

ADAPTACIÓN FISIOLÓGICA AL BUCEO EN AGUAS FRÍAS

PHYSIOLOGICAL ADAPTATION TO COLD WATER DIVING

RESUMEN

El medio acuático debido a sus especiales características, alta conductividad térmica y alto calor específico, es un medio hipotermo para el ser humano. El hombre como animal homeotermo debe mantener su temperatura central dentro de unos márgenes estrechos, así una caída de la temperatura central por debajo de los 35°C supondrá una situación de hipotermia. Al hacer una inmersión en aguas frías debemos controlar dos grupos de factores por un lado aquellos que desencadenan la hipotermia como son temperatura del agua y duración de la inmersión y en segundo lugar controlar todos aquellos procesos, conducción, convección y evaporación, que favorecen la eliminación de calor por parte del buceador. Los mecanismos de conducción y convección se controlan con la adecuada elección del traje de buceo, mientras que la pérdida de calor por evaporación es inevitable ya que la mezcla respiratoria debe ser calentada por el aparato respiratorio. Otros factores a tener en cuenta son: buen estado de salud, nutrición correcta, nivel de adaptación al buceo en aguas frías y el tipo de inmersión.

Objetivo: Observar la respuesta y el comportamiento orgánico al buceo en aguas frías.

Material y Método: Inmersiones en el tanque hidráulico de la Unidad de Investigación Subacuática del Centro de Buceo de la Armada, realizándose tres inmersiones a distintas profundidades y tiempos con una temperatura del agua entre 0° y -1.8°C. Para controlar la respuesta orgánica se realizan determinaciones de la temperatura, ECG, Espirometría, Control ORL y estudios doppler.

Resultados: Descensos térmicos rápidos e importantes en las zonas acras corporales sobre todo manos y pies, a nivel electrocardiográfico se observan elevaciones de la frecuencia cardíaca.

Conclusiones: Las inmersiones en aguas frías suponen un riesgo para el buceador, ya que el peligro de hipotermia es muy alto y sus consecuencias muy graves. Diversos factores se deben tener en cuenta al hacer una inmersión en este tipo de ambientes: elección de un equipo de buceo adecuado con guantes, escalpines y protección facial, equipo de suministro de mezcla gaseosa y un buen estado de salud corroborado con un reconocimiento médico previo a la realización de tipo de inmersiones.

Palabras claves: Buceo, Hipotermia.

SUMMARY

Water, because of its special characteristics of high thermal conductivity and high specific heat, is a hypothermic medium for human beings. Man, as a homeothermic animal, must maintain his core temperature within very tight margins, since, if core temperature falls below 35 °C it can lead to a situation of hypothermia. When diving in cold water, we must control two groups of factors: firstly, those which lead to hypothermia, such as, water temperature and immersion time; and secondly, those processes which lead to heat loss in the diver, such as conduction, convection and evaporation. Conduction and convection mechanisms can be controlled through the appropriate choice of diving suit, whereas heat loss through evaporation is inevitable, given that the air mixture is necessarily heated by the respiratory system. Other factors to be taken into account are: a good state of health, correct nutrition, level of adaptation to diving in cold water and the type of immersion.

Objective: To observe the body's behaviour and response to diving in cold water.

Material and Method: Immersion in a hydraulic tank in the Sub-aquatic Research Unit in the Naval Diving Centre, carrying out three immersions at different depths and times with a water temperature of between 0° C and -1.8°C. In order to study the response of the body, the following readings were taken: temperature, ECG, spirometry, ORL test and Doppler studies.

Results: Immersions in cold water suppose a risk for divers, given the very high danger of hypothermia and the very serious consequences which accompany this. Various factors should be taken into account before diving in this kind of environment: choice of suitable diving equipment, with gloves and face protection, air supply equipment and a good state of health verified by a medical check prior to this kind of dive.

Key words: Diving, Hypothermia.

Olea González, A. (*), Trigueros Martín, J.L. (), Martínez Izquierdo, A. (**), González Cruz, A. (***), López Barreto, C.A. (****), Callejón Peláez, E. (**)**

(*) Capitán Médico Especialista en Medicina Subacuática e Hiperbárica. Unidad de Investigación Subacuática. Centro de Buceo de la Armada. (**) Teniente Médico Alumno de la especialidad de Medicina Subacuática e Hiperbárica. Centro de Buceo de la Armada. (***) Teniente de Fragata Armada Mexicana alumno de la especialidad de Medicina Subacuática e Hiperbárica. Centro de Buceo de la Armada. (****) Capitán Enfermero Aptitud tratamiento de accidentes de Buceo. Unidad de Investigación Subacuática. Centro de Buceo de la Armada.

AGRADECIMIENTOS:

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todo el personal destinado en la Unidad de Investigación Subacuática del Centro de Buceo de la Armada (CBA) representados en la persona del C.F. Ingeniero D. Amador Sánchez Silvente así como a todos los buzos que han participado en la realización del presente artículo.

CORRESPONDENCIA:

Centro de Buceo de la Armada. Estación Naval de la Algameca. Cartagena Naval. 30290 Cartagena.

Aceptado:
10.07.2001

INTRODUCCIÓN

Las inmersiones en aguas frías suponen para el buceador, deportivo o profesional, una modificación en los planeamientos previos, durante y posteriores a la estancia en el agua. De forma inicial consideramos que estos buceadores deben conocer aspectos tan importantes como la fisiología de la regulación térmica, la respuesta orgánica al frío y la respuesta individual durante la estancia en aguas a temperaturas bajas.

El medio acuático presenta varias características que lo diferencian del medio aéreo y que lo convierten en un medio hipotermo para el ser humano. Estas características son su alta conductividad térmica y su alto calor específico⁽¹⁾. El hombre, animal homeotermo, debe mantener su temperatura central dentro de unos márgenes muy estrechos⁽²⁾; cualquier situación, interna o externa, que produzca un descenso de la temperatura central por debajo de los 35° C será considerada como una situación de hipotermia⁽³⁾ y por tanto de riesgo vital para el buceador.

Diversos son los mecanismos por los que un individuo puede perder calor al realizar una inmersión: Conducción, Convección y Evaporación⁽⁴⁾. Los mecanismos de conducción y convección se pueden amortiguar y reducir con el empleo de trajes de buceo adecuados al tipo de inmersión y duración de la misma.

La pérdidas de calor por evaporación pueden ser sensibles, mecanismo de sudoración, e insensibles, por el aparato respiratorio. Durante la práctica del buceo con equipo supletorio de aire, las pérdidas insensibles de calor aumentan^(5,6) siendo este aumento debido a la temperatura del agua que enfría el equipo externo del buceador (botellas y grifería) y a la profundidad de la inmersión que provocará un aumento progresivo en la densidad de la mezcla gaseosa⁽⁷⁾.

Respecto a las mezclas respiratorias debemos recordar que la más empleada en estos tipos de inmersiones es el aire pero existen otras situaciones donde el gas inerte empleado es el helio. La diferencia fundamental respecto al aire es que las mezclas con helio son térmicamente más frías debido a su alta conductividad térmica^(8,9), por tanto con su empleo podemos au-

mentar la profundidad de buceo pero debemos incrementar las medidas de protección térmicas⁽¹⁰⁾.

Inmersiones en agua cuya temperatura sea inferior a los 33° C determina de forma inicial un desequilibrio térmico⁽¹¹⁾, que será mayor cuanto más baja sea la temperatura del agua. Las inmersiones antárticas suponen una temperatura del agua próxima o inferior a los cero grados centígrados.

Entre los factores que desencadenan la hipotermia destacamos como más importantes: la temperatura del agua y la duración de la inmersión^(4,11), que podemos considerarlos como factores principales, pero existen otros factores que denominaremos accesorios y que juegan un papel destacado en la aparición de la hipotermia. Entre estos factores se encuentran: El estado de salud del sujeto, un estado de nutrición correcto y adecuado⁽¹²⁾, el nivel de aclimatación o adaptación a este tipo de inmersiones⁽¹³⁾, la posición o actitud del buceador durante la inmersión⁽¹⁴⁾ y el tipo de traje empleado⁽¹⁰⁾.

El estado de salud del buceador debe ser adecuado, descartando situaciones patológicas que puedan predisponer la aparición de hipotermia como trastornos metabólicos o endocrinológicos y disfunción del sistema nervioso central⁽¹⁵⁾. Otro grupo de patologías excluyentes serían aquellas situaciones que se pueden agravar o desencadenarse por el empleo de mezclas respiratorias a presión en ambientes fríos como situaciones de hiperreactividad bronquial^(16,17).

La adaptación a este tipo de inmersiones supone un mayor tiempo de permanencia en el fondo y una mayor capacidad de trabajo. Estas circunstancias parecen debidas a que estos sujetos presentan una menor pérdida calórica, una disminución de la frecuencia cardíaca y un menor consumo de oxígeno⁽¹⁸⁾. Otro factor importante es que cada sujeto presenta una respuesta individual al descenso de la temperatura corporal central⁽⁴⁾.

La ingesta precaria, cualitativa o cuantitativa, limitará el rendimiento muscular y propiciará la aparición de fenómenos patológicos⁽¹²⁾.

Posición y actitud del buceador durante la inmersión, tanto la inactividad física⁽¹²⁾ como el ejercicio intenso⁽¹⁴⁾ suponen grave riesgo de hipotermia.

La elección de un traje de buceo adecuado a la misión y a la temperatura del agua es el mejor mecanismo para prevenir la aparición de la hipotermia⁽¹⁴⁾. Diversos son los equipos de buceo que pueden emplearse en este tipo de misiones:

*Traje Húmedo: que ofrece mayor movilidad, simplicidad, comodidad y disponibilidad pero presenta el inconveniente de una menor duración de la estancia en el agua siendo esta limitada a un periodo no superior a varios minutos.

*Traje seco de volumen variable: supone una mayor protección térmica existiendo una relación directa entre el nivel de protección y la cantidad o calidad de ropa interior empleada por el buceador, este factor va a limitar la movilidad, aumentará la fatiga y cualquier fallo de estanqueidad pondrá en grave riesgo al buceador.

*Trajes Térmicos: Trajes de agua caliente que proporcionan una excelente protección térmica pero la infraestructura que necesitan en superficie es muy compleja siendo solo indicados en inmersiones estáticas desde el buque de apoyo. En la actualidad existen otros trajes que por medio de sensores localizados en la superficie corporal detectan de forma periódica la variación térmica, esta información la integran en un ordenador que por medio de baterías que transporta el buceador aportan el calor suficiente para mantener la temperatura externa en valores óptimos.

Otro de los peligros de las inmersiones en aguas frías es que pueden precipitar la aparición de las patologías propias del buceo. El frío juega un papel importante en la aparición de la enfermedad descompresiva por la redistribución circulatoria que impide el proceso normal de eliminación del nitrógeno de ciertos territorios (músculo, piel y tejido graso) y por la elevada diuresis que provocará deshidratación del buceador, esto incrementará de forma importante la

susceptibilidad al padecimiento de esta patología. La consecuencia inmediata es la recomendación de evitar todas aquellas inmersiones que requieran descompresión^(10,14).

Como factores postinmersión deben considerarse el tener una cámara hiperbárica en las cercanías de la zona de inmersión para la actuación rápida en caso de accidentes de buceo. Sólo realizar reinersiones en caso de emergencias y únicamente después de comprobar que el buceador se encuentra recalentado, situación que se alcanza cuando se induce la sudoración del mismo⁽¹⁴⁾.

OBJETIVOS

Próximos al inicio de la campaña antártica y a todo el conjunto de investigaciones científicas que se llevan a cabo en el continente helado se realizó en la Unidad de Investigación Subacuática (Centro de Buceo de la Armada) un programa, de una semana de duración, de adaptación y aclimatación al buceo en aguas frías, cuyo objetivo primordial era conocer la respuesta orgánica e individual al frío.

MATERIAL Y MÉTODO

La fase de aclimatación a aguas frías se desarrolló en el complejo hiperbárico de la Unidad de Investigación Subacuática enclavada en el centro de buceo de la armada. El complejo hiperbárico consta de: un tanque hidráulico con una capacidad de 17.5 m³ y una profundidad de unos 2.5 metros conectada con una cámara hiperbárica de descompresión de unos 6 metros de longitud y capacidad para 4 hombres tumbados.

Las inmersiones fueron realizadas por un buceador, datos antropométricos en TABLA I, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas apo-

CATEGORIA	EDAD	TALLA	PESO	EXPERIENCIA	MAXIMA PROFUNDIDAD ALCANZADA	INMERSIONES MENSUALES
Instructor 2 estrellas	29	180 cm	79	10 años	58 metros	15

TABLA I.-
Datos antropométricos
y profesionales.



FOTO 1.-
Complejo
Hiperbárico de la
Unidad de
Investigación
Subacuática.
Buceador equipado
para realizar la
inmersión: Traje seco
y máscara AGA de
protección facial
completa.

yado y coordinado por personal buceador militar destinado en el CBA con amplia experiencia tanto en inmersiones en aguas frías como en campañas antárticas.

El buceador empleó un traje seco de volumen variable, NORWEGIAN DIVING EQUIPMENT "Mod. VIKING" de Viking-Stavenger Norway, similar a los empleados por los buceadores españoles en el buque HESPERIDES, el traje se completó con una máscara AGA que cubre completamente la cara del buceador reduciendo al mínimo el contacto dérmico con el agua fría.

La temperatura del agua del tanque hidráulico se mantuvo entre los 0° C y -1.8° C para ello se emplearon un total de 2200 kilos de hielo. La mezcla respiratoria empleada fue aire utilizando un equipo monobotella de 10 litros de capacidad y a una presión de 150 kilos/cm².

Las inmersiones se dividieron en dos fases recogidas en la TABLA II. En cada una de las inmersiones los controles médicos se extendieron a tres niveles; previo a la inmersión, durante la inmersión y posterior la inmersión (TABLA III).

La fase de inmersión cabeza fuera o inmersión estática, se consideró como una inmersión de control térmico y nos sirvió para comprobar la estanqueidad del traje de buceo, obtener unos resultados objetivos de modificación térmica, comprobando en que momento y en que zona anatómica comenzaban a aparecer los síntomas del frío y como evolucionaba la sintomatología subjetiva. La determinación térmica se completó con estudio ECG por telemetría donde obteníamos en tiempo real la respuesta cardiaca a la inmersión. Una vez completado el tiempo en el agua y con el buzo en superficie, continuamos monitorizando la temperatura corporal, comprobando el ritmo de recuperación térmica, manteniendo al mismo tiempo el control ECG durante toda esta fase. La fase de inmersión real, fue una inmersión en movimiento o dinámica.

Para el control térmico se empleó el "CIBERTEC TERMOMETRO P6. Yellow Springs Instrument Co. INC": Este aparato consta de 5 sondas térmicas cuya colocación fue la siguiente: Mano derecha (falange distal del 5° dedo), pie izquierdo (maleolo tibial externo.), región lumbar, a nivel de L-2, zona axilar derecha, sonda rectal (se introdujo unos 2-3 cm en el conducto anal).

TABLA II.-
Tipos de inmersiones
y temperatura del
agua.

INMERSION	PROFUNDIDAD	TIEMPO	TEMPERATURA
Cabeza fuera	1ATA	30 minutos	0°C
20 metros	3 ATA	25 minutos	0°C y -1°C
27 metros	3.7 ATA	15 minutos	-1.8°C

TABLA III.-
Controles médicos.

INMERSION	CONTROLES MEDICOS		
	PREVIO	DURANTE	POSTERIOR
CABEZA FUERA (Inmersión Estática)	ECG de control Control térmico	Control Térmico Control ECG	Control Térmico Control ECG
INMERSION COMPLETA (Inmersión dinámica)	Espirometría Estudio ORL ECG DOPPLER	Control ECG	Espirometría Estudio ORL ECG DOPLLER.

Una vez colocadas las sondas térmicas se realizaron las siguientes determinaciones:

*Basal: Individuo desnudo a temperatura ambiente (T° ambiente 17° C).

*Preinmersión: Individuo vestido dentro del complejo hiperbárico y antes de introducirse en el agua (T° del complejo hiperbárico 15° C).

*Inmersión cabeza fuera: Determinaciones cada minuto.

*Postinmersión: registro durante veinticinco minutos.

El **control ORL** se realizó mediante historia clínica, estudio otoscópico y timpanométrico. Para el estudio timpanométrico se empleó el equipo GSI AUTO TYMP, obteniendo los siguientes parámetros: Volumen del canal auditivo, pico timpánico, curva de presión de equilibrio y reflejo medido.

El **control espirométrico** se realizó empleando el espirómetro portátil VITALOGRAPH COMPACT. Se realizaron dos series de espirometrías una de forma previa al comienzo del ejercicio, para valorar el estado funcional de la vía respiratoria. Posteriormente se realizaron en los días de las inmersiones dos controles uno previo a la inmersión y otro de forma inmediata a la finalización de la inmersión. Los parámetros estudiados fueron: FVC, FEV1, FEV1/FVC, PEF.

El **control ECG** se realizó en dos fases: un estudio inicial del buceador mediante EKG de 12 derivaciones, empleando el electrocardiograma CARDIETTE "Start 200 hv" de H&C DEVICES SPA. La segunda fase se realizó durante las inmersiones empleando un equipo DYNASCOPE DS-1040 de FUKUDA DENSHI SERIE 1000 MOD. DS-1040 que registra una derivación bipolar y recibe teleméricamente los datos enviados por el transmisor Mod. ST-17 cuyos electrodos se colocan siguiendo el esquema BBL utilizado para monitorización cardíaca en unidades de cuidados intensivos.

Para el estudio electrocardiográfico empleamos la siguiente metodología: Registro inicial en reposo y decúbito supino mediante ECG de 12 derivaciones a

temperatura ambiente. Registro preinmersión en bipedestación con equipo completo de buceo, a la temperatura dentro del complejo hiperbárico. Registro continuo durante la estancia en el agua. En la inmersión real se registró la permanencia del buceador en el fondo así como el ascenso progresivo a superficie. Una vez concluido el ejercicio se realizaron controles en superficie con el buceador en reposo, decúbito supino y a temperatura ambiente.

Para el **control Doppler** empleamos un equipo SODELEC realizando las mediciones de acuerdo con el código KM, método auditivo para detectar la presencia de burbujas circulantes en un buceador tras una inmersión, ya sea en situación de reposo o tras realizar varias flexiones de rodillas. La zona de detección de burbujas es la zona precordial en zonas cardíacas derechas en el área del infundíbulo pulmonar.

RESULTADOS

Desde el punto de vista ORL el buceador no presentó ninguna sintomatología clínica debida a la inmersión, corroborado por la normalidad del estudio otoscópico. Por el contrario en el estudio timpanométrico se observó una desviación del vértice de la curva de presión de equilibrio hacia la positividad y aumento del reflejo medido pasando de unos valores preinmersión de +25 en ambos oídos a unos valores postinmersión de +75 en el oído izquierdo y +45 en el oído derecho.

Desde el punto de vista respiratorio el buceador no presentaba de forma previa al inicio del curso ninguna patología pulmonar. La auscultación pulmonar fue normal y de forma posterior a la inmersión el sujeto no presentó ninguna sintomatología. Los resultados de las inmersiones 20/25 y 27/15 se recogen en las TABLAS IV y V.

Los estudios Doppler fueron normales. Los resultados de las determinaciones térmicas y electrocardiográficas se observan en las TABLAS VI, VII, VIII y IX.

OLEA GONZÁLEZ, A.
y Cols.

PARAMETRO	VALOR PREINMERSION	VALOR POSTINMERSION
FVC	4.85	4.47
FVC%	92	85
FEV1	3.76	3.59
FEV1%	85	81
FEV1/FVC	77	80
PEF	117	119

TABLA IV.-
Inmersión 20 metros
/ 25 minutos.

PARAMETRO	VALOR PREINMERSION	VALOR POSTINMERSION
FVC	4.56	4.37
FVC%	86	83
FEV1	3.74	3.68
FEV1%	84	83
FEV1/FVC	82	84
PEF	119	124

TABLA V.-
Inmersión 27 metros
/ 15 minutos.

CONCLUSIONES

Las hipotermias en relación con el medio acuático pueden ser dos tipos: Hipotermias de aparición aguda e hipotermias denominadas subagudas. Las hipotermias agudas se presentan en aquellos sujetos que de forma accidental o no, se introducen de forma brusca en agua fría sin utilizar protección térmica adecuada o en aquellos sujetos que pese a utilizar una protección térmica adecuada se produce, por causas catastróficas, una rotura de su traje favoreciendo el contacto brusco de la piel del sujeto con el agua fría. Las hipotermias subagudas se presentan en aquellos sujetos con protección térmica, donde se inhibe la

DETERMINACION	MANO DERECHA	PIE IZQUIERDO	L-2	RECTAL	AXILAR
BASAL	24.5	29.7	32	38.6	33.9
PREINMERSION	33	33.5	35.1	38.7	34.6

TABLA VI.-
Temperaturas previas
a la inmersión.

TIEMPO	MANO DERECHA	PIE IZQUIERDO	L-2	RECTAL	AXILAR
1 minuto	30.8	33.4	34.5	38.6	32.6
5 minutos	24	31.9	32.9	38.6	29.6
10 minutos	18.5	30.6	32	38.5	28
15 minutos	14.8	29.5	31.7	38.5	26.5
20 minutos	12	28.7	31.5	38.5	25.5
25 minutos	10.7	28.1	31.4	38.4	24.8
30 minutos	10.2	27.4	31.5	38.3	23.7

TABLA VII.-
Temperaturas
durante la inmersión.

TIEMPO	MANO DERECHA	PIE IZQUIERDO	L-2	RECTAL	AXILAR
3 minutos	13.7	27.6	31.9	38.3	24.4
5 minutos	17.6	28	32.2	38.3	25.2
10 minutos	22.4	28.3	32.6	38.3	25.9
15 minutos	22.8	29.2	32.8	38.3	28.8
20 minutos	22.6	29.5	32.2	38.2	30.1
25 minutos	22.8	29.5	33.3	38.2	31.3

TABLA VIII.-
Temperaturas
después de la
inmersión.

respuesta inicial al frío, pero que la inmersión prolongada en el tiempo favorece un enfriamiento progresivo del sujeto ⁽¹⁴⁾.

En este trabajo nos dedicamos a estudiar las hipotermias subagudas, su momento de aparición, las manifestaciones clínicas, los mecanismos de enfrentarse a ella y las repercusiones orgánicas que estas inmersiones van a suponer sobre el buceador.

TEMPERATURA: Debemos destacar el incremento de la temperatura tanto periférica como central tras la colocación del traje de buceo, pese al descenso en dos grados de la temperatura medio ambiental (17° C ambiente y 15° C dentro del tanque hidráulico). Esto nos indica que este traje de buceo proporciona una protección térmica adecuada, al menos cuando estamos en superficie. Sin embargo una vez comenzada la inmersión, cabeza fuera, se observa un descenso inmediato de todas las temperaturas periféricas, siendo más evidente el descenso térmico a nivel de las extremidades superiores, mano izquierda con una caída de 2.2° C tras el primer minuto, posteriormente a los cinco minutos este descenso llegó a ser de 6° C. Pese a estos descensos el buceador se encuentra asintomático, siendo en el minuto 17 cuando empieza a sentir frío, localizado en dedo pulgar e índice de la mano izquierda, el frío evolucionó hacia dolor en ambos dedos. La inmersión se concluye en el minuto 30 cuando el buceador empieza a notar una sensación de frío generalizado.

En esta primera inmersión, estática y de control pudimos comprobar como las partes más sensibles de nuestro buceador se localizaban en extremidades superiores. La consecuencia inmediata fue reforzar la protección térmica consistente en el empleo de dos

pares de guantes de látex más la protección externa normal del traje de buceo.

Otra de las consecuencias de la inmersiones fue el rápido consumo de las botellas de aire. Este proceso puede ser explicado por la hiperventilación, de instauración brusca debida al estrés del buceador y a la necesidad de un mayor aporte energético para afrontar su desequilibrio térmico ⁽⁶⁾.

ORL: Los controles ORL se aplicaron a las inmersiones dinámicas o reales, observándose tras el estudio timpanométrico un aumento del reflejo medido. Algunos autores consideran que estos cambios son normales, siendo debidos a una apertura previa de la trompa de Eustaquio durante el ascenso que no se continuó durante la reducción progresiva de la presión ambiental y que al realizar la timpanometría muestran la desviación del vértice hacia la positividad y que no están necesariamente relacionados con los cambios de temperatura ⁽¹⁹⁾. Por el contrario BROUSSOLLE ⁽²⁰⁾ afirma que la respiración de aire frío presenta un efecto sobre la funcionalidad de la trompa de Eustaquio haciéndola más lenta en sus respuestas fisiológicas, esta teoría apoyaría la presencia de una presión mayor en la caja timpánica dado que la respuesta de la trompa de Eustaquio se realiza de manera más lenta.

CARDIOLOGÍA: La adaptación cardíaca al buceo pasa por el denominado reflejo de buceo o bradicardia de inmersión que según EDMONDS, BENNETT ^(20, 21) es debido a tres mecanismos: incremento del tono vagal ocasionado por el aumento de la presión, un efecto miocárdico directo vagal y un bloqueo de los receptores beta del corazón nitrógeno dependiente. Otros autores apuntan el efecto directo del agua fría

TIPO DE INMERSION	REGISTRO INICIAL (Decúbito supino)	REGISTRO PREINMERSION (Bipedestación)	DURANTE LA INMERSION	TRAS LA INMERSION
Cabeza fuera	Frecuencia 75 lpm	Frecuencia 95 lpm.	Frecuencia 93 -110 lpm.	Frecuencia 85 lpm
Inmersión a 20 metros	Frecuencia 87 lpm.	Frecuencia 108 lpm .	Frecuencia 130-140 lpm. Arritmia Respiratoria.	Frecuencia 83 lpm.
Inmersión a 27 metros	Frecuencia 69 lpm .	Frecuencia 113 lpm.	Frecuencia 128 - 144 lpm. Arritmia respiratoria.	Frecuencia 77 lpm.

TABLA IX.-
Registros
electrocardiográficos.

sobre los receptores faciales que producen un descenso del ritmo cardíaco⁽²³⁾. ALBANO⁽²⁴⁾ demuestra que en los buceadores se produce un descenso de la presión arterial y la aparición de arritmia respiratoria, más acentuada en sujetos que practican de forma regular actividad deportiva. De esta forma en estudios realizados de forma previa en nuestra Unidad observamos como los buceadores presentan de forma clara signos de bradicardia sinusal de carácter respiratorio⁽²⁵⁾.

En las inmersiones realizadas en aguas frías encontramos un proceso distinto: aumento de las frecuencias cardíacas frente a las encontradas cuando se practicó el EKG en reposo; estos hallazgos podrían cuestionar la existencia del reflejo de inmersión, si no fuese porque en ambas inmersiones se realizaron con mascarar faciales completas que impedían el contacto del agua fría directamente con la cara

Otros autores consideran que estas modificaciones pueden ser atribuidas a una modificación en la posición del diafragma, descenso del mismo debido a la reducción del contenido gaseoso abdominal, y a la aparición de alteraciones en la producción y conducción del estímulo eléctrico a través del corazón.^(21, 24, 26)

ESPIROMETRÍA: Durante la práctica del buceo puede precipitarse la aparición de un episodio de broncoespasmo, proceso que se favorece por la acción de diferentes estímulos y que según EDMONDS⁽²¹⁾ pueden explicar la alta incidencia de asmáticos fallecidos durante la practica del buceo. Los principales factores precipitantes son: Ejercicio físico, estrés, respiración de aire seco y frío⁽¹⁶⁾, aspiración de agua salada, esfuerzo inspiratorio elevado e hiperventilación⁽²⁸⁾.

La presencia de alguna forma de atrapamiento aéreo pulmonar supondrá que el buceador entre en grave riesgo de presentar un barotrauma pulmonar y en caso extremo embolismo arterial gaseoso^(29, 30), situación de riesgo vital para el buceador.

De forma inicial a la practica del buceo es recomendable la realización de espirometrías para descartar la presencia de individuos con problemas respiratorios, ya sean obstructivos o restrictivos, que los excluyan de su práctica.

La determinación espirométrica inicial demostró que nuestro buceador tenía unos valores de espirometría forzada dentro de la normalidad, destacando el valor del pico de flujo espiratorio que superó el valor del 100%. De igual forma los valores post inmersión fueron similares a los iniciales, lo que nos confirmó la ausencia de compromiso respiratorio en este caso concreto.

De los resultados obtenidos podemos observar como entre valores pre y post inmersión se produce un descenso de los valores espirométricos, que no se acompaña de clínica y que pueden ser atribuidos al esfuerzo respiratorio impuesto por el equipo de buceo.

DOPPLER: De los resultados obtenidos podemos destacar que tanto la duración de las inmersiones como los tiempos de ascenso a superficie fueron extraordinariamente seguros. La adaptación fundamental consistió en interrogar al buceador sobre la máxima profundidad en la cual realizaría su trabajo de investigación y posteriormente en función de la respuesta individual al frío planificar el máximo tiempo de estancia en el agua. La decisión adoptada fue en función de la profundidad reducir a la mitad el tiempo máximo de estancia en el fondo que no necesita descompresión y posteriormente realizar un ascenso a superficie más lento que el contemplado en las tablas vigentes en la Armada Española⁽³¹⁾.

El riesgo de hipotermia se puede presentar en cualquier tipo de inmersión siempre y cuando la temperatura del agua, la duración de la inmersión y el tipo de traje de buceo favorezcan su aparición. La elección de un traje de buceo adecuado con protección en manos, pies y cara, un reconocimiento médico correcto explorando el estado general del buceador y sobre todo su estado cardiorrespiratorio valorando la presencia de procesos alérgicos y finalmente un buen estado nutritivo previo a la inmersión son factores todos ellos necesarios para evitar la aparición de situaciones que pueden derivar en cuadros hipotérmicos. Durante el desarrollo de las inmersiones la aparición de clínica compatible con descenso de la temperatura del buceador debe suponer de forma inmediata el aborto de la inmersión ya que ignorar los síntomas iniciales y continuar con la estancia en el agua pueden poner en serio riesgo no solo la vida propia sino la del compañero.

B I B L I O G R A F Í A

- 1 GUYTON A.C. HALL J.E. "Tratado de Fisiología Médica" Pag. 993 – 1005. Ediciones Mc Graw – Hill- Interamericana de España SAU. Madrid. 1996
- 2 BRAGULAT E. NOGUÉ S. "La hipotermia en el ámbito de la atención primaria". JANO 1-7. Vol. XLIX número 1146. Pag: 85 – 87. Diciembre 1995.
- 3 PETTY K.J. Hipotermia. En: Fauci AS, Braunwald E, Isselbacher KJ, Wilson JD, Martin JB: Kasper DL, Hauser SL, Longo DL (eds). "Principios de Medicina Interna". . Pag. : 111 – 113.. Mc Graw Hill Interamericana de España SAU. Madrid 1998 14ª edición.
- 4 MACLEAN D., EMSLIE-SMITH D. "Accidental hypothermia". : 14 – 56.: Blackwell Scientific Publications. Oxford 1977
- 5 FERNANDEZ RUESTRA F.A., SANCHEZ DE LA NIETA INFANTE. J. "Patología del naufrago". Med. Mil (Esp): 54 (3): 165 – 174. 1998
- 6 BACHRACH AJ. EGSTROM GH. "Stress and performance in Diving". . Pag:1- 186.. Best Publishing Co. San Pedro California .1987.
- 7 JAMMES Y. "Ventilatory function in resting deep divers. Basic and Applied High Pressure Biology IV". Medsubhyp Int. 9 –16. Rostain JC, MacDonald AG, Marquis RE (eds). 1995
- 8 SALAS PARDO E. "Efectos fisiológicos del helio." Tesina fin especialidad medicina subacuática e Hiperbárica. Centro de Buceo de la Armada. Unidad de Investigación Subacuática. Cartagena. 1986.
- 9 US NAVY DIVING MANUAL. "Underwater Physics: Gases in Diving". Supersedes Navsea 0994 – LP- 001-9010, Revisión 3. 1999.
- 10 ADIVP-1/MDIVP-1. "ALLIED GUIDE TO DIVING OPERATIONS". Chapter 1: Polar /Cold Water Diving. 2000
- 11 MARI SAGARRA R., GONZÁLEZ PINO E. "Consecuencias de la caída en la mar". En: Ministerio de Trabajo y Seguridad Social Secretaria General para la seguridad social. Instituto social de la marina. (eds). Supervivencia en la mar. 441 – 455. Grafoffset sl. Madrid 1990.
- 12 MARTÍNEZ VILLÉN G., MARSIGNY B., MORANDEIRA GARCÍA JR. "Patología termorreguladora del deportista: patología inducida por los extremos térmicos". Medicine: 7(127): 5962 – 5968. 1999.
- 13 PARK YS.HONG SK. "Physiology of cold water diving as exemplified by korean woman divers". Undersea Biomed. Res. : 18(3) : 229 – 241. 1991
- 14 ADIVP-2/MDIVP-2. "ALLIED GUIDE TO DIVING MEDICAL DISORDERS". Chapter 8 Thermal Problems. 2000.
- 15 VARON J., SADOVNIKOFF N., STERNBACH G. "Hipotermia". JANO Vol XLV número 1061. Pag: 54 – 58. 26 noviembre-2 diciembre 1993.
- 16 NEUMAN TS. BOVE AA. O'CONNOR RD. KELSEN SG. "Asthma and Diving". Annals of Allergy. Vol 73: 344 – 350. , Oct 1994
- 17 WEISS LD. KEITH W. METER V. "Cerebral air embolism in asthmatic scuba divers in a swimming pool". Chest; 107: 1653 – 1654. 1995.
- 18 ARANÇE GIL I. GARCÍA- FRANCO ZÚÑIGA F., GONZÁLEZ AQUINO JD, PUJANTE ESCUDERO AP., OLEA GONZALEZ A. "Características del buceo en aguas polares o extremadamente frías". Med Mil (Esp) 52(3): 294 – 296. 1996.
- 19 BECKER.W. NAUMANN HH. PFALTZ CR. "Otorrinolaringología, Manual ilustrado". Ediciones Doyma, Barcelona.2ª Edición. 1992.
- 20 LEMAIRE C. GIRY P. "Échanges thermiques en plongée". En:Broussolle B. (eds).Physiologie et médecine de la plongée. 227 – 237. Ellipses. Paris 1992.
- 21 EDMONDS C. LOWRY C. PENNEFATHER J. "Diving and Subaquatic Medicine".Oxford Ed Butterworth-Heinemann. Australia. 3ª eds 1992.
- 22 BENNETT PB. ELLIOTT DH. "The physiology and medicine of diving and compressed air work". Ed. Baillere – Tindall. Baltimore. 2ª edición 1975.
- 23 SHAGATAY E. "The human diving response (effects of temperature and training)". Universidad de Lund , Suecia. 1996.
- 24 ALBANO G. "Principles and observations on the physiology of the SCUBA diver". Office of Naval Research, Department of Navy . Arlington. 1970.
- 25 TRIGUEROS MARTIN JL. MARTINEZ IZQUIERDO A. OLEA GONZALEZ A. "Bradiarritmia sinusal durante una inmersión a 50 metros con aire comprimido". (En prensa.)
- 26 GALLAR MONTES F. "La preinmersión". En Fernando Gallar (coordinador). Medicina Subacuática e Hiperbárica. Instituto Social de la Marina. Madrid. 1987.
- 27 HUANG TF. , PENG CT. "Influence of the inspiratory effort and swallowing on the cardiovascular response to simulated diving and breath-holding". En Bachrach AJ, Matzen MM. Underwater Physiology VII. Proceeding of the seventh symposium on underwater physiology. Bethesda Medical Society Inc. 1981.
- 28 NEUMAN TS. BOVE AA. O'CONNOR RD. KELSEN SG. "Asthma and Diving". Annals of Allergy. Vol 73.: 344-350. October 1994.
- 29 WEISS LD. VAN METER KW. "Cerebral air embolism in asthmatic scuba divers in a swimming pool". Chest 107: 1653- 1654. 1995.
- 30 NEUMAN TS. "Pulmonary disorders in diving". En Bove AA, Davis JC (eds). Diving Medicine. 233 – 238. Saunders Company. Philadelphia. 2ª edition 1990:
- 31 CORSON KS. DOVENBARGER JA.MOON RE. HODDER S. BENNETT PB. "Risk assessment of asthma for decompression illness". Undersea Biomed Res.: 18 (suppl): 16-17. 1991.
- 32 CENTRO DE BUCEO DE LA ARMADA. "Manual de Buceo Autónomo". Armada Española. Febrero 2000.