

论文汇编

第五辑

中国人民解放军海军医学研究所

出 版 说 明

本辑收录了我所 1970~1976 年期间主要的科研论文和实验工作总结，共 52 篇，旨在总结交流经验，积累科技资料。由于编辑工作时间仓促，加之水平有限，不免有错误之处，敬希首长和同志们批评指正。

目 录

模拟核潜艇若干条件潜航90昼夜对人体耐受力影响的实验研究报告·····	(1)
模拟实验环境中十三种气体配制和分析总结报告·····	(15)
模拟实验中心血管功能的变化·····	(22)
模拟实验中脑电的变化·····	(25)
模拟实验中脑血流图的变化·····	(29)
模拟实验中时间估价测验·····	(33)
模拟实验中锻炼员白血球吞噬活性的变化·····	(35)
模拟实验中锻炼员血清酶的变化·····	(39)
模拟实验中锻炼员血清电解质的变化·····	(43)
模拟实验中的血液气体和 pH ·····	(47)
模拟实验中的血像和碳氧血红蛋白·····	(51)
模拟实验中锻炼员尿排17-羟皮质类固醇的变化 ·····	(54)
模拟实验中对锻炼员一般情况的观察·····	(57)
模拟90天潜航条件下舱室内适宜温度的研究·····	(60)
舱室噪声对信号识别和计算效率的影响·····	(66)
模拟实验中听觉功能的变化·····	(69)
模拟实验中视系统的功能变化·····	(75)
模拟实验中潜操效率的变化·····	(78)
模拟潜航实验中人工紫外线照射对人体碱性磷酸酶影响的初步观察·····	(82)
模拟实验条件下的营养试验·····	(86)
模拟实验条件下的供水试验·····	(94)
模拟实验中体育锻炼对增强艇员体质的作用·····	(97)
被服卫生状况的观察结果·····	(103)
模拟密闭环境对狗迷路瞬时记忆的影响·····	(105)

水幕对光辐射的防护作用·····	(109)
铅局部屏蔽脾区对X线全身照射大鼠的防护效应·····	(113)
铅局部屏蔽对X线全身照射大鼠骨髓中核酸含量的影响·····	(117)
内消瘰癧片减少 ¹³¹ 碘在大鼠甲状腺内的蓄积作用·····	(121)
免疫荧光菌球法检出El-Tor生物型霍乱弧菌的研究·····	(125)
大屯煤矿打捞大钻头氮氧深潜水的医务保障·····	(131)
146米现场氮氧深潜水及其医务保障·····	(135)
码头体育锻炼对提高潜艇人员耐力的作用·····	(143)
09艇远航食品初步试验报告·····	(152)
冷冻蔬菜保存观察·····	(155)
冻干蔬菜的试制及贮藏观察·····	(165)
295 潜艇自给力试验中远航食品的考核情况·····	(171)
复方参香液对狗冠状血流的影响·····	(175)
复方参香液对豚鼠离体心脏冠脉血流的影响·····	(179)
菖蒲、降香、细辛对豚鼠离体心脏冠脉流量的影响·····	(183)
复方参香片对家兔实验性动脉粥样硬化斑块及血脂的影响·····	(187)
某些飞行因素对家兔实验性动脉粥样硬化斑块形成及血脂含量的影响·····	(198)
右旋苯丙胺硫酸盐的研制·····	(210)
飞行员个人救生用品配套及装备部队的研究·····	(219)
空勤人员I型发光发烟救生信号筒的研制·····	(225)
救生反光镜的研制·····	(229)
海水染色剂的研制·····	(234)
飞行员救生急救盒简介·····	(236)
海水肥皂研制小结·····	(238)
防净2号炭净化淡水的研究·····	(241)
71型检水试纸的研制·····	(245)
反相分配色层法快速测量尿中 ⁹⁰ Sr·····	(251)
尿中 ¹³⁷ Cs的快速测定·····	(258)

模拟核潜艇若干条件潜航 90昼夜对人体耐受力影响的实验研究报告

滕敏灿 郭继贤 胡正元 毕儒锦 徐荣成

王德恺 刘广青 戴龙侠 汪振林

实验目的与意义

核潜艇,就动力来说,可以在水下长期潜航,但由于艇内设备复杂,空间狭小,在长期密闭潜航时,影响艇员健康和耐力等的因素较多,致使潜航时间受到很大限制。

为了充分发挥核潜艇的战略、战术性能,除了要研制与改进有关的武备、动力、观通、导航等设备外,还必须研究长期潜航条件下艇员的健康、耐力、生理功能的变化和舱室居住性的改善。

霸权主义者为了全球战略的需要,正相互争夺海洋,大力发展核潜艇,他们不仅致力于改进潜艇的武备、航速水声等作战性能,而且极为重视长期潜航下艇员耐力和舱室居住条件的研究。他们既在实艇潜航中搜集有关资料,又在实验室模拟环境下进行大量的研究工作,以考察人体在潜航中的机能变化。近年来,国外较大规模的密闭试验似有增加的趋势。据报导,1971年美国海军医学研究所进行了为期30天的密闭试验⁽¹⁾。同年他们又参加了美国国家航空和宇航局主持的90天模拟试验⁽²⁾。1974年,英国海军医学研究所为了配合核潜艇的设计,在实验室内进行了81天的密闭试验⁽³⁾。苏修在大力建造核潜艇的同时,也正在积极进行各种密闭模拟试验,研究长期潜航条件下人体的各种机能变化⁽⁴⁻⁷⁾。

为了适应我国核潜艇的建造和发展,积极开展人体耐力和舱室居住性的研究,已成为军事医学方面一个迫切的任务。

在1969~1971年间,我们曾先后进行了两次模拟试验⁽⁸⁻⁹⁾,分别观察了气体环境、噪声、高温等对人体的影响。但是,由于当时的设备、条件有限,所得的资料也比较局限,而鉴定核潜艇的舱室环境因素是综合、复杂的,因此必须开展多种综合因素的研究,只有“由实践到认识,由认识到实践这样多次的反复”,才能对核潜艇所处条件下艇员的耐力得出较正确的结论。本次实验的目的,就是在前两次实验的基础上,进一步探讨模拟综合因素对人体的影响。通过实验,主要探讨以下几方面的问题:

1. 观察潜艇舱室13种常见气体、舱室噪声、温湿度、照明、作业紧张度、狭小空间、限制用水、远航营养和体育锻炼等综合因素下人体的耐力和生理变化,这些变化对艇员正常值更有何影响,出舱后又如何恢复,从而为实艇长期潜航的医务保证提供资料。

2. 评价密闭环境中13种常见气体、舱室噪声、温湿度和照明对人体的影响,进而为舱

室居住环境的设计标准积累资料 and 提出改进建议。

3. 在模拟潜航条件下, 进行营养、给水保证和现行被装的研究, 以便对远航食品、给水标准以及现行被装的适用性能进行鉴定, 并提出改进建议。

4. 为了评价核潜艇中放射性物质对艇员可能出现的影响, 我们进行了小剂量丙种射线对动物影响的实验研究, 以便为核潜艇的剂量标准、医务保证提供数据和建议。(实验结果另有专题总结)。

一、模拟环境和生活条件

实验在模拟舱内进行, 舱体分为生活舱与工作舱两部分。

(一) 舱室布置 (图 1)

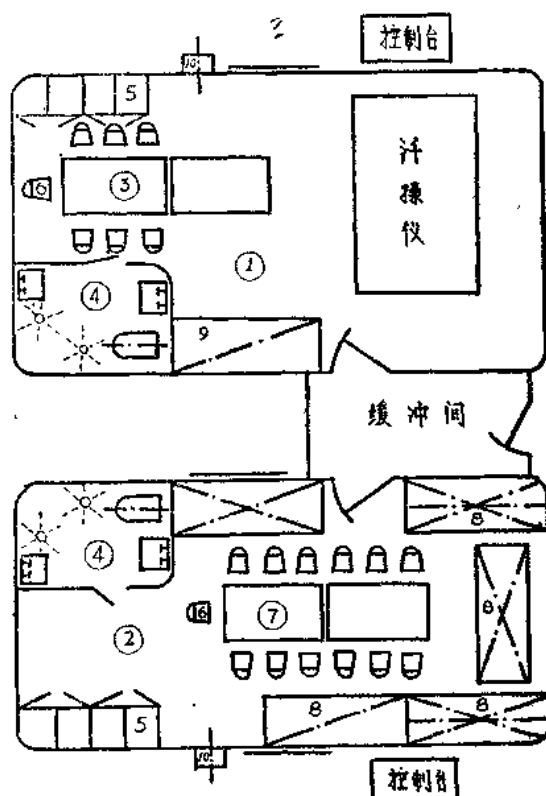


图 1 模拟舱平面示意图 (1:100)

- | | | | |
|-------|--------|-------|----------|
| 1 工作舱 | 2 生活舱 | 3 工作台 | 4 厕所、盥洗间 |
| 5 用具柜 | 6 椅子 | 7 会议桌 | 8 三层床 |
| 9 单层床 | 10 潜操仪 | | |

1. 生活舱: 面积为 24.5 平方米 (7×3.5), 体积为 55.13 立方米, 舱内设有床铺, 会议桌椅, 用具柜, 盥洗间等。

2. 工作舱: 面积为 28 平方米 (7×4), 体积为 70 立方米, 舱内设有潜操仪和若干操作岗位等。

两舱高度一样, 均为 2.25 米。

(二) 温度

1. 生活舱: 潜航 1~45 天舱室气温为 $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (平均为 25.27°C), 46~90 天为 $25.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 体育锻炼时偶而可达 27.0°C (平均为 25.65°C)。

2. 工作舱: 舱室气温按实验设计要求变动(表 1)。

表 1 工作舱内气温的变动

潜 航 天 数	1—10	11—18	19—25	26—34	35—40	41—48
控制温度($^{\circ}\text{C}$)	27 ± 0.5	30 ± 0.5	33 ± 0.5	30 ± 0.5	33 ± 0.5	30 ± 0.5
潜 航 天 数	49—57	58—63	64—70	71—79	80—83	84—90
控制温度($^{\circ}\text{C}$)	27 ± 0.5	30 ± 0.5	33 ± 0.5	30 ± 0.5	27 ± 0.5	30 ± 0.5

(三) 相对湿度

1. 生活舱: 潜航 1~57 天舱内湿度为 $60 \pm 5\%$, 57~90 天为 $55 \pm 5\%$, 体育锻炼和吃饭时最高可达 70~80%, 最低下降到 50%。

表 2 模拟舱内 13 种气体实验浓度
(未特别注明者均以毫克/立方米为单位)

编号	名 称	分 子 式	实验天数	生 活 舱 平均浓度	工 作 舱 平均浓度	采样时间及 测 定 方 法
1	氯*	Cl_2	73	0.188	0.058	4 小时一次
			17	0.145	0.024	
2	氯化氢	HCl	90	0.637	0.187	化学比色法
3	硫化氢	H_2S	90	0.061	0.001	
4	二氧化氮	NO_2	90	0.253	0.075	4 小时一次
5	二氧化硫	SO_2	90	0.345	0.010	
6	丙烯醛*	CH_2CHCHO	61	0.106	0.053	化学比色法
			29	0.115	0.071	
7	氨	NH_3	90	0.188	0.163	化学比色法
8	乙醇胺	$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$	90	1.22	0.414	
9	氧	O_2	90	20.9%	20.8%	8 小时一次 气相色谱法
10	氮	N_2	90	77.8%	77.7%	
11	二氧化碳	CO_2	90	0.84%	0.80%	4 小时一次 气相色谱法
12	一氧化碳	CO	90	13.7ppm	12.1ppm	
13	碳氢化合物	OxHy	90	8.9ppm	8.6ppm	

* 根据实验要求: 氯 1~14、32~90 天为 0.188; 15~31 天为 0.145。丙烯醛的浓度在 15~45、61~90 天为 0.106; 1~14、46~60 天为 0.115。

2. 工作舱: 湿度为 $60 \pm 5\%$ 。

(四) 通风量、风速

1. 生活舱: 新风量为 200 立方米/小时 $\pm 5\%$, 筛孔风速为 0.5 米/秒, 排风口风速为 3 米/秒, 舱内中心风速为 0.5 米/秒。

2. 工作舱: 以生活舱 200 立方米/小时的排风量作为工作舱的新风量, 筛孔风速为 2.2 米/秒, 排风口风速为 3 米/秒, 舱内中心风速为 0.24 米/秒。

(五) 实验气体成分及其浓度

模拟舱内共配入预定浓度的 13 种气体 (表 2)。气体来源主要由气体钢瓶、化学反应产生以及舱外大气供给。

(六) 噪声

将录制的“〇九”艇主机噪声向工作舱放送, 舱外设有控制台, 可按要求调整和测量舱内的噪声强度。噪声的频谱特征以中、高频为主, 主要频段为 500~4000 赫兹。生活舱以舱室本底噪音 (鼓风机噪声, 主要为低频成分) 为实验条件。

工作舱和生活舱的本底噪声皆为 83 分贝 (两舱的噪声频谱特性不一致)。工作舱的噪声的频谱特性及声级分析见图 2。各舱噪声的声压级和声级分析, 以及在潜航期 90 天 (共 2160 小时) 过程中, 锻炼员实际接受的噪声水平列于表 3、4、5 中。

(七) 照明

1. 工作舱: 工作台表面为 125~250 勒克司, 舱内其它部位照度不够均匀, 离地面 0.5 米处为 40—90 勒克司, 厕所内离地面 0.5 米处为 5.5~11 勒克司, 潜操仪内战位、工作台或仪表处的照度如下: 水手长位置 80 勒克司, 艇长和机电长位置 200 勒克司, 舰务军士长位置 35 勒克司。

2. 生活舱: 会议桌面为 200 勒克司,

表 3 潜航期工作舱每一个典型
工作日中噪声暴露的强度和时间

(分贝)	潜 航 期	
	1~24天	25~90天
	(小时)	
90	5	3
95	0	3
100	2	2
110	1	0

表 4 模拟舱噪声水平

	声 压 级 (分贝)	声 级 (分贝 A)
工 作 舱	83 (本底)	73
	90	85
	95	92
	100	96
	110	109
潜 操 仪	81 (本底)	60
	83	75
	85	81
	90	85
	100	97
生 活 舱	83 (本底)	70

表 5 锻炼员实际接受的噪声水平

声 压 级 (分贝)	声 级 (分贝 A)	时 间 (小时)	%
110	109	17.2	0.8
100	96	62.4	2.9
95	92	50.3	2.3
85—90	81—85	193.2	8.9
83	70—73	1836.9	85.1
总 计		2160.0	100.0

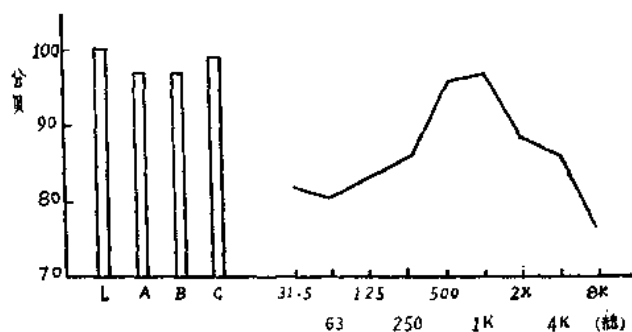


图2 工作噪声频谱分析

上层铺位为 13.5~65 勒克司，中层铺位为 15~50 勒克司，下层铺位为 11.5~36 勒克司，厕所为 1.7 勒克司（均按离地面 0.5 米测）。

（八）体育锻炼

为了提高锻炼员的耐力，在舱内开展了因地制宜的体育锻炼。锻炼的主要项目是潜艇舱室广播操，哑铃，拉力器，骑固定自行车，原地跑步等。潜航期中每天锻炼一次，每次 30 分钟。总共进行了 61 次锻炼（政治学习及测指标日未进行）。

（九）人工紫外线照射

灯源采用中波紫外线保健灯，功率为 50 瓦，辐射波长为 290~360 毫微米（2900~3600 埃），照射距离为 80 厘米，照射剂量为每人 1/3 红斑剂量，隔日照射一次。

（十）营养

模拟潜航期中食用“〇九”远航食品，并供给强化维生素的麦乳精。

（十一）给水

模拟潜航期中每人每日供水量按 27、35、50 升三种方案进行，其中饮用水（包括开水和饭菜汤水）不受限制。

根据 90 天的记录，在这三种用水方案中，实际用水量分别为 23.36、28.54、47.62 升，其中饮用水为 5.51、5.56、5.04 升，洗涤用水分别为 17.85、22.84、42.58 升。

水源为普通自来水，水质每隔十天检验一次。

（十二）被服

本实验采用“〇九”艇配备的被服（工作服及床单由我所配备）供锻炼员使用，以观察其适用性能，同时观察被服换洗与其清洁卫生的关系，以便提出合适的换洗时间，背心、裤头由锻炼员在舱内自洗，其它被服由舱外工作人员代洗。

二、作息制度与模拟工作负荷

（一）作息制度

一般情况下按表 6（甲）执行，但为了观察作息制度的变更对艇员耐力的影响，除了在拉战斗警报时作息制度作短时间的变更外，6 月 29 日至 7 月 1 日共三天时间改变了作息制度，按表 6（乙）执行。

（二）工作负荷

值更期间主要的工作负荷有：

1. 潜操仪——模拟艇长, 水手长, 舰务军士长, 方向舵手和机电长的作业。
2. 收发电译码——以灯光信号模拟无线电收发报, 并按标准电码本翻译电码内容。
3. 数学计算, 数字划线, 两位数表测验——模拟一般的脑力紧张和分析、判断能力。
4. 套针圈和拆装螺帽——模拟艇上的检修作业。

为了增加模拟潜航的紧张度, 还不定期地发出战斗警报(锻炼员在工作舱集中完成预定的潜操等作业)。在 90 天潜航期间共发 9 次战斗警报, 平均每 10 天发一次。

为了交替地进行工作负荷, 甲、乙两组锻炼员分别在第一、二更交叉进行模拟潜操和其它工作负荷。除体育锻炼、清扫舱室卫生外, 不进行其他体力劳动。

表 6 作息制度

(甲)		(乙)	
0530	起床	0150	
0530—0600	洗漱, 内务整理	0150—0220	洗漱、内务整理
0600—0620	早操	0220—0240	早操
0620—0700	自由活动	0240—0300	早点
0700—0730	早餐	0300—0310	更前准备
0730—0740	更前准备	0310—0710	第一更
0740—1140	第一更	0710—0720	更后整理
1140—1150	更后整理	0720—0750	早餐
1150—1220	午餐	0750—1100	睡眠
1220—1530	睡眠	1100—1110	洗漱
1530—1540	洗漱	1110—1210	自由活动
1540—1610	读报	1210—1240	午餐
1610—1640	体育活动	1240—1310	读报
1640—1740	自由活动	1310—1340	体育活动
1740—1810	晚餐	1340—1420	自由活动
1810—1820	更前准备	1420—1430	更前准备
1820—2220	第二更	1430—1830	第二更
2220—2230	更后整理	1830—1840	更后整理
2230—2250	夜餐	1840—1910	晚餐
2250—2310	洗漱	1910—1930	洗漱
2310—0530	睡眠	1930—0150	睡眠

三、观察指标与主要结果

参加实验的锻炼员共 13 名, 均为按海勤体检标准挑选的现役潜艇艇员, 其中包括 1 名潜艇军士长和 1 名科技人员。按实验要求锻炼员分成甲、乙两组, 每组 5 人, 另外 3 人在舱外作某些必要的观察。

按实验要求, 进舱前 30 天, 对锻炼员进行了工作负荷训练和生理、生化、营养、临床等指标的测试, 作为模拟潜航前的对照值。

模拟潜航期共 90 天, 每隔 15 天测定一次生理、生化指标, 一般在 3~5 天内测完。整个潜航期共进行了 4 次营养调查。

出舱后安排了 30 天的实验恢复期, 主要用于观察各项指标的恢复情况。

营养指标是调查三大营养素和热量的摄入量、尿中维生素排出量、蛋白质消化吸收率和临床营养缺乏病的检查。

体育锻炼指标是测定肌肉力量、耐力和速度。

(一) 一般健康状况

在实验中, 锻炼员的基础生理指标包括脉率、血压、呼吸和体温等均无明显改变, 体重略有增加。总的来说, 一般健康情况是良好的。

在潜航初期, 刺激性感觉较多, 达 67 人次。主要表现为流泪、鼻酸、咳嗽、咽干等, 基本上是由于舱内刺激性气体引起的。随后上述反应逐渐减少, 潜航 50 天后降低到 11 人次以下, 由此可以看出人体在刺激性气体的长期作用下, 不同阶段有不同的感觉, 最初主要表现为刺激感, 以后则表现为疼痛感。但是, 所有这些症状在返航后 10 天左右均逐渐消失。

在潜航期间一般主诉有疲劳感, 随着潜航时间增加, 在 45~50 天后较为明显, 在 60~70 天后主观疲劳感较前更为重, 并出现急躁情绪。大家一致反映, 舱内的作息制度安排较紧, 脑力负荷也较重, 尤其是潜操训练、数学计算、收发报译码、听觉短期记忆、“战斗警报”等, 都对神经系统、视、听分析器造成紧张的负荷。锻炼员中有一名军士长, 曾参加常规艇 30 天潜航训练, 他认为这次模拟 90 天潜航实验, 比常规艇实艇潜航更累, 尤其是他作为锻炼员的主要负责人, 考虑问题和组织工作都较多, 因此主观疲劳感也更明显。返航后由于积极开展文体活动, 休息疗养, 主观疲劳也逐渐恢复。在舱内虽然保证了 9 小时以上的睡眠时间, 但普遍都感到不易入睡、易惊醒甚至有多梦现象。

此外, 在潜航 50 天后, 腰腿关节痛有明显增加, 达 30~40 人次, 这可能同舱内空间狭小、活动受限、操作体位固定、铺位紧靠舱壁和通风口等因素有关。但在返航后 30 天, 上述症状也基本消失。由于长期密闭环境及活动量较少的原因, 返航出舱后都感到腿乏力, 体力活动后易疲劳, 小腿疼痛, 视物模糊, “眩目”和眼睛易疲劳等, 但在返航后不久, 上述症状也逐渐消失, 一个月内基本恢复正常。

(二) 临床检查

根据定期的专科检查发现, 人体的粘膜有较明显的刺激性体征, 表现为眼结膜、鼻粘膜和咽部充血。据统计, 眼、鼻和咽部充血的发病率, 在潜航期间占 100%, 鼻粘膜糜烂占 80%。以上这些体征, 除个别人外, 绝大多数人于返航后均消失。实验观察到, 粘膜的刺激症状与舱内的某些刺激性气体(氯、丙烯醛等)有较密切的关系。每当这些气体浓度增减时, 刺激性体征也相应地增减。

此外, 患口腔溃疡者也常见, 总的发病率为 60%, 一般在 3~7 天可治愈。在治疗过程中发现, 内服维生素 u (每日三次, 每次 25 毫克) 对预防口腔溃疡的发生有一定效果。根据分析, 口腔溃疡的发生与核黄素的缺乏无关, 因为膳食调查和生化检查的结果实证, 所供给的维生素量能满足体内需要。看来发病原因颇为复杂, 估计与舱内的环境因素、生活紧张、睡眠不足等有关。返航结束后, 经过一个月的观察未见口腔溃疡发生。

其余一些常见疾病, 如咳嗽、上感、皮疹、荨麻疹、牙龈肿胀、扁桃体炎、脚癣感染、鼻出血、地图舌、急性兰尾炎等均有发生, 但发病率较低, 一般只占 10~20%。

(三) 生理指标的变化

1. 中枢神经系统的功能状态和工作效率的改变

(1) 脑电图: 主要分析指标为频谱分布、 α 阻抑、电刺激和过度换气时的诱发反应。实验中未出现明显的异常波形, 电刺激和过度换气时的诱发反应都在正常范围内。频谱分布中未见 θ 波明显增加和 β_1 波明显减少, 仅 α 指数和 α 阻抑在潜航期前 30 天内有一定程度下降, 反映当时中枢可能有某种程度的抑制状态, 但随后 α 指数和 α 阻抑即回升和恢复, 由此可见机体对环境适应后, 其中枢机能就很快趋向正常。

(2) 脑电阻: 无论是上升时间、转折高比值或者波幅大小均无明显改变, 说明在模拟条件下机体的脑血管弹性和血流量均无明显改变。

(3) 时间估价测验: 是一种视觉感受器——中枢——运动效应器的反射, 是反应人体高级神经系统判断分析能力的方法之一。实验证明, 在潜航期锻炼员的时间估差没有明显变化, 仅在潜航期第一个月负估差有轻度增加, 但随后即恢复。因此, 基本时间估价能力并没有受到影响。

(4) 潜操效率: 通过实验我们发现, 潜操效率与神经系统机能, 特别是情绪和精神状态有关。在潜航期间, 潜操效率一直处于不断增进的水平, 只是在第 77 天时课目的均衡时间突然延长。这种变化反映出锻炼员的情绪有某种程度的低下, 精力也不够集中, 由此也可说明, 当时神经系统有暂时性的疲劳存在。但是此种疲劳状态经过努力是可以克服和消除的, 实验结果证实了这种设想。此外, 某些环境因素对潜操效率的影响较为严重, 其中明显的是舱室温度, 当舱温在 33°C , 噪声在 85 分贝 A 时, 都显著干扰操作效率(课目的均衡时间延长)。同时也发现, 和其它因素比较, 在“战斗警报”条件下, 特别是在前 30 分钟内进行“正常下潜”课目训练时, 深度误差明显增大。但是, 随着潜航时间的延长, 操作越来越熟练, 深度误差也趋于减小。

(5) 数学计算及信号译码: 重点是观察三种噪声条件(85、92 和 96 分贝 A)对工作效率的影响。实验结果说明, 从 85 分贝 A 开始, 即对上述工作效率产生明显的干扰, 随着噪声强度的增加, 这种干扰作用似有增强的趋势。根据实验结果来看, 潜艇舱室噪声不宜高于 85 分贝 A。

(6) 数字划线及听觉短期记忆: 是一种判断视觉和听觉高级中枢分辨能力的方法之一。在潜航期间, 随着熟练程度的增长, 完成数字划线的价格也趋于减少, 只是在 60 天时, 所需时间明显延长, 以后又恢复正常水平。这一结果提示, 在 60 天时, 锻炼员由于中枢神经系统的某种疲劳状态, 使工作效率有一定程度的下降。听觉短期记忆, 在整个潜航期间只有某些波动, 但正确率都在 92~98% 范围内, 基本是稳定的(注: 数字划线的结果未作专题总结)。

2. 心血管功能的变化

(1) 安静时心电图: 未发现病理意义的变化, 在整个潜航期间, 仅观察到 R 波和 T 波电压有明显降低。返航后 15 天 R 波电压即恢复至潜航前水平, 但 T 波电压恢复较慢, 至返航后 30 天未完全恢复。

(2) 运动试验: 未出现运动试验阳性的变化, 但运动后 10 秒心率增加值随着潜航时间延长而逐渐增多, 到潜航 90 天达最大值, 比潜航前增加 14 次, 有显著差别。

实验结果说明, 在潜航期间心脏功能有所降低, 但返航可逐渐恢复, 未发现病理性的变化。

3. 呼吸功能的变化

实验选用了肺——一氧化碳弥散功能(简称 DLCO)、肺流速——气道阻力、呼吸频率、潮气量和每分钟通气量等肺功能指标来观察呼吸系统的变化。结果发现:

(1)在潜航期中DLCO有较明显下降,初步认为主要是由于每分钟通气量下降所引起,亦可能与肺毛细血管血流量降低有关。在返航后3天,DLCO即恢复正常。因此,由于肺泡组织损害而引起DLCO改变的可能性不大。

(2)肺流速——气道阻力无明显改变。

(3)低通气量者对二氧化碳反应较敏感,在潜航期中呈现典型的呼吸型,即潮气量增加而呼吸频率下降,但返航后恢复正常。

(4)在潜航期中,每分钟通气量明显下降,看来此种改变与人体活动受限、能量消耗减少有关。

4. 体温调节的变化

在不同的舱室温度下,研究了人体体温、皮肤电阻、心率、出汗量等的改变。

(1)在舱室温度25℃和27℃两种条件下,各种生理指标变化不大,锻炼员主观反应舒适,无偏冷偏热的感觉,无出汗和“闷热”感。

(2)与27℃相比,在30℃舱温下,上述指标均有明显改变,人体体温升高,皮肤开始出汗,皮肤电阻显著下降,皮肤温度升高,劳动时心率增加,躯干与肢端皮肤温差缩小。与此同时感觉偏热而不适,发汗并有“闷热”感。在33℃时上述变化更甚,并且出现额部冷刺激后皮温恢复时间延长,潜操效率下降等现象。

5. 视觉功能的变化

除少数人(2人)视力有所下降外,多数人主要表现为调节近点变远(60天后尤为明显,呈直线上升,90天达最高值),视效率减低。根据分析,上述变化主要有两方面的原因,首先是由于潜航期间视觉负荷较重,舱室照明不够均匀和个别部位照度不足所引起;另一方面又与整个中枢神经系统的功能状态有关,特别是在各种综合因素作用下,神经系统产生了一定程度的疲劳,致使视效率下降,眼的调节功能减退。

6. 听觉功能的变化

(1)听力有中等程度的下降(减低10~20分贝),主要损伤频段为500~4000周,以高频为主,气导与骨导的变化相一致,返航后15天可基本恢复正常。因此,主要属于噪声引起的暂时的感音性听力损伤。

(2)随着听力下降,外周分析器有异常的刺激后疲劳现象,表现出纯音刺激后听阈(3千赫)的明显增长,而且恢复时间较慢,至返航后30天才达正常水平。

(3)汉语语言测听结果表明,潜航90天后最大清晰度值下降(平均下降10%),可懂度阈增高(平均增加7分贝),但返航后15天均恢复。

(4)音调辨别阈的变化主要代表包括听觉中枢为主的整个中枢神经系统的功能状态。实验证明,在潜航期30天有轻度的上升,随后恢复且稳定,但在75~90天呈直线上升,最高值为潜航前的3.5倍。据分析,初期的升高主要是一种适应性的应激反应,而后期的升高反映了神经系统有累积性的疲劳存在。由此说明,音调辨别阈的改变不仅与噪声有关,而且也是与各种综合因素的影响分不开的。

(5)噪声辨别试验基本稳定,没有太大波动。结果表明,较单纯的辨别能力并没有受到影响。

(四)生化指标的变化

实验中测定的生化指标有:血像、碳氧血红蛋白、血液pH、 P_{CO_2} 、 P_{O_2} 、血清电解质

(Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 、 Cl^-)、血清谷草转氨酶(SGOT)、血清谷丙转氨酶(SGPT)、乳酸脱氢酶(SLDH)、血浆碱性磷酸酶、全血胆碱酯酶、白细胞吞噬作用、尿17-羟皮质类固醇排出量。

1. 血像、白细胞吞噬作用、血清谷草转氨酶、乳酸脱氢酶、血浆碱性磷酸酶、全血胆碱酯酶,在实验中未发现有意义的变化。结果说明,在实验条件下人体的造血机能、免疫机能及有关酶的活性水平是良好的。

2. 实验中碳氧血红蛋白含量稳定地保持在3~4%范围,其中包括溶解在血中的一氧化碳在内(溶解系数为0.58)。从这样的碳氧血红蛋白水平来看,舱内的一氧化碳浓度是比较适宜的。

3. 血液pH在潜航初期轻度下降,于16~45天回升至潜航前水平。随后再度下降,至75天达最低点,按10人平均值计算,下降约0.025 pH单位,个别入达0.055 pH单位。返航后15天血液pH恢复到接近正常。同一时期的血液 Pco_2 、 Po_2 和血清电解质也有相应地改变。这些变化指出,实验中的酸性气体水平较高,足以引起人体酸碱平衡和电解质分布的改变,甚至导致近1/3的人接近轻度呼吸性酸中毒的程度。然而,通过人体的代偿性调节机制,所有的变化均在返航后一个月内完全恢复。

4. 实验中40%的人血清谷丙转氨酶一度高于正常,个别入升高后的恢复时间亦明显延长。这种变化反映了在多种气体的复合作用下,对机体肝细胞的通透性有轻度影响。但是,上述改变于潜航中能自行恢复。

5. 潜航45天后,尿中17-羟皮质类固醇的排出量明显增高,并一直稳定地维持在较高水平,直到返航后12天才恢复正常。这种肾上腺皮质活性增强的现象,反映机体在环境因素的作用下,存在着持续的应激状态。

(五) 营养调查及实验分析

1. 营养素摄入量:根据膳食调查计算,平均每人每日摄取的营养素量如下:

热量	2858—3498千卡	磷	1216—1433毫克
蛋白质	82—90 克	铁	21—26 毫克
脂肪	94—101 克	胡萝卜素	1.08—1.83毫克
糖	405—574 克	维生素甲*	8301—9200国际单位
钙	490—557毫克	维生素乙 ₁ *	3.4—3.6 毫克
尼克酸*	32—35毫克	维生素乙 ₂ *	4.8—5.2
抗坏血酸*	125—136毫克	维生素乙 ₆ *	3.3—3.9 毫克

(*:包括强化麦乳精中的维生素量)

2. 热能消耗与体重变化:按生活观察表计算,热能消耗每人每日为2952千卡,体重在潜航期一直增长,在75—90天稍有下降,但90天时平均体重较潜航前增长2.54公斤。

3. 食用本套食品的蛋白质消化吸收率为81.4%。

实验结果表明,食用本套食品,其热量、脂肪、糖、磷、铁、维生素甲、乙₁、乙₂、乙₆、尼克酸、抗坏血酸等能满足模拟条件下人体的需要。蛋白质的质量较好,动物性蛋白质占47%,摄入量基本能满足需要,热量来源分配的比例也是适宜的。

根据调查,锻炼员对本套食品并不感到过分单调。食品贮藏90天后,质量仍良好,用电灶烹调一般反映尚好。

(六) 给水分配方案的实验观察

实验供应的淡水是新鲜自来水,水质符合国家饮水标准。在使用中,锻炼员未因水质不良而引起有关疾病或不快感。

根据实验结果,初步看来供水量以每人每日35升较为适宜,其中10—12升为饮用水,23—25升为洗涤水。

(七) 体育锻炼对增强体质的作用

在90天实验过程中,共进行61次锻炼(即61个锻炼日),每次锻炼时间为30分钟。通过锻炼可明显看出,人体生理机能得到了改善,体质获得了增强。

1. 体格的发展:10名锻炼员中多数是青年人。在90天实验中,由于坚持了体育锻炼,他们的体格都得到了相应的发展。例如,除3人外,7人的身高都增长了0.5~1.2厘米;体重有10人平均增长2.54公斤,其中只有2人下降(约1公斤左右);肩宽除1人外,都增加了0.5~2.0厘米;安静时胸围增加5.1厘米,左、右臂围增长2.05和1.75厘米,左、右大腿围增加2.60和2.65厘米(均为平均值)。

2. 心血管功能:按联合机能试验反应类型划分,在潜航前正常反应者6人,紧张性增高反应3人,无力反应1人,但返航后的测定表明,10人均为正常反应型。

3. 身体素质的变化:肌肉力量明显提高,左、右手握力增加了0.5~10.5公斤,只有1人左手握力变化不大;背力除1人下降,2人不变外,其余人增长32—38公斤;腿力除1人下降外,其余9人提高了3~97公斤;反映速度素质的100米短跑,10人全部提高,比原来减少0.6~2.0秒。其它素质指标,如立定跳远、引体向上、20次上下踏橙、20次立卧撑等都有显著提高,只有3000米长跑略有下降,但统计学处理无显著性。

(八) 被装的卫生调查

1. 背心、短裤穿着4~7天后,有轻度发黑和汗酸味,8~10天则汗酸味加重,且主观感到发潮、发粘,穿着不适。在90天过程中,4~10天换洗的人次占72%。

2. 工作服主要为环境物质污染而脏,如果16~30天换洗一次,则有明显发黑、发粘和轻度汗味。

3. 床单、枕套在使用30~60天后由发黄变成发黑,汗味增大。

四、模拟实验结果的评价和建议

(一) 90天模拟潜航中艇员的耐力

90天模拟实验,是在我所前两次实验的基础上进行的,它进一步模拟了我国核潜艇的若干实际条件,具有较好的代表性。当然与实艇航行仍有一定程度的区别,如艇员的精神紧张情况、作业性质、劳动强度、作息制度、振动摇摆、晕船等综合条件,均较之本次模拟实验中的若干条件为复杂。因此模拟实验旨在解决影响核潜艇艇员耐力方面的若干基本问题。

艇员的耐受力是构成战斗力的一个重要因素,所以,我们始终重视政治思想工作,强调模拟实验的科学性和严密性,从而取得了必要的数据与较好的结果。实验说明参照本次模拟条件,加强相应的卫生医疗措施,艇员的健康状况基本是好的,各项测定指标多在正常生理范围内波动,未出现病理的或器质的改变。实验表明,创造适宜的作业条件和生活环境,包括控制舱内常见气体的浓度,充分实施艇员营养、给水、被装、个人卫生及居住性方面的卫生保障,返航出舱后经一个月的休息疗养,积极进行体育锻炼,锻炼员各项生理功能即或有一时性的变化,但是大多数能够在较短时间内(一个月左右)相继恢复,航行中的疲劳也可以逐渐得到消除。

但是,从人体耐受力这一概念出发,还必须具体分析实验中各项指标的变化,如心血管功能减退,听力下降,视力调节机能降低,操作效率下降和血液指标的某些改变等。这些变化多在30~45天开始出现,75~90天达最高值。锻炼员的主观疲劳感,在时间进程上同实验指标的变化基本是一致的,并显示出一定的规律性。可见,随着潜航时间的延长,人体机能确有一定程度的降低,在60~70天以后,许多神经——体液系统方面的指标反应了机体疲劳的累积和发展,人体主观疲劳亦有增强和加重的趋势。为此,对本次实验的结果,分别作如下的进一步讨论,以求阐明核潜艇密闭舱室诸因素对艇员健康和耐力的影响,以便改善舱室环境及提供卫生预防措施,保障核潜艇部队的健康和增强战斗力。

(二) 13种常见气体的容许浓度

在实验中,锻炼员的基本健康状况良好,脑力和体力活动正常,所有生理生化指标的变化均在潜航期或返航出舱后一个月内相继恢复。这说明包括气体在内的模拟环境因素对维持人体90天内的正常功能基本上是适宜的。

然而,生理生化指标的变化,反映了实验条件对机体确有一定程度的影响。其中如上呼吸道粘膜刺激感,眼结膜充血,血液pH降低,血液 P_{CO_2} 升高,血清电解质和谷丙转氨酶的暂时改变等,同实验中的酸性气体和刺激性气体的关系比较密切。上述指标变化的程度,已接近临床意义的界限。虽然较快的恢复,但对敏感的个体或在实艇潜航中环境因素更加复杂的情况下,影响就可能更为明显。因此,对有关气体的浓度必须作适当调整,以减少刺激性感觉和有关指标的变化。

多种气体的复合效应,加上噪声、高温等物理因素综合作用的研究,国外虽有宇航和潜艇应用方面的研究报导,但至今尚无统一的规律可循。本实验的结果,又一次为我国潜航综合条件下气体容许浓度的制定提供了参数。根据本次实验的结果,并考虑到实艇潜航的实际环境建议对13种气体容许浓度的控制上限调整如下:

编号	化 合 物	分 子 式	容 许 浓 度	
			P. P. m	毫克/米 ³
1	氧	O ₂	19~21%	
2	氮	N ₂	如大气	
3	二氧化碳	CO ₂	0.8%	
4	一氧化碳	CO	15	17.2
5	总 烃	C _x H _y	10	
6	二氧化氮	NO ₂	0.2	0.38
7	氯	Cl ₂	0.05	0.145
8	二氧化硫	SO ₂	0.2	0.52
9	乙 醇 胺	HOCH ₂ CH ₂ NH ₂	0.4	1.0
10	丙 烯 醛	CH ₂ CHCOH	0.05	0.115
11	氯化氢	HCl	0.47	0.7
12	氨	NH ₃	1.0	0.7
13	硫化氢	H ₂ S	0.05	0.07

(三) 噪声

本次实验是采用09—1艇主机舱的录制噪声。声强和频谱都具有较广泛的代表性。结果指出,110分贝对人体有明显影响,而90~100分贝在实验中暴露的时间虽只占14.1%,但对人体听觉功能仍有一定的影响。在90分贝条件下(相当于85分贝A),数学计算、信号识别及潜操效率即开始下降。因此,我们建议,潜艇舱室噪声一般应控制在85分贝A以下。如果某些舱室、战位的噪声较高,也应在暴露时间上加以严格控制。根据本次实验的观察,在4小时值更中,110分贝(109分贝A)不得超过半小时,100分贝(96分贝A)不宜超过1小时,95分贝(92分贝A)不宜超过1.5小时,90分贝(85分贝A)不宜超过2.5小时,下更后应脱离上述强噪声环境,在低噪声(生活舱)下休息和睡眠,其噪声水平上限不应高于83分贝(70分贝A)。

(四) 微小气候

实验结果指出,工作舱(包括生活舱)的空调温度控制在25~27℃是适宜的,其上限不致引起人体出汗、闷热感,可防止以发汗为主的散热形式,并保持体温调节在血管调节舒缩区范围内。根据实验结果和卫生学要求,考虑到核潜艇的空调设计能力,建议温度在 $28 \pm 1^\circ\text{C}$ 相对湿度在 $60 \pm 5\%$,风速在0.3米/秒以下,作为核潜艇工作舱(包括生活舱)的适宜上限;动力舱室不应超过35℃,相对湿度维持在 $50 \pm 5\%$,与工作舱之间的温度差不应大于10℃。

(五) 照明

本实验中,工作台或学习桌面的照度较高(125~250勒克司),但舱室照度不够均匀。工作舱为40~90勒克司,生活舱的下层铺位仅有11.5勒克司。实验发现锻炼员的调节近点变远,视效率下降以及少数人视力减退。可见,由于照明不够均匀,人体的视觉功能经常处于紧张的调节之中。为此,建议在潜艇仪表和视负荷较大的战位,照度应高一些,最好在150~200勒克司,一般不应低于100勒克司,舱室照度力求均匀,以50~70勒克司为好。

(六) 营养

实验中的营养状况基本上是良好的,根据锻炼员尿中排出维生素的水平和对食物品种的反映,建议在远航食品中强化补充的维生素量,每人每日每分不应低于:

维生素甲	8000国际单位
维生素乙 ₁	2.0 毫克
维生素乙 ₂	2.5 毫克
维生素乙 ₆	2.0 毫克
菸酰胺	20.0 毫克
抗坏血酸	100 毫克

在潜航后的恢复期中,仍应供给充裕的维生素。为增进食欲,保证营养,对下一步现场试验的食品配备,建议作如下调整(每人每天量)。

食 物 名 称	原定量 (克)	建议量 (克)	食 物 名 称	原定量 (克)	建议量 (克)
牛 肉 干 罐 头		10	水 果 罐 头	378	250
酸 辣 菜 罐 头	25	20	强 化 麦 乳 精	15	30
什 锦 菜 罐 头	10	5	强 化 咖 啡	12.5	
雪 里 红 罐 头		10	白 糖	25	30