

海拔4500m空气潜水的减压研究

陈宝松 李元辰 曲青林

(交通部海洋水下工程科学研究院, 上海)

15名潜水员平分成3批在高低压舱内海拔4500m或5000m低气压下居住7~9d, 模拟30~50m空气潜水80人次, 按自拟的减压方案减压, 发生了1例因水面间隔时间过长的轻型减压病, 经再加压治疗后安全返回居住高度。6名潜水员在海拔4442m的羊卓雍湖安全地进行了80人次18~30m实际潜水, 实验验证了水面吸氧减压法对高海拔潜水也是安全有效的。对本实验的减压方案, 特别是深度较大、水下工作时间较长的方案, 按Cross校正法进行了评述。

常规潜水减压表都是根据潜水员从101hPa的环境大气压力开始并返回到该压力这一假设计算出来的。如将该表用于高地域潜水, 由于其环境气压低于101hPa, 则会带来较大的减压病危险。对于高地域潜水已有几种减压表, Boni等^[1]报道过海拔700、1500、2000、2500和3200m的系列表; Bell等^[2]讨论过Cross校正法^[3]的理论, 但该法仅被推荐用于不减压潜水及海拔2000m、水深40m以内需减压的潜水^[4]。

中国西南部辽阔的青藏高原, 平均海拔大于4000m, 拥有众多的高原湖泊, 例如西藏羊卓雍湖, 海拔4442m, 最大水深59m、面积789km²。海拔4000m以上通称高海拔, 其环境压力更低, 缺氧更严重, 高海拔环境的低气压、缺氧、寒冷等因素对该环境下的潜水作业带来了一系列特殊的潜水生理学及医学问题, 目前尚无在高海拔下进行潜水减压的资料。为此我们进行了高海拔潜水舱内模拟和现场两个方面的实验研究。

一、方 法

1. 舱内模拟实验

该实验于1983年秋在北京海军总医院的双舱六门式高低压两用舱内进行。舱体内径2.5m, 分为主、副两室, 可供5人居住, 具有良好的负压与正压双向压力控制能力, 其正、负压双向的加、减压速度均能满足本实验要求。高海拔居住时舱内温度18~26℃。相对湿度47~75%, 加减压时温、湿度有较大波动。舱内高、低压下的通风性能均良好, 二氧化碳分压始终低于500Pa。

15名职业男潜水员(年龄18~33岁, 平均身高172cm, 体重65.6kg)平分成3批进舱受试。为了尽快适应低气压环境, 在海拔3500m进行了1~2d的停留, 进入4500m或5000m(其中一批)居住海拔高度1~2d后, 每天进行高气压暴露。高压停留期间进行自行车功

收稿日期: 1988年12月16日。

量计体力负荷及多种生理功能测试,然后按自拟的减压方案返回居住高度。在高后一次潜水减压返回居住海拔停留观察15h后,加压返回海平面压力。出舱后继续观察一周。

2. 现场潜水实验

现场实验于1985年夏在西藏海拔4442m的羊卓雍湖进行。进入海拔4500m 10d后,6名职业男潜水员(年龄25~34岁)使用TF-12型通风式潜水装具从湖面驳船进行水深18~30m的潜水,湖水表层温度10~12℃,深部水温6℃,湖底底质为硬质淤泥。潜水员在水下进行适应性潜水及沉物探摸测量作业。在湖岸边配备一双舱四门式加压舱。内径1.5m,工作压力1MPa。水面减压实验时潜水员6m停留站直接出水在潜水工作驳卸装后,用渡船返回岸上,步行进舱加压至6m。平均水面间隔时间为5分31秒。

3. 减压方案的计算

本实验减压方案基本依据Haldane公式,但使用了不同的过饱和安全系数。海拔4500m的气压为57.5hPa,5000m为53.9hPa,半饱和组织时间采用5~635min共10种,按自编的计算程序用计算机计算,减压上升速度为7m/min。减压停留站间的深度间距在12m以深为每站3m,12m以浅为每站2m。水面减压方案是用水下阶段减压方案选取,在6m(或8m)站停留完毕后出水进入水面加压舱。允许的水面间隔时间为6min,恢复到原出水站压力停留10min,再按原方案完成随后的减压(图1)。吸氧减压是在各吸氧的停留站上,将阶段减压停留时间减半以作为吸氧时间,再按表吸氧30min,另增5min呼吸舱内空气。

4. 气泡检测

舱内减压停留时及各次减压出水后均用T-1型多普勒超压波血流检测仪进行心前区气泡检测。多普勒信号按Spencer气泡分级法计量。

二、结 果

高、低压两用舱内对9个减压方案进行80人次模拟实验的结果见表1。

方案1和2是5名受试者进入海拔5000m的2d后进行的。潜水员在该海拔居住时出现了严重的急性缺氧症状,如头痛、眩晕、恶心、呕吐等,但在模拟潜水时这些症状都消失并能胜任中等体力负荷的作业。潜水员30m的45min潜水各两次,50m的30min潜水一次,均安全返回海拔5000m。该方案减压总时间较长。

方案3~5是由第二批5名受试者在进入海拔4500m的2d后进行的。方案3的15人次30m的45min潜水减压实验中包括了10人次出水站分别是6m和8m的水面减压,表明水面减压法在高海拔潜水中也是安全的。方案5是个稍快的方案,采用的安全系数与前不同,5名受试者30m的45min暴露后经88min减压,均安全返回海拔4500m,但其中1人在减压至

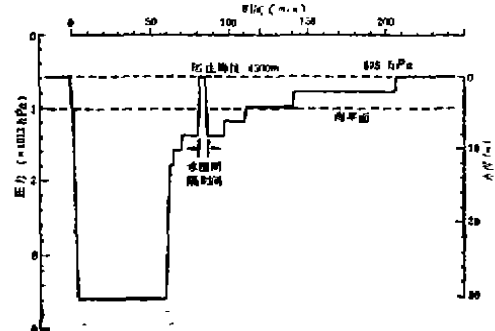


图1 在海拔4500m所作30m的60min潜水水面减压实验

2m站时观察到Ⅱ级气泡音。方案4是进行高海拔下50m的30min暴露,10人次减压实验中

表 1 高海拔空气潜水模拟实验的减压

方案 编号	潜 水 深 度 (m)	水下工 作时间 (min)	上升至 水面 时间 (min)	各 停 留 站 深 度(m) 及 其 停 留 时 间(min)										减 压 总时间 (min)	试 验 人 数	减 压 病例数
				21	18	15	12	10	8	6	4	2				
1	30	45	3				3	6	15	16	27	73	143	5	0	
2	50	30	1	3	5	6	10	11	12	19	39	125	234	10	0	
3	30	45	3				1	5	8	15	20	51	103	15*	0	
4	50	30	5	1	2	6	4	10	13	15	33	91	180	10	0	
5	30	45	3				1	4	6	12	18	44	88	5	0	
6	30	30	3				1	2	6	7	17	36	72	5	0	
7	30	45	3				1	2	6	8	19	51	99	5	0	
8	30	60	3				2	5	11	14	31	66	132	15*	0	
9	30	90	3				3	9	16	23	42	95	191	10*	1	

说明:方案1、2试验的居住海拔为5 000m,其余为4 500m;方案3包括水面减压10人次;方案8包括水面减压5人次,吸氧减压5人次;方案9包括水面减压5人次,其余均为阶段减压。

有8人次在减压至8~4m站时报告有轻度皮疹,同时观察到有I~II级气泡音,但经91min的2m站停留后,气泡音均消失并安全返回海拔4 500m。

第三批5名受试者验证方案6~9,它是由同一组过饱和安全系数计算出的30m水深30、45、60和90min潜水的减压方案,其中包括一次反复潜水和一次吸氧减压实验。潜水员先进行30m的30min潜水。按方案6减压返回居住海拔60min后,又进行另一次30m的30min的高压暴露,根据残余氮量的计算结果,选用方案7(30m的45min)减压,安全出水。方案8(30m的60min)试验15人次,阶段减压、6m出水的水面减压和吸氧减压各5人次。吸氧从8m站开始,减压总时间为78min,其中吸氧时间为63min,结果表明吸氧减压也是安全的。

方案9的水下工作时间长达90min,减压总时间为191min,水下阶段减压时在6m站5名受试者中有2名报告了皮肤轻度瘙痒。在水面减压实验时,由于1名受试者耳朵受压,而使水面间隔时间长达14min。5名受试者中有4名在水面间隔期间报告皮疹,其中3名在2m站以下观察到I~II级气泡音,经206min减压后安全返回居住海拔。另1名在减压至4m站时出现了膝关节疼痛的减压病,立即被再加压治疗,30m停留30min,并在18m吸氧,按自拟方案减压安全返回居住海拔。治疗总时间为174min^[1]。

根据模拟实验的结果,计算了相应的减压表以供羊卓雍湖现场实验试用(表2)。6名潜水员进行了水深为18、21、24、27和30m,水下工作时间15~45min的实际潜水共80人次,其中包括18人次的水面吸氧减压实验,均安全减压出水。

三、讨 论

对于高地域潜水的减压,国外仅有为数不多的报告。Bell等^[2]提出,利用一定的校正系数对减压表中各有关深度进行校正,则可将美国海军标准空气减压表^[6]经换算后用于高地域的

表 2 海拔4 442m空气潜水减压的现场实验

潜水深度 (m)	水下工作时间 (min)	上升至第一站时间 (min)	各停留站深度(m) 及停留时间(min)				减压总时间 (min)	试验次数
			8	6	4	2		
18	25	2		2	6	15	25	6
18	25	2			3	9	14	6
18	25	2			1	7	10	6
21	35	2	1	5	10	20	38	6*
21	40	2	3	6	15	23	49	6*
21	45	2	5	9	16	31	63	6*
24	20	3		1	3	8	15	6
24	25	3		2	6	13	24	3 ⁺
24	30	3	1	4	8	18	34	3 ⁺
27	20	3		2	4	9	18	10
27	25	3	1	3	6	16	29	2
30	15	4		1	3	7	15	6
30	20	4		3	5	11	23	8
30	25	4	2	4	7	17	34	6

* 为水面减压试验, +为24m的20min反复潜水时应用。

潜水。这就是所谓的Cross校正法^[3],其校正系数即为高地域与海平面的气压值之比。利用该系数,对海平面减压表中各深度值,包括潜水深度、减压停留站深度和减压中的上升速度等分别进行校正,则可按换算后的等效深度值查找常规空气潜水减压表,得出相应的高地域潜水减压方案^[4]。对于海拔4 500m,其气压比为0.567。在该高度30m水深的潜水,按该校正法其减压拟相当于海平面52.8m的潜水;海拔4 500m的50m潜水则相当于海平面88.2m。

本实验减压方案与根据Cross校正法相应的美国海军标准减压表的比较如图2所示。可见,方案8(30m的60min)和方案9(30m的90min)的减压总时间比美国海军表要短,其中方案9要短得多(共缩短56min)。从该方案试验中出现的多次皮肤瘙痒现象来看,可认为

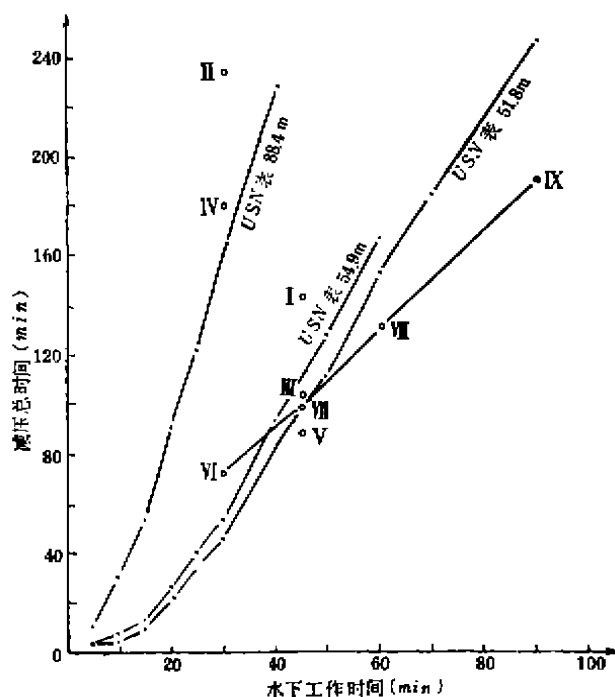


图2 本实验潜水减压方案与美国海军减压表按Cross校正法的比较

该方案已达到临界值。方案4(海拔4 500m下50m的30min潜水)也有类似情况。这提示本实验的这些长潜水时间或较大深度的减压方案在实际应用中的安全性问题,尚待进一步研究验证。

现减压方法上,水面吸氧减压法可大大缩短潜水员在水下的减压时间,迅速出水卸装已进入水面加压舱内较舒适的环境中继续减压,从而提高整个潜水作业队的作业效率。该法在我国广泛应用,但对于高海拔水域潜水的减压,尚未见有关水面减压的报道。本实验进行了20人次水面减压模拟实验和18人次实际潜水水面减压,出水站不论是6m还是8m,都是安全的。其结果表明,水面减压法在高海拔潜水中依然是适用的技术。

高海拔潜水的减压研究在实践和理论上都具有很大的意义。在实践方面,它将直接应用于高海拔地区的潜水作业、高压氧治疗、潜水减压病的加压治疗。从理论上看来,高海拔潜水实际上是一种低气压下饱和居住后的空气向下巡回潜水。在减压理论探讨方面,由于高海拔潜水的减压负荷比在海平面同样深度下要大得多,在海平面空气潜水50m以深潜水员就会遇到氮麻醉、氧中毒等因素的限制,而对于同样深度的高海拔潜水其减压负荷要大得多,这有助于氮在体内脱饱和规律的理论研究。

本实验由交通部石油部海洋水下工程科学研究院、海军总医院和江苏海洋工程公司协作完成。石中璠教授主持本项目。作者热忱感谢16名受试潜水员及徐光华、杨国华、郑继昌、荆岩林、周孝先等同志的合作。

参 考 文 献

- (1) Boni, M.R. et al., 1976, Diving at Diminished Atmospheric Pressure, *Undersea Biomed. Res.*, 3, 3, 189~204.
- (2) Bell, R.L. et al., 1976, The Theory of High Altitude Correction to the US Navy Standard Decompression Tables, I. The Cross Correction, *Undersea Biomed. Res.*, 3, 1, 1~23.
- (3) Cross, E., 1970, Technifacts: High Altitude Decompression, *Skin Diver*, 19, 11, 17.
- (4) Miller, J.W. (Ed.), 1979, *NOAA Diving Manual*, 2nd Ed. US Dept of Commerce, NOAA, Sec. 9.3.7.
- (5) 荆岩林, 陈宝松, 1985, 高海拔潜水试验减压病一例, *职业医学*, 12, 6, 33.
- (6) US Navy Dept., 1979, *US Navy Diving Manual*, NAVSEA 0994-LP-001-9010.

DECOMPRESSION STUDY OF AIR DIVES AT ALTITUDE OF 4 500 METERS ABOVE SEA LEVEL

Chen Baosong, Li Yuanchen and Qu Qinglin

(Institute of Marine Underwater Technology, Shanghai)

ABSTRACT

Three experiments were carried out on 15 divers, in 3 groups evenly, in a hyperbaric-hypobaric chamber, in which the air pressure was controlled as at an altitude of 4500 or 5000 meters above sea level. During 7~9 day habitaling period the divers carried out 30~50m air diving by 80 person-times and were decompressed according to the self-calculated profiles. One case of pain-only decompression sickness happened when the surface interval was prolonged up to 14 minutes. Then the diver was recompressed, breathed oxygen, and returned safely to the habitat altitude. Six divers safely carried out 18~30m helmet diving by 80 person-times in Yangzhuoyong Lake, 4442m above sea level. The results reveals that surface decompression was pratical and safe in high altitude diving. The self-calculated decompression profiles, especially those for deeper depth and longer bottom time, are evaluated according to Cross Corrections.