

# Contradifusão Isobárica no Mundo Real



Derk Remmers

## Contradifusão Isobárica no Mundo Real

A contradifusão isobárica (ICD) é um daqueles temas considerados técnicos e esotéricos, que alguns programas de mergulho técnico tratam como de pouca relevância, enquanto outros a veem como uma preocupação operacional distinta.

Reilly Fogarty, da Divers Alert Network (DAN), examina as bases fisiológicas da ICD, algumas das principais pesquisas sobre o tema e discute sua aplicação ao mergulho técnico.

A maioria dos mergulhadores não dedica muito tempo pensando sobre a contradifusão isobárica (ICD) — e não é apenas porque o nome é longo e complicado. O fenômeno é difícil de compreender, depende de mecanismos que são parcial ou totalmente teóricos e se enquadra claramente na zona cinzenta e desconhecida da ciência da descompressão.

Como resultado, alunos em cursos técnicos recebem informações diferentes sobre o tema, dependendo do entendimento de cada instrutor.

Alguns consideram o assunto irrelevante para os mergulhadores, enquanto outros reconhecem que uma compreensão funcional é obrigatória para o mergulho moderno com misturas de gases.

Uma combinação de exposição pouco frequente, falta de pesquisas e ampla disseminação de informações equivocadas tornou a ICD um tema de difícil abordagem para muitos mergulhadores.

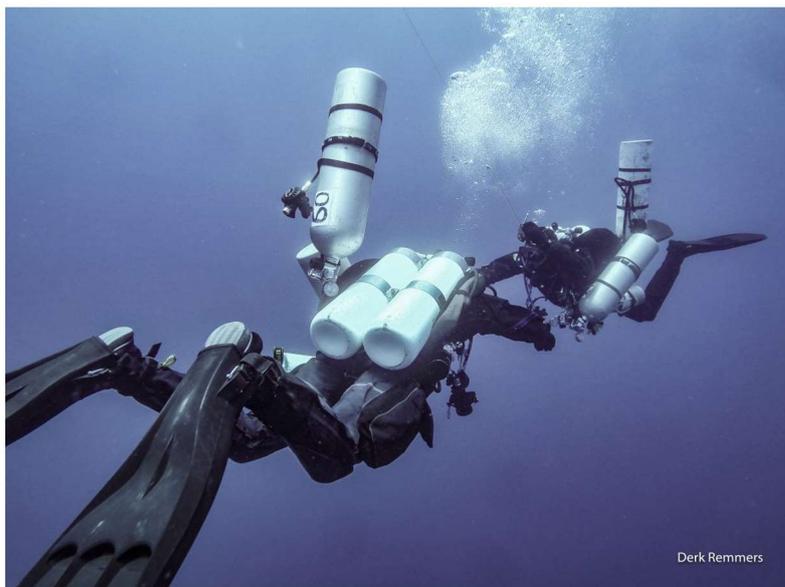
Aqui está o que já sabemos e o que ainda estamos pesquisando.

### A Fisiologia

A contradifusão isobárica não é um conceito limitado apenas ao mergulho. O fenômeno descreve a difusão de diferentes gases para dentro e para fora dos tecidos após uma mudança na composição do gás, bem como os efeitos fisiológicos dessas trocas.

Isso é relevante em áreas como medicina hiperbárica, anestesia, mergulho e aeroespacial.

Como mergulhadores, nossa maior preocupação é com o que acontece durante uma troca de gás em um mergulho com misturas gasosas, e pesquisas em áreas relacionadas podem fornecer dados úteis.



Os efeitos da contradifusão isobárica (ICD), no que se refere aos mergulhadores, envolvem principalmente o movimento de dois gases inertes em direções opostas sob pressões ambientes iguais — daí o termo “isobárica” — dentro dos tecidos e do sangue.

A velocidade relativa dessa contradifusão é influenciada por muitos fatores, incluindo densidade, tensão superficial e viscosidade nos fluidos, além de uma variedade de fatores fisiológicos, propriedades de membranas e interações específicas entre gases (Oswaldo, 2017).

A difusão gasosa em si é um tópico amplo e fascinante, mas que fica para outra ocasião. Para o entendimento da ICD, pode-se simplificar um pouco: o problema central está na diferença de velocidade com que um gás inerte entra no corpo enquanto outro sai. Isso pode ocorrer tanto com um gás de saturação lenta saindo de um tecido enquanto um de saturação rápida entra, quanto no processo inverso.

A ICD superficial acontece quando o gás inerte respirado por um mergulhador se difunde mais lentamente para dentro do corpo do que o gás que o circunda externamente. Como isso requer estar cercado por um gás de alta difusividade, o fenômeno é observado com maior frequência em mergulhadores de saturação que respiram ar ou misturas com baixo teor de hélio em um ambiente de heliox.

Teoricamente, isso também pode ocorrer em mergulho recreativo/técnico e é o motivo pelo qual novos mergulhadores de misturas gasosas são orientados a evitar o uso de gases de inflação de roupa contendo hélio (além do fato de que o hélio tem baixa condutividade térmica, ou seja, é frio!).

O hélio possui uma difusividade aproximadamente 2,65 vezes maior que a do nitrogênio (Lambertson, 1989). Devido a essa diferença, ele pode difundir rapidamente na pele, enquanto o nitrogênio se difunde mais lentamente.

A difusão lenta do nitrogênio a partir dos fluidos e tecidos do corpo, enquanto o hélio satura a pele, pode causar supersaturação em alguns tecidos superficiais, resultando na formação de bolhas de gás.

Essas bolhas podem gerar lesões dolorosas e avermelhadas na pele, mas o fenômeno não ocorre quando os gases são invertidos e o gás respirado possui maior difusividade.

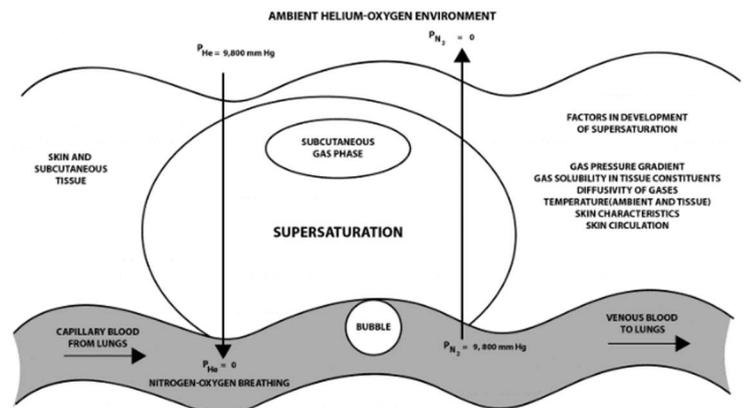


Fig. 1. Dermal Lesion in Superficial Isobaric Counterdiffusion

Se você já ouviu falar de ICD, provavelmente foi sobre a ICD em tecidos profundos. Esse segundo tipo de ICD ocorre quando um gás respiratório é trocado por outro com difusividade diferente, como em uma troca de gás de viagem nitrox para um gás de fundo trimix, ou de um gás de fundo trimix para um gás de decompressão nitrox.

Assim como na ICD superficial, isso acontece quando um gás de alta difusividade é transportado para um tecido mais rapidamente do que um gás de difusão mais lenta é eliminado.

O resultado é o mesmo: supersaturação de alguns tecidos e formação de bolhas.

Essas bolhas podem causar coceira seguida de dores articulares, e mais recentemente têm sido associadas à doença descompressiva do ouvido interno (IEDCS), embora a formação de bolhas também possa contribuir para outros tipos de doença descompressiva.

## A Pesquisa

Quantificar o risco de ICD e identificar casos de doença descompressiva (DCS) que resultaram de ICD, em vez de outros fatores de risco, pode ser difícil. No entanto, há pesquisas significativas que correlacionam vários mecanismos propostos ao aumento de contagem de bolhas e DCS em modelos humanos e animais. Assim como a DCS, a ICD é aceita academicamente de forma correlacional, mas os mecanismos específicos ainda requerem pesquisas adicionais para confirmação.

Dados de 1977 indicam risco de ICD mesmo em mergulhos recreativos, com aumento de contagem de bolhas observado em cabras saturadas a 5 atmosferas e que trocaram de um gás respiratório contendo 4,7 atmosferas de nitrogênio para 4,7 atmosferas de hélio (D'Aoust, 2017). De forma semelhante, mergulhadores de saturação na missão Hydra V sofreram DCS após uma troca de gás de hidreliox para uma mistura de heliox de difusão mais rápida, sendo a troca de gás considerada a causa da DCS (Rostain, 1987).

Trabalhos mais recentes em modelos de descompressão do ouvido interno indicam que até um aumento transitório na tensão gasosa (a relação entre o gás respirado e o gás saturado no corpo) relacionado à troca de um gás com alto teor de hélio por uma mistura de nitrogênio pode aumentar o risco de doença descompressiva do ouvido interno (IEDCS).

Esse modelo é particularmente interessante porque a difusão de gases através da janela redonda é extremamente baixa (quase desprezível), o que complica o transporte de gases inertes no ouvido. Dados de Doolette e Mitchell sugerem que essas trocas de gás podem resultar em um aumento temporário da tensão gasosa, à medida que a entrada de nitrogênio excede a remoção de hélio via perfusão no compartimento vascular e difusão na peri- e endolinfa, causando a formação e crescimento de bolhas (Doolette, 2003)



Existem várias variáveis a serem consideradas nesse modelo, mas os dados parecem consistentes e o mecanismo fornece uma explicação plausível para os casos bem documentados de IEDCS relacionados à troca de gases em mergulhos técnicos. Outros modelos foram propostos para explicar esses incidentes, variando de acordo com os modelos fisiológicos e os valores de difusão utilizados, mas a maioria se concentra na supersaturação dos tecidos como resultado da variação da tensão gasosa após uma troca de gás (Burton, 2004).

## Acadêmico versus Aplicação

O desafio com a pesquisa variada sobre os mecanismos do ICD é que pode ser difícil determinar o que é prudente incluir no planejamento do mergulho e quais dados podem não refletir a realidade. A boa notícia é que os aspectos gerais do ICD são relativamente bem compreendidos, mesmo que os mecanismos específicos sejam teóricos. Reduzir as variações na difusividade dos gases e na tensão transitória dos tecidos por meio de um planejamento de mergulho conservador é relativamente fácil de fazer e não apresenta risco adicional significativo. As obrigações de descompressão podem aumentar em algumas situações, mas alguns cursos de mergulho com gases mistos já incluem considerações sobre ICD, principalmente relacionadas ao IEDCS.

Estender isso para minimizar os riscos associados ao ICD não é complicado, mas recomendações específicas, infelizmente, não são prontamente evidentes. Lambertson propôs que a troca de uma mistura de hélio para uma mistura de nitrogênio seria aceitável, mas o inverso deveria incluir recompressão — algo improvável de ser viável durante um mergulho comercial.

## **Doolette e Mitchell propõem uma abordagem mais prática: minimizar a troca de trimix para nitrox durante a subida ou planejar realizar essas trocas em profundidade ou em águas rasas para minimizar a supersaturação.**

Existem algumas recomendações específicas para prevenir o ICD (como usar a regra dos quintos, calcular compartimentos teóricos de hélio e nitrogênio etc.), mas elas carecem de evidências e podem ou não prevenir incidentes. O que podemos afirmar é que planejar suas trocas de gás para minimizar a supersaturação devido às tensões transitórias nos tecidos, minimizar suas trocas de gases de alto teor de hélio para baixo (conforme apropriado para seus níveis aceitáveis de risco) e aumentar o conservadorismo à medida que a profundidade e o tempo de mergulho aumentam (devido ao maior nível de saturação dos tecidos) são boas formas de se manter seguro.

Os mecanismos ainda podem não ser definitivos, mas os dados dão suporte a essas recomendações. E quando não há aumento de risco com uma abordagem conservadora, faz sentido seguir por esse caminho. Fique atento às pesquisas futuras nessa área; embora o ICD possa causar problemas, alguns pesquisadores estão propondo que a underdifusão isobárica poderia reduzir o risco em mergulhos técnicos, então é possível que o planejamento de seus gases passe por mudanças em um futuro próximo.

## **Referências**

Oswaldo, C. Difusão de gases entre bolhas e o risco de DCS. (24 de novembro de 2017)

Lambertson, Christian J (1989). Relações da contradifusão gasosa isobárica e doenças por lesão de gases de descompressão. Em Vann, RD. "A Base Fisiológica da Descompressão". 38º Workshop da Undersea and Hyperbaric Medical Society, Publicação UHMS Número 75(Phys)6-1-89. Link

D'Aoust, B. G., Smith, K. H., Swanson, H. T., White, R., Harvey, C. A., Hunter, W. L., ... Goad, R. F. (26 de agosto de 1977). Bolhas venosas de gás: produção por contradifusão isobárica profunda e transitória de hélio contra nitrogênio.

Rostain, JC; Lemaire, C; Gardette-Chauffour, MC; Naquet, R (1987). Bove; Bachrach; Greenbaum (eds.). "Efeito da mudança de mistura hidrogênio-hélio-oxigênio para mistura hélio-oxigênio durante um mergulho a 450 msw". Underwater and Hyperbaric Physiology IX. Bethesda, MD, EUA: Undersea and Hyperbaric Medical Society.

Doolette, David J; Mitchell, Simon J (junho de 2003). "Base biofísica para a doença descompressiva do ouvido interno". Journal of Applied Physiology. 94 (6): 2145–50. doi:10.1152/jappphysiol.01090.2002. PMID 12562679.

Burton, Steve (dezembro de 2004). "Contradifusão Isobárica". ScubaEngineer.



Quando não está trabalhando com o DAN em programas de segurança, Reilly Fogarty pode ser encontrado conduzindo expedições técnicas e ensinando mergulho com rebreather em Gloucester, Massachusetts. Reilly é capitão licenciado pela USCG (Guarda Costeira dos EUA) e sua experiência profissional inclui medicina cirúrgica e de emergência em áreas remotas, além de gerenciamento de lojas de mergulho.