

潜水生理学

人民軍醫社

1960·3

33K
14326

34398

潜水生理学

主 編

Е. Э. Герман

著 者

В. К. Абросимов, В. А. Алексеев, С. Е. Буленков,
Е. Э. Герман, Н. А. Зимкин, Н. Т. Коваль,
Б. В. Лазарев-Станицев, Н. А. Лапшин,
С. В. миропольский, И. И. Савичев

譯 者

207/569/21

范岳年
李候勋

韩国馨

董孝厚

樊锦涵

校 者

王德懂
刘忠权

曾宪英

董孝厚



人民軍

一九六〇年三月

內 容 提 要

这本潜水生理学原名特种生理学教科書(Учебник Специальной Физиологии)，系苏联海軍医学院 1955 年出版供該院學員用的教材。本書系統地闡述了在水下环境中人体生理过程的特征及潜水員特殊疾患的治疗及預防問題。特种生理学这个名称，过去我們是很少見到的，从字面上不易理解它的含义是什么，因此我們就采用了現在的名称。書中凡遇到特种生理学这一名詞时，均宜理解为潜水生理学。

潜 水 生 理 学

*

人民軍医社出版
北京五三五工厂印刷
总參謀部出版部發行

1960年3月第1版——第1次印刷

数字：258千

序 言

鑒于潜水作业及水下航行的現况，是要征服高深度，因而就要求海軍軍医必須能够熟練地实施潜水艇艇員和海軍防險救生人員的衛生保障。

海軍軍医必須对于这种处在异常的外界环境中的人体生理过程特征具有深刻的認識，必須善于采取各种必要的措施来預防和治疗潜水員及潜水艇艇員的特殊疾患。

很早以前人們就認為有必要把潜水員和潜水艇艇員劳动生理学方面的一切最新成就加以总结，但直到如今一直未做到。

現有的关于这方面的大量科学資料都是以論文、專著、条例和細則等形式散存着，而广大的海軍軍医也不可能随时随地获得这些材料。同时这种情况也使海軍医学院講授特种生理学發生很大困难，使做实际工作的海軍軍医們无法了解这一領域内的各种問題。

因此，由大批專家集体編写的特种生理学教科書的出版，就是非常适时的了。这本教科書的出版應該对于做实际工作的海軍軍医們在这門科学的深入探討上起到推动作用。这本书是供海軍医学院的學員們用的。

对于向編輯部提出批評意見和給予实事求是的指正的一切讀者，著者均将非常感謝。这将对本书再版时的修正工作，有極大的帮助。

目 录

| | |
|--|---------|
| 緒 論 | (1) |
| 第一章 潜水作业發展簡史 (Лазарев-Станицев Б.В.) | (5) |
| 第二章 現代潜水装具及其生理学特点 (Буленков С.Е. 及 Коваль Н.Т.) | (27) |
| 第三章 气体的主要定律和某些物理量 (Алексеев В.А.) | (47) |
| 第四章 高压对机体的影响 (Герман Е.Э 及 Алексеев В.А.) | (79) |
| 第五章 視分析器和听分析器在水中的功能特性 (Зимкин Н.А.) | (104) |
| 第六章 在高压下中性气体的麻醉作用 (Абросимов В.К.) | (123) |
| 第七章 中性气体在机体組織中的饱和和脫飽和 (Савичев И.И.) | (127) |
| 第八章 减压病 (Савичев И.И. 及 Герман Е.Э.) | (137) |
| 第九章 减压病 (Савичев И.И.) | (150) |
| 第十章 减压表的計算方法 (Савичев И.И.) | (178) |
| 第十一章 肺撕裂伤 (类潜水夫病) (Герман Е.Э. 及 Алексеев В.А.) | (192) |
| 第十二章 氧气缺乏 (Лапшин Н.А.) | (218) |
| 第十三章 二氧化碳对机体的影响 (Алексеев В.А.) | (228) |
| 第十四章 氧的毒性作用 (Миропольский С.В.) | (261) |

| | | |
|------|--|---------|
| 第十五章 | 潜水員的溺水和压榨現象 (Липшин Н.А.)..... | (287) |
| 第十六章 | 潜水員医学選擇的一般原則和潜水作业的 医疗保証 (Лазарев-Станицев Б.В.) | (295) |

緒 論

作為一門獨立學科的特种生理學，是由于對在異常環境中工作的人體生理過程進行研究的實際需要而產生的。

特种生理學成為一門獨立的學科以及其繼續發展，都是和海軍的實際需要關聯着的。

特种生理學的基本任務就是探討出科學的途徑和方法，以保障在不良的特殊環境中人們作業的安全，並採取措施以提高其工作效率。

特种生理學基本上是一門預防科學，因此它的使命首先就在於防止特殊疾患的發生與發展，並保障健康受到外界環境許多不良因素影響的海軍人員的安全作業。

由於黨和政府的關懷，我們的海軍正在不斷地壯大着。

新型戰鬥艦艇，新式技術兵器和新型裝備的利用，對於掌握和使用這些技術裝備的專業人員提出了特殊的要求。同時對人體可能造成異常的外界環境，因而就必須考慮到機體內生理過程的特點及機體對這些新條件的適應能力，制定出專門的工作制度。所有這些都給特种生理學提出了新的科學課題，而這些課題的解決就應該能促使海軍成員戰鬥力的提高。因此，海軍增長着的需要就在特种生理學面前不斷地提出一些需要科學地加以解決的新課題，從而使這一科學領域不斷擴大。

特种生理學是生理學的一部份，它必須充分依靠生理學，利用生理學的方法和生理學所積累起來的資料。只有在正確的方法論的基礎上，並且密切地聯系和創造性地運用巴甫洛夫生理學說，特种生理學才能得到順利的發展。

巴甫洛夫生理學說中關於機體內在環境與外界環境統一的基

本原則，关于机体完整性的概念以及承認中樞神經系統的協調和支配作用，尤其是大腦兩半球皮質对于所有生理过程的調节作用，乃是一些带有指导性的原則。特种生理学必須在这些基础上發展起来。

在發展的現阶段，特种生理学已經在潜水員和潜水艇艇員等專業人員的劳动生理学和病理学的研究方面积累了大量的資料。这些專業人員是在异常的外界环境中进行工作的，其特点是必須在水中，而且往往是在高压环境下，在吸入空气的气体成分显著改变的情况下，以及在許多其他不良因素作用之下来进行工作。

当然，首要的是必須研究在这种条件下工作时人体内的生理过程；而探討这些專業人員安全执行其作业的途徑和方法，以及防止当未考虑到人体某些生理特点和未遵守有生理学根据的作业制度时可能出現的病理状态的發生与發展，也是刻不容緩的。

特种生理学应在科学的基础上探討下列各項問題：

——潜水員安全地下潜至高深度的途徑和方法；

——延長潜水員在水下停留和作业的时间的可能性，以及安全上浮的方式；

——防險救生与輕潜水作业的生理学問題；

——潜水員及潜水艇艇員的特殊疾患的預防和治疗的方式与方法；

——改善潜水艇的居住条件以及保持其艇員高度战斗力的生理学措施；

——对于那些其实际活动所在的外界环境对其整个机体或个别系統有着高度要求的水面艦艇海軍專業人員，研究出有生理学根据的作业制度。

研究特种生理学的發展情况时我們可以看到，它和水下航行以及潜水作业的技术进展有着非常密切的联系。从水下航行和潜水作业發展的最初阶段开始，就在生理学面前不断地提出了新的要求，也就确定了生理学發展的特殊方向。

早在1729年“聖彼得堡新聞”上就曾經刊載過專門的科學論文“潛水員”。這是俄國在這方面的最初的科學著作，其中不僅指出了潛水事業的發展道路，而且也提出了研究長期停留在水下時人體生理現象的任務。這樣就必須研究人體在異常的環境中進行作業時的生理過程的特點。可見這一點早在潛水作業最初的萌芽時期就已明確地認識到了。

1882年於喀琅施塔得創立的潛水學校的醫生們的一些著作，對於特种生理學的發展給了很大的影響。舊俄的潛水醫生 Качановский, Храбростин, Есипов, Шидловский, Аннин 等在潛水勞動生理學和病理學方面所做的寶貴的科學研究工作，曾在各方面促進了我國潛水事業進一步的發展，並使潛水作業的安全技術得到了顯著的改善。當時我國的傑出學者 Н.И. Пирогов, И.М. Сеченов 和 В.В. Пашутин 等氏，在許多有關潛水勞動生理學和病理學最重要的理論問題方面的研究工作，也顯示了我國科學的優先地位。

偉大的十月社會主義革命後，不論是水下航行或潛水作業在我國都得到了極其迅速的發展。

1923年建立起來的統一領導潛水作業的機構——艦船打撈隊（ЭПРОН），使潛水作業生理學這一領域的科學研究工作得以有組織有計劃的實現。

應指出艦船打撈隊的主任醫師 К.А. Павловский 的卓越貢獻。在他擔任潛水醫生的多年活動中，對於許多特种生理學問題的發展給予了很大的影響。

為了解決潛水的衛生學、生理學和病理學問題，以及解決有關改善潛水艇居住條件的其他生理衛生問題而進行的科學研究工作的廣泛開展，與水下航行及潛水作業的發展有着密切的聯繫，而同時又促進了後者的發展。

深潛水衛生保障的生理學基礎，是已被蘇聯學者們順利解決了的基本問題之一。在 Л.А. Орбели 院士領導下的海軍醫生們，曾在這方面進行了大量的研究工作。

在探討預防氧氣中毒的問題上，以及研究高壓情況下氧氣毒性作用的機制方面，目前蘇聯的研究人員也獲得了很大的成績（如 С.И. Прикладовицкий, А.Г. Жиронкин 等氏），這就有可能使氧氣在潛水作業中得到更加廣泛的採用。

近年來，在 К.М. Быков 院士的領導下，正在對高壓對人體各種生理功能的影響方面進行着緊張的研究工作。

關於高壓對於血液系統、消化道的活動、腎功能、中樞神經系統以及機體其他功能的影響問題，已經獲得了一些重要的資料。對在高壓作用下血液循環的神經和體液調節機制方面的研究工作也有相當重要的意義。

現時，擺在特种生理學面前的最重要的任務，就是科學地探討在使用新式戰鬥武器條件下的潛水衛生保證問題。

由於其所執行的工作的重要性，以及要解決的問題的複雜性，水下航行和潛水作業的衛生保證事實上已成為醫學科學上、醫學理論和實踐中的一個廣闊而重要的部分了。

第一章 潜水作业發展簡史

从远古时代起，人們就渴望着洞察大海深处的秘密。在几千年的过程中，人們一直是在頑强地致力于控制水的自然力量，想使在水下停留的时间能够有所延長。正如其他各种手工艺、职业和技艺一样，潜水作业也是随着各个不同时期的社会物質生活需要而發展起来的。

由于国际之間貿易的發展，以及隨之而來的航海事業的發展，必然就引起了潜水員这种新型职业的出現。他們从事于檢查艦船的水下部份，堵塞船体破損之处，以及修理水下設備等工作。同时也还要做打撈沉沒在水下的物件、貨物和貴重物品的工作。

除此之外，潜水作业还有着独立的經營价值。例如捕魚、在淺水处采集珍珠和海綿、以及深水井的清除工作等，都由專業的潜水員来进行。

最早而又最簡陋的潜水方法就是潜泳。在那个时代还没有任何潜水技术装备。为了易于潜沉，最初使用的工具是石块，潜水員在潜沉前手中先抱块石头，由于石块本身的負浮力就可以使潜水員迅速地潜沉到較深的地方。如所周知，古代的潜泳者可以潜沉到 25—30 米的深处，并可在水下停留 3 分甚至 4 分鐘。

潜沉到这种深度时，潜水員的身体就要受到每平方厘米表面 3.5—4 个绝对大气压的水压。但是潜水員的身体并不会因为水柱的压力而被压缩，这是因为在潜沉时随着深度的增加，潜水員肺內的空气也被压缩，它的压力是和外面水柱的压力相等的緣故。

由于空气不能从外界进入，所以这种潜水方法只能保証潜水員在水下停留很短的一段時間（也就是潜水員能够閉住呼吸的最大限度的時間）。为了使这一段時間能够延長，潜水員就开始带

着气囊下水，气囊中吹满空气，并用管子联到潜水员的嘴里（見第1圖）。但是这种方法也不能使潜水员在水下停留的时间延長很久，因为气囊里的空气容量很小，而且在呼吸时囊中的 CO_2 含量会很快地增加， O_2 的含量則逐漸减少。



第1圖

潜泳作业是一种繁重劳动，因此只有身体非常健康和强壮的人才能担任。应当指出，虽然潜水技术装备在不断地發展，但是由于潜泳者的劳动报酬低廉，所以直到最近在采集珍珠方面还采用着这种方法。

另一种从很早以前就已知道的，而在原理上却不相同的潜水方法是使用管子来下潜。为了这个目的，通常都是使用蘆葦杆；潜水员把杆的一端衔于口中而潜沉入水，另一端則留在水面上。

在这种情况下，潜水員所呼吸的就是大气，而且在肺中也保持着一个大气压。这种方法可以保证潜水員在水下停留一段不太長的时间，此外，在这种条件下，潜沉只能潜到很淺的深度，因为潜沉深度每增加1米，水柱的压力就会增加0.1个大气压（76毫米水銀柱）。

大家都知道，呼吸肌群的力量可以克服的阻力約为100—110毫米水銀柱。当潜沉到水下2米深处时，在肺內維持一个大气压的情况下，要想使人能够克服水的压力而完成吸气动作，呼吸肌群的力量就会显示不足。当潜沉到胸廓下緣离水面1—1.5米深处时，就已經可以引起明显的呼吸困难了。由此可見，在两米深处，呼吸已成为不可能。此外，因为管子本身有着可使CO₂迅速蓄积的相当大的有害空間，因此通过管子来呼吸也終会發生困难。

所以上述潜水方法不能广泛地用之于采集珍珠、打撈沉貨以及履行其他需要潜水員潜沉到比較深处的工作。虽然如此，这种用蘆葦杆潜水的方法，古羅馬人还是曾經多次地用它来实施深度不大的水下隱蔽轉移。

在古希腊作家的作品中可以找到关于在工业中使用潜水員劳动的記載：

“从卡尔赫多宁（Кархедонян）群島迭洛斯（Делос）附近的海中，潜水員們撈起了两沙繩（сажень——俄丈，等于2.134米——譯者注）長的銅塊，Геракл（赫尔庫雷斯——希腊神話中的大力勇士——譯者注）把用这个銅塊塑造成的銅像豎立在法依涅依（Файней）”^①。在Плиний氏的著作中也提到了古希腊关于利用潜水員劳动的事情：

“在哈列克頓（Халекдон）沿岸一带有一个叫做迭莫涅斯（Демонес）的島，在那里利用潜水員来开采水下的銅矿”^①。

文中所提到的作品，都是2000年以前的事情了。

在我国（指苏联，下同），有关利用潜水的最初报导始于莫斯科俄罗斯时代。在古代年鑒中指出：普斯科夫（Псков）城的居

^① 引自P.A. Орбели氏的論文“水下銅矿”，“撈船”論文集第二集（30），內河艦队人民委员会1945年出版。

民會把預先用燒紅的鐵絲燒穿了的蘆葦杆銜于口內而潛沉在湖水及河水中以逃避納稅和服兵役。也提到过札波罗-哥薩克們为了完成水下隱蔽轉移并給敌人以突然襲击而使用过蘆葦。

流傳到現在的十七世紀文件中这样說：在国家的和寺院的魚場（即捕魚的企业）中，以及为了在河中布設堤壩和堤防會利用过潜水員的劳动。在这个时代以前，潜水劳动已成为一种职业。虽然潜水員的工作很繁重而且受着残酷的剝削，但潜水职业者却还是比从事其他职业的人員有着許多优惠。潜水員的報酬較高，并有酒喝，当不發酒时潜水員們常拒絕履行工作。

例如：在大主教 Иоаким 給沙皇阿列克塞·米哈伊洛維契的信中（1675年）說道：

“对于漁場來說沒有酒是不行的，因为潜水員們为了加固漁場、水道和涵洞，沒有酒就不下潛，因此阿斯特拉罕（Астрахань）漁場有时發生罢工現象，因而遭到很大損失，并且很紊乱”①。

十六世紀潜水鐘的發明，在潜水事业的历史上揭开了新的一頁。潜水鐘的使用，大大地增加了潜水員在水下停留的時間，而且也比潛泳以及潜水員用蘆葦杆呼吸的办法增加了可能潛沉的深度。

最初的潜水鐘是底部朝上的木質或金屬容器，下潛的潜水員就位在这种潜水鐘的下边（第2圖）。随着下潛程度的漸增，鐘內的水位就会不断上升，空气容积也就逐漸縮小而形成气墊。潜水員在这种潜水鐘內可以停留的時間是有限制的，不能超过30分鐘，因为气墊中 CO_2 会不断蓄积起来， O_2 的含量則逐漸减少，这就会迫使潜水員停止工作而上浮海面，加以潜水員的身体也不能抵抗水的低温作用，也会促使其在水下停留的時間不得不縮短。

1690年 Денис Папин 氏曾提出过利用風箱向鐘內压入空气的

① 引自 P. A. Орбели 氏論文“莫斯科俄羅斯的潜水員”，“艦船打撈队”論文集，№XVI—XVIII，1936。



第2圖 潜水鐘



第3圖 从水面压入空气的潜水鐘

办法（Палин 氏的这个想法在 100 年以后才得以实现）。由于向潜水鐘内通气，就大大地改善了工作条件，并延长了潜水員可以在水下停留的时间。但是，尽管是在潜水鐘通气的情況下，鐘内的工作仍然是極端不便的（如鐘内的高水位，潜水員的活动受限制等）。在水下作业的生产实践中这种潜水鐘大約使用了几百年（第3圖）。

俄国在十七世紀时即已广泛地采用了潜水鐘。彼得一世时期俄国海軍的建設及其繼續發展，提出了广泛利用潜水作业的要求。从十八世紀开始，在海軍中就有了編制內的潜水員，他們執行着檢視及修理船体水下部份的工作。

1708 年，Волков 氏的名为“在河水中自由通行的方法……”

一書問世。在該書中提到了关于“如何用炸藥来炸毀桥梁，以便把金屬潜水鐘內的潜水員潜送下水，使之系上貨物并將它从水中撈出”的方法①。

1719年，俄国的自学發明家，莫斯科附近波科罗夫斯基村的农民 **Ефим Никонов** 在世界上第一次提出了自动潜水服的想法。潜水員穿着这种潜水服可以从專門制造的“隱蔽船”（即原始型潜水艇）中走出，以便从水下来破坏（凿穿）敌船。

Никонов 氏曾这样描述过他所設計的潜水服②：



第4圖 **Ефим Никонов** 的潜水服

① **В.П.Максименко**：“潜水作业在俄罗斯的發展簡史”手稿。

② **И.А.Выховский**：“俄罗斯的潜水能手”，海軍文集，№8，1950。

“为了在船下的水中活动，每人必须有黑柔皮做成的坎肩及裤子，而在头上戴一个包镶着皮革的木桶，在木桶上对着潜水员眼睛的地方开一个小窗孔，再用铅片及马鬃把小孔包饰着，此外把重量匀称的铅块或沙袋系在背上以作负荷，当这一切准备就绪后，为了检查和焊接艇还应有特殊的工具，关于这些工具我已为之列出了一个清单”（第4图）。

Никонов 氏的想法未能得到实际上的采用。按照他的设计而制造的木制“隐蔽船”在试验时毁坏了。彼得一世死后，Никонов 未能再继续自己所从事的工作，但是他所创造的潜水服却是保障潜水员能在水下不用潜水钟而自由活动的最初尝试。他所建议的“为了在水下活动”的服装就是现代潜水服的雏型。

1729年，在“圣彼得堡新闻”上发表了一篇论文——“潜水员”，其中阐述了关于在“希腊海”潜水员们为了采集海绵而使用的一种新型潜水装具。

很显然，这里所指的就是从水面通气的潜水钟。在这篇论文里还提到必须研究与人体潜沉至各种深度有关的生理现象。

从1730年开始，就把各国（特别是瑞典）所规定的、有关潜水员进行水下作业方面的个别规则和条例陆续地译成了俄文，并有一些个别规则曾以法令的形式颁布。

1763年，在彼得堡曾经出版过“在潜水作业及打捞水中货物时应遵守的制度通报”。

在这个文集中也指出了进行水下作业时使用潜水钟的潜水规则。

1797年，Клингерт 氏曾经提出了一种固定在金属罩边缘上的、用防水布制成的潜水服（第5图）。为了保障潜水员的呼吸，设有两条带吸入阀和排出阀的皮管。为了造成潜水员的负浮力，规定有4个重荷。但是当潜水员在这种装具中下潜到1.5米深处时即已感到呼吸困难，到3米深处时已不能呼吸。值得注意的是在这种 Клингерт 氏装具中使用了吸入阀和排出阀，它们在后来的各种类型潜水装具中都得到了广泛地采用。