

DOI: 10.16781/j.0258-879x.2021.10.1164

· 综述 ·

水下加压治疗的现状

刘文武, 李 慈, 俞旭华*, 徐佳骏, 方以群

海军军医大学(第二军医大学)海军特色医学中心潜水与高压医学研究室, 上海 200433

[摘要] 潜水实践中, 如果潜水员罹患潜水相关疾病, 但现场既无加压舱也没有条件后送至有效救治机构进行治疗时, 在设备条件和技术条件允许的情况下可进行水下加压治疗。但是, 并不是所有潜水相关疾病都需要进行水下加压治疗, 也不是所有的情况下都适合进行水下加压治疗。同时, 水下加压治疗存在着一定的风险。潜水作业现场, 患病潜水员选择水下加压治疗时需综合考虑多方面因素后做出选择。本文对选择水下加压治疗的条件及水下加压治疗存在的风险、治疗方案和实施要求进行简要总结。

[关键词] 潜水医学; 水下加压治疗; 减压病; 减压性疾病; 氧中毒

[中图分类号] R 845.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2021)10-1164-04

Current status of in-water recompression

LIU Wen-wu, LI Ci, YU Xu-hua*, XU Jia-jun, FANG Yi-qun

Department of Diving and Hyperbaric Medical Research, Naval Medical Center, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[Abstract] In diving practice, divers who are suspected of suffering decompression illness (DCI) in locations remote from a recompression chamber and cannot be immediately transported to eligible settings for further treatment are sometimes treated with in-water recompression (IWR) when the equipment and technique are available. However, not all diving-related diseases require IWR, compression therapy is not feasible in all conditions. At the same time, IWR has certain risks. Therefore, at the diving site, various factors should be taken into account when IWR is chosen, and the pros and cons of IWR should be weighed for decision making. This paper briefly summarizes the conditions, risks, treatment schedules and requirements of IWR.

[Key words] submarine medicine; in-water recompression; decompression sickness; decompression illness; oxygen toxicity

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2021, 42(10): 1164-1167]

在潜水实践中, 如遇到潜水员现场罹患潜水相关疾病, 但现场既无加压舱也没有条件后送至有效救治机构进行治疗时, 为了挽救潜水员的生命, 一些学者推荐在设备和技术条件允许的情况下, 让患病潜水员重新入水, 进行水下(再)加压治疗(in-water recompression, IWR)^[1]。但IWR存在较多影响因素, 治疗风险高, 有学者反对离岸潜水员接受IWR^[2]。目前学界在有关IWR的实施上存在一定争议, 本文对IWR的选择条件、存在风险、治疗方案和实施要求进行简要介绍。

1 IWR的定义

IWR是指现场无加压舱、潜水相关疾病病情较重、短时间内无法后送至加压舱治疗的患者在健康潜水员的陪伴下再次入水, 呼吸高压气体接受治疗的一种方式。

2 IWR的应用目的

加压治疗是潜水减压病(decompression sickness)最有效的病因治疗手段和首选治疗方案, 也是动

[收稿日期] 2020-09-07 [接受日期] 2021-01-04

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(81772015, 81901912), 国防科技创新特区项目(19-163-16-ZD-020-008-01, 19-163-16-ZD-020-008-03)。Supported by National Natural Science Foundation of China (81772015, 81901912) and National Defense Science and Technology Innovation Special Zone Program (19-163-16-ZD-020-008-01, 19-163-16-ZD-020-008-03)。

[作者简介] 刘文武, 博士, 副研究员. E-mail: 13661966681@163.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-81883145, E-mail: xuhua_0813@163.com

脉气栓 (arterial gas embolism) 的主要治疗手段。在实践中,减压病与动脉气栓合称为减压性疾病 (decompression illness, DCI), 救治原则是尽早、就近地进行再加压治疗。对于某些潜水作业,如潜水员远离海岸或特种作战队员远离我方控制区域,一旦出现潜水相关疾病很难到就近舱内进行加压治疗。此时,潜水员应基于已有条件尽快进行现场处置(尽快再加压治疗或常压吸氧治疗),以改善病情和延缓病情恶化,为后续转运或救援争取时间,而IWR体现了尽早治疗的原则。有关DCI院前治疗的专家共识也指出,在远离加压舱的环境下,如果DCI症状明显或进展,采用氧气进行IWR是一个选择^[3]。理论上讲,高压下(尤其是呼吸纯氧时)前次减压后体内产生的气泡会缩小并逐渐溶解在体内,随后逐渐释放至体外,而常压下呼吸纯氧时体内溶解的氧含量有限,因此推测IWR的疗效优于常压吸氧,但缺少科学证据。

3 IWR 的选择条件

潜水员出现DCI后如现场无加压舱、后送又存在一定困难时,可以将IWR作为一个选择。那么,何种程度的DCI需要接受IWR?《美国海军潜水手册(第7版)》有关IWR的定义指出,DCI病情严重且如无其他治疗措施时需进行IWR。但随后又明确指出,对于II型减压病或重症动脉气栓,IWR的应用风险可能超过疾病本身^[4]。言下之意,IWR对于严重的潜水相关疾病患者弊大于利,并不适用。轻症DCI是否可以接受IWR呢?《美国海军潜水手册(第7版)》推荐,潜水员出水后出现轻症潜水相关疾病时可通过水面吸氧的方式进行治疗。如果轻症疾病水面吸氧30 min未能缓解或恶化,则可进行IWR。因此,无论是重症还是轻症潜水相关疾病,水面常压吸氧治疗是优先选择;轻症疾病在常压吸氧后未能缓解或恶化,才考虑IWR。

国际氮氧混合气潜水和技术潜水员协会(International Association of Nitrox and Technical Divers, IANTD)在其培训课程中对潜水相关疾病进行了简要分类,用于指导IWR。IANTD将疾病分为以下3类^[5](该分类与DCI院前救治专家共识中的描述类似)。I类:非特异性症状,有可能不是DCI,不构成威胁,如恶心、头痛。II类:可能是DCI的症状和体征,但无论治疗与否都不会导致永久性损伤或死亡,如淋巴阻塞(皮下肿胀)、

肌肉骨骼疼痛(不包括对称的腰带样疼痛)、皮疹、感觉异常(主观感觉变化,如刺痛)。III类:可能是DCI的症状和体征,且存在导致永久性损伤或死亡的风险,如意识改变或意识模糊、言语困难、视觉变化、行走或平衡障碍、明显的感觉丧失(如麻木)、明显的四肢无力或瘫痪、膀胱功能障碍、括约肌(肠)功能障碍、四肢失去协调或控制、气促、腰带样疼痛综合征(臀部、腹部或背部)。该协会推荐:(1)出现I类症状的潜水员不适合接受IWR,但不代表症状可以被忽略;(2)出现III类症状的潜水员,只要没有禁忌证就可以进行IWR;(3)出现II类症状的潜水员需根据具体情况进行选择,如果在出水后数小时内出现症状且未进一步发展则不适合进行IWR,如果在出水后不久即出现症状且有恶化的趋势则需要进行IWR。基于IANTD分类的IWR流程图见图1^[6]。

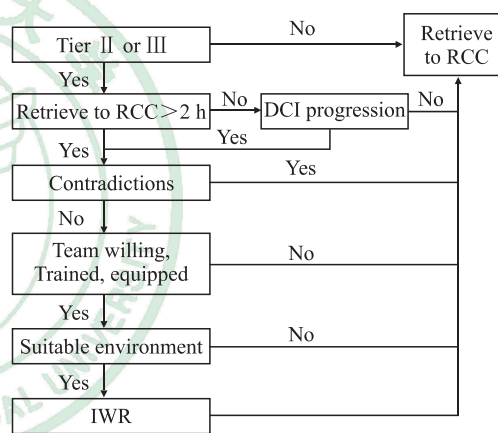


图1 基于IANTD分类的IWR流程图^[6]

Fig 1 Key steps in decision-making for IWR based on IANTD classification^[6]

IANTD: International Association of Nitrox and Technical Divers; IWR: In-water recompression; RCC: Recompression chamber; DCI: Decompression illness.

潜水员进行IWR的禁忌证未包含在IANTD III类表现中。听力丧失和眩晕都可能是DCI的潜在表现,其单独发生时如无其他DCI表现则很有可能出现内耳气压伤,而内耳气压伤通常被认为是加压治疗的禁忌证之一。即使眩晕由DCI所致,通常伴有恶心和呕吐等表现,会增加IWR的风险,也不适合进行IWR。上述IANTD III类表现中所列的意识改变是指意识水平的短暂下降,如果意识水平逐渐恶化或意识水平下降持续,则不适合接受IWR。其他禁忌证还包括潜水员或团队成员不愿意

接受IWR、潜水员沉默少语、疾病发生前出现过氧中毒、潜水员因为受伤或其他原因无法安全返回水面等。

4 IWR存在的风险

4.1 中枢神经系统氧中毒 (central nervous system oxygen toxicity, CNS-OT) 实施IWR首先需要预防的是CNS-OT。在高气压医学领域,呼吸纯氧的深度一般控制在18 m以浅。特殊情况(如水温低、体力消耗大、高度紧张等)下患病潜水员可能存在氧敏感性增加,为进一步降低患病潜水员和陪伴潜水员的CNS-OT风险,实施IWR时吸氧的深度应控制在9 m以浅。IANTD推荐,实施IWR时绝大部分时间应在25英尺(1英尺=0.304 8 m)海水深^[5]。虽然按照《美国海军潜水手册(第7版)》中吸氧减压方案的规定,呼吸30 min氧气应间隔呼吸5 min空气,然而该手册中有水下持续吸氧时间(包括水下空气加压和水下氧气加压治疗)长达60 min甚至更久的描述,但总时长不超过12 h(主要考虑到肺损伤)。预防CNS-OT的发生也是水下陪护潜水员的主要工作之一。美国海军推荐使用全面罩进行IWR以预防CNS-OT,也有研究者认为可以使用配咬嘴固定带的咬嘴式呼吸器^[7]。其他预防措施还包括将潜水员固定于减压架上,即使潜水员出现意识丧失时也不至于下沉;确保实施IWR期间有陪伴潜水员陪护,一旦发生氧惊厥陪伴潜水员可在第一时间将患病潜水员救出。

4.2 水下体温过低 一般情况下,潜水员采用湿式服或普通干式服进行潜水作业。进行IWR时水下停留时间通常较长,水下环境温度低所导致的潜水员体温过低也需要考虑,进行IWR时需注意保暖。除非商业潜水员,条件允许的情况下可采用加热服进行IWR。

4.3 病情恶化 在进行IWR过程中,患者病情也有可能恶化,尤其是采用空气进行IWR时。虽然加压治疗早期体内产生的气泡会缩小,但惰性气体会进一步溶解在体内,随后的减压则增加了气泡产生的风险。IWR时,不论意识是否丧失,病情恶化对患病潜水员的安全造成了现实威胁,这也是患病潜水员在IWR时需有健康潜水员全程陪伴的重要原因,一旦出现病情恶化,陪伴潜水员可以辅助患病潜水员安全出水。限制再加压治疗的深度、采用保护气道的装置(如全面罩和咬嘴固定带)也有助于减轻病情恶化带来的不良后果。

4.4 淹溺 CNS-OT是导致IWR时淹溺的重要原因,水下低温也与淹溺的发生有关。此外,IWR时淹溺的发生概率与DCI的严重程度成正比。水下通讯质量难以保证,潜水员在水下发生意外情况往往不能及时发现,这也是IWR时水下淹溺发生的原因之一。

4.5 晕浪 如果涌浪较大,潜水员在水下很容易并发晕浪,出现恶心、呕吐等表现。眩晕及其相关的恶心、呕吐是IWR的禁忌证之一,因此IWR对水下环境也有一定的要求。

5 IWR采用的方案

IWR可采用混合气,也可呼吸纯氧^[8],治疗最大深度可达到50 m(夏威夷IWR表),而呼吸纯氧的深度一般限制在9 m以浅。美国海军推荐的IWR分为水下空气加压治疗和水下氧气加压治疗,同时指出后者的疗效优于前者。水下空气加压治疗可以采用文献[4]中的方案(最大深度为30 m),如果不能达到最大深度,则加压至最大可下潜深度,并于最大深度停留30 min,然后按照文献[4]中的方案减压。如果采用水下氧气加压治疗,下潜最大深度为9 m,Ⅰ型减压病吸氧60 min,而Ⅱ型减压病吸氧90 min,上升至6 m和3 m后分别吸氧60 min,出水后继续吸氧3 h。目前,倾向于深度较浅、呼吸纯氧进行IWR^[3],一方面原因是深度浅、受环境影响相对较小、救援方便、实施安全性相对较高,另一方面没有明确的证据显示水下较大深度混合气加压治疗的疗效优于浅深度呼吸纯氧。此外,呼吸纯氧进行IWR的方案简单、容易实施。特殊情况下,如水下特种作战,无需牢记复杂的减压过程,在气体有限的情况下不适合进行大深度、长时间的加压治疗。

目前,常用的水下吸氧加压治疗方案有经典的澳大利亚方案、美国海军方案和Clipperton方案(图2)^[6]。不论是采用混合气还是纯氧进行IWR,患病潜水员出水后仍需水面吸氧治疗,水面、水下吸氧相结合能使疗效最大化。

6 IWR的实施要求

有关IWR的实施要求,文献[9]已有详细介绍,简单概括如下:患者愿意且有能力接受IWR;有足够的热保护;按照治疗方案能提供100%的氧或接近100%的氧;有稳定平台维持治疗深度,如减压架;能有效固定患者;确保有经验的潜水员全

程陪伴。相关人员（水面监督人员、陪伴潜水员和患病潜水员）必须具备完成IWR的能力。同时，健康陪伴潜水员自身也应具备一定的急救知识和

技能，能够应对水下和水面风险、及时作出恰当的处理，为后续救援争取时间。IWR时推荐使用全面罩，如若使用咬嘴需佩戴咬嘴固定带。

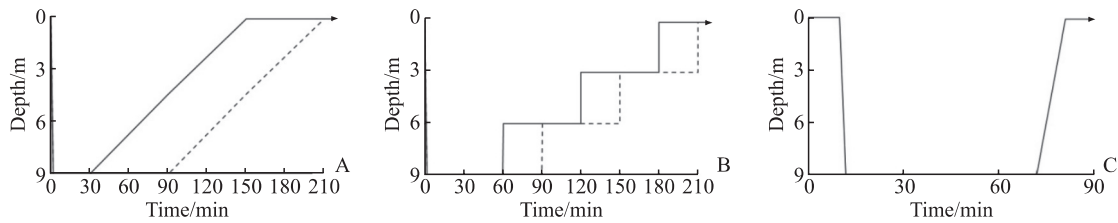


图2 常用水下吸氧加压治疗方案^[6]

Fig 2 Commonly-used oxygen-based recompression therapy schedules^[6]

A: Australian in-water recompression (IWR) schedule. The patient breathes oxygen (O₂) at 9 m for 30 min for mild decompression sickness (DCS), 60 min for serious DCS, and for a maximum of 90 min if there is no improvement in symptoms. The patient continues to breathe O₂ during the 120-min ascent; the ascent rate was originally specified as 1 foot (1 foot=0.304 8 m) sea water per 4 min. Dashed line indicates ascent from maximum 90 min bottom time. O₂ breathing continues on the surface (indicated by arrow) for six 1-h O₂ periods each followed by one 1-h air break. B: US navy diving manual IWR schedule. The patient breathes O₂ at 9 m for 60 min for mild DCS (solid line ascent) or 90 min (dashed line ascent) for neurological DCS; the patient continues to breathe O₂ during 60-min stops at 6 m and 3 m. O₂ breathing continues on the surface (arrow) for 3 h. C: Clipperton IWR schedule. The patient breathes O₂ at the surface for 10 min and, if symptoms do not resolve, descends to 9 m and continues breathing O₂ for 60 min; the patient continues to breathe O₂ during the 1 m/min ascent. O₂ breathing continues on the surface (arrow) for 6 h.

症状发作后短暂的IWR虽然对潜水相关疾病有一定疗效，但不保证没有残留症状或症状不会复发。因此，在没有医疗监督的情况下进行IWR仅仅是一种急救措施、权宜之计。IWR完成后应尽快由潜水医师或专家对患者进行检查，以决定后续是否需要继续治疗并制订相应的治疗方案。

基于目前的现状，潜水员和潜水医学专业人员应该理性看待IWR，不是所有DCI都适合接受IWR，但也不能否认IWR的疗效。正确实施IWR有赖于潜水相关人员对病情及时、准确的判断。由于离岸作业情况特殊，很多情况下没有潜水医师跟随，因此潜水员及相关人员除需要接受IWR的培训外，还需掌握一定的潜水医学知识和急救知识，以应对现场突发情况。只有在软、硬件条件都具备的情况下才能扬长避短，最大程度地发挥IWR优势，最大化IWR的疗效，使潜水员获益。

[参考文献]

- [1] EDMONDS C, BENNETT M H, LIPPMANN J, MITCHELL S J. Diving and subaquatic medicine[M]. 5th ed. Boca Raton (FL): Taylor and Francis, 2015: 352-354.
- [2] BENNETT M H, MITCHELL S J. Hyperbaric and diving medicine[M]//LONGO D L, FAUCI A S, KASPER D L, HAUSER S L, JAMESON J L, LOSCALZO J. Harrison's

principles of internal medicine. 19th ed. New York: McGraw-Hill, 2015: 656-658.

- [3] MITCHELL S J, BENNETT M H, BRYSON P, BUTLER F K, DOOLETTE D J, HOLM J R, et al. Pre-hospital management of decompression illness: expert review of key principles and controversies[J]. Diving Hyperb Med, 2018, 48: 45-55.
- [4] Naval Sea Systems Command. US navy diving manual[S]. Revision 7, SS521-AG-PRO-010. Washington (DC): Naval Sea Systems Command, 2016(Chapter 21): 8-10.
- [5] DITURI J, SADLER R. In water recompression: emergency management of stricken divers in remote areas[M]. Lake City (FL): International Association of Nitrox and Technical Divers, 2015: 122-123.
- [6] DOOLETTE D J, MITCHELL S J. In-water recompression[J]. Diving Hyperb Med, 2018, 48: 84-95.
- [7] NOVOMESKÝ F, JANÍK M, HÁJEK M, KRAJČOVIČ J, STRAKA L. Vomiting and aspiration of gastric contents: a possible life-threatening combination in underwater diving[J]. Diving Hyperb Med, 2018, 48: 36-39.
- [8] 陶恒沂, 张辉. 潜水减压病的防治[M]. 上海: 第二军医大学出版社, 2011: 295-302.
- [9] PYLE R L. Keeping up with the times: applications of technical diving practices for in-water recompression[C]//KAY E, SPENCER M P. In-water recompression. Proceedings of the 48th Undersea and Hyperbaric Medical Society workshop 1998. Kensington (MD): Undersea and Hyperbaric Medical Society, 1999: 74-88.

[本文编辑] 尹 茶