

Contradifusión Isobárica

No una teoría, ¡Un hecho!

Cómo gestiona NAUITEC la CDI

NAUI es una de las pocas agencias de capacitación que ofrece protocolos específicos para abordar la contradifusión isobárica (CDI). Aquí el Examinador de Instructores Técnicos de NAUITEC Daniel Millikovsky explica su enfoque para minimizar los riesgos de la CDI basado en el Modelo de Burbuja de Gradiente Reducido (RGBM).

por Daniel Millikovsky



Hay cierta confusión en la comunidad de buceo técnico en cuanto a si debemos prestar atención a esta ley física mientras planificamos los cambios de gas, particularmente en el ascenso. Estos son algunos de los fundamentos sobre este tema y cómo la división técnica de NAUI, NAUITEC, ha abordado este tema en las operaciones y en el entrenamiento de buceo técnico desde 1997.

Un Hecho fáctico: [Isobaric counterdiffusion](#) es una ley física y un verdadero mecanismo de transporte de gas. Tenemos que prestarle atención en el buceo con mezcla de gases.

Ficción - no se trata de creer, aunque no lo quieras ver existe: La contradifusión isobárica es un concepto teórico de laboratorio y no afecta en absoluto a los buceadores.



Rockefeller Center - New York, NY.

Del Manual : NAUI Technical Diver

La contradifusión isobárica (ICD) describe un verdadero mecanismo de transporte de gas en la sangre y los tejidos de los buceadores que utilizan helio y nitrógeno. No es sólo un invento teórico, y tiene impactos importantes para el buceo técnico. Fue observado por primera vez en el laboratorio por Kunkle y Strauss en experimentos de burbujas, es una ley física básica, fue estudiado por primera vez por Lambertsen e Idicula en buceadores, ha sido ampliamente reportado en revistas médicas y de fisiología, y es aceptado por la comunidad científica de descompresión en todo el mundo.

Isobárico significa " misma presión ". La contradifusión significa que dos o más gases se difunden en direcciones opuestas. Para los buceadores, los gases intervinientes son los gases inertes nitrógeno y helio y no los gases metabólicos como el oxígeno, el dióxido



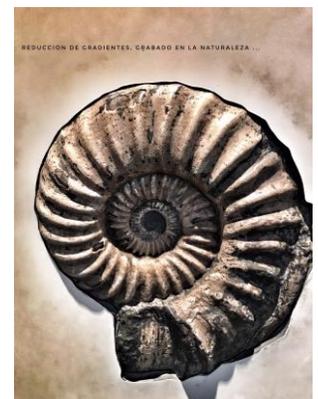
de carbono, el vapor de agua o los gases de traza en la atmósfera. Específicamente, la CDI durante las operaciones de buceo con mezcla de gases se refiere a estos dos gases inertes que se mueven en direcciones opuestas bajo la misma presión ambiental en los tejidos y la sangre. Para entender esto, tenemos que considerar sus velocidades de difusión relativas. Los gases más livianos se difunden más rápido que los gases más pesados. De hecho, el helio (He - 4gr/mol) es siete veces más liviano

que el nitrógeno (N_2 - 28gr/mol) y se difunde 2,65 veces más rápido.

Si un buceador tiene tejidos cargados de nitrógeno, y si su sangre está cargada de helio, esto resultará en una mayor carga total de gas porque el helio se difundirá en el tejido y la sangre más rápido que el nitrógeno desature de los tejidos, lo que resulta en un aumento total de las tensiones de gas inerte. Por el contrario, si un buceador tiene tejidos cargados de helio, y su sangre está cargada de nitrógeno, esto producirá el efecto contrario: el helio se desatura más rápido de lo que el nitrógeno difunde, y las tensiones totales de gas inerte serán menores. Este último caso es lo que podemos llamar en la planificación de la descompresión una "CDI buena", pero algo muy importante, tenemos que elegir inteligentemente las fracciones de N_2 que compondrán las mezclas respirables en el ascenso para reducir la posibilidad de una " CDI mala", mas detalles a continuación ...

Los procesos de la contra difusión isobárica son una preocupación en el buceo con mezcla de gases debido a las diferentes solubilidades y coeficientes de difusión ya que proporcionan un medio para que múltiples gases inertes se muevan en direcciones opuestas bajo diversas presiones o gradientes. Mientras que la presión ambiental permanece constante, tales gradientes de contradifusión pueden inducir temporalmente altos niveles de supersaturación de gas tisular, creando una mayor susceptibilidad a la formación de burbujas y, por lo tanto, incrementar el riesgo a la enfermedad por descompresión (EDC).

Hay que ser cuidadosos al elegir los cambios de mezclas en el ascenso para que estos generen curvas graduales y no saltos abruptos de fracciones inspiradas de gas inerte y así favorecer una desaturación mas eficiente.



También, Doolette y Mitchell's [study of Inner Ear Decompression Sickness \(IEDCS\)](#) muestran que el oído interno puede no estar bien modelado por algoritmos comunes (por ejemplo, Bühlmann). Doolette y Mitchell proponen que un cambio de una mezcla rica en helio a una mezcla rica en nitrógeno, como es común en el buceo técnico al cambiar de trimix a nitrox en el ascenso, puede causar una supersaturación transitoria de gas inerte dentro del oído interno y dar lugar a la Enfermedad por Descompresión en el Oído Interno (IEDCS). Sugieren que los cambios de gas respiratorio de mezclas ricas en helio a mezclas ricas en nitrógeno deben programarse cuidadosamente, ya sea que se realicen a mayor profundidad (con la debida consideración a la narcosis por nitrógeno) o a menor profundidad para evitar el período de supersaturación máxima resultante de la descompresión. Los cambios también deben hacerse tomando en cuenta la mayor presión parcial de oxígeno inspirado que se pueda tolerar con seguridad, a determinada profundidad y con la debida consideración a la toxicidad del oxígeno.

Otro ejemplo, si en el caso de usar trajes secos estos se presurizaran con mezclas de gases livianos mientras respiran gases más pesados, las lesiones cutáneas resultantes serían un efecto superficial, y la sintomatología se denomina "CDI subcutánea". Recomendación: No utilice Trimix como gas de aislamiento del traje seco, mejor use gases más pesados como argón o aire. Las burbujas resultantes de cambios de gases respirables pesados a livianos se denominan "CDI de Tejido Profundo", obviamente este no es un fenómeno de la piel superficial. La conclusión es simple: 1) no presurice sus trajes de exposición con un gas más liviano de lo que está respirando y 2) evite cambios de gas pesados a livianos en una línea deco (es decir, respirando de una mezcla de deco, no cambie de nuevo a la mezcla de fondo que suele ser más liviana). En ambos casos, el riesgo de formación de burbujas aumenta con el tiempo de exposición.



Más simplemente, los procedimientos de gas liviano a pesado reducen la carga de gas, mientras que los procedimientos de pesados a livianos aumentan la carga total de gas.



Tenga en cuenta, sin embargo, que ninguno de estos problemas de CDI entran en juego al bucear con un rebreather de circuito cerrado. Pero, también es importante considerar a la hora de planificar el gas de Bailout (escape) adecuado, ya que en ese caso el buzo estaría pasando de un sistema de diluyente con mejor mezcla y una PO_2 constante a un sistema de circuito abierto.

La Respuesta de NAUITEC

No es teoría científica, es un hecho. Comprender y evitar la CDI es la manera de reducir la formación de burbujas y un riesgo de EDC (Enfermedad por Descompresión), además de proveer una práctica de descompresión más eficiente a largo plazo.

Las inmersiones con trimix profundas requieren una mezcla con base a helio y bajo contenido de nitrógeno - Tenga en cuenta que NAUITEC exige una profundidad equivalente narcótica (PEN) de 30 m - . NAUITEC adopta un enfoque jerárquico para la descompresión con trimix basado en la reducción del riesgo.

En su "**Regla de Orden Cero**" adoptada (riesgo cero de la CDI), NAUITEC recomienda que los buceadores no cambien de mezclas respiratorias en base a helio (trimix) a mezclas en base a nitrógeno (nitrox) en el ascenso. En su lugar, los buceadores realizan la descompresión con su mismo gas de fondo (trimix) hasta llegar a su parada de 6 m/20 pies, donde cambian a oxígeno puro (O₂). Esto reduce la carga de tareas durante la inmersión y minimiza los cambios de gases.



Si el buceador decide reducir su obligación de descompresiva y/o añadir un gas de deco profunda (deep deco mix), cambiaría a una mezcla de deco intermedia o profunda,



específicamente una mezcla de "Trimix Hiperóxico", también llamada Helitrox o Triox, con una fracción de oxígeno superior al 23,5%. En la práctica, esto se logra reemplazando el helio con oxígeno y manteniendo la fracción de N₂ constante o idealmente menor. Esta práctica evita un "golpe abrupto" (slam) de N₂ y en consecuencia una mala CDI.

Lo expresado anteriormente es el protocolo de NAUITEC para manejo de la CDI , utilizado con éxito desde 1997 a la fecha y lo que recomendamos, practicamos, creemos, evidenciamos y ofrece menor riesgo.

Sin embargo una práctica común en la comunidad de buceo técnico es cambiar de un gas de fondo trimix a un nitrox (EAN) 50, (es decir, 50% O₂, 50% N₂) a 21 m/70 pies, esta última ciertamente no probada científicamente como la más beneficiosa.

La conclusión aquí es que con la "Regla de Orden Cero", los gradientes de nitrógeno se han minimizado evitando así una CDI.

¡DEBERIA HABER UN ALTO BENEFICIO A LA TASA DE RIESGO PARA DECIDIR DESVIARSE DE LA "REGLA DE ORDEN CERO"!

Las reglas adicionales presentan un mayor riesgo. La "Regla de Primer Orden: No cambie de helio a nitrógeno respirando mezclas a mayor profundidad de 30 m/100 pies. La "Regla de Segundo Orden" no cambie de helio a mezclas de nitrógeno a mayor profundidad de 21 m/70 pies.

Conclusión: Reforzando lo expresado anteriormente, la "regla de segundo orden" parece ser común en el buceo técnico, pero ciertamente no ha sido probada formalmente. Sólo di que no cuando los riesgos superan los beneficios. Muchas veces, el beneficio de un cambio de gas no supera el riesgo. La reducción del riesgo es siempre el objetivo principal.



No una teoría, ¡Un hecho! - REFERENCIAS :

NAUI Technical Diver, National Association of Underwater Instructors, 2000.

Weinke B.R., O'leary T.R. *"Ins and Outs of Mixed Gas Counter Diffusion. "Tech Corner" . Sources 3Q 2004: 45-47*

Wienke B.R. & O'Leary T.R. [Isobaric Counterdiffusion, Fact And Fiction](#). Advanced Diver Magazine

[Technical Diving in Depth](#), B.R. Wienke

Lambertsen C. J., Bornmann R. C., Kent M. B. (eds). [Isobaric Inert Gas Counterdiffusion](#). 22nd Undersea and Hyperbaric Medical Society Workshop. UHMS Publication Number 54WS(IC)1-11-82. Bethesda: Undersea and Hyperbaric Medical Society; 1979; 182 pages.

Doolette, David J., Mitchell, Simon J. (June 2003). "[Biophysical basis for inner ear decompression sickness.](#)" *Journal of Applied Physiology*, 94(6): 2145–50.

BIO:

Daniel Millikovsky es miembro de toda la vida de NAUI (NAUI 30750). Ha sido instructor de NAUI exclusivamente durante 22 años, Director de Cursos durante 20 años, y en 2016, se convirtió en Entrenador de Director de Cursos y Representante en Argentina para NAUI. Daniel es un examinador de instructores técnicos de NAUI muy activo (#30750L) en varios cursos, incluyendo buceo con mezclas de gases en CA y CCR, y también ha sido miembro del Comité de Entrenamiento de NAUI desde 2020. Es propietario de Argentina Diving, un Centro de Capacitación en Buceo Técnico, Desarrollo de Carrera Profesional y Premier de NAUI con base en Buenos Aires, Argentina. Venden equipos de buceo y organizan viajes de buceo para estudiantes y clientes.

Daniel comenzó a bucear en 1993 como buceador de CMAS y luego continuó con su carrera en NAUI, convirtiéndose en instructor en 1998. Luego abrió su primer NAUI Pro



Scuba Center (DIVECOR) en Córdoba, Argentina. En el 2000 se trasladó a Cozumel, México, donde trabajó como Director de Capacitación en el Buceo Medico Mexicano, SSS Systems Hyperbaric Chamber Facility, ejecutando programas de Divers Alert Network (DAN). Mientras estaba en Cozumel, también poseía una operación de buceo y un centro de entrenamiento. En 2005, regresó a la Argentina para capacitar a buceadores en todos los cursos recreativos, de liderazgo y técnicos de "NAUI - path". Su negocio familiar se expandió para convertirse en una empresa en crecimiento con éxito en los últimos 15 años. Daniel es un entusiasta con la enseñanza, la

formación y se ha presentado como conferencista internacional en numerosos eventos y seminarios de buceo como en (España, México, Estados Unidos, Brasil, Colombia, Bonaire, Paraguay y Argentina). Se le puede contactar en info@argentinadiving.com. Su sitio web es www.argentinadiving.com.