

Universidad de Valparaíso
Escuela de Tecnología Médica
Casa Central
Mención Imagenología y Física Médica

Seminario de Grado

**“Prevalencia de la osteonecrosis disbárica de la cabeza femoral en
buzos de la quinta región por medio de resonancia nuclear magnética
en el Hospital Naval Almirante Nef, estudio piloto”**

Omar Guerrero Bravo

Profesor Guía:

Mario Santamarina

Profesores Co-guías:

Claudio Cuellar Fritis

Sergio Ramos Avasola

Viña del Mar, Junio 2018

Universidad de Valparaíso
Escuela de Tecnología Médica
Casa Central
Mención Imagenología y Física Médica

Seminario de Grado

**“Prevalencia de la osteonecrosis disbárica de la cabeza femoral en
buzos de la quinta región por medio de resonancia nuclear magnética
en el Hospital Naval Almirante Nef, estudio piloto”**

Omar Guerrero Bravo
16968004-3
75354093
oguerrobravo@gmail.com

Profesor Guía:

Mario Santamarina
Médico Radiólogo, Hospital Naval Almirante Nef
Director Técnico Resonancia Magnética
mgsantamarina@yahoo.com

Profesores Co-guías:

Claudio Cuellar Fritis
Tecnólogo Médico, Jefe Mención Imagenología
y Física Médica Universidad de Valparaíso.
claudio.cuellar@uv.cl

Sergio Ramos Avasola
Tecnólogo Médico, magister en Epidemiología
Universidad Católica
sergioramosavasola@gmail.com

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero dar las gracias a mi familia y amigos, quienes me han apoyado de una u otra forma e incentivaron a seguir siempre en pie y conseguir mi meta cueste lo que cueste.

Un especial agradecimiento al Doctor y profesor guía Mario Santamarina, quien me ayudo en cada etapa necesaria para poder cumplir con este proyecto. También a los Tecnólogos Médicos Claudio Cuellar Fritis y Sergio Ramos Avasola por participar en este seminario de grado no solo como profesores co-guías, sino que también como un apoyo a seguir y completar la meta

Al personal del Servicio de Imagenología del Hospital Naval Almirante Nef de Viña del Mar, quienes, con la mejor disposición, me aceptaron a que ocupara su lugar de trabajo y aportaron su granito de arena en este trabajo, Tecnólogo Médico Cesar Garay, Tecnólogo Médico Leslie Maureira, Paramédicos y Auxiliares de Servicio

Finalmente, a todos los voluntarios que se animaron y depositaron la confianza para ser parte de este estudio, principalmente a David Sánchez, que, a pesar de él no poder ser parte del estudio como voluntario, abrió muchas puertas para, llegar a más de sus colegas buzos

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. A mis hermanos por apoyarme de la forma que necesitaba, en tiempos difíciles.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

RESUMEN

Introducción: La Osteonecrosis Disbárica (OND) es una enfermedad presente en personas expuestas a altas presiones, dentro de estas encontramos a los buzos. La cabeza femoral es la región anatómica donde más se presenta esta enfermedad. En el presente estudio se realizó un examen de resonancia magnética de cadera para pesquisar Osteonecrosis, en un grupo de buzos de la V región.

Objetivos: Determinar la prevalencia de la osteonecrosis disbárica en la cabeza femoral por medio de resonancia magnética nuclear en una muestra piloto de buceadores de la V región en el Hospital Naval Almirante Nef

Materiales y Métodos: Estudio descriptivo, las caderas de 58 buzos fueron pesquiasadas por OND con Resonancia magnética. Un cuestionario fue utilizado para obtener información sobre el historial médico y la experiencia de buceo de los sujetos al estudio

Resultados: La edad promedio del grupo de buzos fue de $40 \pm 11,3$ años, los buzos llevan en la actividad un promedio de $24,4 \pm 8,9$ años, con un tiempo promedio de $67,1 \pm 38,7$ min en cada inmersión y alcanzando una profundidad máxima promedio de $58,4 \pm 20,4$ metros. Los exámenes de resonancia magnética de los buzos no demostraron lesiones oseas correspondientes a OND.

Conclusiones: Si bien no se encontraron casos de osteonecrosis de cadera, no es posible inferir esto a la población, debido a que la muestra no es representativa y no tiene un tamaño muestral adecuado.

Palabras claves: *Osteonecrosis disbárica (OND), Resonancia Magnética Nuclear (RMN), Buzos, Osteonecrosis de Cadera.*

ÍNDICE

Índice de Contenidos	Páginas
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1.- Tipos de buzo	4
2.2.- Tipos de buceo.....	6
2.2.1.- Buceo con suministro desde la superficie	6
2.2.1.1.- Operación de buceo con aire	6
2.2.1.2.- Operación de buceo con mezcla de gases	7
2.2.2.- Buceo SCUBA.....	9
2.2.2.1.- Operación de buceo con circuito cerrado.....	11
2.2.2.2.- Operación de buceo con circuito semi cerrado.....	11
2.3.- Protocolo de Inmersión	12
2.4.- Protocolos de ascenso	14
2.5.- Ascenso inadecuado	16
2.6.- Osteonecrosis	17
2.6.1.- Características de la patología.....	17
2.6.2.- Patogénesis	20

2.6.3.- Etiología.....	21
2.6.4.- Proceso patológico.....	22
2.6.5.- Osteonecrosis disbárica y factores de riesgo.....	23
2.6.6.- Diagnóstico.....	24
2.6.6.1.- Radiología convencional.....	24
2.6.6.2.- Tomografía axial computarizada.....	25
2.6.6.3.- Gammagrafía ósea.....	26
2.6.6.4.- Resonancia magnética nuclear.....	27
2.6.6.4.1.- Protocolo RMN de caderas por osteonecrosis.....	29
CAPÍTULO III: OBJETIVOS	30
3.1.- Objetivo General.....	30
3.2.- Objetivos específicos.....	30
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....	32
4.1.- Diseño.....	32
4.2.- Muestra de estudio.....	32
4.2.1.- Definición.....	32
4.2.2.- Tamaño de la muestra.....	33
4.2.3.- Muestreo.....	34
4.2.4.- Criterios de elegibilidad.....	34
4.2.4.1.- Criterios de inclusión.....	34
4.2.4.2.- Criterios de exclusión.....	35

4.3.- Variables.....	35
4.4.- Recolección de la información.....	38
4.5.- Método de análisis estadístico.....	38
CAPÍTULO V: Resultados.....	39
5.1.- Análisis Descriptivo.....	39
5.2.- Limitaciones.....	43
CAPÍTULO VI: Discusión.....	44
CAPÍTULO VII: Conclusiones.....	48
CAPÍTULO VIII: Referencias bibliográficas.....	49
CAPÍTULO IX: Anexos.....	56
9.1.- Anexo I Consentimiento informado.....	56
9.2.- Anexo II Encuesta al paciente.....	57
9.3.- Anexo III Clasificación Ficat y Arlet.....	58

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Los cambios de presión atmosférica sobre el cuerpo humano llevan a la necesidad de adaptación a este tipo de variaciones, soportando mejor los aumentos de presión que las disminuciones de la misma.

En las actividades de inmersión, los buceadores están sometidos a cambios de presión (10 metros de profundidad equivale a 1 atmósfera de presión), así cuando ocurre el descenso se conoce como compresión, ya que al aumentar la profundidad también lo hace la presión y cuando se realiza el ascenso disminuye la presión, fenómeno conocido como descompresión. Si se realiza de manera incorrecta la descompresión, puede causar problemas en el buceador, estos se clasifican dentro del grupo conocido como enfermedades por descompresión inadecuada o EDI, las que incluyen alteraciones neurológicas, de la piel, pulmonar, ósea, entre otras¹.

Existen diferentes técnicas por las cuales es posible realizar buceo, el más común es el buceo autónomo, el que requiere de una botella de gas para ser respirado. Aunque existen diferentes mezclas de gases el más utilizado es el aire comprimido², el cual está compuesto por nitrógeno (78%), oxígeno (21%) y otros (1%). La cantidad de nitrógeno absorbido depende de la presión parcial del nitrógeno inspirado (profundidad) y de la duración de la exposición (relacionada con el tiempo de buceo). Durante la compresión aumenta la presión del nitrógeno en el alveolo, por lo que pasa éste desde el alveolo a la sangre y desde la sangre a los tejidos, donde se absorbe o disuelve.

Durante el retorno del buzo a la superficie (descompresión) ocurre lo contrario, es decir pasa el nitrógeno de los tejidos a la sangre y de éste a los

alveolos; si la descompresión se realiza de forma brusca, el gas pasa de la forma disuelta a gaseosa y se forman burbujas en la sangre y los tejidos, de las que pueden resultar embolias gaseosas³. Es por ello que los buzos necesitan tener los conocimientos necesarios para evitar la mala descompresión, así en el ascenso los buzos deben realizar paradas estáticas para eliminar el sobrante de gas inerte que se acumula en los tejidos, si estas paradas se omitieran, se producirá una sobresaturación excesiva de los gases inertes que pueden alcanzar el punto crítico de sobresaturación a partir del cual el gas cambiará de estado y formará burbujas. Por tanto, existirá una relación entre la presión, la duración de la exposición, la rapidez de la descompresión y el desarrollo de la enfermedad descompresiva, siendo las burbujas de los gases inertes las responsables de la EDI⁴.

Los cambios en los tejidos óseos por EDI varían entre las diferentes personas y pueden llegar a ser acumulables en el tiempo⁵, es por esto que se hace necesaria una detección temprana de las complicaciones que trae la EDI, entre las cuales encontramos la osteonecrosis disbárica u OND. La osteonecrosis, también conocida como necrosis avascular o necrosis aséptica, es la consecuencia de daños tisulares secundarios a isquemia y, en el caso que nos ocupa, esta isquemia es secundaria a un disbarismo con formación de micro burbujas de nitrógeno que afectan las estructuras vasculares óseas⁶. La alteración puede ser extravascular por compresión directa, o bien, intravascular por micro embolia o por fenómenos de coagulación.

La OND puede permanecer asintomática durante años, detectándose mucho tiempo después del episodio causante⁷. Se presenta como una patología de progresión lenta y escasa sintomatología, que se puede desarrollar en meses o años de práctica de buceo o exposición a hiperbaria. La articulación de la cadera es la que se ve más afectada en caso de OND, afectando principalmente la cabeza femoral⁸. La OND presenta un desafío para el diagnóstico y tratamiento, ya que en los estadios iniciales se presenta de manera asintomática, sin embargo, progresa hasta llegar a destrucciones invalidantes, necesitando del reemplazo total de la cadera en pacientes jóvenes, donde el diagnóstico tardío de la OND puede tener

una importante consecuencia en la calidad de vida de los pacientes⁹, por lo que se hace necesaria la detección temprana de la enfermedad.

En E.E.U.U. se considera que un 10% de los aproximadamente 500.000 reemplazos de cadera corresponden a necrosis ósea aséptica, con un costo total de 1.000 millones de dólares anuales¹⁰. Existen diversos estudios en que la prevalencia de OND es calculada en la población de buzos. Por ejemplo, el de Cimsit et al¹¹, en el cual profesores e instructores de buceo en Turquía que tienen conocimientos de las tablas de descompresión, llega al 25%, mientras que en el estudio de Uzun et al¹², en buzos militares de Turquía la prevalencia es de 0%. Sin embargo, en Chile no existen estudios en la población de buzos, ya sea mariscadores, comerciales o de la armada, que demuestren la cantidad de profesionales que puedan ser afectadas por esta patología.

En la búsqueda de un Gold standard para la detección de la osteonecrosis, se ha descrito que la resonancia magnética es la herramienta diagnóstica propicia para este tipo de casos¹³, ya que detecta pequeños cambios morfológicos del hueso. Debido a que la OND es una enfermedad silente, en las etapas de desarrollo temprano se hace necesario identificar primero el grupo que potencialmente puede desarrollar esta enfermedad, y luego, diagnosticarla lo más pronto posible, para que así la enfermedad no llegue a etapas avanzadas. A través de esta pesquisa se pretende establecer la magnitud de la prevalencia de esta enfermedad en un grupo de buzos y correlacionar cual es el impacto que posee la actividad de buceo en la presencia de osteonecrosis.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el contexto en que se desarrolla esta investigación se debe comprender el impacto que tiene sumergirse y como afecta este al buzo, lo cual es necesario diferenciar los distintos tipos de buceo que existen, la forma en que la presión afecta al buzo y las formas que tiene este para minimizar los daños creados por los cambios de presión.

2.1.- Tipos de buzos

Debido a la especial geografía de Chile, la actividad del buceo se desarrolla en casi todo el territorio nacional, en el caso de la Quinta región de Valparaíso existen aproximadamente 3.164 buzos profesionales con licencia vigente para realizar la actividad¹⁴. Estos se desarrollan principalmente en cuatro grandes áreas, para las cuales existen diferentes licencias otorgadas por la dirección general del territorio marítimo y de marina mercante (DIRECTEMAR). Este ente perteneciente a la Armada de Chile es el encargado de hacer cumplir las normas y reglamentos vigentes.

El **buzo comercial** realiza diferentes tipos de operaciones bajo el agua, según la norma chilena¹⁵ es la persona que, en posesión de la matrícula correspondiente, posee un nivel de preparación que le permite la utilización de cualquier equipo necesario para efectuar trabajos submarinos que estén directa o indirectamente relacionados con su actividad. Esta actividad dependerá del empleador, entre las que encontramos obras hidráulicas, construcción de estructuras sumergidas, puertos, diques, centrales térmicas o hidráulicas,

mantenimiento de puertos o represas, inspecciones de barcos, mantenimiento de instalaciones, barcos de pesca, colocación de fondeos, trabajos científicos, arqueología subacuática, reflotamientos, salmoneras, entre otros.

Buzo mariscador o recolector es aquel que usa el buceo para recolectar productos marinos tales como moluscos, crustáceos, peces y algas, se desarrollan principalmente de manera independiente.

Según la normativa vigente se determinan dos tipos¹⁵:

Buzo Mariscador Básico: es aquel que está habilitado en el uso de equipos semi-autónomos livianos, este equipo permite una profundidad máxima de 20 metros para solo un buzo.

Buzo Mariscador Intermedio: es aquel que está habilitado en el uso de equipos semi-autónomos livianos y medianos, el equipo mediano es aquel que permite hasta dos buzos sumergirse a una profundidad máxima de 36 metros.

Buzo naval se le determina a los que son instruidos bajo el mando de la Armada de Chile, para desempeñar labores que resguardan la soberanía y protegen al estado. Encontramos principalmente dos grupos¹⁶:

- Buzo de salvataje: Cumplen con necesidades inherentes a la Armada de Chile, (además de salvaguardar a la gente como) operaciones de rescate y salvataje de buques, mantención, construcción, reconocimiento, demolición e investigación submarina.
- Buzo táctico: Rama de la Armada de Chile que usa el buceo con fines militares, en operaciones marítimas, anfibias y terrestres.

Se le denomina **buzo deportivo** a aquel que posee licencia otorgada por DIRECTEMAR y tiene como facultades realizar acciones de buceo deportivo o recreativo utilizando equipo autónomo. Además, la norma dicta que *“Este Deberá hacerlo siempre en zona autorizada por la Autoridad Marítima y en pareja, en horario diurno y a una profundidad que no requiera posterior descompresión”*¹⁵.

2.2 Tipos de buceo

Los principales estilos de buceo empleados con fines deportivos, comerciales o navales emplean equipos que aseguran el suministro de aire al buzo, estas técnicas son variadas, dependiendo del caso y la situación que se encuentre el buzo¹⁷, entre estas encontramos.

2.2.1 Buceo con suministro desde la superficie

Existen dos tipos de equipos de buceo que funciona con suministro de aire desde la superficie. Se puede dividir en buceo con aire o con mezcla de gases, la elección depende del tipo de operación submarina que se realizara.

2.2.1.1 Operaciones de buceo con aire

Se consideran operaciones de buceo con aire a aquellas técnicas que disponen de una línea de suministro desde la superficie, llamada umbilical. Se emplean procedimientos en forma usual hasta 58 m, pero pudiendo emplearse excepcionalmente hasta 87 m de profundidad.

El equipo consta de un compresor de aire ubicado en la superficie que le otorga al buzo aire, por ejemplo, el equipo autorizado por la armada chilena es el Superlite 17 K/B, con una máscara completa EXO-26. 50102. Puede emplearse hasta 190 pies; si se emplea sin un suministro de aire emergencia, se puede operar hasta los 60 pies (18,3 metros)¹⁸. Para buceo a profundidades superiores a 190 pies, se debe solicitar una autorización a la DIRISNAV (Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales), dependiente de la Armada.

Una desventaja importante de este tipo de equipos es la operación pre y post inmersión, que puede ser prolongada. Además, se debe contar con personal de apoyo en superficie. Sin embargo, la protección que ofrece al buzo ante las condiciones ambientales es considerablemente mayor al del equipo SCUBA. Debe controlarse el tiempo ya que pasado los 120 minutos es necesario una descompresión en cámara hiperbárica

2.2.1.2 Operaciones de buceo con mezcla de gases

El uso de mezcla de gases permite que se pueda trabajar a mayor profundidad que empleando solamente aire. A grandes profundidades y tiempos prolongados de buceo, el oxígeno se hace tóxico para el organismo, es por esto que se debe diluir con gases inertes en una proporción que varía con la profundidad de trabajo¹⁹.

En este tipo de buceo el equipo puede ser una campana o sistema de campanas ubicadas a diferente profundidad (figura 2), para trabajos prolongados a 150 y más pies de profundidad (45,7 metros), o empleando un equipo con escafandra, para profundidades de hasta 300 pies (91,44 metros). Profundidades superiores son de mayor riesgo para la descompresión²⁰.



Figura 1. Escafandra para buceo de profundidad

https://www.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink-g312829-d7396666-i152129697-Museo_Ferropuerto-Comodoro_Rivadavia_Province_of_Chubut_Patagonia.html

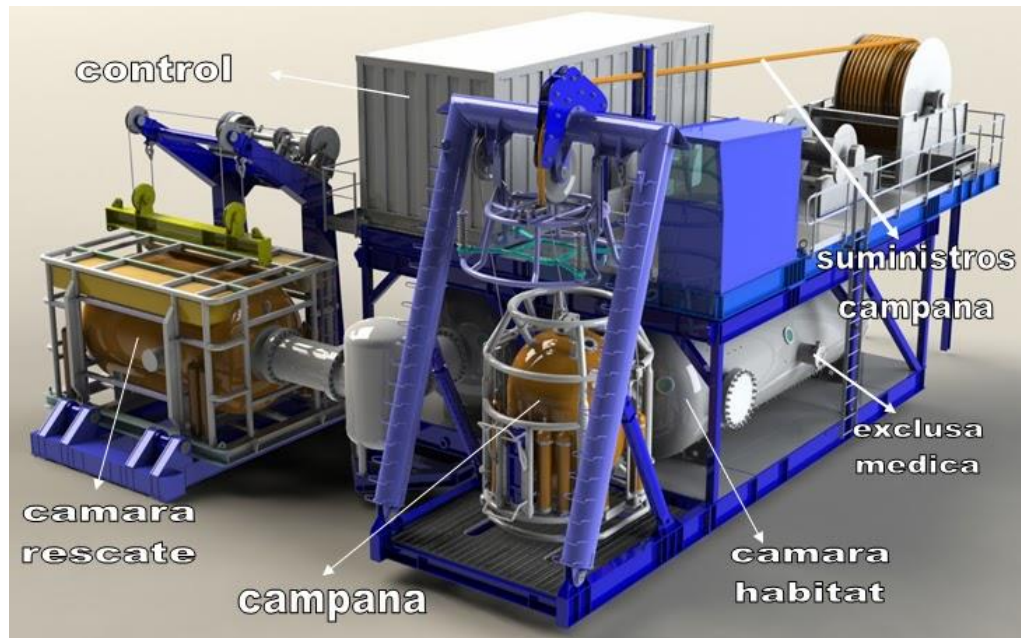


Figura 2. Campana de buceo. Mezclas de gases.

<http://www.alejandroechemendia.com/p/la-saturacion-fisicamente-no-es-mas-que.html>

Las mezclas de gases deben contener oxígeno, que es fundamental para sustentar la vida; los otros componentes pueden ser gases inertes, tales como nitrógeno y helio²¹. Debido a las dificultades que plantea el buceo a alta profundidades y el uso de mezcla de gases, los buzos que operan con este sistema son aquellos que previamente han adquirido una experiencia suficiente trabajando a menores profundidades.

2.2.2 Buceo SCUBA

El equipo autónomo de respiración subacuática o SCUBA, por sus siglas en inglés, puede ser el más útil en la mayoría de las ocasiones; sin embargo, se debe evaluar la situación y las condiciones, ya que, por ejemplo, aunque el trabajo a efectuar se encuentre a baja profundidad, si debe realizarse por un tiempo prolongado, posiblemente este equipo no sea el más apropiado²².

Para una seguridad adecuada, el SCUBA se recomienda para una profundidad de hasta 40 metros; cuando la profundidad es superior a 60 metros se puede presentar narcosis por nitrógeno, incluso cuando la inmersión es por períodos cortos. Por seguridad, cuando se trabaja una profundidad superior a 30 metros, se emplean cilindros con mayor capacidad (al menos 100 pies cúbicos, 2,83 m³). Una limitante importante de este equipo es que se trabaja con un volumen fijo de aire, dado por el tamaño de los tanques; esto restringe el periodo de trabajo, en especial cuando se trata de una actividad a mayor profundidad con mucha actividad física, ya que se requiere mayor consumo de aire. Es denominado un sistema abierto, ya que el aire utilizado no es reutilizado, sino expulsado por el buzo hacia el exterior. Cuando se trabaja entre 40 y 60 metros, se prefiere un equipo con suministro de aire desde la superficie¹⁷.

Una de las grandes ventajas del equipo SCUBA, es que permite una amplia movilidad al buzo a lo largo de la columna de agua, ya que su diseño hace

2.2.2.1 Operaciones de buceo con circuito cerrado

Este sistema se emplea principalmente para usos militares, debido a que no produce una estela de aire en el agua ya que lo recircula. El buzo respira oxígeno puro que se recircula una vez depurado por un equipo incluido en el circuito. El riesgo de respirar oxígeno puro es de una intoxicación severa a nivel pulmonar; esto llevó a establecer límites muy estrictos para profundidad y tiempo de trabajo, de 25 pies (7,62 metros) por 75 minutos o como máximo de 40 pies (12,19 metros) por 10 minutos¹⁷.

2.2.2.2 Operaciones de buceo con circuito semi cerrado

El uso del Scuba con Circuito semi cerrado utiliza las ventajas que presentan estos dos equipos de buceo (cerrado y abierto), para lo cual emplea en el tubo una mezcla de gases y agrega un equipo para depurar del sistema el CO₂ y agregar constantemente oxígeno al circuito, un volumen igual de la mezcla se libera al agua. Debido a las características descritas del equipo, ofrece al buzo una prolongada autonomía, significativamente superior al sistema abierto¹⁷.

El sistema emplea un sensor de la presión de oxígeno para determinar cuándo baja de un límite preestablecido y en ese caso activa un sistema de inyección para nivelar su contenido en la mezcla. Por lo tanto, se mantiene constante en el circuito la concentración de oxígeno necesario para el metabolismo. La ventaja de este equipo con respecto al de circuito cerrado, es que no presenta riesgo de intoxicación por oxígeno.

2.3 Protocolo de inmersión

Las condiciones de inmersión deben ser cuidadosamente planificadas, ya que el buzo se ve expuesto en este caso a condiciones ambientales y operacionales de alto riesgo²³.

Principalmente se deben considerar los siguientes factores:

I. Visibilidad

Antes que el buzo inicie la inmersión, se deben evaluar las condiciones de visibilidad subacuática en el punto donde va a trabajar, para evitar que se produzca algún accidente grave y tomar las precauciones necesarias en cuanto a equipos u operación, en especial el tiempo requerido para ejecutar el trabajo programado. Como referencia, en las aguas tropicales que son muy transparentes, la visibilidad a una profundidad de 180 pies (54,86 metros) puede ser de hasta 100 pies horizontales (30,48 metros).

II. Temperatura

Una vez conocida la temperatura del agua en el sitio, se debe cruzar esta información con la correspondiente a las del equipo que se va a emplear y las características y condiciones físicas del buzo, para determinar así, el tiempo máximo de inmersión que puede soportar. Esto es muy importante, ya que en condiciones ambientales de menor temperatura es más complicado trabajar y por lo tanto aumenta el tiempo requerido; probablemente deben hacerse más sumersiones que en condiciones de mayor temperatura. También existen límites para temperaturas elevadas del agua, en especial si ésta alcanza o supera los 37°.

III. Restricciones de profundidad al buceo

Existen algunas condiciones de trabajo en las cuales no debe efectuarse la sumersión, ya que el riesgo a accidentes que enfrenta el buzo es demasiado alto. A continuación, se indican aquellas relacionadas con las técnicas de buceo mencionadas anteriormente.

i. Buceo con equipo SCUBA y respiración con aire.

En este caso, la profundidad máxima de sumersión es de hasta una presión de 130 pies (39,62 metros de agua). Sin embargo, tampoco debe realizarse a profundidad mayor a 100 pies (30, 48 metros) si no se cuenta en el sitio con una cámara de descompresión.

Los equipos (cilindros) deben contar con una reserva manual o en su defecto, con un cilindro de reserva que disponga de un regulador independiente. Además, cada buzo debe contar con un manómetro para su cilindro.

ii. Equipos con suministro de aire desde la superficie.

Para este tipo de buceo, la profundidad máxima de operación es de 190 pies (57,91 metros) y debe controlarse el tiempo necesario para la descompresión en el agua sea menor 120 minutos.

Si se va a operar a más de 60 pies (18,29 metros) de profundidad, se debe contar con un cilindro de emergencia, así como cuando se vaya a realizar una descompresión programada o cuando no exista una línea directa a la superficie.

iii. Buceos con mezcla de gases

Para el caso de cualquier tipo de buceo que emplee mezcla de gases, la profundidad máxima de operación es de 220 pies (67,06 metros) y se debe asegurar que el tiempo máximo de descompresión en el agua sea menor a 120 minutos. Por razones de seguridad, se debe tener una cámara de descompresión.

2.4 Protocolos de ascenso

La descompresión es la operación que demanda mayores recursos debido al tiempo que requiere, la cual debe ser abordada con el mayor cuidado, ya que depende de ello la salud e integridad del buzo. El tiempo de descompresión depende de la profundidad y de cuanto se prolongó el trabajo en esas condiciones. Por ejemplo, si se trabajó durante una hora a 200 pies (60,96 metros), las cuales son condiciones bastante fuertes, el tiempo de descompresión debe ser de tres horas y 20 minutos.

Para evitar que ocurran accidentes por este motivo, se han establecido protocolos y tablas para programar tanto la inmersión como el ascenso. Los valores tabulados se obtienen a partir de las ecuaciones que se aplican para ambas operaciones²³.

A continuación, se muestran algunas de las tablas más usadas:



Tabla 1: Tabla simplificada de inmersión y descompresión

Fuente: <http://www.sensaciones.org/medibuceo/22/imagen1.JPG>

La primera tabla, muestra bajo qué circunstancias de trabajo se puede bucear sin realizar la descompresión. Se puede ver que a menores profundidades de inmersión y menores tiempos buceo, no es necesario realizar la descompresión.

TABLAS DE DESCOMPRESION ACUC PARA BUCEADORES RECREATIVOS BASADAS EN LAS TABLAS D.C.I.E.M.												
PROFUNDIDAD EN METROS	MINUTOS DE INMERSION											
6	30	60	90	120	150	180	240	300	360	420	480	600
9	30	45	60	90	100	120	150	180	190	210	240	270
12	22	30	40	60	70	80	90	120	130	150	160 P3-5	170 P3-5
15	18	25	30	40	50	60	75	85 P3-5	95 P3-5	105 P3-10	115 P3-10	124 P3-15
18	14	20	25	30	40	50	60 P3-5	70 P3-10	80 P3-10	85 P3-15	92 P3-20	
21	12	15	20	25	35	40 P3-5	50 P3-10	60 P6-5 • P3-10	63 P6-5 • P3-10	66 P6-10 • P3-10		
24	10	13	15	20	25	29 P3-5	35 P3-10	48 P6-5 • P3-10	52 P6-10 • P3-10			
27	9	12	15	20	23 P3-5	27 P3-10	35 P6-5 • P3-10	40 P6-10 • P3-10	43 P6-10 • P3-10			
30	7	10	12	15 P3-5	18 P3-10	21 P3-10	25 P6-5 • P3-10	29 P6-5 • P3-10	36 P6-10 • P3-10			
33	6	10	12	15 P3-5	18 P3-10	22 P3-10	26 P6-5 • P3-10	30 P6-10 • P3-10				
36	6	8	10	12 P3-5	15 P3-10	19 P3-10	25 P6-5 • P3-10					
39	5	8	10 P3-5	13 P3-10		16 P6-5 • P3-10	21 P6-10 • P3-10					
42	5	7	9 P3-5	11 P3-10		14 P6-5 • P3-10	18 P6-10 • P3-10					
Grupo Salida Simple >	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

Tabla 2. Tabla de Descompresión

Fuente: <https://sites.google.com/site/seamarazul/tablasfront.jpg>

La Tabla 2 es ampliamente empleada en buceo con aire, en esta se muestra en la primera columna la profundidad de la inmersión en metros y en el eje horizontal, se indican los minutos en la operación. En color verde se indica la curva de seguridad, donde no es necesaria la descompresión. En color rojo se indica la zona donde la descompresión es indispensable y se detalla el tiempo de descompresión total y las escalas de ascenso. En color naranja se indican zonas de riesgo donde no es completamente seguro realizar el buceo sin una descompresión.

El buceo en condiciones de saturación presenta ventajas considerables en este sentido. En este tipo de buceo, una vez que se ha alcanzado la completa saturación con los gases a la profundidad de trabajo, aunque aumente el tiempo de permanencia a esa profundidad, el período de descompresión se mantiene constante. Solamente se requiere que se trabaje a la misma profundidad, es decir,

bajo las mismas condiciones de presión. Esto presenta ventajas considerables cuando se debe trabajar a altas profundidades y durante prolongado tiempo, como se trataría, por ejemplo, en el caso de rescate submarino, estudios científicos y trabajos industriales.

2.5 Ascenso inadecuado

En el descenso, aumenta la presión externa sobre el buzo, se eleva la presión parcial de nitrógeno en sus pulmones a un nivel superior de la presión parcial de nitrógeno disuelto en los tejidos. Esta gradiente de presión provoca que el nitrógeno se difunda desde los pulmones hacia la sangre y posteriormente los tejidos, siendo absorbido este elemento de acuerdo con su irrigación y el tiempo del proceso. Esta situación se mantendrá mientras exista la gradiente de presión, la cual llega a término cuando la sangre y los pulmones posean la misma presión de nitrógeno.

En el ascenso se lleva a cabo el proceso inverso: la presión parcial de nitrógeno en los tejidos se hace mayor que en los pulmones, por lo que la difusión de este gas se produce desde los tejidos hacia los pulmones. Por esta razón, se debe controlar la velocidad ascenso, ya que, si se hace de forma rápida, la gradiente de presión aumentará súbitamente produciéndose la difusión de una manera explosiva o incontrolada, lo cual puede provocar la formación de burbujas en tejidos y sangre, ocasionando la llamada enfermedad descompresiva.

Para evitar que se produzca esta situación, se deben respetar los protocolos de descompresión establecidos como parte del programa de la operación de buceo que se está ejecutando. Estos protocolos son diseñados a partir de las tablas de descompresión mencionadas anteriormente, donde se indica las profundidades y tiempos para cada durante el ascenso. Si no se respetan adecuada estrictamente estos protocolos, las burbujas que se producen en tejidos y sangre,

pueden producir embolias y problemas en la irrigación, en la denominada Enfermedad de Descompresión Inadecuada (EDI). Entre las diversas complicaciones que derivan de un EDI podemos distinguir los síntomas agudos causado por las burbujas (dolor articular, dolor abdominal, mareos, etc.), también pueden existir complicaciones a mediano y a largo plazo como la formación de embolias gaseosas que pueden afectar el sistema nervioso central, los músculos y los huesos¹. La embolia gaseosa puede llegar a disminuir parcialmente o completamente la irrigación sanguínea a nivel oseo llegando a provocar una osteonecrosis⁴.

2.6 Osteonecrosis

2.6.1 Características de la patología

La osteonecrosis se también conocida como “necrosis aséptica”, para destacar su carácter no infeccioso. Se debe a diferentes factores gatillantes, de distinta naturaleza (traumática y atraumática) que conducen a un cuadro final en el cual se observa una disminución de la irrigación sanguínea, lo que desencadena la muerte o necrosis de las células hematopoyéticas y finalmente de los osteocitos. La localización más usual del daño es la epífisis del hueso, destacando la epífisis proximal del humero, epífisis proximal de la tibia y en especial la cabeza femoral, siendo esta ultima la de más preocupación diagnostica, no solo porque es la que se ve más afectada²⁴, sino que debido a que la carga física ejercida en la vida diaria a la articulación, esto, sumado al debilitamiento del hueso aumenta el riesgo a complicaciones futuras (colapso de la articulación) la que es mayor a las otras articulaciones descritas.



Figura 4. Epífisis proximal del fémur

Fuente:

<http://slideplayer.es/slide/1090339639/images15/Anatom%C3%ADa+FEM%C3%9AR+Cabeza+del+F%C3%A9mur+Cuello+Anat%C3%B3mico+Cuello+Quir%C3%BArgico.jpg>

La lesión sufrida en la articulación es debilitante y progresiva, llevando a la destrucción de esta después de 3 a 5 años de iniciado el proceso. La padecen principalmente individuos con una edad entre 20 y 50 años. La incidencia estimada de osteonecrosis es de alrededor de 15.000 nuevos casos por año en los EE. UU. estando la relación mujer/hombre de 8 a 1⁸. Cuando esta enfermedad la sufren pacientes jóvenes, deben modificar sus hábitos personales con respecto las actividades físicas que desarrollan como distracción y también aquellas en el trabajo. La enfermedad se puede presentar en forma asintomática inicialmente y posteriormente evolucionar a cuadros sintomáticos severos. Cuando se diagnostica tardíamente su pronóstico es más grave, pudiendo llegar a la destrucción de la articulación.

De las diferentes clasificaciones que se han propuesto para evaluar la evolución de esta patología, se presenta a continuación la de Ficat *et al*⁵, que se basa en el diagnóstico radiológico y ha sido muy utilizada con este propósito. Esta clasificación menciona 4 estadios de la enfermedad [Anexo 3]. La enfermedad se clasifica dependiendo de cuán avanzada se encuentra, en resumen, el estadio I solo es detectable en RMN y se puede presentar como edema, en el II se logra visualizar una lesión en el hueso, en el estadio III el colapso de la articulación es inminente y en el IV la articulación en su totalidad colapsa.

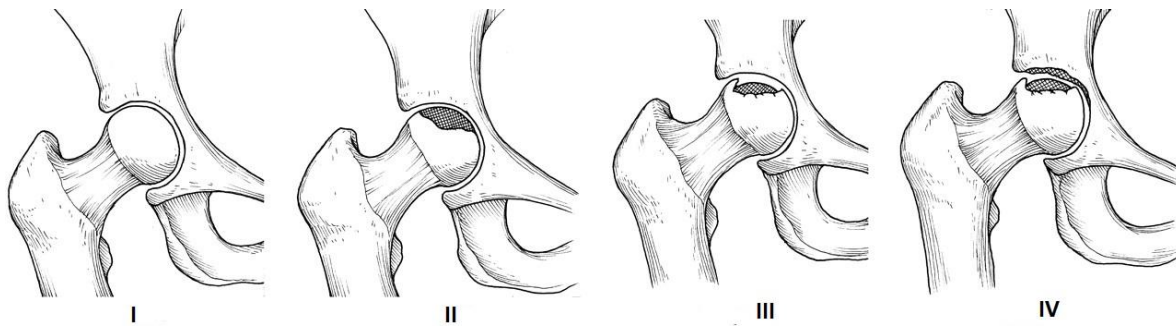


Figura 5. Características de los estadios de la osteonecrosis según clasificación de Ficat.

<https://osteonecrosis.me/causesetiology/stages-of-osteonecrosis-avascular-necrosis/>

2.6.2 Patogénesis

En la literatura especializada se describen cuatro teorías para explicar la forma en que se produce la necrosis de la cabeza del fémur, las cuales se presentan a continuación²⁶:

- a) Infarto óseo: Esta teoría es la más ampliamente aceptada y explica génesis de la patología como una enfermedad de vasos sanguíneos de la cabeza femoral, comparándola con la enfermedad coronaria del corazón. De esta forma, al alterarse la irrigación sanguínea que llega al segmento antero lateral de la cabeza femoral, se produce la muerte celular y necrosis en este lugar.
- b) Embolismo graso: Al liberarse un émbolo graso, esto desencadena una serie de eventos en cascada que llevan a una oclusión intraósea y finalmente, a una coagulación intravascular, agregación plaquetaria y trombosis, todo lo cual conduce a una osteonecrosis de la estructura anatómica.
- c) Acumulación de células de un proceso de stress: En este caso se explica la situación en la cual la necrosis de la cabeza del fémur puede encontrarse asociada a enfermedades crónicas (insuficiencia renal crónica, alcoholismo), lupus eritematoso sistémico, trasplante de órgano y hemoglobinopatías.

En todos estos procesos se presentan células alteradas; en el caso de las células óseas esta situación también se produce y ocurre muerte celular provocando la osteonecrosis.

- d) Isquemia progresiva: En este caso, la teoría indica que se eleva la presión intraósea, lo que paulatinamente produce el estrechamiento de la luz de los vasos sanguíneos que se encuentran dentro de la cabeza femoral. Esta situación se produce, entre otras, en la enfermedad de Gaucher²⁷.

2.6.3 Etiología

Las principales causas de desarrollo de la osteonecrosis de la cabeza femoral se pueden clasificar en dos tipos:

- a) Atraumáticos: en este caso se trata del efecto asociado a una patología, que responde a diversas causas.

Entre ellos se encuentran los siguientes, que corresponden a factores de riesgo de la patología:

- Osteonecrosis disbárica o enfermedad de Caisson: Este cuadro se presenta en los individuos que se ven expuestos a condiciones laborales prolongadas de tipo hiperbáricas. Durante el período de descompresión, si no se realiza de forma adecuada, pueden formarse burbujas de nitrógeno que obstruyen los vasos, disminuyendo la irrigación²⁸.
- Enfermedad de Gaucher Tipo 1: Se trata de una enfermedad de tipo genética autosómica y recesiva, que provoca deficiencia de la enzima hidrolasa-glucoocerebrosida. Esto hace que se acumulen esfingolípidos en los macrófagos y células reticuloendoteliales, ubicadas, entre otros sitios, dentro de la cabeza femoral. Comprime las estructuras vasculares ubicadas dentro de la cabeza femoral, lo cual provoca la osteonecrosis²⁷.
- Altas dosis de corticoesteroides: Esto se presenta preferentemente en tratamientos de enfermedades auto inmunes (reumáticas, lupus) o en trasplantes. Estas patologías son consideradas un alto factor de riesgo.
- Trombofilia e hipofibrinólisis: La combinación de ambas patologías

produce oclusión venosa debido a coágulos de fibrina. La trombofilia aumenta la capacidad de crear trombos intravenosos, mientras que la hipofibrinólisis disminuye la capacidad de disolver estos trombos, por lo que se eleva la presión venosa y aumenta la presión intramedular, lo que produce una baja en la irrigación llevando a la osteonecrosis²⁹.

Otros factores de riesgo son alteraciones de la coagulación, hipercolesterolemia, hipertrigliceridemia, pancreatitis crónica, uso de esteroides, alcohol y hábito tabáquico.

- b) Traumáticos: en este caso se produce falla parcial o total de la irrigación a la cabeza del fémur, por una fractura del este hueso, luxaciones de la cabeza o luxofracturas³⁰.

2.6.4.- Proceso patológico

Los estudios realizados han demostrado la fragilidad, la vulnerabilidad de la microcirculación en la cabeza femoral y las consecuencias que tienen los cuadros isquémicos microvasculares a este nivel, ya sea por una trombosis intravascular o por compresión extravascular. Una pequeña fracción de disminución del flujo sanguíneo de la cabeza femoral incide en forma significativa sobre el contenido de oxígeno sanguíneo (PO₂). Solamente después de un par de horas de isquemia, los osteocitos se necrosan y puede ser detectado histológicamente 24 a 72 horas después³¹.

Una vez que se produce la isquemia, comienza un lento proceso de reparación de la zona afectada, lo cual se produce normalmente sin inconvenientes si la lesión es pequeña, reemplazando las células dañadas por tejido sano. Si se presenta un daño más amplio en la zona subcondral del área anterosuperior de la

cabeza femoral, se observa un desarrollo vascular periférico. El tejido óseo normal reemplaza al que se encuentra necrosado o puede ubicarse bajo éste, provocando un engrosamiento. Como el tejido óseo muerto no tiene la capacidad de soportar el peso normal del cuerpo, se producen micro fracturas que posteriormente permanecen. La superficie articular se aplana, pero el cartílago permanece viable ya que se nutre desde el líquido sinovial, no de la irrigación del hueso subcondral³⁰.

Una vez que se afecta la cabeza del fémur en forma significativa, se ven alterados también el cartílago articular del acetábulo y del hueso subcondral, desarrollándose esclerosis, quistes y osteofitos³².

2.6.5. Osteonecrosis disbárica y factores de riesgo

Como se explico anteriormente esta enfermedad tiene como origen las burbujas de nitrógeno que se forman en el proceso de descompresión inadecuada, las cuales son capaces de alterar la fisiología, en el caso de la osteonecrosis, estas son capaces de afectar tejido adiposo de la medula espinal de acuerdo con lo descrito por Jones et al³³, las cuales podrían afectar a la coagulación y resultar en una osteonecrosis.

En los estudios de pesquisa de OND, autores como Miyanishi et al³⁴ han descrito factores de riesgo que acompañan a la enfermedad, entre estos destacan el uso de corticoides, problemas de coagulación, tiempo de experiencia del buzo, enfermedad descompresiva, numero de inmersión diarias, profundidad promedio y máxima de cada inmersión.

El tipo de buceo ha demostrado ser de importancia al momento de pesquisar la OND, en estudios dedicados a la pesquisa de buzos militares la prevalencia es cercana a 0% esto según Uzun et al¹². En buzos mariscadores esta prevalencia puede ser mayor alcanzando el 65% según lo descrito por Wade et al³⁵.

2.6.6. Diagnóstico

La osteonecrosis de la cabeza del fémur puede presentarse en forma asintomática, en especial en las etapas precoces de la enfermedad. Por lo tanto, el diagnóstico no puede basarse únicamente en la sintomatología clínica, que, en caso de manifestarse, presenta dolor en la región inguinal, la que puede irradiarse hacia los glúteos o la rodilla. También se observa que la movilidad activa y pasiva de la cadera se encuentra disminuida.

2.6.6.1 Radiología convencional

La radiografía es una técnica ampliamente empleada en esta enfermedad, pero no es efectiva en las etapas iniciales. Durante la fase de muerte celular, la matriz ósea y su contenido de calcio se mantienen intactas, factores que determinan la densidad radiológica, de manera que en esta etapa no se observan alteraciones en la radiografía. Los cambios radiológicos sólo aparecen cuando se desarrollan los procesos reparativos. La radiografía ofrece información diagnóstica 6 meses y hasta 1 año después del origen de la enfermedad. En este caso se observa un aumento de la densidad, con trabéculas óseas ensanchadas debido al reemplazo del hueso necrosado por neoformación ósea³⁶.

La radiología es útil para clasificar la enfermedad de acuerdo con las escalas Ficat y Arlet, para alteraciones radiográficas y la introducida por la Asociación sobre Investigación de la Circulación Ósea (ARCO), empleada principalmente en estudios clínicos e investigación⁸.

En la figura siguiente (Figura 6) se muestran algunas radiografías de pacientes afectados por necrosis en el fémur, tanto en su porción distal como proximal vista en radiografía convencional.



Figura 6. Radiografías necrosis ósea en cadera y rodilla

<https://www.ucm.es/data/cont/docs/420-2014-03-20-10%20Necrosis%20osea.pdf>

2.6.6.2 Tomografía axial computarizada

Esta técnica no es usada comúnmente para el diagnóstico de pacientes con sospecha de osteonecrosis, es limitada para el diagnóstico de la enfermedad en una etapa precoz. En esta etapa no se pueden detectar cambios importantes³⁷. En etapas posteriores de la enfermedad, se ha indicado que su sensibilidad es

elevada y permite un diagnóstico certero. Esto ocurre en la etapa reparativa, donde es posible identificar casos de osteoporosis y esclerosis, ya que la imagen entrega una buena resolución.

Esta técnica diagnóstica también permite estudiar la disposición de las trabéculas óseas que se encuentran en el interior de la cabeza femoral, lo que permite conocer su integridad y estado. La sensibilidad que entrega es alta y permite confirmar o rechazar un pre diagnóstico radiológico, con una certeza de un 80%. Este análisis permite establecer la ubicación y la dimensión de la zona necrosada. Asimismo, permite realizar la clasificación del nivel de patología, en las escalas existentes.

2.6.6.3 Gammagrafía ósea

La gammagrafía ósea es un tipo especial de medicina nuclear que ayuda a evaluar una variedad de enfermedades y condiciones óseas usando pequeñas cantidades de material radioactivo, llamado radiotrazadores, que generalmente son inyectados vía endovenosa. El radiotrazador viaja hacia el área a estudiar y entrega energía en forma de rayos gamma, los cuales son detectados por una cámara especial y computados para crear imágenes del interior del cuerpo. Debido a que puede detectar actividad molecular dentro del cuerpo, la gammagrafía ósea ofrece el potencial de detectar enfermedades en etapas tempranas.

Esta técnica de diagnóstico se utiliza debido a su alta especificidad y un bajo costo. Se le indica el examen principalmente a pacientes que presentan síntomas en la cadera, pero en las imágenes de Rayos X no presentan daños visibles. Se utiliza también cuando la osteonecrosis se encuentra unilateralmente, para evaluar la otra cadera por si existe osteonecrosis en etapas tempranas. La gammagrafía muestra en la imagen un aumento de captación de radiotrazador en las zonas de revascularización y reparación ósea, mientras que la zona necrótica

no capta radiotrazador. Debido a que la captación ocurre en etapas de remodelación, la osteonecrosis no es detectable en los primeros días, pero es capaz de detectar la enfermedad más rápido que los rayos X y el TC³⁸.

Una evolución positiva de osteonecrosis se puede describir gracias a la gammagrafía. Primero se puede ver la zona sin captación, que demuestra el cese de irrigación al hueso. Luego es posible ver la zona sin captación más un área de hipercaptación, que corresponde a la reparación ósea. La captación de radiotrazador engloba toda la cabeza femoral debido a que la reparación se extendió. Finalmente vuelve a la normalidad la captación ósea debido a una reparación adecuada.

2.6.6.4 Resonancia magnética nuclear

Esta técnica es la más avanzada actualmente y se emplea como patrón de oro (Gold Standard)¹³. Se basa en el análisis de las señales de radiofrecuencia que emiten los núcleos de hidrógeno del tejido en estudio. Para producir estas señales se ubica al paciente bajo un potente campo magnético y se aplican pulsos de radiofrecuencia, lo que estimula a los núcleos de hidrógeno a emitir una señal de radiofrecuencia. Las señales emitidas se procesan y generan imágenes en dos dimensiones, que pueden ser evaluadas por un profesional capacitado.

Se recomienda el uso de la RMN por su gran sensibilidad, aun mayor especificidad y la ausencia de radiación ionizante. Una ventaja adicional del uso de la RMN es la capacidad de detectar la formación de burbujas en la parte grasa de la medula ósea³⁹. Esto puede ser de ayuda para correlacionar una lesión por osteonecrosis debido a la exposición a altas presiones e inadecuada descompresión. Estos beneficios sobrepasan la desventaja en relación con el alto costo en comparación con una radiografía convencional.

En el caso de la RMN una de las mayores indicaciones es la detección de osteonecrosis de la cabeza femoral debido a que este es capaz de detectar las primeras etapas de necrosis isquémica. Se ha reportado que la osteonecrosis es bilateral en el 70% de los casos⁴⁰, es por esto que se recomienda tomar ambas caderas en simultáneo. La RMN de caderas por osteonecrosis en comparación con otras técnicas de imagen es superior, en el hecho que este examen entrega información sobre el cartílago articular, estado de la médula ósea, fluido articular y microfracturas que no son observables en las otras técnicas de diagnóstico.

La sensibilidad de la RMN es alta, pero más importante aún es la especificidad la que es mayor al 99%³⁷, lo cual es un resultado mucho mayor que otras técnicas empleadas (radiografía convencional, tomografía axial computarizada y gammagrafía). Esta sensibilidad y especificidad se ve reflejada en el hecho que es posible determinar si existen cambios en la médula ósea, que es el sitio donde se producen las primeras alteraciones a nivel de las células hematopoyéticas y adipocitos al ocurrir la osteonecrosis de cabeza de fémur. Por lo tanto, se le considera una técnica de elección para realizar el diagnóstico en la etapa temprana.

Sugano et al⁴¹ describe una clasificación basada en la RMN, que tiene por intención prevenir el colapso de la articulación. Las imágenes anormales se clasifican en cuatro tipos.

- I. Presencia de línea de demarcación en la cabeza femoral.
- II. Aplanamiento de la cabeza femoral en la superficie de apoyo sin línea de demarcación.
- III. Lesiones radiolúcidas quísticas sin líneas de demarcación, lejanas a la zona de apoyo.
- IV. Lesiones quísticas localizadas en la zona lateral de la superficie de apoyo.

2.6.6.4.1 Protocolo RMN de caderas por osteonecrosis¹³

Posición del paciente y bobina: Generalmente la evaluación de las caderas por Osteonecrosis se realiza con una bobina body en fase o una de tórax en fase, ambas caderas y la pelvis son incluidas en su totalidad en la imagen. El paciente es colocado de forma supina en el imán.

Orientación de la Imagen: Se considera el plano coronal como el más importante debido a la comparación que se puede realizar entre ambas caderas y con otros exámenes radiológicos (rayos x). Las imágenes axiales se pueden utilizar para una evaluación más detallada de un posible hallazgo encontrado en las imágenes coronales.

Secuencias y región de interés: Se necesita un F.O.V. (campo de visión) grande (24-30 cm.) cuando se evalúan ambas caderas. Generalmente se escanea desde las crestas ilíacas hasta trocantes menores del fémur. Para que el examen no se extienda en tiempo, se puede utilizar un grosor de corte de 6 o 7 mm. Con un interspaciado de 3mm. Una secuencia potenciada en T1 es necesaria para demostrar detalles anatómicos, una secuencia potenciada en T2 demuestra edema o fluido no apreciables en imágenes T1, Una secuencia con saturación grasa o STIR, también es necesaria porque en estas el fluido y el edema se ven de forma más notoria.

Contraste: Para la detección de osteonecrosis no es necesario el uso de contraste, ni endovenoso o intraarticular.

Estructuras evaluadas: En el plano coronal podemos distinguir estructuras óseas, acetábulo, cabeza y cuello femoral, trocánter mayor y menor, sacro, íleo, articulaciones sacroilíacas. Entre la musculatura podemos ver, glúteo, aductores, abductores, tendones, cuádriceps. Además, se puede evaluar el labrum y el pulvinar.

Capitulo III Objetivos

3.1. Objetivo general

Determinar la prevalencia de la osteonecrosis disbárica en la cabeza femoral por medio de resonancia magnética nuclear en una muestra piloto de pacientes buceadores de la V región, evaluados en el Hospital Naval Almirante Nef, en el año 2016.

3.2. Objetivos específicos

- A. Describir indicadores antropométricos (altura, peso, índice masa corporal y edad) en buzos de la V región, en el periodo de 2016.
- B. Describir factores de riesgo de OND en la cabeza femoral (Diabetes, hipertensión arterial, enfermedad tiroidea, uso corticoesteroides, insuficiencia renal, enfermedad descompresiva, trasplante, trastornos de la coagulación, consumo de alcohol), en el periodo de 2016.
- C. Describir indicadores profesionales de buceo (Tiempo de experiencia, Profundidad en la que trabaja, Frecuencia de inmersión, Tiempo en cada inmersión, profundidad máxima alcanzada), en el Hospital Naval Almirante Nef, en el periodo de 2016.

- D. Describir la prevalencia de OND en la cabeza femoral por medio de RMN según clasificación de Ficat y Arlet, en buzos de la V región, en el Hospital Naval Almirante Nef, en el periodo de 2016.
- E. Describir la prevalencia de OND en la cabeza femoral por medio de RMN según indicadores antropométricos (altura, peso, índice masa corporal), en buzos de la V región, en el Hospital Naval Almirante Nef, en el periodo de 2016.
- F. Describir la prevalencia de OND en la cabeza femoral por medio de RMN según factores de riesgo Diabetes, hipertensión arterial, enfermedad tiroidea, uso corticoesteroides, insuficiencia renal, enfermedad descompresiva, trasplante, trastornos de la coagulación, consumo de alcohol), en buzos de la V región en el Hospital Naval Almirante Nef, en el periodo de 2016.
- G. Describir la prevalencia de OND en la cabeza femoral por medio de RMN según indicadores profesionales de buceo (Tiempo de experiencia, Profundidad en la que trabaja, Frecuencia de inmersión, Tiempo en cada inmersión, profundidad máxima alcanzada), en buzos de la V región en el Hospital Naval Almirante Nef, en el periodo de 2016.

Capitulo IV Metodología

4.1. Diseño

Fue una investigación de tipo descriptiva, ya que recolectará datos obtenidos en el Hospital Naval Almirante Nef, ubicado en Viña del Mar, V región de Valparaíso, para luego describir la prevalencia de OND.

4.2. Muestra de estudio.

4.2.1. Definición

La población en estudio estuvo conformada por personas que realizan buceo en la V región de Chile, ya sea como buzo militar, buzo comercial o buzo deportivo, en el año 2016. La muestra consto de 106 caderas de 58 individuos quienes cumplieron completamente con los requisitos de inclusión del estudio.

4.2.2. Tamaño de la muestra

Al tomarse en cuenta que el número de buzos con licencia profesional es de 3.164 buzos profesionales con licencia vigente en la V región¹⁴ y al usar la fórmula de tamaño de la muestra obtenemos que:

$$n = \frac{N \cdot Z\alpha^2 \cdot p (1 - p)}{d^2 (N - 1) + Z\alpha^2 \cdot p (1 - p)}$$

Donde:

N = tamaño de la población

$Z\alpha$ = 1.96 al cuadrado (con un índice de confianza del 95%)

d = margen del error de la población estimada

α = riesgo de que el error real supere d

p = estimación anticipada de la proporción

Por lo tanto:

$$n = \frac{3164 \cdot 1,96^2 \cdot 0,5 (1 - 0,5)}{0,05^2 (3164 - 1) + 1,96^2 \cdot 0,5 (1 - 0,5)}$$

$$n = \frac{3038.7056}{8,8679} = 52.012$$

$$n = 343$$

El número de pacientes requerido (343) es inviable con los recursos de tiempo y costo del equipo de investigación, además de la baja disponibilidad de los buzos a formar parte de esta investigación, por lo tanto, el tamaño de la muestra fue dado por la totalidad de quienes quisieron participar en el estudio dentro del acotado tiempo de investigación disponible.

4.2.3. Muestreo

El muestreo fue de tipo no probabilístico consecutivo, ya que todos los buzos que cumplían los criterios de elegibilidad y que quisieron participar del estudio fueron seleccionados, hasta que se cumplió la fecha límite del estudio. Los buzos fueron invitados a participar tanto en caleta de pescadores, escuelas de buceo y escuela naval en la V región o que al momento de realizarse el examen se encontrasen en la V región.

4.2.4. Criterios de Elegibilidad

4.2.4.1. Criterios de inclusión

- Personas mayores de 18 años.
- Con experiencia en buceo sobre los 3 años.
- Realizan buceo por sobre los 10 metros de profundidad
- Ex buceadores con experiencia en buceo por sobre 10 metros de profundidad.

4.2.4.2. Criterios de exclusión

- Personas con prótesis de cadera u otro implante no orgánico (clip aneurisma, marcapasos, implantes cocleares, etc.) no compatibles con resonancia magnética
- Personas que no puedan realizarse el examen de resonancia magnética por no soportar la posición, exceso de movimiento o claustrofobia.

4.3. Variables

	Variable	Definición conceptual	Tipo	Escala	Definición operacional
Independiente	Tipo de Buzo	Situación en la cual el sujeto en estudio realiza el buceo	Cualitativo	Nominal	a) Deportivo b) Instructor c) Mariscador d) Comercial e) Salvataje f) Táctico
	Consumo alcohol	Indica el nivel de alcohol que consumen los buzos	Cualitativo	Nominal	a) No consume b) Escaso: no ha consumido alcohol en el último año c) Moderado: ha consumido una copa completa en el último mes d) Alto: ha consumido al menos una vez en el mes 5 o más copas

Edad	Número de años cumplidos	Cuantitativo	Discreta	Años
Peso	Cantidad de peso, en su último pesaje	Cuantitativo	Discreta	Kilos
Estatura	Estatura del buzo, en su última medición	Cuantitativo	Discreta	Metros
Enfermedad tiroidea	Indica si presenta la enfermedad	Cualitativo	Nominal	a) Si b) No
Diabetes	Indica si posee la enfermedad	Cualitativo	Nominal	a) Si b) No
Hipertensión arterial	Indica si presenta la enfermedad	Cualitativo	Nominal	a) Si b) No
Corticoides	Indica si está en tratamiento con corticoides	Cualitativo	Nominal	a) Si b) No
Insuficiencia renal	Indica si presenta la enfermedad	Cualitativo	Nominal	a) Si b) No
Enfermedad descompresiva	Indica si el buzo en su carrera ha sufrido la enfermedad	Cualitativo	Nominal	a) Si b) No
Trasplante de órganos	Indica si el buzo ha sido trasplantado	Cualitativo	Nominal	a) Si b) No
Trastorno de Coagulación	Indica si el buzo sufre algún tipo de trastorno que afecte a la coagulación	Cualitativo	Nominal	a) Si b) No
Tiempo de experiencia	Cantidad de tiempo siendo buzo	Cuantitativo	Discreta	Años
Profundidad a la que trabaja	Profundidad promedio en la que se desarrolla como buceador	Cuantitativo	Discreta	Metros
Tiempo de inmersión	Cantidad de tiempo que el buzo pasa bajo el agua en	Cuantitativo	Discreta	Minutos

		una inmersión			
	Profundidad máxima de inmersión	Metros estimados de la máxima profundidad a la cual llega el buceador	Cuantitativo	Discreta	Metros
	Profundidad promedio de inmersión	Cantidad de metros en promedio que se sumerge el buceador	Cuantitativo	Discreta	Metros
	Frecuencia de inmersión	Cantidad de veces que el buzo realiza inmersiones por semanas	Cuantitativo	Discreta	Inmersiones/ Semana
	Índice de masa corporal	El peso en kilogramos dividido por el cuadrado de la talla en metros	Cuantitativo	Continuo	a) 17-18.49 Delgadez leve b) 18.5-24.9 Peso normal c) 25-29.9 Sobrepeso d) 30-34.9 Obesidad moderada e) 35-40 Obesidad severa f) >40 Obesidad mórbida
Dependiente	Osteonecrosis disbárica	Daño isquémico, secundario a un disbarismo en la cabeza femoral	Cualitativo	Nominal	a) Sí b) No
	Clasificación de Ficat y Arlet	Clasificación realizada para evaluar la gravedad de la OND	Cualitativo	Ordinal	a) 0 b) I c) II d) III e) IV

4.4. Recolección de la información

La recolección de información se efectuará en el Hospital Almirante Nef, posterior a la firma del consentimiento informado del paciente (Anexo 1). Para realizar el examen se usará el resonador marca Philips Intera modelo Pulsar de 1,5 Tesla, El protocolo a utilizar será una modificación al protocolo de adquisición original de cadera usado en resonancia del Hospital Naval, a fin de disminuir el tiempo del examen y que este sea apropiado para realizar el estudio. En este nuevo protocolo se programarán tres cortes coronales, dirigido a ambas caderas, uno potenciado en T1, otro en T2 y por último un STIR, se estima que el tiempo total del examen sea de 20 minutos por paciente. Los datos obtenidos serán evaluados y clasificados según la clasificación de Ficat y Arlet (Anexo 3), por los médicos radiólogos Mario Santamarina y Mirko Marra.

A los sujetos del estudio se les realizará también una encuesta (Anexo 2), que está diseñada para detallar la actividad como buceador, antecedentes médicos, y características antropométricas.

4.5. Método de análisis estadístico

El análisis estadístico en esta investigación incluyo la determinación de frecuencias relativas y absolutas de variables categóricas. Promedio y desviación estándar para variables numéricas. Todos los test estadísticos se desarrollaron utilizando el software SPSS versión 15.0

Capítulo V Resultados

5.1- Análisis Descriptivo

En el presente estudio se analizó 112 caderas correspondientes a 56 personas con una edad promedio de $40 \pm 11,3$. La muestra no probabilística es consecutiva, es decir todo buzo que cumplió los requisitos del estudio era incluido. Las características de la muestra aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3	Características de grupo de buzos de la V región
Edad, años $x \pm SD$	$40 \pm 11,3$
Sexo	
Hombre, n (%)	56 (96,6)
Mujer, n (%)	2 (3,4)
Indicadores antropométricos	
Altura, mts. $x \pm SD$	$1,73 \pm 0,06$
Peso, kilos $x \pm SD$	$81,8 \pm 10,8$
Índice de masa corporal $x \pm SD$	$27,2 \pm 2,7$
Tipo de Buceo	
Deportivo n (%)	3 (5,17)
Instructor n (%)	1 (1,72)
Mariscador n (%)	6 (10,34)
Comercial n (%)	20 (34,48)
Salvataje n (%)	18 (31,03)
Táctico n (%)	10 (17,24)

La mayor cantidad de participantes en el estudio corresponden al sexo masculino (96,6%), mientras que los buzos pertenecientes a la Armada (Salvataje y táctico) es el de mayor convocatoria (48,27%), otro grupo destacado es el de

buzos comerciales (34,48 %). La muestra tiene un IMC de $27,2 \pm 2,7$ lo que indica que se encuentra en promedio de sobrepeso.

Tabla 4	Factores de Riesgo de Osteonecrosis Disbárica (OND)	
Factores de riesgo de OND		
Diabetes n (%)		2 (3,4)
Hipertensión n (%)		4 (6,8)
Enfermedad tiroidea n (%)		1 (1,7)
Uso de corticoides n (%)		0 (0,0)
Insuficiencia renal n (%)		0 (0,0)
Enfermedad descompresiva n (%)		4 (6,8)
Trasplante n (%)		0 (0,0)
Trastorno de coagulación n (%)		0 (0,0)
Consumo de alcohol		
No consume n (%)		34 (58,6)
Escaso n (%)		9 (15,5)
Moderado n (%)		13 (22,4)
Alto n (%)		2 (3,4)

En relación con las características mórbidas del grupo de estudio (Tabla 4), se observó que la mayoría no posee factores de riesgo asociados con osteonecrosis, solo 4 (6,8 %) fueron afectados alguna vez con la enfermedad descompresiva y 4 corresponde a personas con hipertensión arterial.

Tabla 5	Indicadores profesionales de buceo	
Experiencia buceando, años $x \pm SD$		$16,6 \pm 11,4$
Profundidad de buceo, mts. $X \pm SD$		$24,4 \pm 8,9$
Frecuencia de inmersión, veces por semana $x \pm SD$		$2,3 \pm 1,5$
Tiempo promedio por inmersión, min. $X \pm SD$		$67,1 \pm 38,7$
Profundidad máxima alcanzada, mts. $X \pm SD$		$58,4 \pm 20,4$

Al observar los indicadores de buceo (Tabla 5) se destaca la experiencia de buceo que alcanza los $16,6 \pm 11,4$ años y la profundidad promedio en que se desenvuelven que llega a $24,4 \pm 8,9$ mts.

Tabla 6	Hallazgos radiológicos
Clasificación Ficat y Arlet	
Estadio 0 n (%)	58 (100)
Hallazgos radiológicos	
Sin hallazgos n (%)	44 (75,86)
Artrosis n (%)	5 (8,62)
Quiste n (%)	3 (5,17)
Pinzamiento femoroacetabular n (%)	5 (8,62)
Lesión osteocondral n (%)	1 (1,72)
Derrame intraarticular n (%)	2 (3,44)

No se encontraron casos de osteonecrosis de cadera en el grupo de estudio, la mayoría no presento hallazgos radiológicos considerables (75%). En 14 personas se encontraron hallazgos radiológicos, donde en solo uno de estos fue necesaria una resonancia magnética de cadera complementaria tras sospecha de tumor óseo. Se realizó el examen con el protocolo de tumor (Secuencias Axiales, Coronales y Sagitales), el cual requiere de administración de contraste endovenoso. Tras el nuevo examen y posterior biopsia se determinó que es un quiste óseo con compromiso estructural del fémur.

Tabla 7		Hallazgos radiológicos según factores de riesgo				
	Sin Hallazgos	Artrosis	Pinzamiento	Quiste	Otro	
	n = 44	n = 5	n = 5	n = 3	n = 3	
Diabetes	2	0	0	0	0	
Hipertensión	2	2	0	1	0	
Enfermedad tiroidea	1	0	0	0	0	
Uso de corticoides	0	0	0	0	0	
Insuficiencia renal	0	0	0	0	0	
Enfermedad descompresiva	1	1	1	1	0	
Trasplante	0	0	0	0	0	
Trastorno de la coagulación	0	0	0	0	0	
Consumo de alcohol						
No consume	33	1	0	0	1	
Escaso	3	1	4	1	1	
Moderado	7	3	0	2	1	
Alto	1	0	1	0	0	

Tabla 8		Hallazgos radiológicos según indicadores de buceo				
	Sin Hallazgos	Artrosis	Hallazgo			
	n = 44	n = 5	Pinzamiento	Quiste	Otros	
			n = 5	n = 3	n = 3	
Tiempo de Experiencia	15,63 ± 10,9	29,2 ± 12,07	17 ± 12,42	27 ± 12,52	10 ± 7	
Profundidad	25,5 ± 8,67	20 ± 14,14	24 ± 9,61	20 ± 10	21,66 ± 7,63	
Frecuencia de inmersión	2,09 ± 1,5	2,6 ± 0,89	3,8 ± 1,09	1,66 ± 1,15	2,66 ± 2,08	
Tiempo en cada inmersión	69,06 ± 37,77	65 ± 65,76	43 ± 16,43	73,33 ± 45,09	50 ± 17,32	
Profundidad máxima alcanzada	61,15 ± 22,33	49 ± 9,19	44,6 ± 9,34	57 ± 2	54 ± 3,6	

5.2-

5.2- Limitaciones

- Respuesta negativa a participación. Al ser presentada la idea de investigación, la cual incluye realizarse examen de resonancia magnética, para la pesquisa de osteonecrosis disbárica, algunos buzos se rehusaron a participar, en su mayoría de estos casos corresponde a buzos mariscadores, aludiendo temor por caducidad licencia al presentarse la enfermedad.
- Imposibilidad de ubicar a buzos que, en primera instancia, accedieron a participar en el estudio
- Disponibilidad del equipo de resonancia magnética. El uso del equipo fue limitado, debido al alto flujo de pacientes que acuden al Hospital Naval, dejando una ventana corta de tiempo para la realización del examen, interfiriendo en los tiempos de coordinación para exámenes con los disponibles de los sujetos de estudio.
- Lejanía del centro diagnóstico con respecto al lugar de origen de posibles participantes del estudio.

Capítulo VI Discusión

La osteonecrosis disbárica es una enfermedad reconocida por la bibliografía, que se presenta en personas que regularmente se someten a situaciones hiperbáricas, dentro de las cuales se identifica la actividad de buceo. Múltiples estudios aportan datos acerca de la prevalencia de esta patología en buzos, los cuales varían desde el 0% a más del 70 %⁴². Uno de los principales factores predisponentes corresponde al tipo de buzo que se realiza el examen, dentro de los cuales los buzos militares tienden a una baja prevalencia, siendo de un 0%, según el estudio realizado por Uzun et al¹², en buzos militares de Turquía, mientras que buzos mariscadores alcanzan una mayor prevalencia, según lo aportado en el estudio de Miyanishi et al³⁴. donde la prevalencia en buzos japoneses alcanza el 55 % y en Wade et al³⁵ donde la prevalencia es de 65%.

Tal y como muestran los resultados no se diagnosticaron casos de osteonecrosis, un factor que podría explicar esta situación es el hecho que la muestra estaba conformada predominantemente por buzos pertenecientes a la Armada de Chile (48,27%), sus buceos son a menor profundidad y con menor frecuencia, además de seguir estrictamente los protocolos del buceo, por ejemplo, a pesar de que en algunas inmersiones la descompresión es innecesaria, los buzos de la Armada usan paradas de descompresión para mayor seguridad, esta rigurosidad les ayuda a disminuir los factores de riesgo con respecto a la actividad del buceo.

El nivel de experiencia del grupo en promedio fue alto ($16,6 \pm 11,4$ años), lo que se podría relacionar con un alto nivel de conocimiento respecto a la física y consecuencias del buceo a altas profundidades, lo que se traduciría en una mayor adherencia a los protocolos de seguridad (Tablas de descompresión). El grupo de buzos comerciales son los de mayor experiencia promedio ($18,2 \pm 12,9$ años) y con

mayor conocimiento de buceo, esto se hace evidente al momento de la conversación pre y post examen, en el cual estos buzos mostraban preocupación e interés por la OND y su relación con la actividad que realizaban. El presente estudio coincide con los resultados de Uzun et al¹². de 0%, Hunter et al⁴³. de 2 % y Bolte et al⁴⁴ de 3% en los que existe una baja prevalencia de osteonecrosis en personas con alta experiencia o conocimiento sobre los peligros del buceo.

Los buzos deberán renovar licencia cada año ante la Autoridad Marítima, presentando un certificado médico denominado “Examen anual ocupacional médica para buceo”¹⁸, el cual acredita que su salud es compatible con la actividad de buceo. A pesar de que en esta evaluación médica no se incluyen exámenes imagenológicos, el médico puede solicitar exámenes complementarios si se evidencia sintomatología correspondiente a osteonecrosis u otra patología, lo que permite pesquisar alguna enfermedad que restrinja el desarrollo de su actividad como buzos, no renovándose la licencia.

La baja participación de buzos mariscadores es un factor a considerar con respecto a no encontrar OND, no solo por el hecho de que, en estudios anteriores, como los de Miyanishi et al³⁴ y Wade et al³⁵, estos presentan una alta prevalencia de la enfermedad, sino que también, debido a la poca experiencia, calidad de los equipos de buceo, condiciones climáticas o por falta de rigurosidad en el cumplimiento de los protocolos establecidos para la faena del buceo, por lo cual se ven más expuestos a riesgos de accidentabilidad en la actividad de buceo. Esto se puede inferir debido a que las estadísticas de accidentes entregados por DIRECTEMAR⁴⁵, especifica que en el periodo 2004-2016 han ocurrido 944 accidentes a nivel nacional, de estos el 74,5 % (704) han sido buzos mariscadores básicos.

La baja participación de buzos mariscadores se puede explicar debido en primer lugar a la baja cantidad de este tipo de buzos disponibles en la región, ubicándose principalmente en localidades costeras alejadas del Hospital Naval (Quintero, Quintay), esto sumado al horario en que se realizaron los exámenes de Resonancia Magnética (13:00 a 14:00 hrs.), debido a la disponibilidad del equipo

diagnóstico, lo que hizo dificultoso el traslado de estos sujetos. Otro factor fue la falta de interés o el miedo que expresaron algunos buzos debido a posibles repercusiones en caso de que el examen demostrara patología, debido a que el examen al ser realizado en el Hospital Naval, podrían peligrar sus licencias de buceo, pese a que se explicó acerca del anonimato que tendrían los resultados obtenidos. Los buzos mariscadores que participaron en el estudio corresponden a la comuna de Valparaíso y Concón.

Según el reporte estadístico que DIRECTEMAR otorga⁴⁵, de la totalidad de los accidentes de buzos en el periodo 2004 – 2016, el 16% corresponde a buzos sin licencia de buceo, asimismo, no se descarta un número de accidentes no reportados a la autoridad marítima, ya sea por desconocimiento del protocolo o para no perder su fuente laboral producto de eventuales fiscalizaciones. Este estudio no incluye participantes que en la actualidad ejercieran como buzos y que no contaran con su licencia vigente, lo cual ratifica el poco interés de participación debido a la práctica irregular de su actividad, los cuales pudieron corresponder a mariscadores que no aceptaron participar sin dar ningún tipo de fundamentación. Siendo estos últimos un grupo de riesgo, dada las condiciones de la práctica y la eventual falta de conocimiento de los protocolos. La imposibilidad de su inclusión podría explicar también el no encontrarse la OND, debido a que los que finalmente participan del estudio sí cumplen con la normativa y protocolos establecidos.

Es válido especificar que al no encontrarse individuos con la patología no es posible describir la prevalencia según indicadores antropométricos (edad, peso, estatura, IMC), factores de riesgo de la OND ni indicadores profesionales del buceo con la OND.

A pesar de no encontrarse casos correspondientes a OND en los buzos, sí se encontraron hallazgos imagenológicos de otros tipos, dentro de los cuales destaca el caso de una persona de 50 años, asintomático, en el cual la imagenología daba una impresión diagnóstica de sospecha de tumor óseo en el fémur proximal derecho. Al advertir esta posibilidad, y según protocolo de derivación de este estudio

especificado en los protocolos de investigación, aprobado por comité de ética del Hospital Naval Almirante Nef, se realiza un estudio completo de resonancia magnética de cadera en el mismo hospital, sin costo para el paciente. Se le derivó a un traumatólogo, quien le solicitó una biopsia, que finalmente descartó el diagnóstico de malignidad de la lesión y se confirmó que se trataba de un quiste óseo. Esto puede ser destacado como un aporte de esta investigación a la salud de la comunidad, debido a que el paciente al ser asintomático y de no ser diagnosticada su condición, no tendría antecedentes para adoptar medidas preventivas, lo cual pudo tener consecuencias graves para su salud (fractura, debilidad ósea).

Se recomienda la continuación de este trabajo en sectores del país donde la conformación del grupo de buzos varíe al del presente estudio, en la región de Valparaíso, los buzos de la Armada de Chile y buzos comerciales se encuentran en mayor medida con respecto a buzos mariscadores. En distintas regiones los tipos de buzos varían dependiendo de las faenas de buceo que estos realizan, mientras que en la X región predomina la industria salmonera, en la IV región los buzos mariscadores tienen una presencia destacada. La pesquisa de OND en estos buzos podría dar luces de la realidad en que se encuentran buzos con mayores factores de riesgo en relación con la descompresión inadecuada y posible OND.

Capítulo VII Conclusiones

Considerando los resultados obtenidos a través de la resonancia magnética de caderas, es posible concluir que, si bien en la muestra analizada no se encontró ningún caso de osteonecrosis de cadera, no es posible inferir esto a la población, dado que la muestra no es representativa y no tiene un tamaño muestral adecuado, por lo que se recomienda continuar el estudio hasta alcanzar el tamaño muestral para que esta sea representativa.

Se identifican otros hallazgos relacionados a patologías de la cadera, las cuales no necesariamente se relacionan con la actividad del buceo y no fue objetivo de este estudio aportar datos respecto de su causalidad.

Capítulo VIII Referencias bibliográficas

1. Bühlmann A. Decompression – Decompression Sickness, capítulo 4: Decompression Sickness. 1ª Edición, Editorial Springer - Verlag, Alemania. 1983.
2. Direction of Commander, Naval Seas Systems Command. U.S. Navy Diving Manual [Internet]. Revisión 6, abril 2008 [Citado 20 sep 2015]. Disponible en: http://www.usu.edu/scuba/navy_manual6.pdf.
3. Somers Lee H, ADVANCED DIVING PHYSIOLOGY “Exploring the Physiology of Breathing Air and Mixed-Gases Under Pressure” Universidad de Michigan [Internet]. [Citado 3 oct 2015] Disponible en: <http://www.oseh.umich.edu/articles/divephys.pdf>.
4. Subbotina, Nina. Medicina Hiperbárica. Buenos Aires 2006.
5. Lippmann John. The Essentials of Deeper Sport Diving: An Overview of the Theory and Requirements of Deeper Diving. 1ª Edición, Aqua Quest Publications, E.E.U.U. 1992.
6. Sharareh, Behnam y Schwarzkopf, Ran. Dysbaric Osteonecrosis: A Literature Review of Pathophysiology, Clinical Presentation, and Management Clinical Journal of Sport Medicine, Volumen 25, Número 2; 153-161. 2014.
7. De la Iglesia A, Rodríguez J. Enfermedades profesionales subacuáticas: vigilancia de la salud. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [Internet]. 2013 [Citado 21 sep 2015]. Disponible en: <http://www.oect.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/961a972/986%20w.pdf>.
8. Martínez-Ferrera M.A, Perisa P y Guañabensa N. Osteonecrosis. ¿Qué hay de nuevo? Reumatología Clínica. Volumen 3, número 2; 78-84. 2007. [Internet]. [Citado

21 sep 2015] Disponible en: <http://www.reumatologiaclinica.org/es/osteonecrosis-que-hay-nuevo/articulo/13100440/>.

9. Wim R. Treatment modalities for osteonecrosis of hip and knee[Internet]. 2010 [Citado 22 sep 2015]. Disponible en: <http://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/82945/82945.pdf?sequence=1>.

10. Kamal D, Rodica T, Alexandru DO, Grecu DC. Epidemiologic Study of Avascular Necrosis of the Femoral Head. Current Health Sciences Journal. Volumen 39, número 3; 169-174. Julio 2013.

11. Cimsit M, Ilgezdi S, Cimsit C, Uzun G. Dysbaric Osteonecrosis in Experienced Dive Masters and Instructors. Aviation, Space, and Environmental Medicine. Volumen 78, número 12; 1150-1154. Diciembre 2007.

12. Uzun G, Toklu AS, Yildiz s, Sonmez G, Aktas S, Sezer H, et al. Dysbaric Osteonecrosis Screening in Turkish Navy Diver. Aviation, Space, and Environmental Medicine. Volumen 79, número 1; 44-46. Enero 2008.

13. Berquist TH. MRI of the Musculoskeletal System, Capitulo 6 Pelvis, Hips, and Thigh, 5ª Edición. Editorial Lippincott Williams & Wilkins, E.E.U.U. 2006.

14. Información otorgada por Armada de Chile el día 21 de Julio del 2015, tras solicitud hecha el 26 de junio del 2015, O.T.A.I.P.A.12900/326.

15. Norma Chilena Decreto N° 752. Biblioteca del congreso nacional [Internet]. [Citado 26 sep 2015] Disponible en: <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=236933>.

16. Mora, L. El buceo profesional en la Armada. Revismar. Volumen 2; 145-147. [Internet]. 2008 [Citado 27 sep 2015]. Disponible en: <http://revistamarina.cl/revistas/2008/2/mora.pdf>.

17. Comando de Sistemas Marinos Navales de Estados Unidos. Manual de buceo de la Marina de Estados Unidos. Departamento de la Marina de Estados Unidos, 2008.

18. DIRECTEMAR. Reglamento de buceo para buzos profesionales, 2º Edición. Valparaíso, Chile [Internet] 2006. [Citado 28 sep 2015]. Disponible en: https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170126/asocfile/20170126124850/tm_035_2006_reglamento_de_buceo_para_buzos_profesionales.pdf.
19. Wilmshurst P. ABC of oxygen, Diving and oxygen. British Medical Journal. Volumen 317; 996-999. 1998 [Internet] [citado 13 oct 2016] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1114047/>.
20. Centro de Buceo de la Armada, Secretaria Técnica. Generalidades sobre sistemas de buceo con campana. Armada Española[Internet]. Marzo 2000 [citado 15 oct 2016]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/270387149/Generalidades-Sistemas-Buceo-Campana>.
21. Ange M. The Search For The Perfect Gas. Training Scuba Diving [Internet]. 2004 [actualizado 2008; citado 20 oct 2015]. Disponible en: <https://www.scubadiving.com/training/basic-skills/search-perfect-gas>.
22. Orr D. Scuba Diving Safety. Editorial Human Kinetics. Illinos, Estados Unidos. 2007.
23. Krüger F, Rossel E, Felmer A, Bonnafoz C. Faenas de buceo en centros de cultivos marinos, normativas y recomendaciones. Asociación chilena de seguridad [Internet] [citado 23 oct 2015]. Disponible en: <http://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/faenas-de-buceo-en-centros-de-cultivos-marinos.pdf>.
24. Oviedo C, Llanes A, Roiz M. Radiología en la necrosis ósea avascular (NAO). Sociedad Española de Radiología Médica, presentación electrónica, Madrid, España. [Internet] 2014 [citado 12 nov 2015] Disponible en:

http://pdf.posterng.netkey.at/download/index.php?module=get_pdf_by_id&poster_id=123559

25. Umar M, Haleem A, Scully S. In Brief: Ficat Classification: Avascular Necrosis of the Femoral Head. *Clinical Orthopedics and Related Research*. Volumen 470, número 9; 2636-2639 [Internet]. Julio 2012 [citado 13 enero 2016]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3830078/>.

26. Casanova C, Álvarez A, García Y. Osteonecrosis de Cabeza Femoral. *Archivo Médico de Camagüey*. Volumen 11, numero 1; 1–9. [Internet] 2007 [citado 20 enero 2016]. Disponible en: <http://www.amc.sld.cu/amc/2007/v11n1-2007/2077.htm>

27. Pérez et al. Actualización en Enfermedad de Gaucher. Sanidad y Ediciones, S.L. Madrid, España. [Internet] 2008. [citado 24 enero 2016] Disponible en: <http://2011.elmedicointeractivo.com/Documentos/doc/GAUCHER.pdf>

28. Nwhealth.edu [Internet]. Northwestern Health Sciences University, Avascular Necrosis and Related Disorders. 2001 [citado 30 enero 2016]. Disponible en: <https://www.nwhealth.edu/conted/distlear/Avn/intro.html>

29. Cobo, Miranda, Gómez y Capellas. Rehabilitación integral en el paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España. 2007

30. Falcón JC, Navarro R, Ruíz JA, Jiménez JF y Brito E. Variantes de tratamientos en pacientes con osteonecrosis de la cabeza femoral (Revisión). *XXIII Jornadas Canarias de Traumatología y Cirugía Ortopédica*; 172–176. Canarias, España. [Internet]. 2009 [citado 12 febrero 2016]. Disponible en: https://acceda.ulpgc.es:8443/bitstream/10553/5889/1/0514198_00020_0004.pdf

31. Lavernia C, Grieco F. Fisiopatología de la necrosis avascular de la cabeza del fémur. *Médico Interamericano*, Volumen 17, número 7; 370–376. [Internet]. 1998. [citado 13 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.larkinhospital.com/larkinorthopedics/wp->

content/uploads/2014/01/Fisiopatologia-de-la-Necrosis-Avascular-de-la-Cabeza-del-Femur1.pdf

32. Sinche W. Osteonecrosis disbárica. Revista Peruana de Radiología. Volumen 5, numero 13. [Internet] 2001 [citado 13 febrero 2016]. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/radiologia/v05_n13/osteonecrosis.html

33. Jones JP, Ramirez S, Doty SB. The pathophysiologic role of fat in dysbaric osteonecrosis. Clin Orthp Relat Res. Volumen 296; 256-264. Nov 1993.

34. Miyanishi Y, Kamo H, Ihara H, Naka T, Hirakawa M, Sugioka Y. Risk factors for dysbaric osteonecrosis. Rheumatology. Volumen 45; 855-858. 2006.

35. Wade CE, Hayashi EM, Cashman TM, Beckam EL. Incidence of dysbaric osteonecrosis in Hawaii's diving fishermen. Undersea Biomed Res. Volumen 5; 137-147. 1978.

36. Oñorbe F, Gil E. Necrosis post-traumática de la cabeza femoral. Patología Del Aparato Locomotor. Volumen 5, Suplemento 1; 2-11. [Internet] 2007 [citado 15 febrero 2016]. Disponible en: http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/patologia/v5sl/pdf/02_01.pdf

37. Pierce TP, Jauregui JJ, Cherian JJ, Elmallah RK, Mont MA. Imaging evaluation of patients with osteonecrosis of the femoral head. Curr Rev Musculoskelet Med. Volumen 8; 221-227. [Internet] 2015 [citado 1 Mar 2016]. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4596197/pdf/12178_2015_Article_9279.pdf

38. Agrawal K, Kumar S, Kumar R, Santhosh S, Bhattacharya A. Nuclear medicine imaging in osteonecrosis of hip: Old and current concepts. World Journal of Orthopedics. Volumen 8, número 10; 747-753. [Internet]. Octubre 2017 [citado 12 noviembre 2017]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5656489/pdf/WJO-8-747.pdf>

39. Stéphant E, Gempp E, Blatteau JE. Role of MRI in the detection of marrow bubbles after musculoskeletal decompression sickness predictive of subsequent dysbaric osteonecrosis. *Clinical Radiology*, Volumen 63; 1380- 1383. 2008.
40. Boettcher WG, Bonfiglio M, Hamilton HH, Sheets RF, Smith K. Non-traumatic necrosis of the femoral head. PART I. Relation of altered hemostasis to etiology. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. Volumen 52, número 2; 312-321.1970.
41. Sugano N, Takaoka K, Ohzono K, Matsui M, Masuhara K. Prognostication of Non-Traumatic Avascular Necrosis of the Femoral Head: significance of location and size of the necrotic lesion. *Clin Orthop*. Volumen 303;155-164. 1994.
42. Ungen M, Pougnet R, Uguen A, Lodde B, Dewitte JD. Dysbaric osteonecrosis among professional divers: A literature review. *Undersea & Hyperbaric Medical Society*. Volumen 41, número 6; 581-589. 2014.
43. Hunter WL, Biersner RJ, Sphar RL. Aseptic bone necrosis among U.S. Navy divers: survey of 934 nonrandomly selected personnel. *Undersea Biomed Res*. Volumen 5; 25-36.1978.
44. Bolte H, Koch A, Tetzlaff K, Bettinghausen, Heller M, Reuter M. Detection of dysbaric osteonecrosis in military divers using magnetic resonance imaging. *European Radiology*. Volumen 15; 368-375. 2005
45. Directemar. Estadísticas de Accidentes de Buceo Profesional, periodo 2004 – 2016. [Internet]. [Citado 20 11 2017]. Disponible en: <https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170328/asocfile/20170328125651/oct2017.pdf>.
46. Río Vázquez, Vicente, et al. Aspectos patogénicos de la enfermedad descompresiva en buzos. *Revista cubana de Medicina Militar*, volumen 34, número 2. [Internet]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0138-65572005000200008&script=sci_arttext
47. Álvarez, A, García Y. (2005). CLASIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA OSTEONECROSIS DE LA CABEZA FEMORAL. *Revista Cubana Ortopédica*

Traumatológica, volumen 19, número 1:58-65. [Internet]. Disponible en: http://www.bvs.sld.cu/revistas/ort/vol19_1_05/ort1105.pdf.

48. Verghese G., et al. Long Bone Radiology and Screening for Dysbaric Osteonecrosis. Journal of Marine Medicine Society. Volumen 12, número 2; 78 – 80. 2010. [Internet]. Disponible en: http://www.researchgate.net/profile/Rohit_Verma2/publication/231557967_Long_Bone_Radiology_and_Screening_for_Dysbaric_Osteonecrosis/links/0912f506c61fabee41000000.pdf.

49. Edmonds, Carl, et al. Diving Medicine for Scuba Divers. Edición 2012[Internet]. Disponible en: <http://www.divingmedicine.info/>

50. División de políticas públicas saludables y promoción; Departamento de salud ocupacional. (2014). Protocolo de vigilancia para trabajadores y trabajadoras expuestos a condiciones hiperbáricas. Santiago, Chile.

51. Davies et al. Imaging of the Hip & Bony Pelvis: Techniques and Applications. Capítulo 3 MR and MR Arthrography 1ª edición Springer Science & Business Media, E.E.U.U. 2005.

Capitulo IX Anexos

9.1.- Anexo I Consentimiento Informado



Viña del Mar,..../...../ 2016

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo.....

RUN:, Fono:....., a través de la presente, me comprometo a participar activamente en la Investigación Científica, titulada “Prevalencia de la osteonecrosis disbárica de la cabeza femoral en buzos de la quinta región por medio de resonancia nuclear magnética en el Hospital Naval Almirante Nef”, a cargo del alumno de la escuela de Tecnología Médica Mención Imagenología y Física Médica, perteneciente a la Facultad de Medicina de la Universidad de Valparaíso, Sr. Omar Guerrero Bravo, RUN. 16.968.004-3

Este estudio está diseñado para pesquisar la osteonecrosis disbárica de la cabeza femoral en buceadores que se someten a medianas y altas profundidades mediante resonancia magnética nuclear y que cumplan con los requisitos de inclusión del estudio.

Los datos obtenidos son de carácter confidencial y serán utilizados en forma exclusiva por las personas involucradas dentro del estudio; profesor guía, co-guias y alumno.

Además, afirmo conocer los procedimientos a realizar, los cuales no provocan efectos secundarios, ni molestias, debido a su carácter no invasivo.

Firma

Dr. Mario Santamarina.

Firma

Paciente

Firma

Alumno Omar Guerrero.

9.2.- Anexo II Encuesta al paciente.

Encuesta al paciente

Datos del paciente

Nombres	Apellido paterno	Apellido materno
<input type="text"/>		
Fecha nacimiento	de	<input type="text"/>
		<input type="text"/>
	Edad	<input type="text"/>
	Años:	<input type="text"/>
Estatura	<input type="text"/>	Peso
		<input type="text"/>
	Sexo:	<input type="text"/>
Teléfono	<input type="text"/>	

Antecedentes mórbidos

Diabetes		Trasplante	
Hipertensión arterial		Trastornos de la coagulación	
Enfermedad tiroidea		Displasia congénita de cadera	
Uso corticoesteroides		Consumo de alcohol	
Insuficiencia renal		Prótesis de cadera	
Enfermedad descompresiva		Dolor articular	
Otro			

Antecedentes laborales

Profesión	
Tiempo de experiencia	
Profundidad a la que trabaja	
Frecuencia de inmersión	
Horas en cada inmersión	
Prof. máxima	

9.3.- Anexo III: Clasificación osteonecrosis de cadera en RM, según Ficat y Arlet²⁵

Estadio	Clínica	Radiografía	RM	Patología
O	Asintomático	Normal	Desde normal a edema uniforme (↓ señal T1, ↑ señal T2).	Necrosis de células hematopoyéticas seguido de necrosis de las células de grasa y osteocitos
I	Puede presentar síntomas	Normal u osteoporosis irregular	Desde normal a edema uniforme (↓ señal T1, ↑ señal T2) o zonas de menor intensidad en T1.	
II	Dolor, rigidez	Osteopenia mezclada, osteopenia y esclerosis, cambios quísticos	Signo de la media luna en forma de cuña (estadio III en rx)	Tejido necrótico central, margen fibroso con revascularización y hueso nuevo en trabeculado óseo muerto.
III	Rigidez, dolor en la ingle y rodilla	Signo de media luna, secuestro óseo, colapso cortical, articulación preservada	Signo de media luna, secuestro óseo, colapso cortical, articulación preservada	Necrosis rodeada de tejido granular
IV	Dolor y cojera, puede ser severa	Igual al estadio III más cambios degenerativos y espacio articular disminuido	Igual al estadio III más cambios degenerativos y espacio articular disminuido	Cambios del estadio III exagerados.