectos de un entrenamiento periodizado (EP) de seis meses de duración sobre un grupo control (GC). Mientras los apneístas del grupo de EP seguían las directrices marcadas por un entrenamiento guiado y debían de ceñirse exclusivamente al entrenamiento programado; los sujetos del GC tenían libertad para entrenar por su cuenta durante la semana.

Analizando los resultados obtenidos en este estudio, el EP obtuvo mejoras significativas sobre cada una de las disciplinas y sobre el resultado final en Apnea Indoor respecto al GC (P= 0.002*; Tabla 16); estos resultados sugieren una correcta estructuración de las cargas, volúmenes e intensidades de entrenamiento durante la temporada, sin generar sobrecargas ni sobreentrenamiento. Dicha optimización en el entrenamiento resulta un factor clave en el rendimiento en Apnea Indoor. Los datos ofrecidos por esta investigación muestran que los apneístas que siguieron un entrenamiento periodizado mejoraron un 24.07 % más respecto al GC en el rendimiento global en Apnea Indoor; es decir, el grupo de EP mejoró en un 28.71 % mientras que el GC mejoró en un 4.64%. Esto coincide con la evidencia existente de que los modelos de entrenamiento periodizado siempre muestran mayores incrementos sobre el rendimiento máximo de la temporada [141-142].

En cuanto al valor de CV registrado durante la espirometría, el grupo de EP no obtuvo diferencias significativas respecto al GC (Tabla 17). Mientras que los

grupos experimentales tuvieron un incremento de 0.335 L. tras el entrenamiento periodizado, el GC incremento ligeramente 0.07 L. su CV; es decir, la diferencia entre grupos fue de 0.27 L. de CV, lo que parece ser un cambio insuficiente teniendo en cuenta el nivel de la muestra y la duración del entrenamiento. Además, otros estudios como el de Whittaker [64] señalan la capacidad del entrenamiento específico de aumentar la CV del apneísta más allá de los 2 litros. Así, se puede concluir que el tiempo dedicado al acondicionamiento físico de la musculatura y demás elementos que intervienen en la mecánica respiratoria ha sido insuficiente; siendo necesario un incremento en el volumen e intensidad de las cargas específicas; es decir, en los estiramientos torácicos y técnicas específicas de IG y EG. Es importante recordar que, durante la espirometría, no se permitió el uso de la IG, con lo que no se ha tenido en cuenta toda aquella mejora o adaptación producida por el aprendizaje en dicha técnica.

Por otro lado, los valores de volemia y Hb hallados tras los entrenamientos permanecieron estables tanto en el grupo de EP como en el GC (Tabla 14), advirtiendo así del nulo efecto del entrenamiento específico de apnea sobre la volemia y los valores hematológicos. Tal y cómo vimos en la introducción (apartado 1.4.1) el aumento producido sobre la Hb basal (impulsada por la hormona glicoproteína EPO) se puede producir tras exposiciones crónicas a la hipoxia [109]. Teniendo en cuenta que no en todas las sesiones se trabajó la hipoxia (valores por debajo del 90 % de SaO_2) y que el volumen total de entrenamiento semanal fue de 4 horas y 30 minutos, se puede concluir que no hubo el suficiente estímulo hipóxico para provocar una estimulación de la EPO a largo plazo.

Se debe tener en cuenta que alcanzar ciertos niveles de meditación-relajación que capaciten al apneísta a reducir notablemente su gasto metabólico durante la apnea, requiere de numerosas horas de entrenamiento deliberado y años de experiencia [182]. Así, los resultados mostrados por ambos grupos en la TM_r, la FC_r y FC_{sta}, tras la implantación de los entrenamientos, reflejan la necesidad de un trabajo extra en técnicas de respiración y relajación cuyo objetivo específico sea aprender a relajar el cuerpo y la mente. Ciertos estudios muestran un descenso del 32% en el consumo de O_2 tras la aplicación de determinadas técnicas de relajación [120, 184].

Por otro lado, se observa como FC mínima alcanzada durante la apnea muestra una descenso significativo tras el EP respecto al GC. Esto se ha debido a que, en este test de $Time_{sta}$, los apneístas del grupo de EP han visto aumentado su tiempo de apnea estática y disminuido su SpO_2 respecto al GC; así pues, la hipoxia acentuada en el grupo de EP ha podido provocar esa diferencia sobre la FC mínima durante la apnea [23]. Debido a que la prueba se realizó en seco, se eliminó la posible influencia producida por la adaptación al entrenamiento del relejo de buceo.

Los datos obtenidos sobre las distintas variables de composición corporal tras los entrenamientos sugieren que un entrenamiento periodizado en apnea puede ayudar a bajar el PGC y a aumentar el PMMC aunque de manera discreta respecto a un entrenamiento no periodizado. No obstante, es importante indicar que no se tuvo en cuenta la dieta llevada a cabo por cada apneísta, y que simplemente se les insto a no cambiar los hábitos alimenticios durante la investigación. Al contrario que en los entrenamientos periodizados de resistencia [185] o fuerza [186] en donde baja el PGC y sube la MMC, el entrenamiento periodizado en apnea provocó un descenso tanto de la MMC como del PGC. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos respecto al

rendimiento en la Apnea Indoor, por parte del grupo de EP y GC, los datos de composición corporal coinciden con el concepto de que un incremento de la masa muscular vendría acompañado de un aumento de la tasa metabólica basal [85]; y es contrario al hecho de que una mayor masa muscular traería consigo un aumento de la volemia [86-87] y de la mioglobina muscular [46, 75-76], ambos factores del rendimiento en la Apnea Indoor.

Los valores de ácido láctico post-test alcanzados tras la última etapa del test de Roecker - 7.31 mmol/L en el grupo de EP y 6.8 mmol/L en el GC - fueron similares a los alcanzados tras la realización de apneas máximas en STA - 6 mmol/L - y DYN o DNF - entre 8 y 10 mmol/L [46-47]. Los resultados reflejan que el entrenamiento de apnea no produce mejoras significativas sobre el aclarado del ácido láctico por parte del sistema buffering; evidenciado así un bajo estimulo provocado por el entrenamiento en hipercapnia. En el estudio de Joulia los apneístas con una experiencia de 7-10 años en la apnea deportiva y capaces de aguantar más de 7 minutos en STA presentaban una acidosis sanguínea y un estrés oxidativo menores tras la realización de una apnea, estática o dinámica, que los sujetos sin experiencia en el entrenamiento de la apnea deportiva; no obstante, teniendo en cuenta el nivel de la muestra de la presente investigación en los post-test (2 ±0.65 años de experiencia con 249 s. de STA en el grupo de EP y 1.62±0.66 años de experiencia con 151 s. de STA en el GC) es posible que las adaptación producidas por el entrenamiento de la apnea sobre la acidosis sanguínea requieran de una estimulación mayor provocadas por el incremento en el volumen e intensidad de la carga trabajo.
Por otra parte, según los datos de saturación de oxígeno revelados por la tabla 19, el grupo de EP desarrolló una mayor tolerancia a la asfixia llegando en algunos casos a alcanzar niveles del 65 % de SpO_2. Así, igual que en otros

deportes, como el atletismo, no es igual bajar de 12 a 11 segundos que bajar de 11 a 10 segundos en 100 m, en la apnea deportiva, no es lo mismo bajar de 90 a 88 % de SpO_2 que de 88 a 85 % de SpO_2; de tal manera, que las diferencias obtenidas entre SpO_2 menores requieren de un mayor entrenamiento y son un claro indicativo del nivel del apneísta. No obstante, los valores post-test de SpO_2 mínima obtenidos durante la apnea estática en seco - 85.04 % en el grupo de EP y 88.44 % en el GC - reflejan que prácticamente la totalidad de la muestra del grupo de EP pudo aumentar su rendimiento en Apnea Indoor mejorando su capacidad de tolerancia a la asfixia individual aún más.

En resumen, alcanzar un máximo nivel de rendimiento en la apnea deportiva requiere de una predisposición genética y de un entrenamiento sistematizado en objetivos y contenidos a medio y largo plazo. No obstante, es importante la elección y distribución de las cargas a incluir en los entrenamientos, así como que intensidad y volumen son requeridos por parte de cada una de ellas para poder conseguir la adaptación buscada.

4.3.- ENTRENAMIENTO ASOCIADO

Una vez se ha discutido sobre los beneficios del entrenamiento periodizado en la Apnea Indoor, en este apartado se trata de analizar y comparar las adaptaciones producidas por un Entrenamiento de apnea Cruzado con cargas físicas - EC - y un Entrenamiento Específico en Apnea - EEA. En estudios anteriores como el de Schagatay [135] se estudió la implicación del entrenamiento físico y del entrenamiento de apnea - aunque de manera aislada . sobre el aumento del tiempo en apnea estática. En la presente investigación se

tratará de aclarar si la inclusión de cargas físicas asociadas al entrenamiento de apnea resulta más beneficiosa para el rendimiento de la Apnea Indoor que la realización de un entrenamiento exclusivamente de apnea deportiva.

Las mejoras producidas sobre el rendimiento en Apnea Indoor tras ambos entrenamientos - EC y EEA - fueron similares; siendo de un 30.27 % en el grupo de EC y de un 27.08 % en el grupo de EEA; es decir la inclusión de las cargas físicas asociadas al entrenamiento de apnea ayudó a mejorar en un 3.19 % el rendimiento en Apnea Indoor. No obstante se observa una divergencia respecto a las disciplinas: mientras que la STA mejora un 3.51 % más en favor del grupo de EEA, las disciplinas dinámicas obtiene un incremento de un 5.42 % en DNF y un 5.61 % en DYN a favor del grupo de EC. Esto puede haberse debido a que, casi todos los lunes, mientras el grupo de EEA trabajaba cargas específicas de apnea, el grupo de EC realizaba un entrenamiento de natación.

Todo lo anterior sugiere que el entrenamiento asociado de natación ha ayudado a mejorar la ENS influyendo así en la mejora del rendimiento de las apneas dinámicas. Estos resultados coinciden con los ofrecidos por Holmér [100] que concluyó en su estudio que los nadadores entrenados utilizan menos oxígeno que los no entrenados para una misma velocidad de nado y que además, también nadan más rápido con un coste energético equivalente a los no entrenados; además, también se asemeja con lo citado por Schagatay [46] en una de sus revisiones, dónde determina que una proporción relativamente alta de los ex-nadadores de competición se encuentra entre los mejores atletas en las disciplinas dinámicas. Por otro lado, el mayor volumen de entrenamiento dedicado al trabajo específico en apnea, por parte del grupo de EEA, puede estar detrás de la mejora de la STA respecto al grupo de EC.

Tanto las variables hematológicas como el volumen total de sangre en el organismo permanecieron constantes en ambos grupos tras los entrenamientos; lo que sugiere que, ni el entrenamiento específico de apnea, ni las cargas físicas asociadas al EC han sido suficientes para conseguir un aumento de la volemia con aumento asociado del Hct. La ausencia del incremento de la Hb asociada a la exposición crónica a la hipoxia está en desacuerdo con lo expuesto por Jelkmann [107] o Balestra [108] quienes afirman que la cantidad total de eritrocitos está mediado por la hormona glicoproteína EPO en respuesta a la hipoxia crónica; advirtiéndose que el estímulo hipóxico intermitente, provocado por el entrenamiento en apnea, no conlleva una adaptación sobre la Hb basal a largo plazo. Por otro lado, el estudio de Schmidt [187] encontró un aumento de la volemia y del número de glóbulos rojos provocado por un entrenamiento de tres semanas en un ergómetro, con 5 sesiones a la semana durante 45 minutos y a una intensidad del 70% del $VO2_{máx}$; además, Prommer [73] comparó a apneístas amateurs, buceadores con botella y triatletas, concluyendo que los triatletas - los que mejor capacidad aeróbica presentaban - disponían de un mayor volumen de sangre unidos a altos niveles de Hb. Así, teniendo en cuenta que la carga semanal de entrenamiento natación era de 1 h, y conociendo la capacidad demostrada por parte de los entrenamientos en resistencia para aumentar los niveles de Volemia y Hb, se recomienda el incremento sobre el volumen e intensidad de los entrenamientos en natación durante la temporada; desarrollando una distribución de las cargas de entrenamiento de la resistencia mediante la natación similar a la mostrada en la Figura 4 (apartado 1.5.3; pág 30).

Respecto a la CV, se observó un aumentó de 0.11 L. y 0.55 L. tras el EEA y el EC respectivamente; sugiriendo que el trabajo de resistencia mediante la natación fueron las responsables del mayor aumento en la CV de los apneístas

del grupo de EC. Esto coincide por lo descrito por Couteix [188] o Mickleborough [189] quienes concluyen que el entrenamiento de resistencia mediante la natación es capaz de provocar un aumento a largo plazo sobre la CV.

Por otra parte, los cambios provocados sobre la capacidad aeróbica máxima del apneísta, tras la implantación de los entrenamientos, muestran que las cargas físicas de resistencia mediante la natación fueron las responsables del mayor aumento del $VO2_{max}$ en favor del grupo de EC respecto al grupo de EEA. Estos datos coinciden con lo mostrado en el estudio de Clanton, en dónde un entrenamiento en natación de 12 semanas de duración fue suficiente para aumentar la CV y $VO2_{max}$ de 16 nadadoras de 20 años [190] y con los ofrecidos por Schagatay [135] que, tras comparar un entrenamiento en resistencia de 2 meses (1-3 sesiones por semana) y un entrenamiento exclusivo en apnea (1 sesión diaria) de 2 semanas, concluyó que mientras el entrenamiento físico mejoró el valor de VO2max, el entrenamiento específico en apnea no produjo mejora alguna sobre la capacidad aeróbica máxima.

Los cambios producidos sobre los valores de TM_r, FC_r, $FC_{sta\ y}$ $FC_{min\text{-}sta}$ fueron similares en ambos grupos de entrenamiento periodizado. Así, una vez conocida la diferencia sobre la FC mínima alcanzada durante la apnea entre el entrenamiento periodizado y el grupo control, se concluye que el entrenamiento específico de apnea es el principal responsable de la mayor bradicardia alcanzada durante la apnea estática en seco. No obstante, tanto la FC_{sta} como la $FC_{min\text{-}sta}$ se reducen ligeramente de una forma más acentuada en el grupo de EC, advirtiendo así una posible adaptación cardiovascular producida por el entrenamiento físico. Esto coincidiría con lo expuesto por Scheuer [191] quién

concluyó en su estudio, que la bradicardia alcanzada durante el ejercicio se debía a la adaptación producida por el entrenamiento físico.
En ambos grupos se produce un descenso del PGC y de la MMC aunque de forma más acentuada en el grupo de EC; esto sugiere que el entrenamiento físico asociado al entrenamiento de apnea provoca una mayor pérdida de grasa y de MMC que el entrenamiento exclusivo en apnea. A pesar de la mayor pérdida de MMC, el grupo de EC, incrementó el PMMC respecto al grupo de EEA. La bajada del PGC por parte del grupo de EC coincide con los expuesto por Després [185] en su estudio; no así la bajada de la MMC. No obstante, el hecho de que el PMMC se haya visto aumentado en ambos grupos coincide con la idea de indica Schagatay [46] de que un apneísta ideal sería aquel que tuviera una musculatura razonable.

Respecto a la prueba de Roecker, el grupo de EC experimenta una ligero descenso de la concentración de ácido láctico en todos las etapas - sobre todo en la última, dónde la intensidad del esfuerzo es mayor (por encima del umbral anaeróbico) - respecto al grupo de EEA. Esto sugiere que las cargas físicas asociadas al entrenamiento de apnea han modificado la implicación de los diferentes sistemas energéticos - aeróbico y anaeróbico -, y mejorado la capacidad de amortiguación del ácido láctico por parte del sistema buffering; es decir, han ayudado a disminuir la acumulación del ácido láctico ante una situación de esfuerzo sostenido similar. Esto coincide con el estudio de Wakayoshi [192] en donde 8 nadadores, tras un entrenamiento de natación de 6 meses, reducen de forma significativa el nivel de concentración del ácido láctico alcanzado tras un esfuerzo físico similar
Según los datos de saturación de oxígeno revelados por la tabla 21, el grupo de EC consiguió una mayor bajada de la SpO_2 tras los entrenamientos; no

obstante, como se ha comentado en el apartado anterior, las diferencias obtenidas entre SpO_2 menores requieren de un mayor entrenamiento. Estos datos de SpO2 - 83.89 % y 86.2 % de SpO_2 en los grupos de EEA y EC respectivamente - están todavía lejos del 50 % de SpO2 que son capaces de conseguir apneístas de élite [58]; sugiriendo que ambos grupos pueden aumentar su capacidad de tolerancia a la asfixia individual aún más.

En referencia a los resultados observados en la presente Tesis Doctoral se intuye necesaria la inclusión de cargas físicas paralelas asociadas al entrenamiento específico en apnea. No obstante, el volumen de entrenamiento semanal descrito en esta Tesis Doctoral (tres días semanales) parece insuficiente para albergar todos los entrenamientos necesarios que puedan producir las adaptaciones deseadas. Teniendo en cuenta que no se han producido síntomas de fatiga o sobreentrenamiento durante la implantación de los diferentes programas de entrenamiento, se ve recomendable un aumento en el volumen semanal de trabajo. De tal manera que, para asegurar un efecto acumulativo óptimo se debe diseñar una combinación racional de las diferentes cargas de entrenamiento; es decir, la elección de un intervalo óptimo de recuperación-estímulo de carga. Recomendándose así un volumen semanal de entrenamiento de 5 sesiones distribuidas de la siguiente manera (entrenamiento en apnea - entrenamiento asociado):

- 2-3 en el periodo preparatorio general (familiarización).
- 3-2 en el periodo preparatorio específico I.
- 4-1 en el periodo preparatorio específico II.

6.a.- CONCLUSIONS

According to the objectives and results, the conclusions of this Doctoral Thesis are as follows:

1) Concerning to amateurs breath-hold divers, the most decisive performance factors in Apnea Indoor, are: the total storage of O2/CO2 in the organism and individual tolerance to asphyxia.

2) Results show a considerable increase on Apnea Indoor performance through the inclusion of a periodized training by objectives and contents in the medium and long term.

3) Inclusion of physical training, combined to "apnea training", increase performance in dynamic disciplines - DYN and DNF, regarding to an exclusive and isolated "apnea training".

6.b.- CONCLUSIONES

Según los objetivos marcados y los resultandos observados, las conclusiones de la presente Tesis Doctoral serían las siguientes:

1) En apneístas de nivel medio, los factores de rendimiento más determinantes de la Apnea Indoor, son: el almacenaje total de O_2/CO_2 en el organismo y la capacidad física/mental individual del apneísta para soportar las condiciones extremas de hipoxia e hipercapnia.

2) Los resultados de la presente Tesis Doctoral ponen de manifiesto la considerable mejora producida sobre el rendimiento en la Apnea Indoor a través de la inclusión de un sistema de entrenamiento periodizado en objetivos y contenidos a medio y largo plazo.

3) La inclusión de cargas físicas asociadas al entrenamiento de apnea, incrementa el rendimiento en las disciplinas dinámicas - DYN y DNF, respecto a un entrenamiento de apnea exclusivo y aislado.

7.- PLAN DE DIFUSIÓN

Con el fin de obtener la mayor divulgación posible de la presente Tesis Doctoral, los resultados obtenidos se dividirán en tres artículos científicos, estructurados de la siguiente forma:

- *Periodized "Apnea Indoor" training. Part I: Apnea predictors.*
- *Periodized "Apnea Indoor" training. Part II: Periodized training.*
- *Periodized "Apnea Indoor" training. Part III. Associated physical training.*

Por otro lado, los resultados obtenidos a partir de mediciones paralelas realizadas durante la Tesis Doctoral sirvieron para la difusión de diferentes estudios de investigación:

- En primer lugar, para poder llevar a cabo una correcta periodización del entrenamiento en Apnea Indoor, era necesario conocer cuáles eran los entrenamientos específicos que realizaban los apneístas profesionales repartidos por España. Para ello nos trasladamos a Tenerife y Barcelona, donde se encontraban los apneístas con más experiencia y más reconocidos de nuestro país. Les realizamos unas mediciones pre-post para valorar su entrenamiento; el cuál le habíamos pedido que nos desarrollaran en un cuaderno personal. Una vez conocidos y analizados los entrenamientos que realizaban los apneístas experimentados, creamos un macrociclo de entrenamiento piloto. Los resultados obtenidos fueron utilizados para presentar el estudio titulado *"Comparison of two different training loads in Spanish elite freedivers*" en el 18th European Congress of Sports Science [178].

- En segundo lugar, con el fin de alcanzar un mayor conocimiento sobre los principales factores de rendimiento de la Apnea Indoor, nos trasladamos hasta la MIUN University en la ciudad de Östersund (Suecia). Allí se trabajó durante 3 meses junto a los miembros del Environmental Physiology Group (EPG) dirigido por Erika Schagatay [46, 57-58]. Los datos obtenidos durante la estancia fueron utilizados para la realización del estudio titulado "*Predicting static and dynamic apnea performance in elite divers using a 2-minute static apnea test*"" expuesto en el 41st Congress of the European Underwater & Baromedical Society" [117].

8.- LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

En cuanto a las limitaciones que presenta la investigación llevada a cabo en la presente Tesis Doctoral conviene resaltar que:

- El nivel de la muestra ha podido ser responsable de la falta de correlación de factores como la Hb basal o la frecuencia cardiaca media durante la apnea; de manera que la tolerancia individual a la asfixia ha podido enmascarar o diluir la influencia de los otros factores de rendimiento de la Apnea Indoor.

- La realización de solo dos mediciones (pre-post entrenamiento); ha dificultado el análisis sobre la evolución de las adaptaciones producidas por el entrenamiento.

- Debido a la complejidad y tiempo que requería el análisis subjetivo de la técnica específica de cada una de las disciplinas dinámicas de la Apnea Indoor, no se ha incluido ningún test que analice la economía de nado subacuático.

9.- PERSPECTIVA FUTURA

Teniendo en cuanta los resultados ofrecidos por la presente Tesis Doctoral y las limitaciones anteriormente presentadas, en futuras investigaciones sería recomendable incluir las siguientes consideraciones:

- Implementar un entrenamiento periodizado de Apnea Indoor sobre apneístas con una tolerancia a la asfixia óptima y similar; pudiendo así analizar de manera más incisiva la influencia de los otros factores de rendimiento de la Apnea Indoor.

- Introducir más puntos de control durante la temporada de entrenamientos (al menos uno después de cada periodo de entrenamiento) midiendo exclusivamente los factores de rendimiento entrenados durante dicho periodo.

- Desarrollar un protocolo de valoración subjetiva del análisis de la técnica. Con lo que, a partir de la exploración y posterior puntuación, mediante una escala de valores del 1 al 10, de las distintas variables que componen la técnica de nado (deslizamiento, coordinación, flotabilidad...etc.,) se obtiene un valor numérico final fácil de comparar intra e intersujetos; también se recomienda el uso de test hidrodinámicos para la valoración de la ENS.

- La inclusión de un modelo de macrociclo contemporáneo con cargas concentradas permitiendo efectos más selectivos, inmediatos y acumulativos que utilizando el modelo tradicional; sugiriéndose así, la implantación, y posterior análisis comparativo, de ambos modelos de periodización sobre una muestra de apneístas de alto nivel.

AGRADECIMIENTOS

A continuación me gustaría agradecer a las personas que yo honestamente considero co-autores de esta Tesis Doctoral.

En primer lugar me gustaría agradecer a mí Director de Tesis, el Pr. Dr. José María González Ravé, el esfuerzo, la paciencia, los consejos y sobretodo el hecho de que me hiciera sentir como en casa desde el primer día que pise el "Laboratorio de Entrenamiento Deportivo" hace ya cinco años. Gracias Chema.

Durante estos cinco años he compartido muchas horas de vuelo con compañeros investigadores en el "LED". Han sido momentos de duro trabajo e interesantes charlas que nos han hecho crecer juntos. Me gustaría agradecerles a todos ellos su constate apoyo; en especial, al Pr. Dr. Daniel Juárez Santos por sus valiosos consejos.

A los miembros del Laboratorio de Rendimiento y Readaptación Deportiva, por su colaboración con las mediciones realizadas durante la presente Tesis Doctoral

A la Universidad de Castilla La Mancha, Facultad de Ciencias del Deporte y al Departamento de Actividad Física y Ciencias del Deporte por permitirme llevar a cabo todas las investigaciones que han sido necesarias para la finalización de esta tesis.

A la Dra. Erika Schagatay por recibirme en la estancia realizada en la " Mid Sweeden University"" y enseñarme tanto acerca de la fisiología de la apnea. Quisiera agradecer a Angelica, Alex y Harald por hacerme sentir como uno más y hacerme partícipe de los proyectos que allí desarrollaban.

No me quiero olvidar de los compañeros y miembros de la "La Salle Centro Universitario" con quienes hace poco he empezado a trabajar con la mayor de las ilusiones.

A los compañeros de entrenamiento del Club Apnea Madrid, esta Tesis es vuestra; seguiremos creciendo juntos. A los amigos de Apnea Canarias y a los amigos de Apnea Cataluña por abrir el camino para que otros muchos sepan como andarlo en el futuro.

Gracias a la FEDAS y FMDAS por su constante apoyo en la difusión y promoción de la apnea deportiva.

Gracias a mis amigos porque ellos han sido la auténtica válvula de escape ante situaciones de estrés.

Me gustaría utilizar las últimas palabras de estos agradecimientos para dedicárselo a mi familia. A mis abuelos que tanto me han enseñado, a mis tíos, primos y cuñado. A mi hermana, por ser mi "socia de vida" desde hace 30 años. Y como no, a mi pequeño pingüino por elegirme y aguantarme.

Y si a alguien debo agradecer cualquier cosa de mi vida es a mis Padres. Para vosotros solo me sale un simple, honesto y contundente "gracias".

REFERENCIAS

1. Kooyman GL. *Diverse divers: physiology and behavior;* Zoophysiology. 1ª ed. Berlin: Springer-Verlag; 1989.
2. Rahn H Y. *Physiology of Breath-Hold Diving and the Ama of Japan.* En: National Research Council. Washington DC; 1965.
3. Schagatay E, Lodin-Sundström A, Abrahamsson E. *Underwater working times in two groups of traditional apnea divers in Asia: the Ama and the Bajau.* Diving Hyperb Med.2011; 41(1):27-30.
4. Schagatay E, Johansson O. *Sara Campbell: World Champion in Deep Diving After 9 Months of Training–How. Is This Possible?* Human Evolution. 2014; 29 (1-3): 67-73.
5. Dejours P. *Hazards of hypoxia during diving* in *Physiology of breath-holding and the Ama of Japan.* En: National Research Council.Washington DC; 1965.
6. Hentsch U, Ulmer HV. *Trainability of underwater breath-holding time.* Int J Sports Med. 1984; 6: 343-7.
7. Lin Y-C, Hong S. *Hyperbaria: breath-hold diving.* Handbook of environmental physiology. 1996; 979-995.
8. Ferrigno M. *Human breath-hold diving.* En:Lundgren C. The lung at depth: lung biology in health and disease. New York: Miller J; 1999. p. 529-585.
9. Lin YC. *Physiological and conventional breath-hold breaking points.* J Appl Physiol. 1974; 3: 291-6.
10. Lin YK, Shida KK, Hong, SK. *Effects of hypercapnia, hypoxia, and rebreathing on circulatory response to apnea.* J Appl Physiol. 1983; 1: 172-177.

11. Asmussen NG, Kristiansson NG. *The "diving bradycardia" in exercising man.* Acta Physiol Scand. 1968; 73(4): 527–535.
12. Elsner R, Gooden BA, Robinson SM. *Arterial blood gas changes and the diving response in man.* Aust J Exp Biol Med Sci. 1971; 49(5): 435-444.
13. Leuenberger U. *Hypoxia augments apnea-induced peripheral vasoconstriction in humans.* J Appl Physiol. 2001; 90(4): 1516–22.
14. Heusser K. *Cardiovascular regulation during apnea in elite divers.* Hypertension. 2009; 4: 719-24.
15. Palada I, Bakovic D. *Restoration of hemodynamics in apnea struggle phase in association with involuntary breathing movements.* Respir Physiol Neurobiol. 2008; 161(2): 174–81.
16. Andersen HT. *Physiological adaptations in diving vertebrates.* Physiol Rev. 1966; 2: 212-43.
17. Sieber A. *Underwater study of arterial blood pressure in breath-hold divers.* J Appl Physiol. 2009; 5: 1526-31.
18. Andersson J, Schagatay E. *Effects of lung volume and involuntary breathing movements on the human diving response.* Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1997; 1: 19-24.
19. Lindholm, P. and C.E. Lundgren, *The physiology and pathophysiology of human breath-hold diving.* J Appl Physiol, 2009. 106(1): p. 284-92.
20. Ferrigno M. *Cardiac performance in humans during breath holding.* J Appl Physiol. 1986; 6: 1871-7.
21. Jung KS. *Behavior of heart rate and incidence of arrhythmia in swimming and diving.* Biotelem Patient Monit. 1981; 4: 228-39.

22. Andersson J. *Cardiovascular responses to cold-water immersions of the forearm and face, and their relationship to apnoea.* Eur J Appl Physiol. 2000; 6: 566-72.

23. Leuenberger UA. *Hypoxia augments apnea-induced peripheral vasoconstriction in humans.* J Appl Physiol. 2001; 4; 1516-22.

24. Potkin RC, Siegel R. *Effects of glossopharyngeal insufflation on cardiac function: an echocardiographic study in elite breath-hold divers.* J Appl Physiol. 2007; 3: 823-7.

25. Nygren-Bonnier M. *Effects of glossopharyngeal pistoning for lung insufflation in elite swimmers.* Med Sci Sports Exerc. 2007; 5: 836-41.

26. Novalija J. *Cardiovascular aspects of glossopharyngeal insufflation and exsufflation.* Undersea Hyperb Med. 2007; 6: 415-23.

27. Overgaard KF, Pedersen R, Lykkeboe G. *Influence of lung volume, glossopharyngeal inhalation and P(ET) O2 and P(ET) CO2 on apnea performance in trained breath-hold divers.* Eur J Appl Physiol. 2006; 2: 158-164.

28. Fagius JS. *The diving response in man: effects on sympathetic activity in muscle and skin nerve fascicles.* J Physiol. 1986; 1: 429-443.

29. Bosco G, Zanon V, Fanò G. *Breath-hold diving: a point of view.* Sport Sciences for Health. 2007; 2: 47-54.

30. Furlan R. *Early and late effects of exercise and athletic training on neural mechanisms controlling heart rate.* Cardiovasc Res. 1993; 3: 482-8.

31. Saito S, Hachiya T. *Resistance exercise training enhances sympathetic nerve activity during fatigue-inducing isometric handgrip trials.* Eur J Appl Physiol. 2009; 2: 225-34.

32. Ferrigno M. *Cardiovascular changes during deep breath-hold dives in a pressure chamber.* J Appl Physiol. 1997; 4: 1282-1290.
33. Ferretti G. *Extreme human breath-hold diving.* Eur J Appl Physiol. 2001; 4: 254-271.
34. Andersson J. *Arterial oxygen saturation and diving response during dynamic apneas in breath-hold divers.* Scand J Med Sci Spor. 2009; 1: 87-91.
35. Perini A, Moia C, Sponsiello N, Ferretti G. *Cardiovascular time courses during prolonged immersed static apnoea.* Eur J Appl Physiol. 2010; 2: 277-83.
36. Breskovic T. *Cardiovascular changes during underwater static and dynamic breath-hold dives in trained divers.* J Appl Physiol. 2011; 3: 673-678.
37. Craig AB, Medd WL. *Man's responses to breath-hold exercise in air and in water.* J Appl Physiol. 1968; 6: 773-7.
38. Schagatay E, Andersson J, Nielsen B. *Hematological response and diving response during apnea and apnea with face immersion.* Eur J Appl Physiol. 2007; 1: 125-132.
39. Schuitema K, Holm B. *The role of different facial areas in eliciting human diving bradycardia.* Acta Physiol Scand. 1988; 1: 119-20.
40. Sterba JA, Lundgren CE. *Breath-hold duration in man and the diving response induced by face immersion.* Undersea Biomedical Research, 1988; 5: 361-375.
41. Foster GE, Sheel AW. *The human diving response, its function, and its control.* Scand J Med Sci Spor. 2005; 1: 3-12.

42. Dean J, Ballantyne D, Cardone D. *Role of gap junctions in CO2 chemoreception and respiratory control.* Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol. 2002; 283 (4): 665-70.

43. Ainslie PN, Duffin J. *Integration of cerebrovascular CO2 reactivity and chemoreflex control of breathing: mechanisms of regulation, measurement, and interpretation.* Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2009: 1473-95.

44. Perez ME. *Control de la respiración.* Manual de Neumología y Cirugía Toracica.1ª ed. Madrid: Editores médicos; 1998.

45. Parkes MJ. *Breath-holding and its breakpoint.* Experimental Physiology. 2006; 1: 1-15.

46. Schagatay E. *Predicting performance in competitive apnea diving, part II: dynamic apnoea.* Diving Hyperb Med. 2010; 1: 11-22.

47. Engan H. *Blood lactate after deep dives in 3 disciplines of competitive apnea.* En: *36th Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society.* Istanbul; 2010.

48. Andersson J. *Cardiovascular and respiratory responses to apneas with and without face immersion in exercising humans.* J Appl Physiol. 2004; 3: 1005-1010.

49. Schagatay, E. and J. Andersson, *Diving response and apneic time in humans.* Undersea Hyperb Med, 1998. 25(1): p. 13-9.

50. Qvist J. *Hemoglobin concentrations and blood gas tensions of free-diving Weddell seals.* J Appl Physiol. 1986; 4): 1560-1569.

51. Schagatay E, Haughey H, Reimers J. *Speed of spleen volume changes evoked by serial apneas.* Eur J Appl Physiol. 2005; 4: 447-452.

52. Schagatay E. *Physiological and genomic consequences of intermittent hypoxia. Selected contribution: role of spleen emptying in prolonging apneas in humans.* J Appl Physiol. 2001; 90:1623-9.
53. Jackson DC. *Surviving extreme lactic acidosis: the role of calcium lactate formation in the anoxic turtle.* Respir Physiol Neurobiol. 2004; 2–3: 173-178.
54. Andrzej O. *The Role of Training in the Development of Adaptive Mechanisms in Freedivers.* J Human Kinetics. 2012; 32:197-210
55. Lindholm P. *Alveolar gas composition before and after maximal breath-holds in competitive divers.* Undersea Hyperb Med. 2006; 33(6): 463-7.
56. Dujic Z. *Involuntary breathing movements improve cerebral oxygenation during apnea struggle phase in elite divers.* J Appl Physiol, 2009; 6: 1840-6.
57. Schagatay E. *Predicting performance in competitive apnea diving. Part III: deep diving.* Diving Hyperb Med. 2011: 4; 216-28.
58. Schagatay E. *Predicting performance in competitive apnoea diving. Part I: static apnoea.* Diving Hyperb Med. 2009; 2: 88-99.
59. Rahn H. *Oxygen stores of man*. Oxygen in the animal organism. New York: Dickens & Neil; 1964.
60. Bruijn R. *Increased erythropoietin concentration after repeated apneas in humans.* Eur J Appl Physiol. 2008; 5: 609-613.
61. Ferretti G, Costa M. *Diversity in and adaptation to breath-hold diving in humans.* Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol. 2003; 1: 205-213.
62. Schagatay E, Richardson M, Lodin-Sundström A. *Size matters: spleen and lung volumes predict performance in human apneic divers.* Front Physiol. 2012; 3: 173.

63. Schagatay E, Lodin-Sundström A, Richardson M. *Lung volume and diving performance in elite apnoeists. En:* 33rd Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society. Sharm el Sheikh, Egypt; 2007.

64. Whittaker LA, Irvin CG. *Going to extremes of lung volume.* J Appl Physiol. 2007; 3: 831-833.

65. Dail CW, Affeldt JE, Collier CR. *Clinical aspects of glossopharyngeal breathing; report of use by one hundred postpoliomyelitic patients.* J Am Med Assoc. 1955; 6: 445-9.

66. Santana A. *-122 m: mucho más que un récord*. *El País*. En prensa 2014.

67. Lindholm P, Nyren S. *Studies on inspiratory and expiratory glossopharyngeal breathing in breath-hold divers employing magnetic resonance imaging and spirometry.* Eur J Appl Physiol. 2005; 5-6: 646-51.

68. Seccombe LM. *Features of glossopharyngeal breathing in breath-hold divers.* J Appl Physiol. 2006; 3: 799-801.

69. Loring SH. *Transpulmonary pressures and lung mechanics with glossopharyngeal insufflation and exsufflation beyond normal lung volumes in competitive breath-hold divers.* J Appl Physiol. 2007; 3: 841-846.

70. Liner MH, Linnarsson D. *Tissue oxygen and carbon dioxide stores and breath-hold diving in humans.* J Appl Physiol. 1994; 2: 542-547.

71. Dominguez de Villota E, Ruiz M. *Equality of the in vivo and in vitro oxygen-binding capacity of haemoglobin in patients with severe respiratory disease.* Br J Anaesth. 1981; 53 (12) :1325-8.

72. De Bruijn R. *Hemoglobin levels in elite divers, elite skiers and untrained humans.* En: 33rd Annual Scientifi c Meeting of the European Underwater and Baromedical Society. Corsica, France; 2004.

73. Prommer N. *Total haemoglobin mass and spleen contraction: a study on competitive apnea divers, non-diving athletes and untrained control subjects.* Eur J Appl Physiol. 2007; 6: 753-759.

74. Kang BS. *Changes in Body Temperature and Basal Metabolic Rate of the Ama.* J Appl Physiol. 1963; 14(3): 193.

75. Davis R. *The diving paradox: new insights into the role of the dive response in air-breathing vertebrates.* Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol. 2004; 3: 263-268.

76. Kooyman JL, Ponganis PJ. The physiological basis of diving to depth: birds and mammals. Annu Rev Physiol. 1998; 60: 19-32.

77. Laub M. *Spleen emptying and venous hematocrit in humans during exercise.* J Appl Physiol. 1993; 3: 1024-1026.

78. Bakovic D. *Effect of human splenic contraction on variation in circulating blood cell counts.* Clin Exp Pharmacol Physiol. 2005; 11: 944-51.

79. Stewart I. *Arterial Oxygen Desaturation Kinetics during Apnea.* Med Sci Sports Exerc. 2005; 11):1871-1876.

80. Richardson MX. *Short-term effects of normobaric hypoxia on the human spleen.* Eur J Appl Physiol. 2008; 2: 395-9.

81. Lodin-Sundström A, Schagatay E. *Spleen Contraction During 20 min Normobaric Hypoxia and 2 min Apnea in Humans.* Aviation, Space & Environmental Medicine. 2010; 6: 545-549.

82. Elsner R, Gooden B. *Diving and asphyxia. A comparative study of animals and man.* Monogr Physiol Soc. 1983; 40: 1-168.

83. Lindholm P. *Effects of fasting and carbohydrate consumption on voluntary resting apnea duration.* Eur J Appl Physiol. 2007; 100(4): 417-25.

84. Schagatay E. *The human diving response - effects of temperature and training*. Lund: Lund University; 1996.

85. Stiegler P, Cunliffe A. *The Role of Diet and Exercise for the Maintenance of Fat-Free Mass and Resting Metabolic Rate During Weight Loss.* Sports Medicine. 2006; 36(3): 239-262.

86. Feldschuh J, Enson Y. *Prediction of the normal blood volume. Relation of blood volume to body habitus.* Circulation. 1977; 56(4): 605-12.

87. Convertino V. *Exercise training-induced hypervolemia: role of plasma albumin, renin, and vasopressin.* J Appl Physiol. 1980. 48(4): 665-669.

88. Tikuisis P. *Comparison of thermoregulatory responses between men and women immersed in cold water.* J Appl Physiol. 2000; 89(4): 1403-1411.

89. Cannon P, Keatinge W. *The metabolic rate and heat loss of fat and thin men in heat balance in cold and warm water.* J Physiol. 1960; 154(2): 329-44.

90. McArdle WD. *Thermal adjustment to cold-water exposure in resting men and women.* J Appl Physiol. 1984; 56(6): 1565-1571.

91. Olsen CR, Fanestil DD, Scholander PF. *Some effects of apneic underwater diving on blood gases, lactate, and pressure in man.* J Appl Physiol. 1962; 17(6): 938-942.

92. Westerblad H, Allen DG Lännergren J. *Muscle Fatigue: Lactic Acid or Inorganic Phosphate the Major Cause?*. News Physiol Sci. 2002; 17(1): 17-21.

93. Fitts RH. *The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue.* J Appl Physiol. 2008; 104(2): 551-558.

94. Secher NH, Seifert T, Van Lieshout JJ. *Cerebral blood flow and metabolism during exercise: implications for fatigue.* J Appl Physiol. 2008; 104(1): 306-314.

95. Amann M, Calbet JAL. *Convective oxygen transport and fatigue.* J Appl Physiol. 2008; 104(3): 861-870.

96. Metzger JM, Moss RL. *Greater hydrogen ion-induced depression of tension and velocity in skinned single fibres of rat fast than slow muscles.* J Physiol. 1987; 393(1): 727-742.

97. Bangsbo J. *Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man.* J Physiol. 1996. 495(2): 587-596.

98. Schagatay E, Van Kampen M, Andersson J. *Effects of repeated apneas on apneic time and diving response in non-divers.* Undersea Hyperb Med. 1999; 26(3): 143-149.

99. Farhi LE, Linnarsson D. *Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35 °C.* Respir Physiol. 1977; 30(1–2): 35-50.

100. Holmér I. *Oxygen uptake during swimming in man.* J Appl Physiol. 1972; 33(4): 502-509.

101. Zamparo P. *Economy and efficiency of swimming at the surface with fins of different size and stiffness.* Eur J Appl Physiol. 2006; 96(4): 459-470.

102. Zamparo P. *How fins affect the economy and efficiency of human swimming.* J Exp Biol. 2002; 205(17): 2665-2676.

103. Minak G. *Evaluation of the performances of free-diving fins.* Sports Engineering. 2004; 7(3): 153-158.

104. Starling RD. *Effect of swimming suit design on the energy demands of swimming.* Med Sci Sports Exerc. 1995; 27(7): 1086-1089.

105. Alexander R. *Mechanics and energetics of animal locomotion.* Goldspink G. London: Chapman and Hall; 1977.

106. Johns RA. *Effects of taper on swim power, stroke distance, and performance.* Med Sci Sports Exerc. 1992; 24(10): 1141-1146.

107. Jelkmann W. *Erythropoietin: structure, control of production, and function.* Physiol Rev. 1992; 72(2): 449-89.

108. Balestra C. *Serum erythropoietin levels in healthy humans after a short period of normobaric and hyperbaric oxygen breathing: the "normobaric oxygen paradox".* J Appl Physiol. 2006; 100(2): 512-8.

109. Lai JCC. *Effects of moderate and substantial hypoxia on erythropoietin levels in rainbow trout kidney and spleen.* J Exp Biol. 2006; 209(14): 2734-2738.

110. Botella de Maglia J, Real Soriano R, Compte Torrero L, *[Arterial oxygen saturation during ascent of a mountain higher than 8,000 meters]*. Med intensiva. 2008; 32(6): 277-281.

111. Dickhuth. *The echocardiographic determination of volume and muscle mass of the heart.* Int J Sports Med. 1996; 17(3): 132-9.

112. Bass DE. *Mechanisms of Acclimatization to Heat in Man.* Medicine. 1955; 34(3): 323-380.

113. Espersen K. *The human spleen as an erythrocyte reservoir in diving-related interventions.* J Appl Physiol. 2002; 92(5): 2071-9.

114. Richardson M, de Bruijn R, Schagatay E, *Hypoxia augments apnea-induced increase in hemoglobin concentration and hematocrit.* Eur J Of Appl Physiol. 2009; 105(1): 63-68.

115. Schagatay E. *Selected Contribution: Role of spleen emptying in prolonging apneas in humans.* J Appl Physiol. 2001; 90(4): 1623-1629.

116. Stanek KS. *Continuous pulse oximetry in the breath-hold diving women of Korea and Japan.* Undersea Hyperb Med. 1993; 20(4): 297-307.

117. Fernández FA. *Predicting static and dynamic apnea performance in elite divers using a 2-minute static apnea test*. En: *41st Congress of the European Underwater & Baromedical Society*. Amsterdam; 2015.

118. Joulia F. *Breath-hold training of humans reduces oxidative stress and blood acidosis after static and dynamic apnea.* Respir Physiol Neurobiol. 2003; 137(1): 19-27.

119. Joulia F. *Circulatory effects of apnoea in elite breath-hold divers.* Acta Physiologica. 2009; 197(1): 75-82.

120. Telles S, Reddy S, Nagendra HR. *Oxygen Consumption and Respiration Following Two Yoga Relaxation Techniques.* Appl Psychophysiol Biofeedback. 2000; 25(4): 221-227.

121. Ferretti G. *Alveolar gas composition and exchange during deep breath-hold diving and dry breath holds in elite divers.* J Appl Physiol. 1991. 70(2): 794-802.

122. Joulia F. *Reduced oxidative stress and blood lactic acidosis in trained breath-hold human divers.* Respir Physiol Neurobiol. 2002; 133(1-2): 121-30.

123. Laursen P, Jenkins D. *The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training.* Sports Medicine. 2002; 32(1): 53-73.

124. Laursen PB. *Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training?* Scand J Med Sci Sports. 2010; 2: 1-10.

125. Gibson H, Edwards RHT. *Muscular Exercise and Fatigue.* Sports Medicine. 1985; 2(2): 120-132.

126. Bompa T. *Periodization: Theory and methodology of training.* Champaign IL. 5ª ed. Human Kinetics; 1999.

127. Issurin V. *New Horizons for the Methodology and Physiology of Training Periodization.* Sports Medicine. 2010; 40(3): 189-206.

128. Kiely J. *New horizons for the methodology and physiology of training periodization: block periodization: new horizon or a false dawn?*. Sports medicine. 2010; 40(9): 803-5.

129. Tschiene P. *Teoría del entrenamiento: clasificación de las cargas y modelos de los métodos de entrenamiento según el criterio de adaptación. 2ª ed.* INFOCOES; 1997.

130. Issurin V. *Block periodization versus traditional training theory: a review*. J Sports Med Phys Fitness. 2008; 48(1): 65-75.

131. González-Ravé JM, Navarro F. *The planning of the sport training: tie changes to the new forms to understand the contemporary sport structures.* CONEXÕES, Revista da Faculdade de Educação Física da UNICAMP. 2007; 5(1).

132. Matveyev L. *Periodización del entrenamiento deportivo.* I.N.E.F. Madrid; 1977.

133. Fry R, Morton A, Keast D. *Periodisation of training stress: a review*. Can J Sports Sci. 1992; 17: 234-240.

134. Lemaître F. *Apnea: A new training method in sport?* Medical Hypotheses. 2010; 74(3): 413-415.

135. Schagatay E. *Effects of physical and apnea training on apneic time and the diving response in humans.* Eur J Appl Physiol. 2000; 82(3): 161-169.

136. Lemaitre F. *Physiological responses to repeated apneas in underwater hockey players and controls.* Undersea Hyperb Med. 2007; 34(6): 407-14.

137. Navarro F, Verdugo M. *Modulo de Programación del entrenamiento de resistencia [Apuntes]*.Universidad Autónoma de Madrid: Máster de Alto Rendimiento del Comité Olímpico Español; 2007.

138. Platonov V. *El entrenamiento deportivo, teoría y metodología.* 4ª ed. Barcelona. Paidotribo; 1995.

139. Fitz-Clarke JR, Morton RH, Banister EW. *Optimizing athletic performance by influence curves.* J Appl Physiol. 1991; 71(3): 1151-58.

140. Foster C. *Athletic performance in relation to training load.*Wis med. 1996; 95(6): 370-4.

141. Rhea MR, Alderman BL. *A Meta-Analysis of Periodized versus Nonperiodized Strength and Power Training Programs.* Res Q Exerc Sport. 2004; 75(4): 413-422.

142. Fleck S. *Periodized Strength Training: A Critical Review.* J Strength and Cond Res. 1999; 13(1): 82-89.

143. Gª Manso J, Navarro M. *Planificación del entrenamiento deportivo*. Ruiz R. Madrid: Gymnos; 1996.

144. Borg G. *Perceived Exertion as an indicator of somatic stress* Scand J Rehabil Med. 1970; 2 (2): 92-8.

145. Efdeportes [sede Web]. Buenos Aires; 2002. De Barrios-Duarte R. *Consideraciones sobre métodos de control psicológico en el entrenamiento de resistencia.* Disponible en: http://www.efdeportes.com, revista digital., 2002. 45.

146. Arruza J. *Esfuerzo percibido y frecuencia cardiaca: el control de la intensidad de los esfuerzos en el entrenamiento de Judo.* Revista de Psicología del Deporte. 1996; 9: 29-40.

147. Borg G. *Psychophysical bases of perceived exertion.* Med Sci Sports Exerc. 1982; 14(5): 377-81.

148. Borg G. *Subjetive aspects of physical and mental load.* Ergonomics 1978; 3: 215 - 20.

149. Schagatay E. *Spleen size and diving performance in elite apnoeists.* En: 33rd Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society. Sharm el Sheikh, Egypt; 2007.

150. Pallarés J, Morán-Navarro R. *Propuesta metodológica para el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria. .* Journal of Sport and Health Research. 2012; 4(2): 119-136.

151. Hemmingsson E, Udden J, Neovius M. *No Apparent Progress in Bioelectrical Impedance Accuracy: Validation Against Metabolic Risk and DXA.* Obesity. 2008; 17(1): 183-187.

152. Ferrannini E. *The theoretical bases of indirect calorimetry: A review.* Metabolism - Clinical and Experimental. 1988; 37(3): 287-301.

153. Sterba JA, Lundgren CE. *Diving bradycardia and breath-holding time in man.* Undersea Biomedical Research. 1985; 12(2): 139-150.

154. Holm B. *Cardiovascular Change in Elderly Male Breath-hold Divers (Ama) and their Socio-economical Background at Chikura in Japan.* Applied Human Science. 1998; 17(5): 181-187.

155. Hu CL. *Application of the laser Doppler flowmeter for measurement of blood pressure and functional parameters of microcirculation.* Biomed Mater Eng. 2012; 22(6): 351-9.

156. Fortune J. *Cerebral blood flow and blood volume in response to O2 and CO2 changes in normal humans.* J Trauma. 1995; 39: 463-472.

157. Barthelemy P. *The changes in leg blood flow during and after mild or severe acute hypoxaemia in healthy humans.* Clin Physiol, 2001; 21: 308–15.

158. Aguado X. *Eficacia y técnica deportiva. Análisis del movimiento humano. 1ª ed. Barcelona:* INDE; 1993.

159. Rejman M, Borowska G. *Searching for criteria in evaluating the monofin swimming turn from the perspective of coaching and improving technique.* J Sports Sci Med. 2008; 7(1): 67-77.

160. Tagliabue P, Susa D, Sponsiello N. *Blood lactate accumulation in static and dynamic apneas in humans. En: Human Behaviour and Limits in Underwater Environment, Special Conference on Breath hold Diving.* Pisa; 2005.

161. Stone MH. *Periodization: Effects Of Manipulating Volume And Intensity. Part 1.* Strength & Conditioning Journal. 1999; 21(2): 56.

162. Zi N. *El arte de respirar*. 3ª ed. Arkano Books; 1997.

163. Calle R. *Relajación y respiración*. 1ª ed. EDAF S.A. 2002.

164. Reference range list from Uppsala University Hospital ("Laborationslista"). Artnr 40284 Sj74a. Issued on April 22, 2.

165. Nadler S, Hidalgo J, Bloch T. *Prection of blood volume in normal human adults.* Surgery. 1962; 51: 224.

166. Wanger J. *Standardisation of the measurement of lung volumes.* Eur Respir J. 2005; 26(3): 511-22.

167. Quanjer TG, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. *Lung volumes and forced ventilatory flows.* Eur Respir J Suppl. 1993; 6 (16): 5-40.

168. Smith D, Telford R, Peltola E, Tumilty D. Physiological test for elite athletes. Gore C. Leeds: Human Kinetics; 2000.

169. Pérez M. *Pruebas funcionales de valoración aeróbica*. Fisiología del ejercicio. 3ª ed. Chicharro J, Fernández-Vaquero A. Madrid: Médicina Panamericana: 2008.

170. Crabtree N, Leonard M, Zemel B. *Dual-Energy X-Ray Absorptiometry*, in *Bone Densitometry in Growing Patients*. Sawyer A. Humana Press; 2007.

171. Roecker K. *Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test.* Med Sci Sports Exerc. 1998; 30(10): 1552-7.

172. Zampagni ML. *Anthropometric and Strength Variables to Predict Freestyle Performance Times in Elite Master Swimmers.* Strength & Conditioning Journal. 2008; 22(4): 1298-1307.

173. Costa D, Gales N, Crocker D. *Blood Volume and Diving Ability of the New Zealand Sea Lion, Phocarctos hookeri.*. Physiological Zoology. 1998; 71(2): 208-213.

174. McLaughlin JE. *Test of the classic model for predicting endurance running performance.* Med Sci Sports Exerc. 2010; 42(5): 991-997.

175. Bassett DR, Howley ET. *Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance.* Med Sci Sports Exerc. 2000; 32(1): 70-84.

176. Noakes TD. *Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints: a rebuttal.* Med Sci Sports Exerc. 1998; 30(9): 1381-1398.

177. Tomlin DL, Wenger HA. *The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise.* Sports Med. 2001; 31(1): 1-11.

178. Fernández FA, González-Ravé JM, Juárez Santos-García D. *Comparison of two different training loads in Spanish elite freedivers*. En: *18th Annual Congress of the European College of Sport Science*. Barcelona; 2013.

179. Hawley JA. *Muscle power predicts freestyle swimming performance.* Br J Sports Med. 1992; 26(3): 151-155.

180. Möller P, Sylvén C. *Myoglobin in human skeletal muscle.* Scand J Clin Lab Invest. 1981; 41(5): 479-482.

181. Wasserman K, McIlroy MB. *Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise.* Am J Cardiol. 1964; 14: 844-52.

182. Ostrowski A. *The Role of Training in the Development of Adaptive Mechanisms in Freedivers*. J Hum Kinet. 2012; 32: 197–210.

183. Lemaitre F. *Apnea training effects on swimming coordination.* J Strength Cond Res. 2009; 23(6): 1909-14.

184. Sarang P, Telles S. *Oxygen Consumption and Respiration During and After two Yoga Relaxation Techniques.* Appl Psychophysiol Biofeedback. 2006; 31(2): 143-153.

185. Després JP. *The effect of a 20-week endurance training program on adipose-tissue morphology and lipolysis in men and women.* Metabolism. 1984; 33(3): 235-239.

186. Treuth MS. *Effects of strength training on total and regional body composition in older men.* J Appl Physiol. 1994; 77(2): 614-620.

187. Schmidt W. *Training induced effects on blood volume, erythrocyte turnover and haemoglobin oxygen binding properties.* Eur J Appl Physiol and Occup Physiol. 1988; 57(4): 490-498.

188. Courteix D. *Effect of intensive swimming training on lung volumes, airway resistances and on the maximal expiratory flow-volume relationship in prepubertal girls.* Eur J Appl Physiol and Occup Physiol. 1997; 76(3): 264-269.

189. Mickleborough T. *Pulmonary adaptations to swim and inspiratory muscle training.* Eur J Appl Physiol. 2008; 103(6): 635-646.

190. Clanton TL. *Effects of swim training on lung volumes and inspiratory muscle conditioning.* J Appl Physiol. 1987; 62(1): 39-46.

191. Scheuer J, Tipton CM. *Cardiovascular adaptations to physical training.* Annu Rev Physiol. 1977; 39: 221-51.

192. Wakayoshi K. *Adaptations to six months of aerobic swim training. Changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate.* Int J Sports Med. 1993; 14(7): 368-372.

- Gracias por acompañarme durante la lectura de esta Tesis Doctoral -

"La práctica deliberada se caracteriza, por estar especialmente diseñada para mejorar el nivel actual de rendimiento, estar altamente estructurada, reclamar esfuerzo y no ser de por sí agradable o placentera. Mejorar cualquier materia supone compromiso, esfuerzo y deseo de progresar, es a medida que el progreso se manifiesta que la práctica se vuelve motivante intrínsecamente, cuando el sujeto tiene una confirmación de su compromiso."

- Ruiz, LM -

Madrid, España. Foto: © Apnea Toledo.
Foto de la contraportada.
Foto: © Club Apnea Madrid (Fotógrafo: Marcelo Bilevich)

www.uclm.es

Facultad de Ciencias del Deporte - Toledo (Universidad de Castilla-la Mancha)