

□ 站内搜索 □

请输入查询的字符串:

==> 综合查询 <==

标题查询 内容查询

查询

重写

行业动态

政策法规

救捞技术

学会活动

水下技术

海工技术

综合技术



中国救捞学会

学会文章

€ 自动滚屏 (右键暂停)

饱和潜水生理学研究的新进展

发布时间: 2004-9-19 9:36:37 被阅览数: 2049 次

海军医学研究所 杨涛 张剑 肖卫兵 方以群

在饱和潜水概念提出之前, 通常使用的常规潜水除了一部分不减压潜水外, 其共同特点是: 水下作业时间较短, 减压时间很长, 工作效率很低。随着潜水深度的增加, 这种矛盾越明显。1957年美国的 Bond 提出: 潜水员在高气压下长期暴露, 体内各组织体液中溶解的惰性气体或中性气体达到完全饱和的程度, 在此基础上, 只要压力(深度)不变, 无论暴露时间如何延长, 其减压时间是相等的, 这种潜水方式称为“饱和潜水”。潜水员在饱和深度经过多次出潜或巡潜作业, 直至任务结束, 通过一次饱和减压, 即可返回常压, 因而大大地提高了潜水作业效率。潜水医学专家一致认为, 要想在大深度有足够时间进行有效的作业, 不论从安全角度, 还是从作业成本评价, 都必须采用饱和潜水技术 [1]。目前, 饱和潜水技术日趋成熟, 已应用于海洋开发和大深度救捞作业中。饱和潜水过程中, 机体长时间处于高气压应激状态。国内外在饱和潜水生理学方面做了较多的研究和探索。本文就近十年来这方面的进展作一综述。

• 神经系统及精神心理方面

大深度氮氧饱和潜水中潜水员的神经症状主要有震颤、眩晕、睡眠障碍、疲劳及精神紊乱等, 突出表现为高压神经综合征 (HPNS)。高压神经综合征是限制下潜深度和加压速度的一个主要因素。近年来围绕 HPNS 有一些研究。饱和潜水对脑电图的影响主要有前额叶 θ 波 (4~7Hz) 增多 [2], 其他变化有 δ 波平坦、 α 波减少及 α 波的波幅降低等。高气压下脑电图异常是一种暂时的、可逆的脑功能紊乱表现 [3]。饱和潜水员的脑和脑干 MRI 成像检查无异常变化 [4]。肖卫兵等采用微透析技术在高气压下采集小鼠脑细胞外液观察到, 在足以产生 HPNS 的氮氧高压环境中, 脑细胞外液中谷氨酸浓度是增加的。中枢神经系统功能随脑细胞外液中谷氨酸浓度升高而扰乱, 是导致高压神经综合征的一个原因 [5]。

听觉方面, 在 300m 氮氧压力下对高频如 6000、8000Hz 声响的听觉敏感度增高, 而低频如 500、1000、2000、3000、4000Hz 的听阈与常压下相比无明显变化 [6]。

Todnem K 等的研究提示有过中枢及周围神经系统功能失调的潜水员不宜从事深潜水作业 [7]。并且还认为多次大深度饱和潜水可能会对神经功能产生远期影响 [8]。

饱和潜水条件下, 潜水员睡眠总时间减少, 睡眠潜伏期延长, 睡眠过程中苏醒频率增加, 尤其在饱和停留和减压期间较为显著, 主要原因被认为长期处于高压密闭应激环境及减压过程对睡眠的影响, 但潜水员基本睡眠模式并无不良变化 [9, 10]。Ozawa K 等的 200m 氮氧饱和潜水研究中, 潜水员主观反映睡眠时间减少, 睡眠质量显著下降, 但睡眠质量记录仪显示, 潜水的各阶段, 快速眼动睡眠的持续时间、快

速眼动和无眼动睡眠的周期没有变化[9]。睡眠受到影响也被认为是减压出舱后潜水员普遍疲劳感的原因之一 [10]。

机体长时间处于高气压密闭环境中，易出现精神心理问题。Logie RH 研究了氮氧模拟 660m 饱和潜水对潜水员心理的影响，对运算能力、语法分析、知觉速度、空间能力、数学类似、语义处理等六个方面进行了测试。结果显示，在最大深度时，以上认知作业能力测试成绩都有显著的下降，但与睡眠质量好坏不相关；在减压过程中认知能力又逐渐恢复 [11]。潜水员的心理健康、认知能力等各方面直接影响潜水作业的工效，饱和潜水作业本身也会对潜水员的心理产生影响。因此，确定适合饱和潜水作业的心理素质，选拔合适的潜水员，以及针对其职业特点采取的相应的心理训练方法等方面的研究，也越来越受到重视。

• 生殖系统

Aitken RJ 等的研究首次报道了大深度饱和潜水对潜水员生殖功能的影响。4 名潜水员在 460m 压力下呼吸氮氧混合气生活工作了 7 天，高压下共暴露了 33 天。其中 3 名潜水员于进舱前 4 天、进舱后第 27 天（200m）、出舱后 1 天、出舱后第 48 天提供了精液样品；2 名潜水员于出舱后 210 天提供了精液样品。该研究主要检测睾丸的生精功能和精子的质量及受精能力。潜水员在高压下精子形态出现异常、浓度降低、活动精子百分率下降，出舱后第 48 天更为明显，到出舱后 210 天仍有异常；A23187 诱导的精子与卵母细胞融合实验结果显示高压下精子的受精能力低下，出舱后第 48 天更明显，仅其中 1 名到出舱后 210 天恢复到正常水平。该实验证明大深度饱和潜水对潜水员的生殖健康有一定影响，并提示可能会有长期效应 [12]。

• 内分泌及应激体系

较高气压密闭环境中以及出潜时的高气压低水温环境对于机体都是应激因素。大深度饱和潜水时，机体长时间处于应激状态，多个系统功能都会受到影响，这可能是饱和潜水后潜水员普遍反映疲劳的原因之一。Matsuo H 等用 Western blot 方法检测发现，在氮氧高压环境下，潜水员外周血中应激蛋白 HSP27、HSP72/73 升高，特别是在 400m 饱和停留深度最为显著，HSP 家族的变化可以作为定量反映饱和潜水时潜水员应激程度的一个指标 [13]。与加压前相比，血中 ACTH、FSH、睾酮、皮质醇含量经过饱和潜水出舱后都显著升高 [14]。

四、免疫体系

各种感染问题在饱和潜水过程中比较常见，处理的不恰当有时会终止该次饱和潜水。近年来国外对饱和潜水对免疫系统的影响进行了研究。Matsuo H 等报道了 400m 氮氧饱和潜水期间潜水员外周血淋巴细胞亚群的变化。他们通过高压暴露期间舱内抽血采样检测发现，CD4/CD8 下降，CD4+T 细胞分数下降，NK 细胞数增加，尤其在饱和停留深度较为明显。并认为这些变化可反映潜水员对饱和潜水的高压耐受能力 [13]。Shinomiya N 等观察到 440m 氮氧模拟饱和潜水中 B 细胞数升高，CD3+T 减少；这些 T 细胞中 CD4/CD8 在加压时及随后的高压暴露期间小于 1.0（正常时应大于 1.0）；尽管使用了外耳道炎的预防性药物，仍有一名潜水员外耳道有假单胞杆菌明显生长，显示出较高的血内毒素水平（10.2 pg/ml）。CD4+T 细胞分数下降可部分解释大深度饱和潜水时潜水员对微生物感染的抵抗力下降 [15]。

Steven DM 等在 303m 氮氧饱和潜水中检测了潜水员的外周血补体水平，发现高压下 C3a、C5a 升高，并对出现高压神经综合征和 I 型减压病的潜水员的检测结果进行了分析，发现加压时 C3a、C5a 升高的水平与高压神经综合征的出现不相关，而减压时 C3a、C5a 升高的水平与减压应激和 I 型减压病有相关性 [16]

在非特异性免疫系统方面，嗜中性粒细胞是在抵御外来微生物入侵时起重要作用。Benestad HB 等通过用细菌肽类似物 FMLP 等刺激观察嗜中性粒细胞的适应性反应，认为长期高压暴露下，嗜中性粒细胞对皮肤感染或其它感染的抵抗力可能有所下降 [17]。

Shinomiya N 认为饱和潜水时潜水员的外耳道感染不易恢复与高压环境及机体局部免疫功能下降有一定关系 [15]。Ahlen C 等报道，挪威北海饱和潜水作业中绿脓杆菌感染是最常见的皮肤问题，他们做了一个回顾性研究，用脉冲场电泳法（PFGE）对 10 余年收集的 1000 多个隔离菌种的基因型进行了分析，揭示以往认为的潜水员之间的传播并不是感染频繁发生的主要原因，而加压舱室（比如舱壁、舱门把手等）污染则是微生物感染的主要媒介，并认为防控工作非常重要，提出要求做好潜水设备系统的消毒灭菌等卫生学工作 [18]。在这方面，国内外有一些探索，Schane W 曾提出过一些措施 [19]。

五、泌尿系统

高气压下潜水员会出现利尿现象，尤其在夜间较明显。Park YS 等研究了饱和潜水（30~495m）对肾功能的影响。饱和潜水期间肾小球滤过率无明显变化。尿液中尿素、 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、无机磷的排泄量显著增加。利尿作用伴随着尿液渗透压的显著降低。尿液渗透压降低主要由于水的重吸收减少，水的重吸收减少与非显性失水减少及 ADH 系统受抑制有关。醛固酮增加、不渗透性阴离子 Pi 的排泄引起远曲小管 K^+ 的易化分泌是 K^+ 排泄量增加的原因。醛固酮系统的激活部分是由于早期高压利尿作用引起机体的瞬时脱水。这种情况下， Na^+ 排泄量增加则显示在近端小管 Na^+ 的主动转运受到了抑制 [20、21]。在 450m 氮氧饱和潜水时，加压到 300m 时，尽管液体摄入量减少，仍出现明显的利尿作用。饱和和停留期间，利尿作用较加压时有所降低，但比加压前仍显著增高。尿液中 ADH 含量在加压过程中升高。加压结束后，尿液中 ADH 含量很快降低，这与尿液渗透压降低有相关性。排尿量与尿液中的 ADH 含量负相关，而与 ANP 含量显著正相关。高压下尿中 ANP 含量在夜间增加较明显。ANP 在高压暴露早期利尿作用中起重要作用 [21，22]。

六、循环系统及血液

680m 氮氧饱和 -701m 巡回潜水实验中，典型的心动过缓在加压开始后很快出现，在随后时间里又逐渐适应。ECG 监测显示，P-R、QRS、Q-T 间期及 S-T 段均无显著变化。QRS 轴保持稳定。而 P、T 向量角右转 [23]。Yamazaki F 认为高压下出现心动徐缓，主要由于副交感神经活动增加，交感神经活动下降引起 [24]。心动过缓是高气压作用的结果，不受呼吸气体成分和深度影响 [25]。Matveev G 等的实验中，潜水员在 100m 饱和潜水减压出舱后出现心动过速（90~108 次），持续了 24h [26]。Stuhr LE 等对有 15 年潜龄的饱和潜水员 Doppler 心音图检查发现心脏大小、重量、收缩舒张功能均在正常范围 [27]。

18m 空气饱和潜水后，血小板、凝血因子 I、X、XII 减少。40m 氮氧饱和潜水对凝血酶的合成无明显影响。Domoto H 的实验中，饱和和停留时、减压过程中及出水后血小板数目下降，与停留深度和潜水持续时间不相关，减压出舱后一周内均恢复至潜水前水平，并没有引起明显的临床问题，其机理尚不清楚 [28]。

• 呼吸系统

Thorsen E 等的研究发现，310~460m 氮氧饱和潜水一年后潜水员的用力呼气量 FEV1.0 和用力呼气流速仍显著减弱，认为大深度饱和潜水对肺功能有长期的影响 [29]。他们在持续 28 天的 25m 氮氧饱和潜水实验中，研究了高氧对呼吸功能的影响。发现 TLCO 在饱和潜水后降低，并认为与肺活量相比 TLCO 是反映氧中毒更为敏感的指标；小气道功能不良也主要由于高氧毒性损伤；高氧、高气压及静脉微小气体栓子与是饱和潜水后肺功能下降的原因，也是饱和潜水后对肺功能长期影响的原因 [30，31，32]。俄罗斯的 Semko VV 等规定了 360~510m 饱和潜水作业的氧分压上限 [33]。

高气压下样本采集方法也有一些发展,国外饱和潜水时潜水员在高压下抽血 [13,15,16]。由于有创伤性,国内较少采用。国内有人在动物实验中用微透析法在加压舱内采集小鼠脑细胞外液 [5]。Djurhuun s R 等分别将人肺成纤维细胞、小鼠胚胎成纤维细胞长时间直接暴露在高压高氧环境下,研究高氧分压和高气压对细胞增殖的毒性影响及对细胞谷胱甘肽的影响 [34,35]。

近年来关于饱和潜水的减压理论的研究较少,这方面未见出现突破性的进展。动物及人体实验研究中,高气压下的全程、动态的监护记录资料也很少。有的研究反映了某些指标的变化,没有对其机理进行深入的研究。以往的研究多是关于高气压对机体系统或器官功能的影响,近年来细胞分子生物学发展迅速,研究手段也不断进步,为研究高气压下细胞功能的变化、从细胞和分子水平揭示高气压对人体影响的原因提供了技术基础。随着海洋开发向大陆坡更大深度发展的需要,对预防和克服高压神经综合征方面仍须关注。饱和潜水对机体的远期影响、饱和潜水员的心理学问题以及机体对高气压的应激适应能力等方面的研究还需进一步加强,从而完善饱和潜水员的安全防护措施,提高饱和潜水作业工效,做好饱和潜水的医学保障工作。

参考文献略

- 龚锦涵 . 大力加强饱和潜水医学保障技术的研究 . 中华航海医学与高气压医学杂志, 2002,9:5-6.
- Lorenz J, Lorenz B, Heineke M. Effect of mental task load on fronto-central theta activity in a deep saturation diving to 450 msw. Undersea Biomed Res, 1992,19(4):243-262.
- Shi ZY, Zhao DM, Mei XH, et al. The influence of N₂-O₂ and He-O₂ saturation diving on electroencephalogram of human bodies. Sci China B, 1989,32(12):1436-1438.
- Todnem K, Skeidsvoll H, Svihus R, et al. Electroencephalography, evoked potentials and MRI brain scans in saturation divers. An epidemiological study. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1991, 79(4):322-329.
- 肖卫兵, 冶建宏, 张振炜, 等 . 4.6MPa 氮对大鼠脑细胞外液谷氨酸含量的影响 . 中华航海医学杂志, 1999, 6(2):111-114.
- Mendel LL, Knafelc ME, Cudahy EA. Hearing function in a hyperbaric environment. Undersea Hyperb Med, 2000,27(2):91-105.
- Todnem K, Nyland H, Kambestad BK, et al. Influence of occupational diving upon the nervous system: an epidemiological study. Br J Ind Med, 1990,47(10):708-714.
- Todnem K, Nyland H, Skeidsvoll H, et al. Neurological long term consequences of deep diving. Br J Ind Med, 1991,48(4):258-266.
- Ozawa K, Hashimoto A, Oiwa H. Psychophysiological in sleep during simulated 200-m heliox saturation dives. Undersea Biomed Res, 1991,18(5-6):397-412.
- Seo Y, Matsumoto K, Park Y, et al. Sleep patterns during 20-m nitrox saturation dives. Psychiatry Clin Neurosci, 1999,53(2):125-127.
- Logie RH, Baddeley AD. A trimix saturation dive to 660 m . Studies of cognitive performance, mood and sleep quality. Ergonomics, 1983,26(4):359-374.

• Aitken RJ, Buckingham D, Richardson D, et al. Impact of a deep saturation dive on semen quality. *Int J Androl*,2000,23(2): 116-120.

• Matsuo H, Shinmiya N, Suzuki S. Hyperbaric stress during saturation diving induces lymphocyte subset changes and heat shock protein expression. *Undersea Hyperb Med*,2000,27(1):37-41.

• 郭明珠, 练庆林, 孙学军, 等. 氮氧 140m 饱和 -166m 巡回潜水时潜水员应激反应的观察. *中华航海医学与高压医学杂志*, 2002,9: 13-15.

• Shinomiya N, Suzuki S, Hashimoto A, et al. Effects of deep saturation diving on the lymphocyte subsets of healthy divers. *Undersea Hyperb Med*,1994,21(3): 277-286.

• Steven DM, Gartner SL, Pearson RR. Complement activation during saturation diving. *Undersea Hyperb Med*,1993,20(4): 279-288.

• Benestad HB, Hersleth IB, Hardersen H, et al. Functional capacity of neutrophil granulocytes in deep-sea dives. *Scand J Clin Lab Invest*,1990,50(1): 9-18.

• Ahlen C, Mandal LH, Iversen OJ. The impact of environmental pseudomonas aeruginosa genotypes on skin infections in occupational saturation diving systems. *Scand J Infect Dis*, 2001,33(6): 413-419.

• Schane W. Prevention of skin problems in saturation diving. *Undersea Biomed Res*, 1991,18(3): 205-207.

• Park YS, Claybaugh JR, Shiraki K, et al. Renal function in hyperbaric environment. *Appl Human Sci*, 1998,17(1): 1-8.

• Tao HY, Chen HJ, Zhang H, et al. Urinary ANP, ADH, and electrolyte excretion during saturation-excursion diving to pressures equivalent to 250 and 300 m. *Undersea Biomed Res*, 1992, 19(3): 159-169.

• Goldinger JM, Hong SK, Claybaugh JR, et al. Renal responses during a dry saturation dive to 450 msw. *Undersea Biomed Res*, 1992, 19(4): 287-293.

• Lafay V, Barthelemy P, Comet B, et al. ECG changes during the experimental human dive HYDRA 10(71 atm/7,200 kPa). *Undersea Hyperb Med*,1995,22(1): 51-60.

• Yamazaki F, Shiraki K, Sagawa S, et al. Assessment of cardiac autonomic nervous activities during heliox exposure at 24 atm abs. *Aviat Space Environ Med*, 1998, 55(7): 480-484.



• Ceamitru N, Badiu G, Teren O, et al. Study of heart rate of professional divers in hyperbarism during simulated diving in saturation diving in saturation with different respiratory mixture. *Rom J Physiol*, 1993,30(3-4): 179-182.

• Mateev G, Djarova T, Ilkov A, et al. Hormonal and cardiorespiratory changes following simulated saturation dives to 4 and 11 ATA. *Undersea Biomed Res*, 1990,17(1): 1-11.

- Stuhr LE, Gerdt E, Nordrehaug JE. Doppler-echocardiographic findings in professional divers. Undersea Hyperb Med, 2000, 27(3): 131-135.
- Domoto H, Nakabayashi K, Hashimoto A, et al. Decrease in platelet count during saturation diving. Aviat Space Environ Med, 2001, 72(4): 380-384.
- Thorsen E, Segadal K, Kambestad BK, et al. Pulmonary function one and four years after a deep saturation dive. Scand J Work Environ Health, 1993, 19(2): 115-120.
- Thorsen E, Kambestad BK. Persistent small-airways dysfunction after exposure to hyperoxia. J Appl Physiol, 1995, 78(4): 1421-1424.
- Thorsen E, Segadal K, Kambestad BK, et al. Mechanism of reduced pulmonary function after a saturation dive. Eur Respir J, 1994, 7(1): 4-10.
- Thorsen E, Segadal K, Reed JW, et al. Contribution of hyperoxia to reduced pulmonary function after deep saturation dives. J Appl Physiol, 1993, 75(2): 657-662.
- Semko VV, Lastochkin GI, Povazhenko AA, et al. The principles of oxygen standardization in artificial hyperbaric gas mixture during the prolonged stay of aquanauts at depths down to 500 m. Fiziol Zh Im I M Sechenova, 1994, 80(11): 71-75.
- Djurhuus R, Svardal AM, Thorsen E. Glutathione in the cellular defense of human lung cells exposed to hyperoxia and high pressure. Undersea Hyperb Med, 1999, 26(2) 75-85.
- Djurhuus R, Svardal AM, Thorsen E. Toxicity of hyperoxia and high pressure on C3H/10T1/2 cells and effects on cellular glutathione. Undersea Hyperb Med, 1998, 25(1): 33-41.

上两条同类新闻:

- 地下输水管渠长距离潜水探查作业的医学保障
- 海上140m氮氧饱和-160m巡回潜水对潜水员肺呼吸功能的影响

|  打印本页 |  关闭窗口

Copyright: China Salvage Association

版权所有: 中国航海学会救助打捞专业委员会 网站设计维护: 友情链接: 用心科技