

投稿類別:體育類

篇名:

「潛」所未聞——你不能不知道的自由潛水

作者:

李慈。臺中市立西苑高級中學。高三 8 班

葉育甄。臺中市立西苑高級中學。高三 8 班

指導老師:

宋武修老師

壹、前言

一、研究動機

近年來越來越多人開始接觸戶外活動，而潛水也越來越受到大眾喜愛，進一步發現到一種近年來在國內興起且特別受外國人歡迎的運動——自由潛水，2011 - 2016 年間，全球性潛水組織（AIDA）新註冊人數更是突破 28000 人。其中，輕巧簡單的配備有別於我們對潛水運動的既定印象，然而，褪去沉重配備取而代之的是更加艱鉅的挑戰。

捨棄極為負擔的氣瓶，自由潛水依靠人類肺活量決定下潛時長，因此，潛水員一再突破自我極限，吸引我們想探討其訓練方式與於下潛中生理狀態的改變，探詢其擁有過人肺活量之成因，並比較人類與其他水生哺乳類動物的下潛時長的差異，找出造成兩者生理表現不同的原因。最後深入了解自由潛水是否如傳言所說般危險，並從中尋找自由潛水隱含風險與可能致死因素。

二、研究目的

- （一）了解如何增長水中閉氣時間。
- （二）剖析自由潛水過程中生理變化。
- （三）比較哺乳類動物水下閉氣時長。
- （四）認識自由潛水隱含風險。

貳、文獻探討

一、自由潛水的定義

自由潛水與水肺潛水最大差異在於：前者只利用一次憋氣下潛至海裡，無後者繁瑣沉重的裝備，如氣瓶、BC、配重鉛與二級頭等，相較之下自由潛水具有精簡與方便之優點，對於大眾接受程度較高。

二、憋氣訓練：

「當二氧化碳濃度超過人體可負荷程度時，腦幹會對橫膈膜發出收縮訊號，使停止呼吸狀況被迫中止，此臨界點稱為中斷點」（Micheal J.Parkes，2012），因此延長中斷點發生時間得以讓憋氣時間延長，以下為相關可行方法。

（一）提升 CO₂ 忍受力：

個人二氧化碳耐受度提升有助於延長下潛時間，「傳統訓練方式採漸進式縮減休息時間，藉多次閉氣累積體內二氧化碳濃度，以達到提升自身二氧化碳忍受度能力。」（銅峽谷，2016）

（二）提升橫膈膜抽動：

一般呼吸無法有效讓橫膈膜產生抽動，如果以一次全吐氣加一次全吸氣的全呼吸方式進行階段式憋氣訓練，可增加橫膈膜抽動，「因為每次閉氣完畢只吐一口氣，身體內累計的 CO₂一直在升高，導致每次的橫膈膜抽動會來得越來越早」（銅峽谷，2016）。

（三）反覆刺激橫膈膜:

每次全呼吸由橫膈膜產生第一次抽動後再開始閉氣，重複此動作多次便可延長閉氣時間，「通過長期 CO₂的耐受訓練，我們的身體會非常適應高 CO₂濃度的環境，從而可以在安全的範圍內閉氣更久」（銅峽谷，2016）。

（四）其他增加心肺耐力訓練:

如果想延長自己於水面下停留的時間，則必須改善身體運用氧氣的效率。經由有氧與無氧訓練來增強本身的心肺耐力，進而減緩體內代謝速度。「當肺部沒有足夠的氧氣供應給人體時，有利於靜脈回流，而在陸地上閉氣可以使肺泡內的氧氣濃度增加，因此有助於提升血氧濃度」（ORCA，2020）。

1、降低耗氧量:從事自由潛水前減少進行激烈運動，避免心跳起伏過大加速體內耗氧效率，且下水後的潛水姿勢，可以平穩狀態的垂直升降方式，則可以減少水的阻力，降低氧氣消耗。

2、提升肺活量:接觸不同種類運動增進身體各部位機能，如練習長泳過程中拉長換氣間隔，或進行長跑、間歇跑等方式提升血液中含氧量。

三、潛水時生理變化

由於人類並非海底生物，因此就算在水下人體依然可以正常運作，但仍然還是少不了面對壓力的變化及複雜的裝備.....等因素，會造成呼吸與循環系統產生一系列的變化及反應，藉由了解進行潛水時人體會產生的不良反應，可以進而去防範及避免其發生。

（一）閉氣潛水

分為兩種，分別為頭部入水及腳部入水，一般自由潛水是以頭部入水，在這個情況下「由於水壓，肺部的壓力會略大於 1 絕對大氣壓」（Rob Schneider，2019 年），使用這種閉氣方式的結果「增加了平均耗氧量，導致肺的容量減少，造成潛水員要花更多的力氣去抵抗壓力，讓空氣被動流至肺部。」（Rob Schneider，2019）

（二）潛水時的呼吸與循環系統

人體內的所有活細胞都需有呼吸及代謝，才能使身體內的所有器官正常運作。在面臨缺氧時，有些細胞及組織仍然可以不需氧氣，並繼續產生所需的能量；而有些是就算缺氧數小時也仍然可以存活；然而，也有許多細胞及組織是一旦缺氧就會迅速壞死，「尤其是大腦與神經系統，其所需的氧氣量佔人體全部的五分之一」（開水君，2018）。

人體的循環系統的功能在於把各部位的廢棄物送到對應的器官進行處理，並帶到體外，以及運送氧氣、養分.....等其他所需物質到各個器官。血液在其中扮演重要的角色，由於血液中含有不同的細胞，才能擁有不同的功能。

血液是由血漿、紅血球、白血球、血小板所組成。其中紅血球中的血紅素易與氧氣結合、分離，因此能更有效地運送氧氣，氧氣的結合能力與氧氣的分壓變化有相對關係，當壓力變化越大，氧氣的結合能力越好，因此「在流經肺部時，此處有比其他部位更大的氧分壓，血液會更容易地與氧氣結合。」（開水君，2018）

（三）頸動脈竇反射

由於人體的血壓受器一部分位於頸動脈，穿著太過緊身的潛水衣或是有物品壓迫到頸部時，頸動脈接收器會誤以為是高血壓，因此「延腦的心跳中樞發出訊號，減慢心跳速率，導致血流量減少」（開水君，2018），使潛水員感到不適，最後甚至因腦部缺氧導致昏厥。

四、人類與鯨類血液特性比較

柯氏喙鯨（*Ziphius cavirostris*）於 2012 年創下潛入海中 2992 公尺深的紀錄是目前可潛至水面下最深的哺乳類，打破 2005 年南象海豹以 2388 公尺排名第一的紀錄，代表其肌紅蛋白含氧量極高。

表一：人類與鯨類血液特性比較

	人類	鯨類
血液體積	體重 7%	體重 10~15%
血球容積比	低	高 (約人類兩倍)
血液狀態	稀薄	濃稠
氧氣利用率	低	高
肌紅蛋白儲氧量	低	高 (約人類十倍)
肌紅蛋白色澤	紅色	深紅~黑色
肌紅蛋白帶正電	否 (罹患阿茲海默症機率較高)	是 (使過多氧分子聚集一處不易形成沾黏)

（作者自行整理）

（參考 Michael Berenbrink，2013；鄭景元，2002）

五、認識自由潛水隱含風險

(一)下潛:

隨潛水深度增加，人體需承受來自外界更大的水壓，如果肺部體積縮減小於最低限度，或進入胸腔中做為緩衝的血液量不足時，會發生失去意識、暈眩、停止呼吸、身體虛弱、胸痛.....等之症狀，嚴重者血液會經由口鼻流出，甚至死亡。

(二)上升:

由於周圍環境氣壓改變，根據亨利定律壓力愈大而氣體溶解度愈大的概念，如果上升時的速度過快，原本溶解於血液中的「**氣體短時間內會快速游離出來，堆積在組織間隙直接對細胞造成傷害或阻礙血液循環造成缺血和缺氧**」（黃維俊、廖偉志，2019），因此更需注意上升時的速度掌控與接近水面壓力轉變時自身的生理狀況，常見傷害如:淺水昏迷、肢體麻痺、腦神經損傷、頭痛、視覺能力退化、聽覺喪失、脊椎病變，甚至死亡。

(三)呼吸性鹼中毒:

因過度費力造成換氣過度，導致呼吸和循環系統中血液 pH 值下降，「**HCO₃⁻及鹼性物質增加，抑制心血管中樞也使血管擴張，導致血壓下降、心肌收縮力下降……等，此症狀又稱呼鹼。**」（開水君，2021）

(四)潛水夫病分類與症狀

1、急性潛水夫病

(1) 第一型（輕症）

有可能惡化為第二型，但無神經或組織系統方面的症狀，常見四肢肌肉關節疼痛、疲倦、皮膚紅癢。

(2) 第二型（重症）

有全身性反應，侵犯人體重要器官，氣體阻塞中樞、呼吸、心臟血管系統導致發病，症狀:頭痛、噁心、嘔吐、四肢無力、意識模糊、昏迷、抽搐甚至死亡。有時上升途中會發生劇烈肌肉或骨骼酸痛。

2、慢性潛水夫病

常出現在長時間處於高壓環境下的人身上，相較於急性潛水夫病，此類型相對常見，「**容易發生對稱性高壓骨病變，尤其是無菌性股骨壞死(aseptic bone necrosis)，可能是氣體栓塞所致**」（蔡榮賓，2010年）。「**發病部位主要位於髌骨、脛骨以及肱骨**」（牛柯琪、吳心誠，無日期），可能也會伴隨頭痛、失眠、噁心、脾氣暴烈、記憶力不好等神經症狀。

參、研究方法

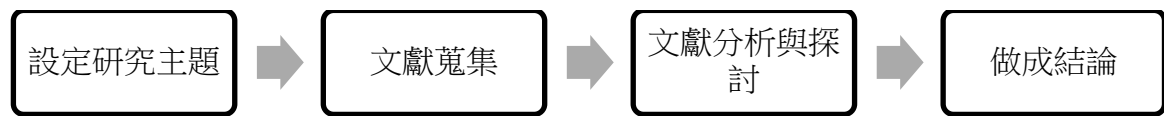
一、研究方法

本研究採用文獻分析法，藉由查詢自由潛水、潛水夫病、血液含氧量等關鍵詞，擷取論文內容與蒐集網路期刊，或找尋書面雜誌做為資料來源，思辨各個重要性與使用價值，後期撰文過程中不斷與指導老師研討研究內容正確度，最終得出此研究之結論。以下為研究流程：

二、研究流程

根據所蒐集的文獻分析結果，研究者設定相關研究流程如下：

圖一：研究流程



(研究者繪製)

肆、研究分析與結果

一、研究分析

生物身體體積大小與肺活量大小間並無絕對關聯性，一般大眾所知的抹香鯨其實非居潛水之冠，反倒是身形更為瘦小的柯氏喙鯨名列前茅，事實上，憋氣時長取決於生理的耗氧速率與容忍二氧化碳的極限，人類透過階段性的呼吸訓練改善生理供氧機能，搭配其他有氧和無氧的運動輔助，強化身體適應低氧環境的能力，目的在於提高身體的氧氣使用效率，維持正常生理的運作機能，並藉由潛水衣及潛水姿勢的調整，達到最佳供氧效果可以提升潛水時間。

二、研究結果

(一) 了解如何增長水中閉氣時間

參與自由潛水活動必須經由適度訓練提升自我體能。然而人類血液飽和濃度接近100%，倘若想要延長水下憋氣時間，可藉由反覆高強度運動訓練提升人體肌紅蛋白含氧量並提高人體二氧化碳耐受度，使人體適應高二氧化碳濃度的環境。長期的憋氣訓練可以反覆刺激橫膈膜，延長中斷點發生時間，拉長每次換氣間隔時間，在一次全呼吸下水後，體內二氧化碳濃度會持續累積，挑戰生理忍受低氧程度，改善自身肺活量與意志力堅持的能力，進而達成下潛深度之目標設定。

除了精進自身整體生理機能，訓練心肺耐力可提升用氧效率使人體血氧濃度增加。在下水前避免心跳起伏過大使耗氧速率增加而減少憋氣時間，利用相對耗氧量較

低的方式潛水能有效配給能量以及水的阻力，可透過觀察哺乳潛水動物下潛身體擺動頻率與方式，改善人類潛水技巧並找出消耗最少能量的姿勢，突破自己極限。

(二) 剖析自由潛水過程中生理變化

氧氣和負責運送的循環系統是維持人體正常運作中必不可少的，在壓力改變時人體會產生反應以配合環境的變化，在面對這些變化時如果沒有妥善的應對，會發生影響人體組織的正常功能。

自由潛水的下水方式以頭部入水，入水時為了抵抗壓力的變化並維持空氣可以正常的流入肺部提供人體所需的氧氣會增加耗氧量，由於氧氣的結合能力與壓力變化密切相關，因此在壓力變大的情況，血紅素會更好的和氧氣結合，但同時人體會將壓力提升誤判為高血壓，而導致心跳降低、血流量減少，最後缺氧昏厥。

(三) 人類與鯨類血液特性比較

目前已知能潛至水下最深的哺乳類為柯氏喙鯨，根據所查詢資料比較鯨類與人類血液可以發現，鯨類的身體血液佔總體積比例與血球容積比皆多於人類，其次，鯨類的血液質地也比人類濃稠而且鯨類長期生活於水中，單位時間內身體氧氣的利用率更高、消耗速率更低。

除了血液上的先天良好條件，鯨類的「肌紅蛋白表面攜帶正電，即使過多的氧分子聚集也不易產生沾黏，此排斥作用有助於肌紅蛋白儲存更多氧氣」（Michael Berenbrink, 2013），因此鯨類的肌紅蛋白外觀顏色比人類的紅色更偏向黑色，意味著鯨類的肌紅蛋白儲氧量極高。剖析鯨類與人類的血液與肌紅蛋白得知，無論是攜氧量或是血液素質，鯨類都比人類更適合進行需要高耗氧量的自由潛水活動，提供了鯨類大幅增加水下閉氣時長和增加下潛深度的優勢。

(四) 認識自由潛水隱含風險

通常發生在自由潛水途中的不適症狀由於發病時間短，屬於急性潛水夫病。常因上潛速度過快或下前深度過深，導致人體組織系統無法順利調節各器官、血液與氣體的運作與運輸功能，造成身體出現頭痛、暈眩、噁心、肌肉痠痛、四肢麻痺……等輕微症狀，但倘若超出個人生理所能負荷的最高限度過多，嚴重破壞身體各項機能，可能會出現意識模糊、昏迷、抽搐甚至死亡的強烈全身性反應。

至於長時間於水面下工作的族群容易因為長期處於高壓環境罹患慢性潛水夫病，除了日常中會出現頭痛與失眠的症狀，影響層面也擴及記憶力衰退、性情易怒等神經面向，且相較於急性潛水夫病，無菌性股骨頭壞死發生在慢性潛水夫病的機率相對較高，與壓力變化導致體內釋出氣體有關，造成髌骨、脛骨與肱骨等好發病部位產生骨病變。

自由潛水與水肺潛水最大不同點在於自由潛水以只吸一口氣即完成全部水下活動為特色，因此出水面後汲取空氣中氧氣的頻率會大幅增加，萬一造成換氣過度將導致呼吸性鹼中毒(或稱為呼鹼)，出現血壓下降、心肌收縮力下降等症狀，但透過適當的呼吸節奏即可有效舒緩身體的不適感。

伍、研究結論與建議

一、研究結論

自由潛水之所以被譽為死亡機率極高的運動，推測可能因其屬於不需支出高昂裝備的水上運動，在低入門門檻的誘因吸引下，導致初學者未清楚了解自身生理負荷極限、也缺乏相關基本的危機意識與傷害急救處理的能力，導致無法讓患者第一間接受適切的醫療照護，造成後續發生更嚴重傷害的機會提升。

研究結果顯示，在下潛上升時，會因為壓力的變化而使身體產生一系列的反應，像是血管阻塞、氧氣不足、體內二氧化碳過多.....等，而快速的變化會使我們在活動中或活動後會有身體的不適進而可能會留下後遺症，嚴重也有可能造成死亡，因此提前認識相關的生理現象、疾病以及症狀發展，可以有助於我們提早發現提早治療。

各種運動皆存在潛在的危險，民眾過度放大自由潛水的事例，導致人們對自由潛水有了先入為主的錯誤認知，造成更多人害怕接觸此項運動，但是只要有潛水教練或專業人士陪同進行相關活動，指導正確的安全下潛技巧，並注意下潛、上升時速度調整、海域周圍環境活動適切性、活動後身體狀況變化及傷害後恢復治療等等細節，就能降低發生後遺症帶來身體不適的問題。

當民眾具備正確的基礎潛水知識便可大幅減少憾事發生的機率，再透過民間與政府持續推廣海上運動下，自由潛水不但可慢慢變成大眾廣泛接受的休閒娛樂，也能進一步成為台灣旅遊觀光的特色，除了提升人們親近海洋的機會，也能吸引外國潛水好手前來體驗台灣特有的美麗海底世界，不但發揚台灣四面環海的特點，也能將台灣這座島嶼更鮮明地傳播至世界各地。

二、研究建議

（一）觀察自身生理狀況

每個人的生理狀況表現會受到睡眠品質、情緒起伏、心理因素、注意力是否集中等諸多因素影響，由於無法精準調控自身身體反應，進行潛水活動或訓練前應事先評估當天身體狀況，避免飲酒，與專業人員討論後訂定合適的潛水計畫，在合理範圍內調整符合當日身體可以負荷的運動強度。

另外，如果適逢生病時期應暫停所有自由潛水活動。鼻塞會導致人類無法進行耳膜平衡影響自由潛水的活動表現，在有安全疑慮下不應貿然勉強身體從事自由潛水如此高強度的運動，等到感冒痊癒後先評估自身身體狀況，再決定是否開始進行此項

（二）熱身

運動是激活身體的一種形式。從動態到靜態的暖身有助於降低運動時身體發生不適的情況，避免因突然的伸展造成肌肉拉傷，過程中慢慢增加各關節的活動範圍，活絡肌肉的收縮「有效讓血管擴張，減輕心臟承受的壓力，造成氧氣與血紅蛋白的結合減弱，肌肉更容易獲得氧氣，提高收縮的彈性」（American Heart Association，2014），同時也促進身體分泌各項激素，增加體內醣類脂質的利用，進而轉化為運動時身體所需的能量。

(三) 漸進式學習自由潛水

初學者開始接觸自由潛水活動前應先清楚了解所有注意事項，建構對水上活動的基本安全意識，以利防範危險情況的發生可能性。第二，初學者至大海從事自由潛水活動潛，應先和專業人士在室內游泳池練習自由潛水的基本技巧，調整潛水時的姿態、判斷上潛時的時機與調配下潛與上升的速度，穩扎自由潛水的基本功，維持潛水時身體機能的穩定性。

(四) 伴潛

自由潛水員在潛水過程中如果不密切關注自身生理變化而過於追求突破潛水記錄或憋氣長短，容易導致身體氣體運輸或身體機能調節出現異常，使人開始感受到不適症狀無法返回水面或突然陷入意識模糊甚至上岸後昏迷的意外發生，尤其大海的海流方向、強弱與天後狀況變幻莫測，潛水員下潛過程中可能會受到種種干擾影響能力發揮，因此進行潛水活動時必須結伴同行隨時互相關注自身或同伴的生理情況，並適時提醒當前四周的環境的變化，降低意外事故發生的機率。

(五) 潛水姿勢

自由潛水通常以頭部入水為主，但當潛水者於下潛過程中因壓力變化或其他因素感到身體不適時，可將原本頭部朝下的姿勢改為身體呈頭上腳下的狀態，等待身體維持平衡並適應水下壓力後，不適感消失時再繼續進行潛水，若不適感持續為消失可以慢慢潛至水面，以避免壓力短時間變化過多，導致血液間氣體快速游離出來阻礙血液運輸和缺氧。

陸、參考文獻

American Heart Association (2014年9月1日)。Warm Up, Cool Down。

<https://www.heart.org/en/healthy-living/fitness/fitness-basics/warm-up-cool-down>

Micheal J.Parkes (2012年6月1日)。林雅玲(譯)。暫停呼吸的極限。科學人雜誌，2012(6)，55-59。

Michael Berenbrink (2013年6月18日)。科學家破解鯨長時間潛水之謎。

<https://reurl.cc/n5DQZe>

ORCA (2020年1月7日)。有關游泳的事-論低氣壓游泳訓練中的重要性-探索如何通過『憋氣』來提升游泳表現。<https://reurl.cc/mn4q6d>

Rob Schneider (2019年2月13日)。Breath Hold Diving: Part 4。<https://reurl.cc/xg4paN>

牛柯琪、吳心誠(無日期)。異常氣壓(含潛水疾病)作業引起之職業疾病認定參考指引。2021年10月6日，取自<https://reurl.cc/L7Nky4>

開水君(2018年8月24日)。潛水時身體會有的生理反應?潛水員都不一定知道。2018年4月05日。

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/42866388>

黃維俊、廖偉志（2019年8月）。潛水時發生減壓症的預防與治療。中國醫療體系月刊，2019，31-32。 <https://www.cmuh.cmu.edu.tw/FileUploads/FileUpload/193%E6%9C%9F.pdf>

銅峽谷（2016年11月21日）。二氧化碳耐受練習的改進。
<https://mp.weixin.qq.com/s/AeVeufpUBiIeds9FpNB09g>

蔡榮賓（2010年12月1日）。小心氣泡塞到血管--潛水夫病。高醫醫訊月刊，30，17。
<https://www.kmuh.org.tw/www/kmcj/data/9912/17.htm>

鄭景元（2002年1月1日）。適應—呼吸作用。<https://e-info.org.tw/node/56592>