

공학석사 학위논문

무감압한계 잠수환경에서의 반복잠수가
혈액성분 및 생리적 반응에 미치는 영향

*The Effect of Repetitive Dive on Blood Constituent and
Physiological Reaction in No Decompression Limit*

지도교수 강 신 영

2006년 12 월

한국해양대학교 해양관리기술대학원

수중잠수과학기술전공

김 성 길

공학석사 학위논문

무감압한계 잠수환경에서의 반복잠수가
혈액성분 및 생리적 반응에 미치는 영향

*The Effect of Repetitive Dive on Blood Constituent and
Physiological Reaction in No Decompression Limit*

지도교수 강 신 영

2006년 12 월

한국해양대학교 해양관리기술대학원

수중잠수과학기술전공

김 성 길

목 차

ABSTRACT	i
I. 서 론	1
1. 연구의 필요성	1
2. 연구의 목적	3
3. 연구 가설	4
4. 용어의 정의	4
II. 이론적 배경	6
1. 잠수의 이해	6
2. 잠수의 물리적 특성	7
1) 물과 공기	7
2) 잠수와 밀도	8
3) 잠수와 수압	8
4) 잠수와 수온	9
5) 잠수와 부력	10
6) 잠수와 빛과 소리	11
7) 잠수와 기체의 법칙	11
3. 잠수의 생리학적 특성	14
1) 저 체온증	15
2) 폐의 과팽창	16
3) 감압병	18
4) 질소마취	18
4. 스포츠 잠수표	20

III. 연구 방법	23
1. 연구 대상	23
2. 연구 설계	24
1) 실험 측정기구	25
2) 실험 방법 및 절차	26
3) 본 실험	27
3. 자료 분석	33
IV. 결과	34
1. 무감압한계 잠수환경에서의 생리적 반응 변화	34
2. 무감압한계 잠수환경에서의 폐기능 변화	37
3. 무감압한계 잠수환경에서의 혈액성분 변화	41
4. 무감압한계 잠수환경에서의 스트레스 호르몬 변화	45
V. 논의	47
VI. 결론	54
1. 결론	54
2. 제언	55
참고문헌	56

표 목 차

표 1. 공기의 기체 부분압	12
표 2. 수심에 따른 기체의 부분압	13
표 3. 인체의 심부온도와 증상	15
표 4. 수심별 질소의 마취현상	19
표 5. NOAA 무감압 공기 잠수표	22
표 6. 피험자의 개별적 신체 특성	23
표 7. 실험설계	24
표 8. 측정기구	25
표 9. 설문조사 대상	26
표 10. 다이버들의 최대빈도 잠수 수심	26
표 11. 잠수환경	27
표 12. 시간별 실험 과정	29
표 13. 피험자의 잠수 전·후의 실린더 공기압	30
표 14. 첫 잠수 시간별 수심	31
표 15. 반복 잠수 시간별 수심	32
표 16. 생리적 반응의 변화	35
표 17. 폐기능의 변화	38
표 18. 혈액성분의 변화	42
표 19. 스트레스 호르몬의 변화	45

그림 목차

그림 1. 첫 잠수 프로파일	31
그림 2. 반복 잠수 프로파일	32
그림 3. 심박수 변화	36
그림 4. 체온 변화	36
그림 5. 수축기 혈압 변화	36
그림 6. 이완기 혈압 변화	36
그림 7. FVC 변화	39
그림 8. FEV ₁ 변화	39
그림 9. FEV ₁ /FVC 변화	39
그림 10. MMEFR 변화	39
그림 11. PEF 변화	40
그림 12. FEF25% 변화	40
그림 13. FEF50% 변화	40
그림 14. FEF75% 변화	40
그림 15. 백혈구 변화	43
그림 16. 혈소판 변화	43
그림 17. 호중구 변화	43
그림 18. 림프구 변화	43
그림 19. 단구 변화	44
그림 20. 호산구 변화	44
그림 21. 호염기구 변화	44
그림 22. 카테콜라민-EP	46
그림 23. 카테콜라민-NEP	46
그림 24. 코티졸 변화	46

*The Effect of Repetitive Dive on Blood Constituents and
Physiological Reactions in No Decompression Limit.*

Kim, Sung Gil

Division of Underwater Diving Technology

Graduate School of Maritime Management & Technology

ABSTRACT

This research is aimed to investigate the effect of repetitive dive on physiological reactions, pulmonary functions, blood constituents, and production and change of stress hormones in no decompression limit of sport SCUBA dive, an emerging recreational activity recently.

In order to compare physiological reactions prior to and after the initial dive and after repetitive dive at a certain depth of a place, eight adult male divers with more than forty dives, who reside in Busan and were certified, were selected.

The method of the research is that the sport divers selected the dive depth they dived most and planned the dive time within no decompression limit according to NOAA diving table (the first: at 24m maximum depth for 24 min. - the surface interval for 90 min. the second: at 23m maximum depth for 22 min.) and then dived twice. The measurement and blood gathering were carried out once before and after the first dive and at the

end of the repetitive dive respectively.

The dive log was recorded by an M1(ITALY) dive computer, and the data was analyzed by repeated measure ANOVA using SPSS 12.0K/windows statistics program. The post-hoc analysis was conducted in the method of Bonferroni and the significance level was $p < .05$.

The research results obtained from the procedures described above are follows:

First, for physiological reactions, heart rates, temperatures, and systolic blood pressures had significant difference among prior to and after the initial dive and after the repetitive dive, while diastolic blood pressures did not show remarkable difference as it increased before and after the first dive but decreased following the repetitive dive again.

Second, for change of pulmonary functions, not enough of a difference to recognize ahead of and following the initial dive and after the repetitive dive as well as prior to and during the first dive and after the repetitive dive.

Third, for change of blood constituents, leucocytes, monocyte, eosinophil, and nasal basophile were indicated significant difference before and after the first dive and at the end of the repetitive dive, while the number of blood platelets and lymphocytes had no remarkable difference.

Lastly, for change of stress hormones, it was not significantly different prior to and after the initial dive and following the repetitive dive, as well as before and during the first dive and the repetitive dive.

I. 서론

1. 연구의 필요성

스쿠버(SCUBA, Self Contained Underwater Breathing Apparatus)는 휴대용 수중 호흡장치를 말하며, 스쿠버 다이빙(Scuba Diving)은 수중 호흡기를 지니고 잠수하여 체력을 단련하는 수중 스포츠를 의미한다(국립국어원 표준국어대사전). 즉 스쿠버는 사람이 호흡할 기체를 고압으로 압축하여 저장한 용기를 몸에 지닌 채 잠수하는 방식이며 산업잠수보다 스포츠 잠수나 군사적인 침투 목적으로 많이 사용되고 있다(강신영, 2002).

초기의 잠수는 생계를 유지하는 수단에 지나지 않았지만, 현대에서는 군대의 군사적인 목적과 해저탐사 및 수중 토목 공사 등을 위한 산업적인 목적, 그리고 아름다운 해저세계로 경이로운 경험을 목적으로 하는 여가활동으로서의 스포츠 잠수 등으로 많은 발전이 되어왔다.

스포츠 잠수는 여가선용, 정신적, 육체적 건강 증진 등을 목적으로 행하는 잠수를 말하며 여기에는 개방회로 잠수장비(Open circuit diving unit)가 주로 사용된다(정창호, 2004). 이러한 스포츠 잠수는 최근 주 5일 근무제와 생활체육의 급속한 보급으로 주말이나 공휴일을 이용한 여가를 즐기는 많은 동호인들이 증가하고 있는 추세다. 김승철(2004)은 2000년 우리나라에서 시행 및 발급되기 시작한 동력수상레저기구 조종면허증의 취득과 더불어, 산업잠수기능사, 스포츠 잠수 인증증의 보유 현황이 폭발적으로 증가 현상이 있다고 주장하였다. 그리고 해양 뿐만 아니라 강, 호수, 얼음 밑, 고지대 등 다양한 환경의 수중세계를 경험할 수 있기에 레저스포츠로서 대중적인 인기가 있다.

스포츠 스쿠버 잠수는 의학적으로 심혈관계, 순환계 등이 건강해야 할 수 있는 운동으로 특히, 폐, 심장, 뇌, 내분비계 질환, 당뇨병, 천식, 발작 등이 있으면 금한다고 선행 연구는 보고하고 있다(Alfred, 1996).

잠수 동물들은 잠수 중 신경 반사를 통해서 신장, 내장 및 근육으로의 혈액

순환을 차단하고 뇌, 심장 및 필수 조직으로만 혈액 순환이 선택적으로 일어나게 함으로써 산소 소비량을 최소화한다(Elsner & Burgh Daly, 1988). 사람의 인체 또한 특수한 환경에 장기간 노출되면 그에 대한 생리적 적응을 일으킨다. 수중에서의 환경은 여러 가지 면에서 육상의 환경과는 판이하게 다르며 육상에서의 운동과는 다른 생리적 반응을 나타낸다. 잠수 시 인체에 가해지는 수압, 한랭 자극, 그 외 수중 환경의 물리적 특성들은 거의 모든 인체 기능에 직접 간접으로 영향을 미친다(박양생, 2004). 수압은 심장기능에 심박동수 뿐만 아니라 심박출량, 동맥압, 혈관의 저항 및 국소 혈류량 등 여러 면에서 영향을 주며, 압축 공기 중의 산소 또는 질소가스에 의한 중독증 등이 발생된다(이원석, 1985; Anthonisen, 1976).

물은 공기에 비해 대류성 열 이동 상수가 167배나 크기 때문에 체표로부터의 열 손실을 크게 촉진시킨다. 이러한 이유로 인해 인체는 34°C 이하의 물속에 맨 몸으로 노출되면 언제나 한랭 자극을 받게 된다. 호흡에 의한 열 방산도 한랭 환경에서 운동하는 경우에는 주로 건조된 공기를 흡입하면 체내의 수분이 그 흡기 중에 증발하고 이때에 열을 빼앗긴다. 그래서 체온보다 낮은 온도에서 행해지는 수중에서의 스쿠버 잠수 활동은 여러 가지의 생리적 반응을 일으킨다.

우재홍(2004)은 수중 환경에서 운동 시 스트레스 호르몬에 대한 분비는 육상에서 이루어지는 운동을 할 때와 다른 양상을 보인다고 하였다. 한랭 환경에서 장시간 체류 또는 운동 시에는 체온유지를 위한 열 생산이 증가되며 대사율이 높아지고 체온 저하에 따른 떨림 현상을 유발하여 혈중 스트레스 호르몬의 농도를 증가시킴으로써 면역계를 활성화시키는 것으로 알려져 있다(Jansky et al., 1996).

스트레스적인 상황에서는 부신피질호르몬인 코티졸(Cortisol)의 분비가 증가하고 혈장 코티졸 농도의 증가 폭은 일반적으로 스트레스 자극 세기에 비례하며 한랭 환경에서는 크게 변하지 않으나 지속적인 영향을 주는 것으로 보고되었다(Jurankova, Jezova & Vigas, 1995). 코티졸에는 항염증 및 항감염 작용이 있다는 사실이 잘 알려져 있다. 그리고 규칙적이고 적당한 운동은 체중조절, 정

신적 안락감 및 스트레스 해소 등의 이점이 있고, 심혈관계 질환의 위험률을 떨어뜨린다(Paflenbarger & Hyde, 1986; Powell, 1987).

이러한 점들은 삼면이 바다로 둘러싸여 있고 아름다운 강과 계곡이 많은 우리나라의 수중 환경 속에서 30만 명 이상의 수많은 스포츠 잠수 дай버들에게 보다 건강하고 즐거운 여가활동으로서의 스포츠 잠수 활동에 대한 정보를 제시하는데 연구의 필요성을 가진다.

여가활동으로서의 안전한 잠수 기술의 정보들은 대다수가 국외로부터 도입되었다. 국내의 스포츠 잠수 다이버들은 일반적인 교육 과정에서부터 다이버들을 대상으로 실험하고 통계분석 결과를 토대로 한 외국 자료 및 교과서로부터 지식을 습득을 하는 실정이다. 그리고 다이버들은 감압병에 주의하며 안전한 잠수계획을 위하여 잠수표를 사용한다. 세계적으로 인정되고 있는 미해군의 감압표는 할데인(J.S.Haldane)의 이론적 근거로 만들어졌다. 이 이론은 불활성 기체의 흡수와 배출이 지수 함수적으로 변한다는 것과 주위 조직에 비해 과포화의 압력 차이(supersaturation gradients)를 보인다는 것을 기본으로 하고 있으며, 많은 실험적인 시도와 결과를 토대로 변경되어 왔다(김희덕, 2005). 이렇게 다이버들의 안전을 위해 고안된 잠수표는 잠수 시 감압병 노출에 대한 대책으로 사용되어져 온 것을 비롯하여 물리학·생리학적으로 안전한 잠수 활동을 위한 대다수의 연구들이 국외에서 이뤄지고 정립화되었다. 그러나 우리나라는 잠수 활동에 대한 국내 다이버들을 대상으로 연구하고 체계화된 자료가 부족한 실정이다.

이에 본 연구는 해수에서 활동하는 스포츠 잠수 다이버들을 대상으로 잠수 활동 규정에 준수한 스포츠 잠수의 반복 잠수를 실시하여 잠수 후 개인의 혈액 성분 및 인체의 생리적 반응에 영향을 알아보고자 하였다.

2. 연구의 목적

본 연구는 일반 스포츠 잠수 다이버들의 가장 경험이 많은 잠수 수심을 선정하여 무감압한계 잠수 수심 범위 내에서 반복 잠수를 실시하였을 때 인체의 생

리적 반응, 폐기능, 혈액성분, 스트레스 호르몬에 미치는 영향을 분석하여 보다 안전한 잠수 활동 및 내국인의 각종 잠수 시 생리학적 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

3. 연구 가설

본 연구에서 구명하고자 가설은 다음과 같다.

1) 무감압한계 잠수시간 범위 내 반복 잠수 시 생리적 반응에는 유의한 차이가 있을 것이다.

2) 무감압한계 잠수시간 범위 내 반복 잠수 시 폐기능 변화에는 유의한 차이가 있을 것이다.

3) 무감압한계 잠수시간 범위 내 반복 잠수 시 혈액성분 변화에는 유의한 차이가 있을 것이다.

4) 무감압한계 잠수시간 범위 내 반복 잠수 시 스트레스 호르몬 변화에는 유의한 차이가 있을 것이다.

4. 용어의 정의

1) 스포츠 잠수

스쿠버(SCUBA, Self Contained Underwater Breathing Apparatus)를 착용하고 무감압한계 잠수시간 범위 내에서 활동하는 것으로 본 연구에서는 최대수심 20-25 m 내에서 일정시간 동안 잠수하는 것을 말한다.

2) 무감압한계 잠수시간

정해진 수심에서 감압정지를 하지 않고 상승할 수 있는 최대 잠수시간을 말한다. 무감압한계는 감압불필요한계 또는 비감압한계라고도 한다.

3) 잠수 시간

수면을 떠난 시간부터 잠수를 마치고 상승하기 위하여 해저를 떠나는 시간을 말한다.

4) 수면휴식 시간

잠수를 마치고 수면에 도착하여 쉬는 시간, 즉 수면에 도착해서부터 재잠수를 위해 다시 해면을 출발할 때까지를 말한다.

5) 첫 잠수

잠수가 끝난 후 12시간이 지난 후의 잠수를 말한다.

6) 재잠수(반복 잠수)

잠수가 끝난 후 12시간 이내의 잠수를 말한다.

7) 반복 그룹

체내의 잔류 질소량을 알파벳 문자로 나타낸 것으로, A부터 Z까지 있다. Z쪽으로 갈수록 잔류 질소가 많음을 나타낸다.

II. 이론적 배경

1. 잠수(潛水)의 이해

잠수라 함은 인간이 수중에서 활동하는 행위를 의미하고, 주위 환경의 수심으로부터 압력에 노출되는 행위 또는 절차를 일컫는다(정창호, 2004). 그리고 현대에는 잠수중이나 잠수정과 같은 잠수 기기들이 작업을 하기 위해 수중으로 들어가는 것도 포함된다.

인류의 잠수에 대한 가장 오랜 기록은 기원전 3000년경으로 해저에서 식량을 채취한 것이 최초인데 크레타 섬에는 이때부터 이미 바닥에 깔려있는 해면을 전문적으로 채취하는 스킨 다이버가 있었다고 한다. 기원 전 900년경 앗시리아에서는 다이버가 동물의 방광을 가지고 들어가 몇 차례 급한 숨을 들이쉬는 방법을 고안해 냈다는 기록도 있다. 1680년경에는 조반니 보렐리는 손으로 펌프질을 하여 물속에서 호흡을 계속할 수 있는 기구를 설계하기도 했다. 그리고 잠수중 안에 사람이 타고 수면 아래로 잠수하거나 공기통을 달고 해저면으로 내려지는 형태의 잠수들이 고안되었다. 1800년대에는 헬멧 형태의 잠수장비가 고안되면서 개인용 잠수장비들이 개발되기 시작하였고 공기 공급 호스 길이에 제한받지 않는 독립적인 공급방식의 장비가 개발되면서 수중에서 자유롭게 유평할 수 있게 되었다. 한편 세계 제1차 대전을 겪으면서 군사적 목적으로 다양한 장비들의 개발이 이어졌고 강대국들의 해저의 무한한 자원에 관심이 커지며 많은 연구를 토대로 잠수는 발전하기 시작하였다. 프랑스의 자끄 쿠스토와 에밀가냥은 아쿠아 령(Aqua lung)이라 불리는 개인 휴대용 압축공기 실린더와 자동호흡장치 등을 발명하였는데, 이를 시발점으로 현대의 스쿠버 잠수는 수많은 장비의 발전과 급속히 대중적인 스포츠 잠수 운동으로 자리매김하게 되었다. 그동안 잠수하는 사람을 머구리, 잠수부, 잠수사, 잠수인, 다이버 등 다양한 용어로 불렀는데, 스포츠 잠수에서는 다이버라는 용어로 많이 쓰인다(잠수일반, 2003).

잠수는 크게 해녀들이 숨을 참고 잠수하는 방식인 지식잠수(止息潛水, breath-hold diving)와 주위 압력과 같은 압력의 기체를 수중에서 호흡하면서 활동하는 환경압 방식, 그리고 수압을 견딜 수 있는 내압잠수복을 입고 잠수하는 일대기압 방식으로 나눌 수 있다. 이 중에서 일반인들이 레저스포츠로 즐기는 스쿠버 잠수는 환경압 방식에 속한다(강신영, 2002). 즉, 스쿠버잠수는 “수중자가 호흡장치”를 착용하고 수중을 자유로이 탐사하는 활동인 것이다. 이러한 스포츠 잠수는 다른 스포츠와는 달리 수중에서 이루어지는 레저스포츠이므로 안전을 보장받기 위해서는 수중과 관련된 특별한 사전 지식이 요구된다. 우리의 신체는 압력과 온도의 영향을 받기 때문에 먼저 물리·화학적 현상들이 인체에 미치는 영향과 생리학적 지식을 이해하는 것이 스포츠 잠수를 이해하는데 필요하다.

2. 잠수의 물리적 특성

1) 물과 공기

유체역학에서는 물을 비압축성 유체라고 하고 공기를 압축성 유체라고 한다. 즉 공기는 쉽게 압축이 되지만 물은 거의 압축되지 않는 성질을 가지고 있다. 이러한 성질은 밀도로 쉽게 설명될 수 있는데 공기는 밀도가 변하지만 물은 변하지 않는다.

우리가 육상에서 숨 쉬는 공기는 질소(N_2) 약 78%, 산소(O_2) 약 21%, 이산화탄소(CO_2)와 소량의 네온, 아르곤, 제논, 수소 등의 기체들로 구성되어 있다. 지구상의 인간은 활성 기체인 산소와 불활성 기체인 질소를 대기압 상태에서 호흡하며 살아가고 있다.

이러한 지구를 감싸고 있는 공기는 그 자체의 무게에 의해서 압축되며 공기의 밀도 또는 압력은 고도에 의해 따라 변한다. 즉 해수면의 공기는 높은 산의 공기보다 압력이 더 높다. 이러한 공기는 수심이 깊어져 압력이 증가하면 공기의 밀도가 증가하여 호흡에 대한 저항도 증가한다.

2) 잠수와 밀도

밀도는 단위 부피당 질량(mass)으로 정의된다. 즉 1입방미터(m^3)가 몇 킬로그램(kg)이나 하는 것이 밀도의 값이다.

잠수 환경을 구성하는 물의 밀도는 약 $1,000 \text{ kg}/m^3$ 로서 공기의 밀도 $1.28 \text{ kg}/m^3$ 에 비하여 약 800배 크며, 또한 20°C 에서의 점성계수(viscosity coefficient)는 물이 1.05×10^{-2} poise로서 공기의 1.808×10^{-4} poise보다 약 60배이며 수중에서의 운동은 대기 내에서의 운동에 비하여 운동 시 큰 저항을 받는다. 또한 인체의 비중은 숨을 들이쉬는 경우 물보다 조금 가벼운 것이 보통이며 숨을 내쉬는 경우는 비중이 물보다 무겁게 된다. 그러므로 인체는 평균적으로 중성에 가까운 부력을 갖게 되어 잠수를 할 경우 무중력 상태와 유사한 환경에 노출된다고 할 수 있다(황환식, 2002).

3) 잠수와 수압

수중 활동이 인체에 미치는 영향은 육상에서 미치는 영향과는 판이하게 다르다. 잠수 시 인체에 가해지는 수압, 수온, 그 외 많은 물리적 특성들은 거의 모든 인체 기능에 직접 간접으로 영향을 미친다.

지구상의 모든 물체는 대기압을 받고 있으며 이 1기압 압력 상태는 우리 인체가 활동하는데 가장 이상적인 압력 상태이다. 지구를 둘러싸고 있는 대기의 무게는 평방 인치당 약 14.7 pound이다. 이 공기의 무게로 인한 압력을 대기압이라 하며, 대기압의 크기는 1기압이다. 1표준 물리기압(standard physical atmosphere, atm)은 1.03 bar, 101.325 kPa, 14.696 psi, $1.033 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 등의 단위로 표시되고 있다.

수압도 수심에 따라 변화하는데 해수에서는 33.07 ft 또는 10.08 m 깊어짐에 따라 1기압(33.07 feet sea water(fsw) 또는 10.08 meter sea water(msw)씩 증가하여 수심 약 10 m에서 수압계로 측정되는 수압은 1기압, 수심 20 m에서는 2기압 등으로 나타나며 이 압력계로 측정된 수압을 계기압(gauge perssure)이

라 한다. 그러나 실제로 인체가 수중에서 받는 압력은 이 순수한 수압인 계기압 외에도 해수면 기준에서의 1기압을 더 받게 되며, 대기압과 계기압을 더한 압력을 절대기압(ATA, atmospheres absolute)이라고 한다. 즉, 수심 10 m에서 인체가 받는 실제 압력은 대기압인 1기압과 수압에 의한 계기압 1기압을 더한 2기압의 압력을 받게 되고, 수심 20 m에서는 3기압, 수심 30 m에서는 대기압보다 4배 큰 4기압의 압력을 받는다.

이렇듯 잠수의 높은 수압은 신체의 폐, 호흡, 기도, 고막, 중이, 부비동 등에 있어서 수심의 증감에 따라 영향을 크게 미칠 수 있으나 인체가 잠수 중 높은 압력을 받으면서도 거의 압력감을 느끼지 못하는 것은 인체의 주요 구성성분이 액체로 되어 있기 때문이며, 이러한 액체는 압력에 축소되지 않고 동일한 압력을 외부로 전달한다. 그러나 잠수 중 압력의 급격한 변화에 평형을 이루지 못하면 심한 통증 및 손상, 그리고 심하면 죽음에 이를 수도 있다.

4) 잠수와 수온

물은 공기에서보다 비열이 1,000배 크고 열을 25배나 더 빨리 전도한다. 그래서 다이버는 수중에서 추위를 육상에서보다 빨리 느낀다. 그리고 같은 부피를 기준으로 할 경우 물의 열용량이 공기의 약 3,600배나 되므로 물에서는 작은 온도 변화로도 많은 열을 흡수할 수 있다.

수중에서 운동을 하면 가만히 있을 때보다 체열 손실이 촉진되는데 이는 주로 체 조직의 열 절연도가 감소되기 때문이다. 인체의 열 절연도는 혈액 순환이 차단된 근육층, 피하 지방층 및 피부층에 의한 열 절연도의 합으로 이루어진다(박양생, 2004).

인체의 경우 수온이 약 30 °C까지 움직이지 않고도 보통 일정한 체온을 유지하지만(Newburge, 1949; Molnar, 1946) 15 °C의 수중 잠수 시에는 시간당 약 2.1 °C의 직장온도 하강을 경험하고, 수온이 4 °C까지 낮아지면 시간당 3.2 °C까지 하강하게 된다(Niazi et al., 1958).

인체의 정상적인 온도는 약 37 °C이다. 수온은 계절에 따라 많은 차이가 있

지만 스포츠 잠수 활동 시 다이버는 자신의 체온보다 낮은 환경에 노출되는 것이다. 이러한 다이버의 정상 체온을 유지하고 열전도율을 최소화하기 위해서는 다이버와 물이 접촉하는 사이에 공기층이 형성되는 잠수 슈트를 착용해야 한다.

5) 잠수와 부력

부력이란 액체에 잠긴 물체를 뜨게 하는 힘을 말한다. 물체의 종류에 따라 어떤 물체는 가라앉고 어떤 물체는 뜨기도 한다. 물체가 뜰 수 있는지 여부는 물체의 밀도와 물체가 잠겨있는 액체의 밀도에 달려있다, 즉, 담수보다 해수의 밀도가 크기 때문에 해수에서의 부력이 더 큰 것이다.

물은 모든 방향으로 동일하게 압력을 제공하는 성질이 있다. 아르키메데스는 “액체에 잠긴 물체는 잠긴 부피만큼의 액체의 무게와 같은 힘의 부력을 받는다”라고 정의하였으며 이를 아르키메데스의 원리라고 한다. 부력의 원리에 의하면 만약 그 물체가 밀어낸 물의 무게보다 자신의 무게가 더 무거우면 가라앉고 가벼우면 뜨게 된다.

물체의 무게는 아래로 힘을 작용하고 부력은 아래에서 위로 작용한다. 이 두 힘 사이의 차이가 물체가 뜨고 가라앉는 것을 결정한다. 다이버는 호흡을 통한 폐의 공기 용적량을 높이고 낮출 수가 있다. 즉, 숨을 들이쉬면 허파의 공기량이 늘어 양성부력 상태가 되고 내쉬면 공기량이 줄어 전체 부피가 줄어들어 가라앉게 되는데 이 상태를 음성부력이라 한다. 그리고 부력과 무게가 균형을 이루고 있는 것을 중성부력 상태라고 한다.

이렇듯 스포츠 잠수에서 다이버는 부력에 영향을 미치는 요소에 따라서 그 활동이 달라지는데 다이버의 무게와 부피가 가장 크게 작용하며 장비, 웨이트 시스템, 물의 밀도, 슈트, 부력조절장치의 공기량 등이 영향을 미치게 된다.

6) 잠수와 빛과 소리

다이버가 물속의 물체를 봤을 때 빛은 물, 마스크의 유리, 눈에 닿기 전의 마스크 속의 공기를 통과하며 굴절되고 이로 인해 약 25% 정도 더 크고 가까이 보이게 된다. 반사, 굴절, 확산, 그리고 흡수는 수중에서의 빛에 영향을 미치는 요소이다.

빛은 서로 다른 매질을 통과할 때 매질의 경계면에서 굴절을 하는데 이 현상을 물리학에서는 스넬의 법칙(Snell's law)이라고 한다. 굴절각은 매질 속의 빛의 속도와 관련이 있다. 물속에서는 빛의 속도가 공기보다 약 25% 느리며, 유리 속에서는 약 33% 느려진다. 그리고 빛은 물에 의해 흡수되기 때문에 수심이 깊어짐에 따라 광도가 감소하며, 색상은 파장이 긴 붉은색 계통부터 흡수된다.

공기 속의 소리 파형은 공기와 물 사이의 표면에서 대개 반사된다. 반면 소리는 수중에서 약 4배 더 빨리 전달된다. 그래서 수중에서 소리가 났을 때 그 방향을 알기가 힘들다. 수중에서 소리의 속도는 약 1,500 m/sec이다.

7) 잠수와 기체의 법칙

(1) 보일의 법칙

밀폐된 탄력성의 기체 공간을 압축하면 압력의 증가에 비례하여 부피가 감소한다. 이를 보일의 법칙(Boyle's law)이라 한다. 압력을 두 배로 하면 기체가 든 공간은 기존의 절반의 부피가 된다. 기체 자체가 줄어드는 것이 아니라 분자들이 더 작은 공간으로 밀착되는 것이다. 이때 기체의 밀도는 기존의 두 배가 된다. 압축된 공간을 원래 압력으로 되돌리면 물체가 원래의 부피가 될 때까지 내부 기체가 팽창한다.

숨을 참고 물속으로 내려가는 동안 폐는 압축되고 표면으로 나올 때는 정상

부피로 돌아온다. 그러나 스포츠 잠수는 스쿠버 장비를 통하여 수중의 주위압력과 동일한 압력으로 공기를 공급한다. 이로 인해 수심에 상관없이 폐가 정상 부피로 확장될 수 있다. 폐 내부의 공기 밀도는 수압과 비례하여 커진다. 수압이 두 배가 되면 폐에 든 공기의 밀도 또한 두 배가 되는 것이다.

(2) 돌턴의 법칙과 헨리의 법칙

기체는 물질의 안과 밖으로 확산될 수 있다. 기체가 액체에 접촉하면 기체는 액체에 용해된다. 액체에 확산되는 기체의 양은 액체의 온도와 밀도, 그리고 접촉하는 기체의 압력과 시간에 따라 달라진다.

기체가 액체에 확산되는 과정을 용해라고 한다. 인간의 신체는 주로 액체로 구성되어 있으므로, 인간이 호흡하는 기체는 신체 조직 내로 확산된다. 돌턴의 법칙(Dalton's law)은 혼합기체에 의해 가해진 총체적인 압력은 각각의 기체에 의해 가해진 압력의 합계와 같다고 제시한다. 즉, 혼합기체의 전체압력은 각 기체의 부분압의 합과 같다. 그리고 기체의 부분압은 액체에 용해되는 기체의 양을 결정한다. 헨리의 법칙(Henry's law)은 기체의 흡수를 표명한 것이다. <표 1>에서와 같이 일정한 온도에서 액체에 용해되는 기체의 양은 기체의 부분압에 정비례한다.

표 1. 공기의 기체 부분압

공기 구성물	기체비율	부분압력
질소	78.00%	11.466 psia(0.8030 kg/cm ²)
산소	21.00%	3.087 psia(0.2163 kg/cm ²)
아르곤	0.93%	0.137 psia(0.0095 kg/cm ²)
이산화탄소	0.03%	0.004 psia(0.0003 kg/cm ²)
미량 기체	0.04%	0.006 psia(0.0004 kg/cm ²)
합계	100%	14.7 psia(1.03 kg/cm ²)

기체의 부분압은 혼합기체의 절대압력과 혼합기체의 비율의 곱이다. 수중에서 기체의 부분압은 <표 2>와 같이 표면에서 높은 비율의 기체와 같은 효과를 가진다.

표 2. 수심에 따른 기체의 부분압

깊이	압력	O ₂	CO	CO ₂
0 m (0 ft)	1 ATA	20%	1%	2%
10 m (33 ft)	2 ATA	40%	2%	4%
20 m (66 ft)	3 ATA	60%	3%	6%
30 m (99 ft)	4 ATA	80%	4%	8%
40 m (132 ft)	5 ATA	10%	5%	10%

(3) 샤를의 법칙과 게이뤼삭의 법칙

프랑스의 화학자인 자크 샤를(Jacques Charles)은 일정한 압력에서 기체의 부피는 온도에 따라 변한다는 것을 발견하였다. 프랑스의 과학자 게이뤼삭(Joseph-Louis Gay-Lussac)은 일정 부피의 모든 기체는, 절대온도에 정비례하여 압력이 변화한다고 하였다.

일정한 부피를 갖는 스퀴버 실린더에서 게이뤼삭의 법칙(Gay-Lussac's law)의 효과를 관찰할 수 있다. 실린더 내 공기의 온도가 감소하면 압력이 감소하는 반면, 탱크 내 공기의 온도가 상승하면 압력도 상승한다.

3. 잠수의 생리학적 특성

인체는 대기압 환경 속에 노출되어 있을 때는 느끼지 못하지만, 주위 압력이 증가하거나 수심이 깊어지면 그 압력의 영향에 대해 인체 내부에 가능한 적은 영향을 주기위해 기전이 발동하기 시작한다. 그러나 우리가 잠수를 할 때 이러한 외부 압력 증가의 한계, 즉 보상기전의 한계를 지나치게 되면 심각한 생리학적인 상해로 이어질 수 있다. 안전한 잠수는 이러한 생리학적인 원리를 알고, 부과된 압력의 한계를 알고 어떻게 그것을 줄이며 피할 수 있는가에 따라 이루어진다.

스포츠 스쿠버 잠수의 생리적 현상은 유체의 저항을 이겨내기 위해 생성되는 에너지의 소모와 탈진, 체온보다 낮은 수온에서의 체온 유지 능력 상실, 대기와 다른 환경에서 압축된 기체를 호흡함으로써 심폐호흡 기능 시스템의 변화와 고압 환경에의 적응 과정, 체내의 축적된 공기 함량으로 인한 기체량과 압축에의 적응과정, 기체의 독성과 용해도 변화를 일으킬 수 있는 부분압의 영향에 대한 적응 등이 있다.

다이버는 신체적으로 건강해야 한다. 심각한 질병을 앓고 있거나 병력이 있는 사람은 일단 의사의 검진을 받아야 한다. 검진은 될 수 있는 대로 잠수 전문의에게 받는 것이 좋다.

심장과 순환기 계통의 질병들, 즉 협심증, 심장 판막 장애, 심부전증 등은 심근경색을 일으킬 수 있으므로 이런 질병을 갖고 있는 사람이 잠수 활동을 하는 것은 대단히 위험하다. 그리고 심한 고혈압이나 저혈압으로 치료를 받고 있는 사람은 의사와 상의해야 한다. 호흡기 계통의 건강도 중요하다.

폐질환은 공기 색전증의 위험이 있으며, 잠수 중의 천식 발병은 치명적으로 위험하다. 다이버가 호흡하는 공기는 차고 건조하기 때문에 천식이 있는 사람은 발작을 일으킬 수 있다. 물론, 귀와 부비동도 압력의 직접적인 영향을 받으므로 전혀 이상이 없어야 한다. 신경계에 손상이 있을 경우에는 수중에서 아무런 사전 징조 없이 갑자기 의식을 잃거나 현기증을 일으킬 수 있다. 특히, 간질 등으로 인한 발작을 수중에서 일으키면 익사의 위험이 있다.

1) 저 체온증

표 3. 인체의 심부온도와 증상

심부온도		증상
℃	°F	
37	98	추위를 느낌. 피부의 혈관 수축. 근육 긴장도가 증가함. 산소 소모량 증가함.
36	97	산발적인 떨림이 있으나 의식적으로 억제 가능. 총체적인 떨림이 한 차례 정도 있음. 산소 소모량이 더 증가, 조절이 안 되는 떨림.
35	95	실험실의 연구에 의하면 의식적인 내성에 한계를 보임. 정신적 혼돈, 합리적인 사고의 장애, 역사할 가능성이 있음. 물에서 허우적거리며 살고자 하는 의지가 떨어짐.
34	93	기억 상실, 언어 능력 장애, 감각기능 장애, 운동 수행 능력 장애.
33	91	환각, 망상, 의식 일부 상실, 떨림 현상이 장애를 받음.
32	90	심장 박동 불규칙, 운동 수행능력이 현저하게 저하됨.
31	80	떨림 현상이 정지, 가까운 사람을 알아보지 못함.
30	86	근육이 굳어지고 통증을 느끼지 못함.
29	84	의식 상실됨.
27	80	심장의 심실세동(효과적인 박동이 안됨), 근육이 풀림.
26	79	사망.

우리 인체의 자연적인 절연효과를 이용하여 체온 손실을 방지하거나 아니면 적절한 잠수복으로 보온을 해야 한다. 체온이 떨어지면 다이버의 사고력이 떨어지고 손을 사용하여 일을 하는 것이 잘 안되고 다른 운동 능력도 정상인 상태보다 저하된다. 심부 온도가 떨어졌을 때 증상과 증후는 <표 3>과 같이 다이버 자신이 증상을 느끼는 것부터 사망까지 다양하게 나타난다.

2) 폐의 과팽창

수중에서의 호흡적응에서 가장 중요한 요소는 수중에서 숨을 참으려는 본능을 극복하는 것이다. 수중에서 압축된 공기를 호흡하면, 폐 내의 공기밀도는 수면에서보다 증가한다.

다이버가 상승할 때, 폐 내의 공기는 주위 압력이 감소하는 만큼 팽창한다. 이때 다이버가 숨을 참으면, 폐가 최대 부피에 이를 때까지 팽창하여 1.2 m(4 ft)도 상승하기 전에 파열된다. 따라서 수중에서 압축된 공기를 호흡할 때 절대로 숨을 참는 일이 없도록 해야 한다. 다이버는 꾸준히 호흡하고 소량의 공기라도 내쉬는 것을 계속해야 하지만, 압축된 공기를 호흡한 후 상승하는 동안 숨을 참아서는 안 된다.

공기 색전증은 압력으로 인한 모든 종류의 폐 손상을 의미한다. 상승 중 폐로부터 팽창된 공기를 배출시키지 못하면 다양한 형식의 공기 색전증이 단일하게 또는 복합적으로 발생한다.

(1) 동맥 기체색전증

색전증이란 순환장애를 의미한다. 기포에 의해 동맥순환에 장애가 발생한 경우를 일컬어 동맥 기체색전증(AGE, Arterial Gas Embolism)이라 한다. 이것은 폐 내의 공기가 팽창하여 순환으로 기포를 밀어 넣음으로써 발생된다. 기포는 폐의 모세혈관 그물로 들어가서 심장을 지나는데, 이때 신체 각 부분에 혈액을 공급하는 동맥 안으로 기포를 펌프질한다. 동맥의 지름은 심장으로부터 거리가

증가함에 따라 감소한다. 어떤 점에서 기포는 동맥 안에 머무르다 색전이 된다. 일반적으로 동맥 기체색전증은 뇌로 이르는 동맥에서 발생한다.

색전은 타격효과를 가지고 있어 의식을 잃을 수 있는 매우 심각한 부상이다. 잠수 후 다이버가 의식을 잃었을 경우에는 항상 동맥 기체색전증을 의심해 보아야 한다. 추위로 인해 발생하는 것과 같이 일시적으로 기도가 차단되는 것으로 인해 동맥 기체색전증의 위험이 증가한다. 건강한 폐는 잠수 활동의 필수 조건이다.

(2) 종격기종

종격동은 우리 인체의 가슴 앞에 있는 심장과, 기도, 그리고 심장으로 들어가고 심장에서 나오는 중요한 혈관이 있는 부분을 말한다. 폐포가 터져 주위의 모세혈관 주위와 종격동 쪽으로 공기가 모이고 다시 주요 혈관이나 기관을 따라 목 주위의 피하조직에까지 공기가 고이는 것을 말한다.

부상은 기침, 삼키기, 또는 심호흡으로 인해 악화되는 지속적인 통증과 긴장의 원인이 된다. 공기의 팽창이 열의 순환을 방해하여 의식을 잃을 수 있다.

(3) 피하기종

종격에서 팽창된 공기는 흉골을 따라 위로 상승할 수 있다. 그런 다음 공기는 목 주위의 조직을 팽창시켜 피하기종이라는 부상을 발생시키는데, 피부 아래의 조직에 공기가 있다는 의미이다. 이로 인해 목소리의 변화, 피부의 갈라짐, 그리고 목이 부풀어 오를 수 있다.

(4) 기흉

폐의 파열로 인해 폐와 흉벽 사이의 공간으로 공기가 밀려들어가면, 기흉이 발생한다. 기흉이란 흉벽 내에 공기가 갇혀있다는 것을 의미한다. 하강 중 늑막

공간으로 유입된 공기가 팽창함에 따라, 그것이 폐를 자극하고 심장기능에 영향을 미친다. 이로 인해 심각한 통증과 호흡곤란 등이 발생한다.

3) 감압병

잠수 시 수압 증가로 폐가 압축되면 폐내의 불활성 기체인 질소나 헬륨의 부분압이 급격히 증가하고 기체는 폐에서 혈액으로 이동하여 조직 내로 축적된다. 다이버가 급히 상승하면 폐의 팽창으로 인하여 폐내 기체 분압은 급격히 줄지만 조직 내 기체 분압은 그렇게 빨리 줄지 못하므로 조직은 기체의 과포화 상태에 처하게 된다. 따라서 마치 탄산음료 마개를 따놓을 때처럼 혈액이나 조직에 기포를 형성하고 이 기포가 국소적으로 혈액 순환을 차단하거나 주위 조직에 기계적 영향을 줌으로써 다양한 증상을 나타내는 질환이다(Jain, 1999). 이것이 잠수병 중 가장 흔한 감압병(decompression sickness 또는 bends)이다. 그러므로 압축공기를 사용하는 스포츠 잠수 시 감압병 방지를 위해서는 한꺼번에 급히 부상하지 않고 단계적으로 서서히 부상해야 한다.

4) 질소 마취

잠수 중 고압 하에서 불활성 기체(질소)로 호흡하여 야기되는 지각마비와 무의식 상태를 말한다. 가장 흔한 형태인 질소 마취는 일정 수심에서 고압 공기로 호흡해서 생긴다. 불활성 기체의 마취현상의 강도는 기체의 정도에 따라 다르게 나타난다. <표 4>와 같이 질소는 약 30 m이상의 수심에서 증상이 나타나기 시작하며, 50 m이상에서는 현저하게 나타난다. 그러나 개인에 따라 감수성의 차이가 있으며, 어떤 이는 60 m에서도 증상이 잘 나타나지 않는 경우도 있다.

표 4. 수심별 질소의 마취현상

수심(m)	증세
10-30	처음 하는 작업은 다소 서툴러지고, 약간 황홀해짐.
30	판단력이 흐려지며, 조금 전에 일어났던 일을 기억하지 못함.
30-50	웃음이 나고, 두려움이 없어지며, 셈을 잘 할 수 없음.
50	졸음이 오고, 헛것이 보이며, 사리 판단이 흐려짐.
50-70	들뜬 감정, 과격한 행동을 하고 싶은 충동과 히스테릭한 웃음이 나옴.
70	정신이 몽롱해지고, 손으로 하는 일이 어려워짐.
70-90	자극에 대한 반응이 느려지고, 집중력 소실 및 정신 착란 증상이 나타남.
90 이상	심한 마취 및 환각 상태, 감각 및 정신 기능이 전면적으로 소실됨.

4. 스포츠 잠수표

1930년대 미 해군은 자원자를 대상으로 특정한 감압 실험을 실시하였다. 실험 참가자들을 감압실에서 상승 기압에 노출시킨 후 감압하고, 휴식 없이 바로 수면 압력으로 되돌아가는 것이었다. 이 실험의 결과로 할데인의 대기 압력이 악영향을 생성하지 않고 반감될 수 있다라는 이론은 틀렸음이 명확히 증명되었다. 즉, 각 조직의 반감기는 고유의 허용 감압비율을 갖는다고 결론지었다.

이후 다양한 조직 그룹 또는 구획에 대한 연구가 꾸준히 진행되었으며, 각각의 고유한 과포화 비율은 용존 기체량에 따라 다양함이 밝혀졌다. 최대 과포화 비율은 최소 허용 초과 압력(M values)으로 표기되고 이러한 개념을 바탕으로 한 잠수표가 1955년 미 해군 Dwyer에 의해 소개되었다. 그리고 이듬해 des Grange가 이 잠수표에 대한 테스트를 수행하였는데 총 564회의 잠수가 실시되어 이중 26건의 감압병이 발생되었다.

재잠수 문제는 1957년 다루어졌는데 총 122회의 테스트 잠수 중에서 3건의 감압병이 발생했다. 최종 잠수표는 1957년 미 해군 매뉴얼에 수록되었고, 현재 미 해군 잠수표와 동일하다(Lippmann, 1990). 이 잠수표는 할데인의 기체 흡입 및 배출은 동일한 속도로 진행된다는 내용을 기초로 인체를 6개의 조직반감기 (5, 10, 20, 40, 80, 120분)로 나누었고 조직마다 다른 과포화비를 사용하고 있다.

잠수표에는 수심별로 감압을 하지 않고 체류할 수 있는 시간제한이 나와 있고, 이 시간제한을 초과하였을 경우 감압을 어느 깊이에서 몇 분간하여야 안전하다는 것을 알려 준다. 이러한 잠수표는 수중 활동 시간과 수심의 깊이에 따라 신체에 흡수되는 질소의 양에 근거를 두어 질소 기포가 형성되지 않도록 여러 신체조직에 있어 압력에 따른 기체의 흡수량을 제한한다. 그리고 한 번의 잠수 후 12시간 내에 또다시 잠수를 하고자 할 때에는 체내에 남아 있는 잔여 질소량을 파악하고 난 후에 잠수 계획을 세워야 한다.

인체 내에 남아 있는 이 질소를 잔류질소라고 하는데 스쿠버 잠수 후 체내 혈액 및 조직 내에는 용해된 채로 남아 있는 질소의 양이 어느 정도 남아있다.

다음 잠수를 계획하기 위해서 남아 있는 질소량을 시간으로 바꾸어 다음 잠수의 무감압한계 시간에 적용하지 않으면 안 된다. 이때 수면휴식 테이블과 잔류 질소 테이블이 사용되어 진다.

본 연구는 미국의 국립해양대기청(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration) 잠수표를 적용하였다. NOAA 잠수표는 미해군 잠수표를 기초로 해서 <표 5>와 같이 간략화 된 잠수표 만들었는데 이름을 “NOAA 무감압 공기 잠수표(NOAA No-Decompression Air Dive Table)라 하였다. 그리고 NAUI(National Association of Underwater Instructors)에서는 레크리에이션 다이빙을 위해 이 형식을 사용했다(NOAA diving manual, 2001).

표 5. NOAA 무감압 공기 잠수표



NOAA NO-DECOMPRESSION AIR DIVE TABLE

CHART 1 — DIVE TIMES WITH END-OF-DIVE GROUP LETTER

WARNING: EVEN STRICT COMPLIANCE WITH THESE CHARTS WILL NOT GUARANTEE AVOIDANCE OF DECOMPRESSION SICKNESS. CONSERVATIVE USAGE IS STRONGLY RECOMMENDED.

RNT RESIDUAL NITROGEN TIME
 + ABT ACTUAL BOTTOM TIME
 ESDT EQUIVALENT SINGLE DIVE TIME
 (USE ESDT TO DETERMINE END-OF-DIVE LETTER GROUP)

DEPTH	MAXIMUM NO-STOP TIME		DIVE TIME REQUIRING DECOMPRESSION													
	msw	fsw	MINUTES REQUIRED AT 10 fsw STOP (3msw)													
12	40	5	15	25	30	40	50	70	80	100	110	130	150	170	200	00
15	50		10	15	25	30	40	50	60	70	80	90	100	120	160	00
18	60		10	15	20	25	30	40	50	55	60	70	80	100	140	00
22	70		5	10	15	20	30	35	40	45	50	60	70	80	100	00
25	80		5	10	15	20	25	30	35	40	40	50	60	70	80	00
28	90		5	10	12	15	20	25	30	30	40	50	60	70	80	00
31	100		5	7	10	15	20	22	25	25	30	40	50	60	70	00
34	110			5	10	13	15	20	20	25	30	40	50	60	70	00
37	120			5	10	12	15	15	20	25	30	40	50	60	70	00
40	130			5	8	10	15	15	20	25	30	40	50	60	70	00

GROUP LETTER	SURFACE INTERVAL TIME													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
A	12:00 0:10	12:00 3:21	12:00 4:50	12:00 5:48	12:00 6:35	12:00 7:06	12:00 7:36	12:00 8:00	12:00 8:22	12:00 8:51	12:00 8:59	12:00 9:13	12:00 9:29	12:00 9:44
B	3:20 0:10	4:49 1:40	5:48 2:39	6:34 3:25	7:05 3:58	7:35 4:26	7:59 4:50	8:21 5:13	8:50 5:41	8:58 5:49	9:12 6:03	9:28 6:19	9:43 6:33	9:58 6:48
C	1:39 0:10	2:38 1:10	3:24 1:58	3:57 2:29	4:25 2:59	4:49 3:21	5:12 3:44	5:40 4:03	5:48 4:20	6:02 4:36	6:18 4:50	6:32 5:04	6:47 5:16	7:01 5:28
D	1:09 0:10	1:57 0:55	2:28 1:30	2:58 2:00	3:20 2:24	3:43 2:45	4:02 3:05	4:19 3:22	4:35 3:37	4:49 3:53	5:03 4:05	5:17 4:19	5:31 4:31	5:45 4:43
E	0:54 0:10	1:29 0:48	1:59 1:16	2:23 1:42	2:44 2:03	3:04 2:21	3:21 2:39	3:36 2:54	3:51 3:09	4:04 3:23	4:19 3:37	4:32 3:51	4:45 4:00	4:58 4:13
F	0:45 0:10	1:15 0:41	1:41 1:07	2:02 1:30	2:20 1:48	2:38 2:04	2:53 2:20	3:08 2:35	3:22 2:48	3:35 3:01	3:49 3:14	4:01 3:26	4:14 3:39	4:27 3:51
G	0:40 0:10	1:06 0:37	1:29 1:00	1:47 1:20	2:03 1:36	2:19 1:50	2:34 2:06	2:47 2:19	3:00 2:32	3:11 2:43	3:24 2:55	3:36 3:07	3:48 3:19	4:00 3:31
H	0:38 0:10	0:59 0:34	1:19 0:55	1:35 1:12	1:49 1:26	2:05 1:36	2:18 1:54	2:31 2:02	2:42 2:13	2:54 2:25	3:05 2:36	3:16 2:47	3:27 2:58	3:38 3:09
I	0:30 0:10	0:54 0:32	1:11 0:50	1:25 1:00	1:39 1:14	1:53 1:28	2:05 1:40	2:17 1:52	2:28 2:03	2:39 2:14	2:50 2:25	3:01 2:36	3:11 2:46	3:22 2:57
J	0:31 0:10	0:45 0:29	1:04 0:46	1:18 0:50	1:32 1:06	1:46 1:20	1:59 1:33	2:11 1:45	2:22 1:56	2:33 2:07	2:44 2:18	2:55 2:29	3:05 2:40	3:16 2:51
K	0:28 0:10	0:45 0:27	0:59 0:43	1:11 0:55	1:25 1:00	1:39 1:14	1:53 1:28	2:05 1:40	2:17 1:52	2:28 2:03	2:39 2:14	2:50 2:25	3:01 2:36	3:11 2:46
L	0:26 0:10	0:42 0:26	0:54 0:40	1:06 0:50	1:19 0:93	1:32 1:06	1:45 1:20	1:57 1:31	2:08 1:43	2:19 1:54	2:30 2:04	2:41 2:15	2:52 2:26	3:03 2:37
M	0:25 0:10	0:39 0:25	0:51 0:40	1:03 0:52	1:15 0:89	1:27 1:01	1:40 1:14	1:52 1:26	2:03 1:47	2:14 1:58	2:25 2:00	2:36 2:10	2:47 2:21	2:58 2:32
N	0:24 0:10	0:38 0:24	0:50 0:39	1:02 0:51	1:14 0:88	1:26 1:00	1:39 1:13	1:51 1:25	2:02 1:46	2:13 1:57	2:24 2:01	2:35 2:09	2:46 2:20	2:57 2:31

CHART 3 — REPETITIVE DIVE TIME

TOP NUMBERS (RED) ARE RESIDUAL NITROGEN TIMES, RNT
 BOTTOM NUMBERS (BLACK) ARE ADJUSTED MAXIMUM DIVE TIME FOR A REPETITIVE DIVE WITH NO DECOMPRESSION
 BLACK AREA: REQUIRES DECOMPRESSION

CHART 2 — SURFACE INTERVAL TIME

Ⅲ. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 잠수경력과 체력의 수준이 비슷한 20대의 스포츠 스쿠버 다이버 남자 8명을 선정하였다.

피험자는 스포츠 잠수관련 자격을 인증 받은 다이버들로서 의학적 신체검사와 수중에서의 운동을 수행할 수 있는 자로 한정하였다.

피험자의 신체적 특성은 <표 6>에 나와 있다.

표 6. 피험자의 개별적 신체 특성

연령(나이)	잠수횟수	신장(cm)	체중(kg)
25년 8개월	74	176	71
23년 7개월	62	168	64
23년 1개월	58	178	72
22년 6개월	52	178	75
21년 9개월	55	173	68
20년 3개월	43	168	67
19년 9개월	49	160	68
19년 8개월	48	181	58
22.0±2.07	55±9.68	172.75±6.98	67.88±5.22

(Values are Mean±SD)

2. 연구 설계

본 연구의 독립변수는 스포츠 잠수 초급 이상의 일반 다이버이고 채혈 및 심박수의 측정과 심폐기능의 측정은 잠수 전에 1차 실시, 그리고 첫 잠수 후와 반복 잠수 후에 각각 2차·3차가 실시되었다. 종속변수는 생리적 반응, 폐기능, 혈액조성, 스트레스 호르몬으로 하였다.

본 실험 전, 초급 이상의 경력을 가진 남자 43명, 여자 17명의 다이버 60명을 대상으로 사전 설문조사를 실시하여 스포츠 스쿠버 잠수 활동 시 가장 경험이 많은 잠수 수심을 파악하였다. 그리고 본 연구의 대상자는 잠수경력 40회 이상의 남자 8명을 선정하였고, <표 7>과 같이 실험을 설계하였다. 잠수복은 5 mm 두께의 습식 잠수복을 착용하였으며 공기는 용량이 80 ft³인 알루미늄 합금실린더에 충전하여 사용하였다.

표 7. 실험 설계

순서	내용	비고
사전 설문조사	스포츠 잠수 활동 시 가장 경험이 많은 수심 파악.	초급 이상 일반 다이버 남·여 포함 60명.
연구 대상자	초급등급 이상의 경력 다이버 선정.	잠수경력 40회 이상.
본 실험	무감압한계 잠수범위 내 반복 잠수(잠수 전, 첫 잠수 후, 반복 잠수 후 측정 및 채혈).	NOAA 무감압 공기 잠수표 사용, 측정 및 채혈은 실험지역의 해변가에서 이루어짐.
자료분석	SPSS 12.0K	통계분석.

1) 실험 측정기구

본 실험에서는 혈액 분석, 혈압 측정, 폐기능 측정, 호르몬 분석, 잠수데이터 기록을 위하여 <표 8>과 같은 측정기구를 사용하였다.

표 8. 측정기구

측정기구명	모델명	기구 사진
혈액 분석기	COULTER LH1502(USA)	
혈압기	NATONAL EW278(JAPAN)	
폐기능 측정기	CHESTGRAPH HI-101(USA)	
호르몬 분석기	ADVIA CENTAUR(USA)	
잠수 컴퓨터	M 1(ITALY)	

2) 실험 방법 및 절차

(1) 사전 설문조사

본 연구는 <표 9>와 같이 스포츠 스쿠버 잠수 초급 이상의 경력을 가진 다이버 남자 43명, 여자 17명의 총 60명을 대상으로 직접 면담을 통하여 설문지 작성을 실시하였다. <표 10>과 같이 다이버들의 최대빈도 잠수 수심은 20-25 m였고, 25-30 m는 다이버들의 최저빈도 잠수 수심으로 파악되었다.

표 9. 설문조사 대상

(Values are Mean±SD)

구분	인원(명)	평균연령(세)	잠수 등급		
			초급	중급	상급
남	43	35.35±4.20	22	13	8
여	17	28.25±3.35	11	5	1
계	60	33.34±5.10	33	18	9

표 10. 다이버들의 최대빈도 잠수 수심

구분	10-15 m	15-20 m	20-25 m	25-30 m
남	3	12	22	6
여	5	5	7	0
계	8	17	29	6

3) 본 실험

(1) 실험 시 해상환경

본 실험 시 해상환경은 <표 11>과 같았다.

기온은 25-32 °C, 수온은 16-19 °C였다. 해상의 대기는 청명하였고 풍향은 남동-남서, 풍속은 6-9 m, 파고는 0.5-1 m 였다. 수중의 환경은 조류의 영향은 크지 않았으나 시계가 약 2 m였다.

표 11. 잠수환경

1. 목적	반복 잠수 시 생리적 반응 실험을 위한 잠수			2. 방식	공기잠수 (Air)
3. 일정	2006년8월4일	4. 장소	감지해변 앞바다(부산)	5. 날씨	맑음
6. 인원 (남자)	8명	7. 평균연령 (세)	22.0±2.07	8. 인증 등급	초급 5명 중급 2명 상급 1명
9. 기온 (°C)	10:00 - 25°C 12:00 - 32°C	10. 수온 (°C)	수면 19°C 수중 16°C	11. 파고	0.5-1 m
12. 풍향	남동 - 남서	13. 풍속	6 - 9 m	14. 수중 시야	2 m

(2) 실험 진행

본 실험은 부산 영도 감지해변 연근해에서 오전 08:30-13:00까지 <표 12>와 같이 진행되었다. 실험구역인 해상까지는 보트를 이용하여 이동하였으며, 수면에 일정거리의 양쪽으로 잠수부표를 띄우고 안전요원을 배치하여 동일한 장소,

시간, 수심에서 그룹 잠수로 진행하였다.

수중실험 수심까지는 가이드라인을 설치하고 수심표식을 하였으며 다이버는 잠수 컴퓨터를 이용하여 NOAA 무감압 공기잠수표의 범위 내로 잠수계획에 따라 상급 다이버가 인솔하여 스포츠 잠수를 실시하였다. 그리고 실험 진행 시 다이버들이 사용한 공기통의 잠수 전 잔류압력과 잠수 후 잔류압력은 <표 13> 과 같으며 본 실험의 시행 유형은 다음과 같다.

- ① 1차 첫 잠수를 최대잠수 수심 24 m에서 잠수시간 24분간 잠수.
- ② 1차 첫 잠수 후 수면휴식을 90분간 실시.
- ③ 2차 반복 잠수를 최대잠수 수심 23 m에서 잠수시간 22분간 잠수.

표 12. 시간별 실험 과정

시 간	내 용	시 간																																																							
-08:30	다이버 장비확인, 실험동의 확인, 잠수지역 실험환경 조성	동 의 서 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>성명</th> <th>공인번호</th> <th>주소</th> <th>연락처</th> <th>서명</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table> <small>장기 계약은 2009년 1월 1일 한국해양대학교 해양안전기술대학원 수중활동학과 교육 전문직(2009090) 장승길과 20100000 교육전문직(20100000) 장승길에게만 한정하며 주요업무로 실시하는 연구 및 특수교육을 위한 실험실습에 참가하기를 동의합니다. 실험내용은 인공과 같은 인공의 장거행은 의 조항에 해당함에 유의합니다.</small>	성명	공인번호	주소	연락처	서명																																																		
성명	공인번호	주소	연락처	서명																																																					
08:30-10:11	잠수 전 1차 채혈 및 측정 후 휴식																																																								
10:11-10:35	첫 잠수 : 최고수심 24 m, 잠수시간 24분 (바닥수심 25.8 m지점에서 실시)																																																								
10:35-10:55	수면상승 실시, 이후 2차 채혈 및 측정																																																								
10:40-12:10	첫 잠수 후 90분간 해변가에서 수면휴식, 장비교환 및 정리																																																								
12:10-12:32	반복 잠수 : 최고수심 23 m, 잠수시간 22분 (첫 잠수 시와 동일지점 실시)																																																								
12:32-12:55	수면상승 실시, 이후 3차 채혈 및 측정																																																								

표 13. 피험자의 잠수 전·후의 실린더 공기압

구분	1차 잠수(kg/cm ²)	2차 잠수(kg/cm ²)
잠수 전	200×2명	200×3명
	190×4명	190×5명
	180×2명	--
잠수 후	70×1명	80×1명
	60×4명	60×5명
	50×2명	50×1명
	30×1명	40×1명

(3) 잠수 기록

본 실험의 첫 잠수와 반복 잠수는 잠수 컴퓨터(M1)를 이용하여 <표 14>, <표 15>와 같이 잠수 시간별 기록을 측정하였으며 잠수의 프로파일은 <그림 1>, <그림 2>과 같았다.

① 첫 잠수의 최대잠수 수심은 24 m였으며, 잠수 시간은 24분이었다. 그리고 수면까지의 상승 시간은 약 5분이 소요되었다.

표 14. 첫 잠수 시간별 수심

경과시간 (Time)	수심 (Meter)	경과시간 (Time)	수심 (Meter)	경과시간 (Time)	수심 (Meter)	경과시간 (Time)	수심 (Meter)
0'20"	--	7'00"	--	14'00"	--	21'00"	--
1'00"	--	8'00"	--	15'00"	--	22'00"	--
2'00"	--	9'00"	--	16'00"	--	23'00"	--
3'00"	24.0	10'00"	--	17'00"	--	23'40"	22.4
4'00"	--	11'00"	--	18'00"	--	24'00"	22.1
5'00"	--	12'00"	--	19'00"	--	24'20"	21.3
6'00"	--	13'00"	--	20'00"	--	29'00"	5.1

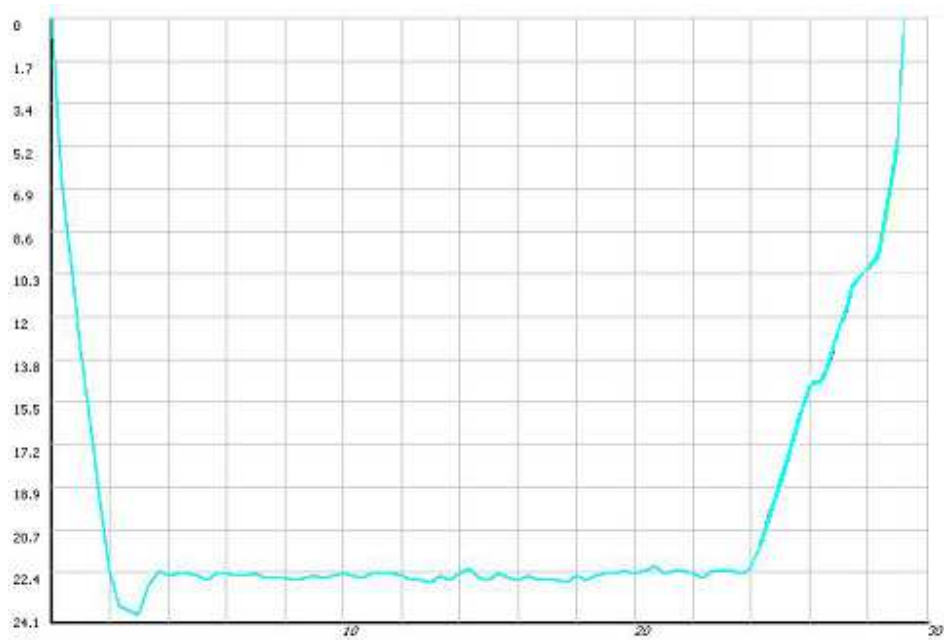


그림 1. 첫 잠수 프로파일

② 반복 잠수의 최대잠수 수심은 23 m였으며, 잠수 시간은 22분이었다. 그리고 수면까지의 상승 시간은 약 6분이 소요되었다.

표 15. 반복 잠수 시간별 수심

경과시간 (Time)	수심 (Meter)	경과시간 (Time)	수심 (Meter)	경과시간 (Time)	수심 (Meter)	경과시간 (Time)	수심 (Meter)
0'20"	4.5	6'00"	--	13'00"	--	20'00"	--
1'00"	--	7'00"	--	14'00"	--	21'00"	21.7
2'00"	--	8'00"	--	15'00"	--	22'00"	21.6
2'40"	23	9'00"	--	16'00"	--	22'30"	19.7
3'00"	--	10'00"	--	17'00"	--	23'00"	19.2
4'00"	--	11'00"	--	18'00"	--	24'00"	15.2
5'00"	--	12'00"	--	19'00"	--	27'00"	5.0

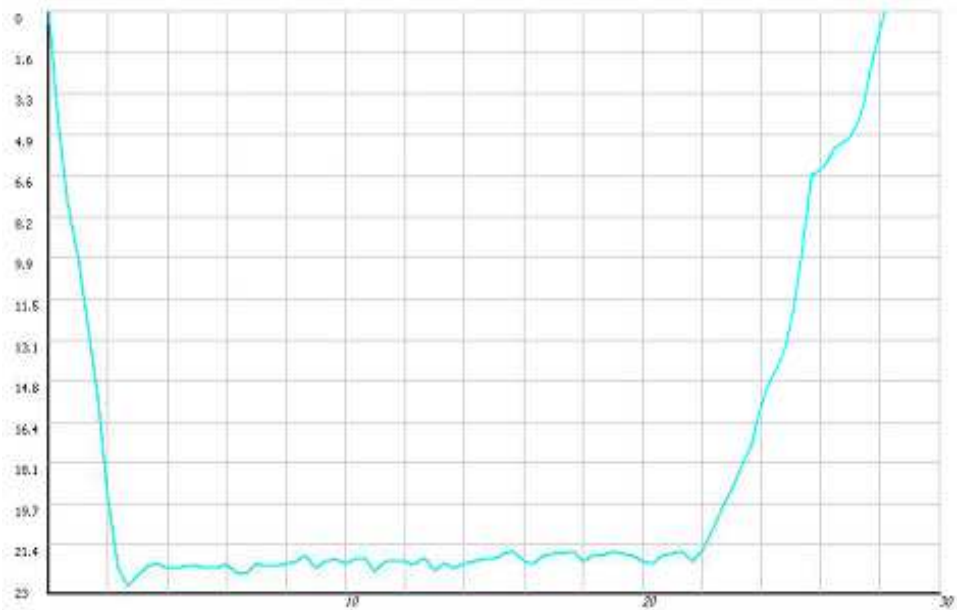


그림 2. 반복 잠수 프로파일

3. 자료 분석

본 연구의 통계분석은 실험에서 얻어진 자료를 SPSS 12.0K/windows 통계 프로그램을 이용하여 반복측정에 의한 일원변량 분석(Repeated measures ANOVA)을 하였으며 사후검정(post-hoc analysis)은 Bonferroni 방법을 사용하였다. 유의 수준은 $p < .05$ 로 하였다.

IV. 결과

본 연구는 스포츠 잠수 다이버들이 가장 경험이 많은 수심을 선정하여 동일한 환경과 수심에서 반복 잠수가 다이버의 생리적 반응(심박수, 체온, 혈압)의 변화, 폐기능(폐활량, 호기량, 유속), 혈액성분(백혈구, 백혈구 아군, 혈소판)의 변화, 그리고 스트레스 호르몬(코티졸, 카테콜라민)의 변화에 미치는 영향을 구명하였다.

1. 무감압한계 잠수환경에서의 생리적 반응의 변화

본 연구의 무감압한계 잠수환경에서의 반복 잠수가 생리적 반응에 미치는 영향은 <표 16>과 같다.

잠수 전 심박수는 분당 89.0 ± 7.01 회, 첫 잠수 후에는 73.25 ± 13.56 회였으며 반복 잠수 후에는 73.50 ± 9.9 회로 감소하여 통계적으로 유의하게 나왔다($F=10.866$, $P<.001$). 사후 검정결과 잠수 전과 첫 잠수 후($p<.001$), 잠수 전과 반복 잠수 후($p<.001$), 잠수 전·1차 잠수와 반복 잠수 간에 유의한($p<.001$) 차이가 나타났다.

체온은 잠수 전, 첫 잠수, 반복 잠수 후 겨드랑이 온도를 측정하였다. 잠수 전 체온은 36.58 ± 0.28 °C, 첫 잠수 후에는 34.54 ± 0.72 °C였고 반복 잠수 후에는 34.03 ± 0.24 °C로 통계적으로 유의하게 나왔으며($F=75.403$, $P<.001$), 사후 검정결과 잠수 전과 첫 잠수 후($p<.001$), 잠수 전과 반복 잠수 후($p<.001$), 잠수 전·1차 잠수와 반복 잠수 간에 유의한($p<.001$) 차이가 나타났다.

잠수 전 수축기 혈압은 126.25 ± 9.16 mmHg, 첫 잠수 후에는 115.0 ± 10.69 mmHg였으며 반복 잠수 후에는 110.0 ± 10.69 mmHg로 통계적으로 유의하게 나왔다($F=4.979$, $P<.05$). 사후 검정결과 잠수 전과 첫 잠수 후는 유의하지 않았으며, 잠수 전과 반복 잠수 후($p<.01$), 잠수 전, 1차 잠수와 반복 잠수 간에

유의한(p<.05) 차이가 나타났다.

잠수 전 이완기 혈압은 71.25±9.91 mmHg, 첫 잠수 후에는 81.25±8.35 mmHg였으며 반복 잠수 후에는 76.25±10.61 mmHg로 통계적으로 유의하지 않았다. 사후 검정결과 잠수 전과 첫 잠수 후, 잠수 전과 반복 잠수 후, 그리고 잠수 전, 1차 잠수와 반복 잠수 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

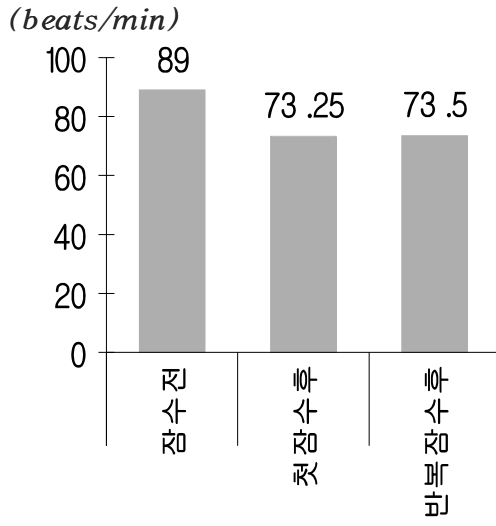
표 16. 생리적 반응의 변화

구 분	잠수 전 ¹⁾	첫 잠수 ²⁾	반복 잠수 ³⁾	F	Post-Hoc
심박수 (beats/min)	89.00±7.01	73.25±13.56	73.50±9.96	10.866***	1>2** 1>3** 1.2>3**
체온(°C)	36.58±0.28	34.54±0.72	34.03±0.24	75.403***	1>2*** 1>3*** 1.2>3***
수축기혈압 (mmHg)	126.25±9.16	115.00±10.69	110.00±10.69	4.979*	1>3**, 1.2>3*
이완기 혈압 (mmHg)	71.25±9.91	81.25±8.35	76.25±10.61	2.625	NS

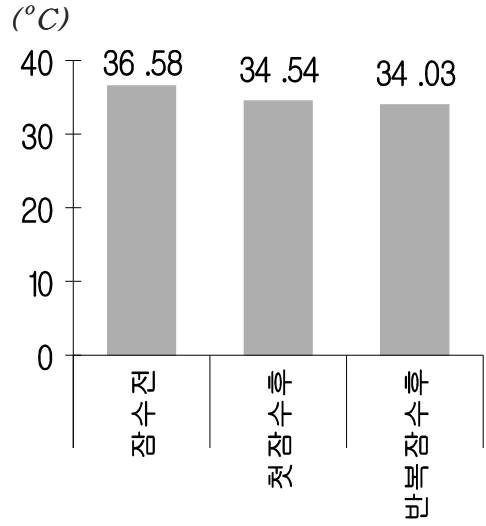
Statistical significances were tested by repeated measures ANOVA & Bonferroni method.

* P <.05 ** P <.01 *** P <.001

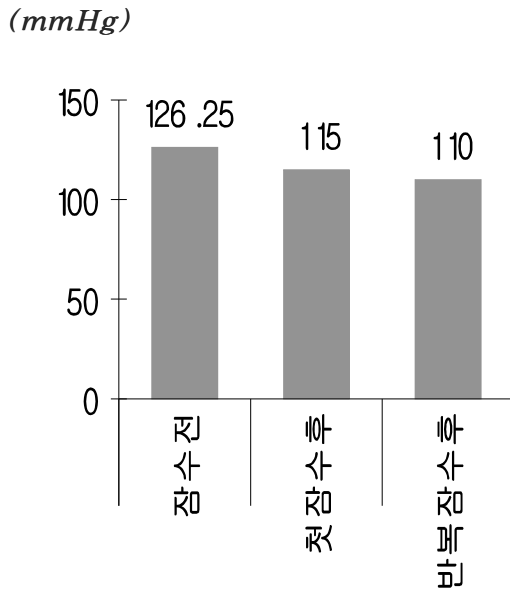
* NS : Nonsignificant



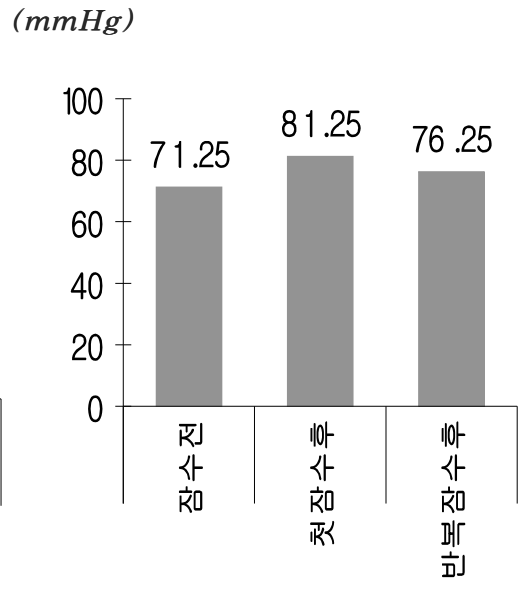
<그림 3> 심박수 변화



<그림 4> 체온 변화



<그림 5> 수축기 혈압변화



<그림 6> 이완기 혈압변화

2. 무감압한계 잠수환경에서의 폐기능의 변화

본 연구의 무감압한계 잠수환경에서의 반복 잠수가 폐기능에 미치는 영향은 <표 17>과 같다.

잠수 전 노력성 폐활량은 4.53 ± 0.58 L/S, 첫 잠수 후에는 4.50 ± 0.48 L/S였으며 반복 잠수 후에는 4.56 ± 0.51 L/S로 통계적으로 유의하지 않았다.

잠수 전 1초간 노력성 호기량은 3.86 ± 0.64 L/S, 첫 잠수 후에는 3.87 ± 0.49 L/S였으며 반복 잠수 후에는 3.86 ± 0.34 L/S로 통계적으로 유의하지 않았다.

잠수 전 노력성 호기 중간량은 4.21 ± 1.30 L/S, 첫 잠수 후에는 4.15 ± 1.06 L/S였으며 반복 잠수 후에는 4.00 ± 0.48 L/S로 통계적으로 유의하지 않았다.

잠수 전 최대호기 유속은 8.41 ± 2.26 L/S, 첫 잠수 후에는 8.52 ± 1.96 L/S였으며 반복 잠수 후에는 7.90 ± 1.64 L/S로 통계적으로 유의하지 않았다.

잠수 전 노력성 호기량의 25%에 해당하는 속도는 6.93 ± 2.02 L/S였고 첫 잠수 후에는 7.32 ± 1.59 L/S였으며 반복 잠수 후에는 6.76 ± 0.83 L/S로 통계적으로 유의하지 않았다. 잠수 전 노력성 호기량의 50%에 해당하는 속도는 6.62 ± 1.44 L/S, 첫 잠수 후에는 4.71 ± 1.14 L/S였으며 반복 잠수 후에는 4.29 ± 0.65 L/S로 통계적으로 유의하지 않았다. 잠수 전 노력성 호기량의 75%에 해당하는 속도는 잠수 전에는 2.39 ± 0.91 L/S였고 첫 잠수 후에는 2.48 ± 0.85 L/S였으며 반복 잠수 후에는 2.20 ± 0.40 L/S로 통계적으로 유의하지 않았다.

표 17. 폐기능의 변화

구 분	잠수 전 ¹⁾	첫 잠수 ²⁾	반복 잠수 ³⁾	F	Post-Hoc
FVC(L/S)	4.53±0.58	4.50±0.48	4.56±0.51	.446	NS
FEV ₁ (L/S)	3.86±0.64	3.87±0.49	3.86±0.34	.002	NS
FEV ₁ /FVC (%)	85.29±9.14	86.09±6.77	84.71±3.97	.131	NS
MMEFR (L/S)	4.21±1.30	4.15±1.06	4.00±0.48	.198	NS
PEF(L/S)	8.41±2.26	8.52±1.96	7.90±1.64	.980	NS
FEF25% (L/S)	6.93±2.02	7.32±1.59	6.76±0.83	.597	NS
FEF50% (L/S)	6.62±1.44	4.71±1.14	4.29±0.65	.796	NS
FEF75% (L/S)	2.39±0.91	2.48±0.85	2.20±0.40	.517	NS

Statistical significances were tested by repeated measures ANOVA & Bonferroni method.

* NS : Nonsignificant

FVC : forced vital capacity-노력성 폐활량, FEV₁ : forced expiratory volume at 1sec-1초간 노력성 호기량, MMEFR : maximal midexpiratory flow rate-노력성 호기 중간량, PEF : peak expiratory flow- 최대호기 유속, FEF25% : forced expiratory flow 25% - 노력성 호기량의 25%에 해당하는 속도, FEF50% : forced expiratory flow 50 % , FEF75% : forced expiratory flow 75%

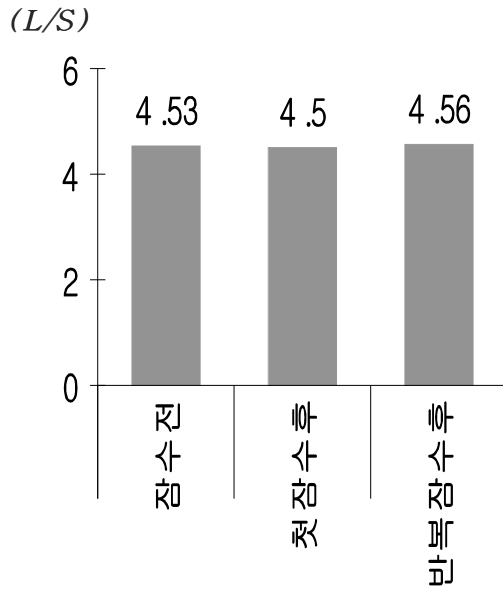


그림 7. FVC 변화

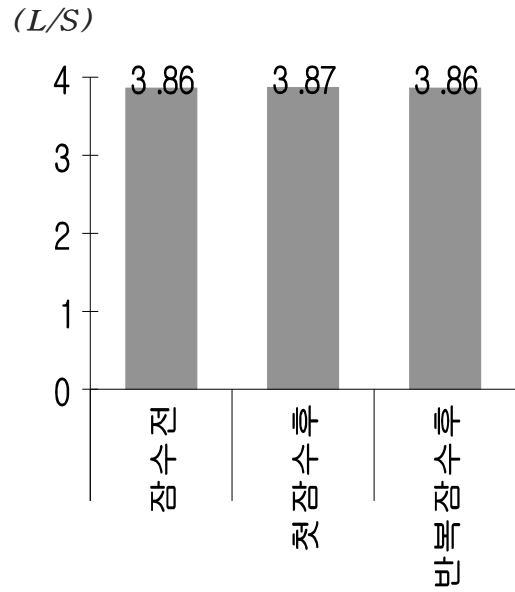


그림 8. FEV₁ 변화

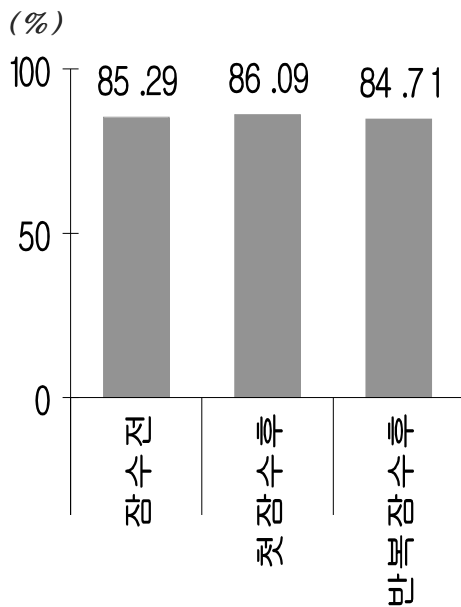


그림 9. FEV₁/FVC

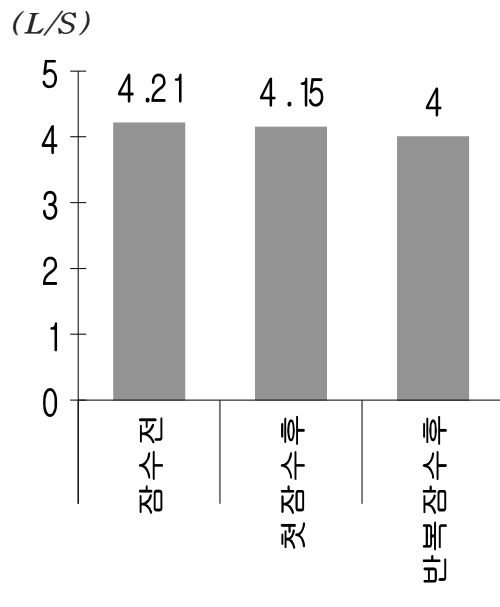


그림 10. MMEFR 변화

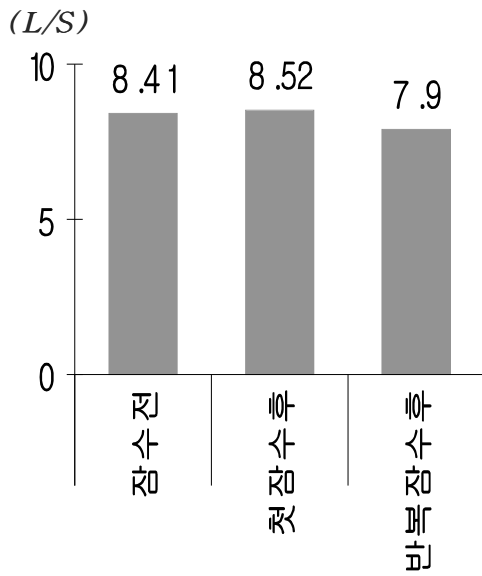


그림 11. PEF 변화

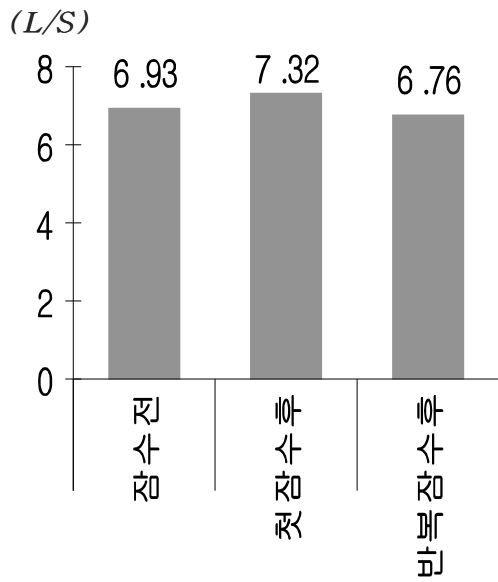


그림 12. FEF25% 변화

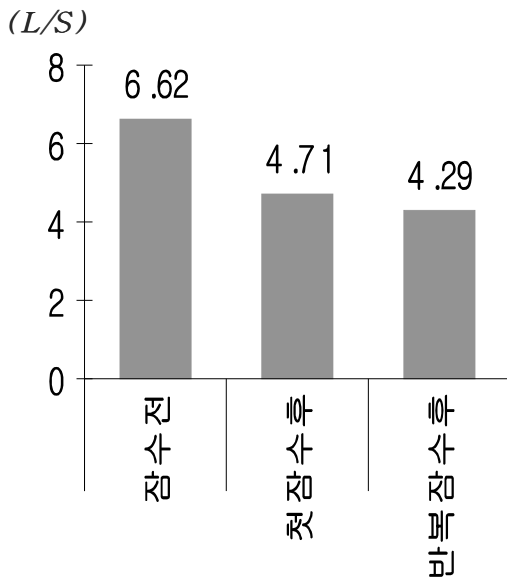


그림 13. FEF50% 변화

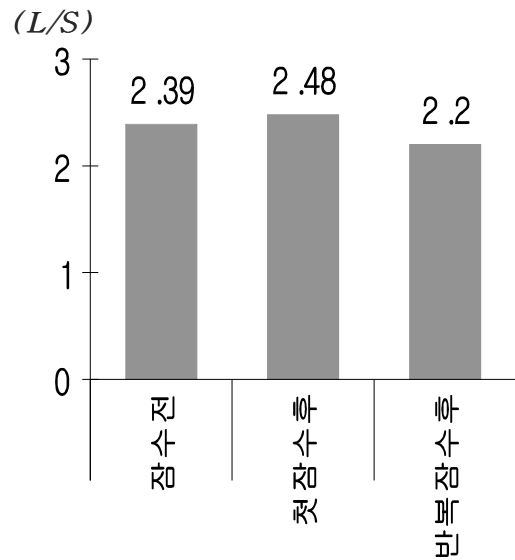


그림 14. FEF75% 변화

3. 무감압한계 잠수환경에서의 혈액성분의 변화

본 연구의 무감압한계 잠수환경에서의 반복 잠수가 혈액성분에 미치는 영향은 <표 18>과 같다.

잠수 전 백혈구는 $6.60 \pm 1.43 \times 10^3/\mu\text{l}$, 첫 잠수 후에는 $7.10 \pm 1.64 \times 10^3/\mu\text{l}$ 였으며 반복 잠수 후에는 $7.78 \pm 1.18 \times 10^3/\mu\text{l}$ 로 증가하여 통계적으로 유의하게 나왔다($F=4.516, P<.05$). 사후 검정결과 잠수 전과 첫 잠수 후는 유의하지 않았으며, 잠수 전과 반복 잠수 후($p<.05$), 잠수 전, 1차 잠수와 반복 잠수 간에 유의한($p<.05$) 차이가 나타났다.

잠수 전 혈소판은 $285.25 \pm 82.64 \times 10^3/\mu\text{l}$, 첫 잠수 후에는 $296.38 \pm 81.09 \times 10^3/\mu\text{l}$ 였으며 반복 잠수 후에는 $278.75 \pm 81.71 \times 10^3/\mu\text{l}$ 로 통계적으로 유의하지 않았다.

잠수 전 호중구는 $55.61 \pm 6.11\%$, 첫 잠수 후에는 $55.60 \pm 7.99\%$ 였으며 반복 잠수 후에는 $60.46 \pm 9.12\%$ 로 통계적으로 유의하게 나왔다($F=5.692, P<.05$). 사후 검정결과 잠수 전과 첫 잠수 후는 유의하지 않았으며, 잠수 전과 반복 잠수 후($p<.05$), 잠수 전, 1차 잠수와 반복 잠수 간에 유의한($p<.05$) 차이가 나타났다.

잠수 전 임파구는 $34.16 \pm 5.96\%$, 첫 잠수 후에는 $34.48 \pm 7.44\%$ 였으며 반복 잠수 후에는 $31.55 \pm 8.60\%$ 로 통계적으로 유의하지 않았다.

잠수 전 단구는 $6.80 \pm 1.98\%$, 첫 잠수 후에는 $6.71 \pm 1.79\%$ 였으며 반복 잠수 후에는 $5.74 \pm 1.29\%$ 로 통계적으로 유의하게 나왔다($F=4.394, P<.05$). 사후 검정결과 잠수 전과 첫 잠수 후, 그리고 잠수 전과 반복 잠수 후는 유의하지 않았으며, 잠수 전, 1차 잠수와 반복 잠수 간에 유의한($p<.05$) 차이가 나타났다.

잠수 전 호산구는 $2.94 \pm 1.94\%$, 첫 잠수 후에는 $2.68 \pm 1.87\%$ 였으며 반복 잠수 후에는 $1.81 \pm 1.25\%$ 로 감소하여 통계적으로 유의하게 나왔다($F=10.608, P<.01$). 사후 검정결과 잠수 전과 첫 잠수 후($p<.01$), 잠수 전과 반복 잠수 후($p<.01$), 잠수 전, 1차 잠수와 반복 잠수 간에 유의한($p<.01$) 차이가 나타났다.

잠수 전 호염기구는 $0.49 \pm 0.08\%$, 첫 잠수 후에는 $0.54 \pm 0.05\%$ 였으며 반복 잠수 후에는 $0.44 \pm 0.07\%$ 로 통계적으로 유의하게 나왔다($F=5.250, P<.05$). 사후 검정결과 잠수 전과 첫 잠수 후, 그리고 잠수 전과 반복 잠수 후는 유의하지

않았으며, 잠수 전, 1차 잠수와 반복 잠수 간에 유의한(p<.05) 차이가 나타났다.

표 18. 혈액성분의 변화

구 분	잠수 전 ¹⁾	첫 잠수 ²⁾	반복 잠수 ³⁾	F	Post-Hoc
WBC (10 ³ /μℓ)	6.60±1.43	7.10±1.64	7.78±1.18	4.516*	1<3*,1.2<3*
PLT (10 ³ /μℓ)	285.25±82.64	296.38±81.09	278.75±81.71	2.022	NS
NEUTRO (%)	55.61±6.11	55.60±7.99	60.46±9.12	5.692*	1<3*,1.2<3*
LYMPHO (%)	34.16±5.96	34.48±7.44	31.55±8.60	2.302	NS
MONO (%)	6.80±1.98	6.71±1.79	5.74±1.29	4.394*	1>3,1.2>3*
EOSINO (%)	2.94±1.94	2.68±1.87	1.81±1.25	10.608**	1>2** 1>3** 1.2>3**
BASO (%)	0.49±0.08	0.54±0.05	0.44±0.07	5.250*	1<2 1>3 1.2>3*

Statistical significances were tested by repeated measures ANOVA & Bonferroni method.

* P <.05 ** P <.01

* NS : Nonsignificant

WBC : 백혈구, PLT : 혈소판, NEUTRO : 호중구, LYMPHO : 림프구,
MONO : 단구, EOSINO : 호산구, BASO : 호염기구

($10^3/\mu\ell$)

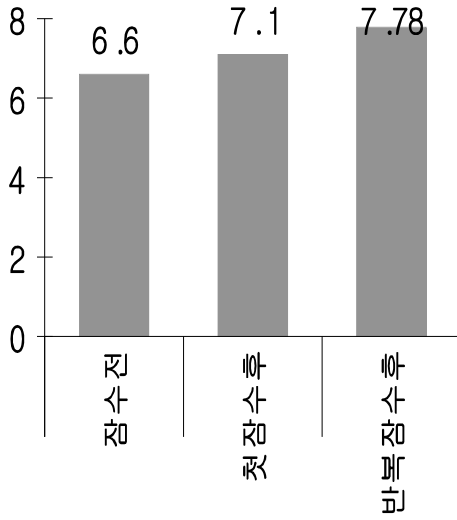


그림 15. 백혈구 변화

($10^3/\mu\ell$)

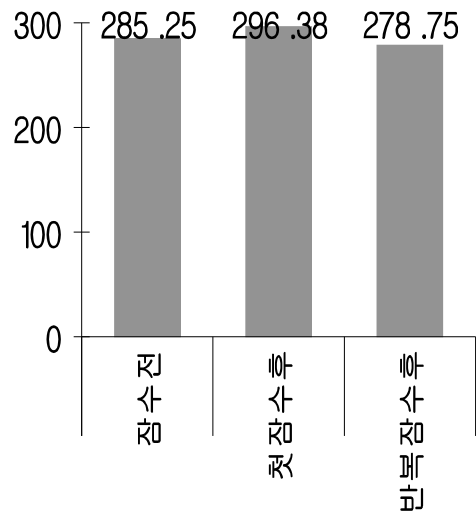


그림 16. 혈소판 변화

(%)

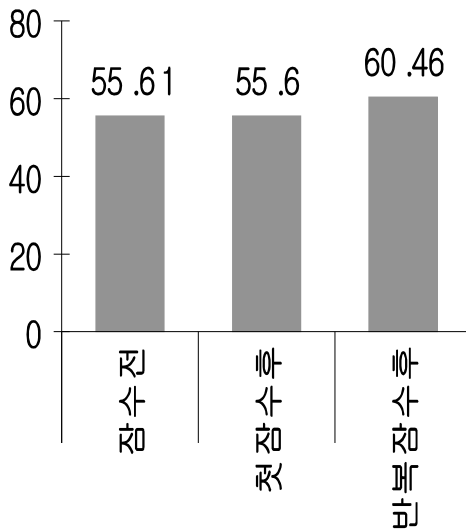


그림 17. 호중구 변화

(%)

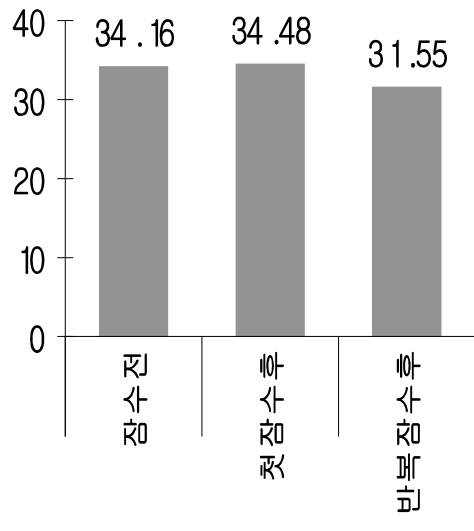


그림 18. 림프구 변화

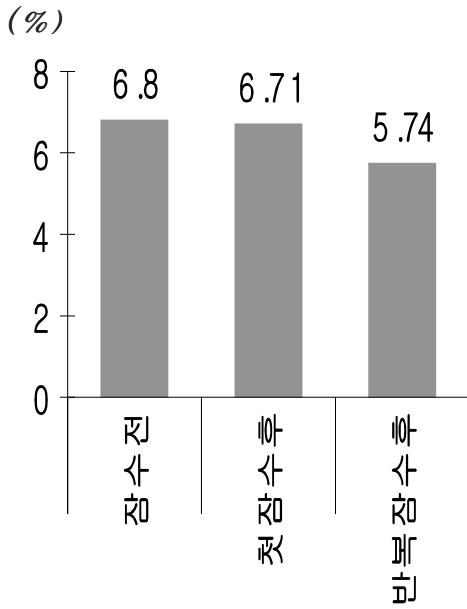


그림 19. 단구 변화

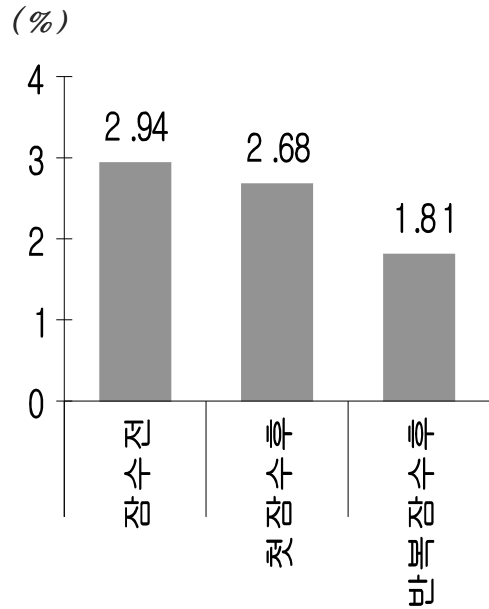


그림 20. 호산구 변화

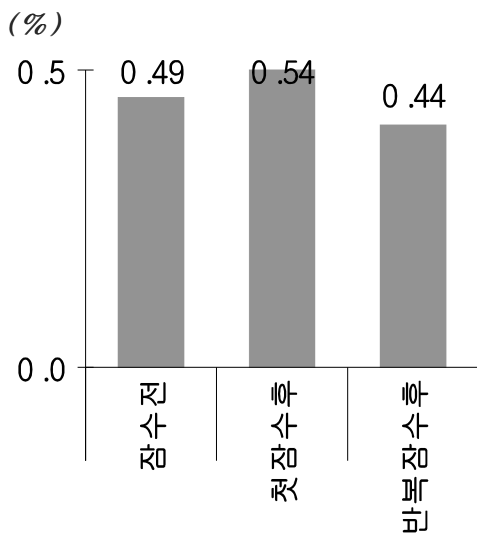


그림 21. 호염기구 변화

4. 무감압한계 잠수환경에서의 스트레스 호르몬의 변화

본 연구의 무감압한계 잠수환경에서의 반복 잠수가 혈액성분에 미치는 영향은 <표 19>과 같다.

잠수 전 Catecholamine-EP(epinephrine)는 0.06 ± 0.01 pg/ml, 잠수 후에는 0.08 ± 0.07 pg/ml였으며 반복 잠수 후에는 0.05 ± 0.01 pg/ml로 통계적으로 유의하지 않았다.

잠수 전 Catecholamine-NEP(norepinephrine)는 0.16 ± 0.05 pg/ml, 첫 잠수 후에는 0.20 ± 0.13 pg/ml였으며 반복 잠수 후에는 0.20 ± 0.08 pg/ml로 통계적으로 유의하지 않았다. 잠수 전 Cortisol은 17.50 ± 4.10 μ g/dl, 첫 잠수 후에는 18.24 ± 4.34 μ g/dl였으며 반복 잠수 후에는 15.43 ± 4.44 μ g/dl로 통계적으로 유의하지 않았다.

표 19. 스트레스 호르몬의 변화

구 분	잠수 전 ¹⁾	첫 잠수 ²⁾	반복 잠수 ³⁾	F	Post-Hoc
Catecholamine - EP(pg/ml)	0.06 ± 0.01	0.08 ± 0.07	0.05 ± 0.01	.537	NS
Catecholamine - NEP(pg/ml)	0.16 ± 0.05	0.20 ± 0.13	0.20 ± 0.08	.859	NS
Cortisol 8AM (μ g/dl)	17.50 ± 4.10	18.24 ± 4.34	15.43 ± 4.44	1.976	NS

Statistical significances were tested by repeated measures ANOVA & Bonferroni method.

* NS : Nonsignificant

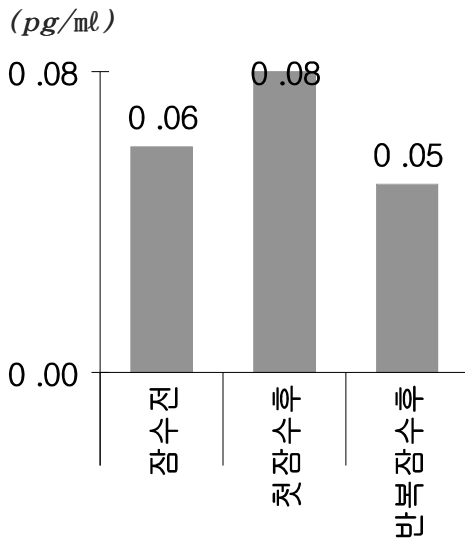


그림 22. 카테콜라민-EP

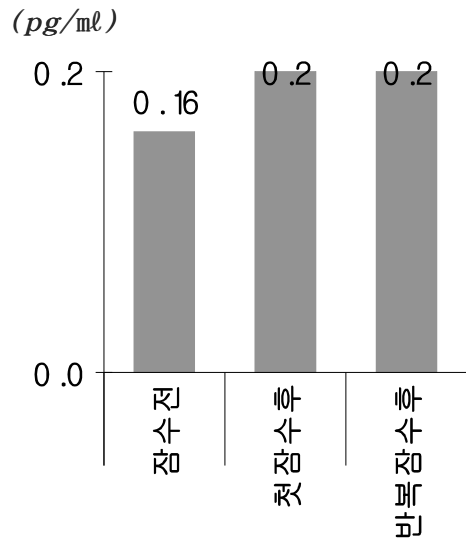


그림 23. 카테콜라민-NEP

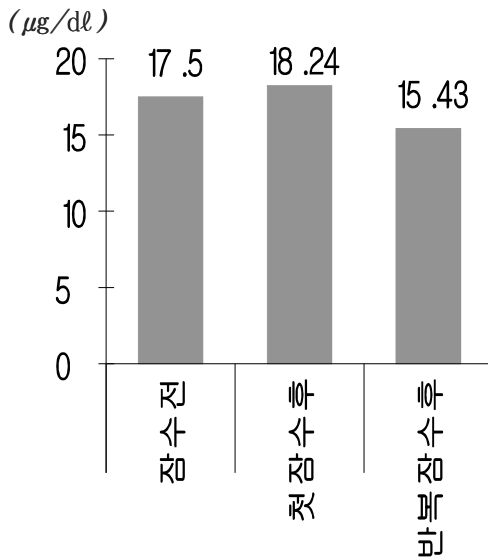


그림 24. 코티졸 변화

V. 논의

수중 환경에서의 활동은 일정수심에서의 압력, 수온, 활동 유형에 따라 인체의 생리적 반응의 차이를 나타낸다. 스쿠버 잠수의 생리적 현상은 유체의 저항을 이겨내기 위해 생성되는 에너지의 소모와 탈진, 체온보다 낮은 수온에서의 체온 유지 능력 상실, 대기와 다른 환경에서 압축된 기체를 호흡함으로써 심폐 호흡 기능 시스템의 변화와 고압 환경에의 적응 과정, 체내의 축적된 공기 함량으로 인한 기체량과 압축에의 적응과정, 기체의 독성과 용해도 변화를 일으킬 수 있는 부분압의 영향에 대한 적응 등이 있다.

1. 생리적 반응

스포츠 스쿠버 잠수는 압축된 기체와 행동을 자유로이 할 수 있는 장비를 사용하여 수중에서 주위 압력에 비례하는 밀도의 기체를 호흡하는 신체적 운동이지만 수중 환경의 제한적인 요인들로 인하여 심리적, 생리적으로 반응을 나타낼 수 있는 부분들이 상당수 존재하고 다이버의 경력 및 경험은 수중 활동 시 심박수 변화에 많은 영향을 미친다. 그리고 김기진 등(2001)은 스쿠버 잠수 시 생리적 반응은 지속시간에 의한 환경의 영향 자체보다는 활동유형의 영향을 크게 받는 것으로 추정하였다.

잠수 시 포유류에서는 심박수 감소 현상, 다이빙 리플렉스(diving reflex)가 나타난다(임상원, 1999). 얼굴이 침수되면 심박수가 감소하기 때문에 안면 반사(facial reflex)라고도 하는데 포유류의 머리가 물속에 침수될 때 심박수가 감소하는 현상으로 고래 등의 포유류에서는 90% 가까이 감소 현상이 나타나지만 인간은 일반적으로 분당 10-15박 정도 감소하는 것으로 알려져 있다(신승환, 2005). 수중에서는 일반적으로 심장 및 혈관계의 자극에 의한 정맥 회귀량의 증가 및 혈장량의 증가에 의해 심박수 감소 현상을 나타내는 것으로 알려져 있고 낮은 수온은 부가 요인으로 작용하여 보다 높은 심박수 감소 현상을 유도하

는 것으로 알려져 있다(김기진, 2001).

이에 반해, 김극로(1986)는 스쿠버 다이빙 시에는 말초 저항의 감소로 1회 박출량이 감소하기 때문에 심박출량을 일정하게 하기 위하여 심박수가 증가한다고 하였다. 그리고 김기진(2001)은 스쿠버 다이빙의 숙련군 및 비숙련군을 대상으로 잠수시간에 따른 심박수 차이를 분석한 결과 20분보다 40분동안 잠수를 했을 때 높은 증가 현상을 나타낸 것으로 분석하였다. 또한 신승환(2005)은 인체는 항상성 유지를 위해 한랭 자극이 심할 때에 다이빙을 그만두게 되고 중강도 수준의 스쿠버 다이빙 시 심박수는 운동 후 30분 전후에 안정 시에 도달, 회복에 이르는 것으로 추정하였다.

한랭 노출 시 인체는 항상성 교란에 따른 불수의적인 강직성 근육활동, 리드믹한 근육활동(떨림), 말초혈관수축, 발한 억제 등을 통하여 열 생산을 증가하고 열 손실을 최소화함으로써 정상적인 체온을 유지하고자 한다. 인체는 한랭 자극이 있을 때 먼저 표면 온도가 저하되고 이후에 심부 온도가 저하된다. 반면 일정 강도의 운동은 체온을 증가시키는 효과를 가져오며 한랭자극이 끝나면 표면의 체온이 먼저 증가하고 이후에 심부 온도가 증가한다.

본 연구에서는 잠수 전 안정 시의 심박수는 분당 89.0 ± 7.01 회, 첫 잠수 후에는 73.25 ± 13.56 회였으며 반복 잠수 후에는 73.50 ± 9.9 회로 잠수 전보다 반복 잠수 후 18% 감소하며 잠수가 거듭될수록 점차 감소하였다. 그리고 잠수 전 체온은 36.58 °C였고 반복 잠수 후 체온은 34.03 °C로 감소함으로써 잠수 전과 첫 잠수 후, 잠수 전과 반복 잠수 후, 잠수 전·첫 잠수와 반복 잠수 간에 유의한 차이가 나타났다.

침수 시 흉곽 내 혈액량 증가에 의한 심장 확장은 심장의 펌프 작용을 항진시키므로 혈액 박출량(stroke volume)이 증가한다. 그러나 이 때 심박수는 크게 변하지 않으므로 전체 심박출량이 50%정도 증가한다. 심박출량의 증가는 동맥으로 유입되는 혈액량을 증가시키므로 혈압을 높이는 요인이 된다. 그러나 침수 시 혈압이 크게 증가하지는 않는데 이는 교감신경이 억제되어 말초 혈관의 혈류 저항이 낮아지기 때문이다. 즉 침수 시 물리적인 요인에 의해 흉곽 내 혈액량이 증가하므로 심박출량이 수동적으로 증가되지만 동시에 혈관에 분포된

교감신경 기능이 생리학적으로 조절되어 혈압상승이 방지된다(박양생, 2004). 그리고 오랫동안 지구력 향상 훈련을 받은 운동선수들은 심장의 일회 박출량이 증가하고 심박수 및 혈압이 낮아진다.

본 연구에서는 반복 잠수 후의 수축기 혈압은 잠수 전보다 13% 감소하였고 이완기 혈압은 잠수 전보다 첫 잠수 후에 증가하였으나 반복 잠수 후의 유의한 차이는 나지 않았다. 이에 본 연구의 피험자들은 잠수 경력이 풍부한 다이버로서 수중에서의 신체활동이 운동 훈련에 따른 순환계의 일반적인 적응 현상의 하나로 추정되어진다.

본 연구의 실험은 20 m이상의 수심에서 반복 잠수 활동이 이루어졌으며 수면 온도 19 °C, 수중 온도 16 °C였다. 본 실험과 선행 연구들을 통해 유추해보면 수중에서의 스쿠버 잠수 시에는 낮은 수온과 체표면 온도의 영향으로 체열 생성을 위해 심박수가 증가되었을 것으로 추정되지만 수중의 높은 압력과 낮은 수온에 장시간의 잠수 시간에 노출되는 반복 잠수 활동은 생리적 반응의 심박수, 체온, 혈압의 감소 현상을 가져오는 것으로 추정된다.

2. 폐기능

선행 연구에서는 물속에서 물 자체가 가지는 성질, 즉 정수압, 수온, 열전도율에 의한 영향을 크게 받는데 수중에서 가슴까지 잠수하였을 경우에는 흉곽을 압박당하여 폐활량 및 잔기량은 공기 중에서보다 80-90% 감소되며 동일한 지속 시간 내에서의 최대 운동량에 따른 최대 심박수는 달리기 선수보다 수영선수가 10회 정도 낮게 나타난다고 보고하였다(김승철, 2004). 그리고 스쿠버 잠수의 규칙적인 훈련은 수압에 의하여 심박동수 뿐 아니라 심박출량, 동맥압, 혈관의 저항 및 국소혈류량 등의 심장기능에 영향을 주게 되고 그러한 이유로서 흉부 및 호흡근 등이 잘 발달되게 되어 폐의 1회 호흡량, 호기예비량, 호기능력 등의 폐활량이 좋아진다고 하였다(김해출, 1997).

고압환경에서의 호흡은 압력의 증가에 따라 점차 느려지는 동시에 깊어지고 1회 호흡량은 다소 증가하나 호흡 빈도 및 분당 호흡량은 감소하며 최대환기량

도 감소한다(Vail, 1972). 이러한 변화는 고압 하에서 산소 분압의 증가와 호흡 공기 밀도 증가에 따른 호흡 저항의 증가 등이 복합적으로 작용되어 나타나며 고압에서 서맥 현상이 나타나는 것은 깊이 들어갈수록 산소 압력의 증가로 인한 것으로 알려져 있다(이권호, 1996).

호흡 시 기체 흐름의 저항에는 흡입 공기의 점성과 밀도가 영향을 미치게 되는데, 수중 깊이 잠수할 때는 공기의 밀도가 높아져 기류 저항이 커진다. 즉 공기의 점성보다 밀도의 변화가 저항에 더욱 큰 영향을 주기 때문이다.

본 연구에서는 무감압한계 잠수 환경에서의 반복 잠수 후의 폐기능이 잠수 전과 첫 잠수 후, 잠수 전과 반복 잠수 후, 잠수 전·첫 잠수와 반복 잠수 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 수중 깊이에 따른 수압은 폐와 호흡에 수압의 증감에 따라 영향을 미칠 수 있으나 인체가 스쿠버 잠수 활동 시에는 주위 압력과 동일한 밀도의 공기를 호흡하고 주요 구성 성분이 액체로 되어 있어 압력에 축소되지 않고 동일한 압력을 외부로 전도시키기에 영향이 미치지 않은 것으로 추정된다. 그리고 본 실험의 피험자들은 스포츠 잠수의 경력이 풍부하고 수중에서 스쿠버 호흡기의 2단계를 통한 호흡에 잘 적응이 되어 있기에 폐활량 분석을 위한 측정 시 분석기의 적응력이 일반인들과는 차이점을 가질 수 있다고 생각되어진다.

3. 혈액 성분

침수운동에 따른 면역반응을 연구한 선행 연구들은 장기간 저온 환경에 노출 시에 백혈구나 백혈구 아군, 림프군 아형들의 감소현상이 나타나며 급격한 한랭노출은 이들 면역 세포와 아형세포들의 증가를 보이지만 그 증가율이 저온 환경에서 감소하는 것으로 나타나 감염의 위험율을 높이는 것으로 보고되고 있다(우재홍, 2004).

백혈구와 그 아형은 면역계에 중요한 역할을 한다. 선천성 면역 기능저하에 의한 면역 억압상태는 감염과 질환을 초래하게 되고 결국 운동수행 능력의 제한적 요소로서 작용한다.

신체운동은 운동중과 운동 후에 가장 명확한 면역변인의 변화인 운동 유발성 백혈구증가증(exercise-induced leukocytosis)을 유발한다. Nieman et al.(1991)은 고강도 운동(60-80% VO_2max)시에 백혈구는 50-100%까지 증가하며 이는 주로 림프구와 호중구의 증가에 의한 것이라 하였다. 또한 고강도 운동에서의 증가율과는 달리 중강도의 운동(40-60% VO_2max)에서는 백혈구 증가율이 크게 둔화된다.

Sundaresan et al.(1990)은 동물과 사람의 연구 결과를 통하여 급격한 한랭 스트레스는 순환하는 백혈구와 호중구 수를 증가시킨다고 하였으며, 피험자를 14 °C의 찬물에 1시간 동안 처음으로 침수시켰을 때 적혈구와 백혈구 수가 증가하였다고 보고하였다(Jansky et al, 1996)

림프구는 순환백혈구 중 호중구 다음으로 큰 비율(25-33%)을 차지하는 세포로 흉선에서 성숙되고 변형되어 면역항체를 보유하고 있어서 항원을 인식하고 항원이 체내에서 반응하지 못하도록 인체의 면역반응에 일차적으로 반응하는 세포이다.

침수운동 시 수온 환경에 따른 림프구의 반응은 육상 운동에서의 변화 양상과 다르게 보고되고 있다. Cross et al.(1996)은 수온이 낮은 림프구의 증가율이 둔하고 낮게 나타났으며 이것은 심부온도와 높은 상관성이 있다.

백혈구의 아군 중 과립구는 호중구, 호산구, 호염기구를 말하며 이들은 인체의 1차 방어벽을 뚫고 들어온 항원을 차단하며 포식하는 2차 방어선의 역할을 한다. 호중구는 선천성 면역계의 주요 성분으로 순환백혈구 중에서 가장 큰 비율을 차지하는(55-60%) 식세포로서 인체에 세균이 침입하였을 때 최전방 방어선의 역할을 맡고 있다.

본 연구에서 무감압한계 잠수환경에서의 반복 잠수 후의 백혈구수와 호중구수의 변화는 잠수 전보다 각각 18%와 9%증가하여 유의한 차이가 있었다.

호산구는 순환백혈구의 1-3%의 비율을 차지하며 식작용은 약하지만 세포질 과립에 저장되어 있는 독성물질을 기생충에 분비함으로써 기생충을 파괴하여 기생충 감염에 중요한 역할을 한다. 운동 시에 호산구의 반응에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 호염기구는 순환백혈구 중에 가장 낮은 비율(0.7%)을 차

지하며 모세혈관에서 응혈방지 작용을 하며 인체 내에서 알레르기를 일으키는 이물질이 침범하였을 때 역할을 한다.

본 연구에서는 림프구는 8%, 단구는 16%, 호산구는 39%감소하는 양상을 보였으며 호염기구는 유의한 차이는 없었지만 첫 잠수 후가 잠수 전보다 증가하고 반복 잠수 후는 감소하는 양상을 보였다.

4. 스트레스 호르몬

운동은 혈중에 에피네프린(epinephrine)과 노르에피네프린(norepinephrine)을 포함하는 카테콜라민(catecholamine)과 코티졸(cortisol), 성장호르몬(growth hormone) 등 스트레스 호르몬의 농도를 증가시키며 증가된 호르몬들은 면역조절 효과를 나타내는 것으로 알려지고 있다(우재홍, 2004).

수중 환경에서 운동 시 스트레스 호르몬에 대한 분비는 육상에서 운동할 때와 또 다른 양상을 보인다. Connelly et al.(1990)은 육상운동과 침수운동의 비교에서 일정한 수온에서 노르에피네프린은 중강도의 운동 강도에서 유의한 차이가 없었으나 고강도의 운동에서는 침수운동이 유의하게 나타났고 에피네프린은 고강도의 운동 시에 침수운동이 육상 운동에 비해 유의하게 낮았다고 보고하였다.

카테콜라민과 코티졸은 한랭노출에 대한 신체적 반응으로 중요한 역할을 한다. 한랭 환경에서 장시간 체류 또는 운동 시에는 체온유지를 위한 열 생산이 증가되며 대사율이 높아지고 체온 저하에 따른 떨림 현상을 유발하여 혈중 카테콜라민의 농도를 증가시킴으로써 면역계를 활성화시키고 코티졸은 에피네프린에 비해 크게 변하지 않으나 카테콜라민에 비하여 더 지속적인 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(Jurankova, Jezova & Vigas, 1995).

본 연구에서는 무감압한계 잠수 환경에서의 반복 잠수 후의 스트레스 호르몬 농도가 잠수 전과 첫 잠수 후, 잠수 전과 반복 잠수 후, 잠수 전·첫 잠수와 반복 잠수 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

수온이 낮은 환경에서의 반복 잠수는 인체에 강한 스트레스를 주게 되고 이

에 따른 호르몬에 많은 영향을 미칠 것으로 사료되었던 본 연구의 결과는 일정 수심에서의 잠수 활동이 다소 저강도의 운동이었고 잠수 활동이 이루어진 수중의 온도는 16 °C 이었지만 5 mm의 습식 잠수복을 착용하고 있었기에 한랭 자극을 받기에는 다소 높았던 것으로 추정된다. 그리고 다이버가 첫 잠수 후 취하는 일정 휴식시간은 인체 면역기능의 회복력을 안정 시에 도달하게 하고 스트레스 호르몬의 변화에는 영향이 없는 것으로 추정되며 또한 첫 잠수 후 동일한 주위환경에서의 안정된 반복 잠수는 인체 스트레스의 조절에 크게 영향을 주지 않는 것으로 추정된다.

이상의 결과로 미루어 보아 스포츠 스쿠버 잠수표 계획에 따른 무감압한계 반복 잠수 활동이 인체의 생리적 변화에 미치는 영향은 크게 없는 것으로 추정된다. 그리고 앞으로 수중 스포츠에 대한 연구는 생리, 생화학 및 병리학적 측면이 강조되어야 할 것으로 여겨지며, 수중 스포츠나 수중 생활을 대비한 수중 스포츠 과학의 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

VI. 결론

1. 결론

본 연구는 스포츠 스쿠버 무감압한계 잠수환경에서의 반복 잠수 활동이 인체의 생리적 반응과 폐기능, 혈액성분, 스트레스 호르몬에 미치는 영향을 알아보기 위하여 동일 장소와 수온, 그리고 수심에서 잠수경력이 비슷한 дай버 8명을 대상으로 반복 잠수를 실시하였다. 잠수 전, 첫 잠수 후, 반복 잠수 후 개별 측정 및 채혈하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 생리적 반응은 심박수, 체온, 수축기 혈압이 잠수 전과 첫 잠수 후, 반복 잠수 후 간의 유의한 차이가 있었고 이완기 혈압은 잠수 전과 첫 잠수 후에는 증가하였으나 반복 잠수 후에는 다시 감소하여 유의한 차이가 없었다.

2) 폐기능 변화에서는 잠수 전과 첫 잠수 후, 반복 잠수 후 간의 유의한 차이가 없었고 잠수 전과 첫 잠수와 반복 잠수 간에 유의한 차이도 없었다.

3) 혈액성분 변화에서는 백혈구, 호중구, 단구, 호산구, 호염기구가 잠수 전과 첫 잠수 후, 반복 잠수 후 간의 유의한 차이가 있었고 혈소판수와 임파구는 잠수 전과 첫 잠수 후, 반복 잠수 후 간의 유의한 차이가 없었다.

4) 스트레스 호르몬 변화에서는 잠수 전과 첫 잠수 후, 반복 잠수 후의 유의한 차이가 없었고, 잠수 전과 첫 잠수와 반복 잠수 간에 유의한 차이도 없었다.

2. 제언

본 연구는 국내의 스포츠 잠수에 대한 연구가 많지 않은 실정을 감안하여 여가활동의 목적으로 행하는 일반 дай버들의 생리적 반응에 미치는 영향을 구명하고자 하였다. 추후 후속 연구에는 다음과 같은 사항들이 고려되어 연구가 이루어져야 하겠다.

- 1) 대상자의 성별, 연령, 등급별, 잠수형태에 따른 분류와 분류에 따른 연구.
- 2) 대상자의 환경에 따른 체력수준 및 심리적 반응에 대한 분류.

참고문헌

- 강신영 (2002). 잠수공학. 한국해양대학교, 1-31.
- 김극로 (1986). 스쿠버다이빙시 심박수 변화에 관한 연구, 군산대학교 스포츠과학 연구보고서, 23권 1호, 67-76.
- 김기진, 김도형, 김홍수, 김준태, 신윤정, 오경숙, 천우광 (2001). 수조의 호흡중지 잠수와 스쿠버 다이빙시 생리적 반응의 비교. 제 39회 한국체육학회 학술발표회, 617-621.
- 김기진 (2001). 스쿠버 다이빙시 잠수시간에 따른 생리적 반응의 비교. 한국생활환경학회지. 제8권 제3호, 256-262.
- 김승철 (2004). 스쿠버 다이빙시 수심차이에 따른 생리적 변화에 관한 연구. 인제대학교 교육대학원 석사학위 논문, 1-39.
- 김해출 (1997). 스포츠 스쿠버 잠수가 폐에 미치는 영향. 한국체육대학교 대학원 석사학위 논문.
- 김희덕 (2005). 스쿠버 다이버가 꼭 알아야 할 잠수의학. 서울:도서출판 정담.
- 박양생 (2004). 한국해녀-잠수생리학적 특성. 부산: 고신대학교 출판부.
- 신승환 (2005). 스쿠버 다이빙시 잠수경력이 생리적 반응에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1-59.
- 우재홍 (2004). SCUBA 잠수운동시 수온환경이 면역기능과 호르몬 반응에 미치는 영향, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 1-114.
- 이권호 (1996). 대기압 및 산소분압 환경 차이가 흰쥐의 혈액조성과 폐조직에 미치는 영향. 한국체육대학교 대학원 박사학위 논문, 1-36.
- 이원석 (1985). 산소 중독 흰쥐의 뇌내 Monoamines계의 변동에 관한 연구. 해양의학, 7: 63-78.
- 임상원(1999). 스쿠버 다이빙시 인체의 생리적 반응. '99 한국운동과학회 하계 학술대회. 51-9.
- 잠수일반 (2003). 한국산업인력공단.
- 정창호 (2004). 잠수사고 사례고찰을 통한 안전대책에 관한 연구. 한국해양대학

- 교 대학원 석사학위 논문, 1-40.
- 황한식 (2002). 지식잠수가 여성의 골밀도에 미치는 영향. 경희대학교 대학원 박사학위 논문, 1-4.
- Alfred, A. Bove. (1996). Medical aspects of sports diving, *Med. Sci. Sports Exerc.* 28(5), 591-595
- Anthonisen, N. R. (1976). Respiratory System in Diving. (Ed. by Strauss, R. H.,(1976): Diving Medicine, Grun & Stratton Inc., New York, 35-48.
- Connelly, Terence P., Lois M. Sheldahl, Felix E. Tristani, Scot G. Levandoski, Ronald K. Kalkhoff, Martin D. Hoffman, & John H. Kalbfleisch. (1990). Effect of increased central blood volume with water immersion on plasma cathcholamines during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 69(2): 651-656.
- Cross, M. C., M. W. Radomski, W. P. Vanhelder, S. G. Rhind & R. J. Shephard. (1996). Endurance exercise with and without a thermal clamp: effects on leukocyte subjects. *J. Appl. Physiol.*, 81:822-829.
- Elsner R, de Burgh Daly M. (1988). Coping with asphyxia: Lessons from seals. *News in Physiological Sciences* 3: 65-69.
- Jain K. K. (1999). *Textbook of hyperbaric medicine*. Hogrefe & Huber publishers.
- Jansky, L., Pospislova, D., Honzova, S., Ulicny, B., Sramek, P., Zemen, V., & Kaminkova, J. (1996). Immune system of cold exposed and cold adapted humans. *Eur J. Appl Physiol.*, 72: 445-450.
- John Lippmann. (1994). *Deeper into diving, 5th edition*, Best pulishing company, 13: 185
- Jurankova, E., D. Jezova, & M. Vigas. (1995). Central stimulation of hormone release and the proliferative response of lymphocytes in humans. *Mol. Chem. Neuropathol.*, 25: 213-223.

- Molnar, G. W. (1946). Survival of hypothermia by man immersed in the ocean, *Journal of the American Medical Association*, 131: 1046-1050.
- Newburgh, L. H. (1949). Physiology of heat regulation. Philadelphia: Saunders.
- Niazi, S., A. & Lewis, F. J. (1958). Profound hyperthermia in man. *Annals of Surgery*, 147: 264-266.
- Nieman, D. C., Nehlsen-Cannarella, S. L., Donogue, K. M., Chritton, D. B. W., Haddock, B. L., Stout, R. W. & Lee, J. W. (1991). The effect of acute moderate exercise on leukocyte and lymphocyte subpopulations. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23(5): 578-585.
- NOAA diving manual. (2001). *Diving for science and technology, 4th edition*, Best publishing company.
- Paffenbarger, R. S. & Hyde, R. T. (1986). Physical activity, all cause mortality, and longevity of college alumni. *New England J. Med.*, 314: 605-613.
- Powell, K. E. (1987). Physical activity and the incidence of coronary heart disease. *Annual Review of Public Health.*, 8: 253-287.
- Sundaresan, G., N., Suthanthirajarajan, & A. Namasivayam (1990). Certain immunological parameters in subacute cold stress. *Indian J. Physical. Pharmacol.*, 34:57-60.
- Vail, E. G. (1972). Hyperbaric Mechanics. *Aerospace Med*, 536, 42-78

감 사 의 글

지난 세월을 지나 논문이 완성이 되기까지 언제나 높으신 교육이념과 지도로서 부족한 제자를 격려해주시고 인도해 주신 강 신영 교수님께 진심으로 감사를 드리고, 해양관리기술대학원의 강 신범 교수님, 고신대학교의 김 진하 교수님, 강 효진 교수님, 김 재수 교수님, 김 도현 교수님, 김 희덕 교수님께도 심심한 감사의 말씀을 드립니다.

저를 격려해주시고 본 논문의 실험과 분석을 도와주신 고신대학교 모든 선생님들에게도 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

그리고 아주 열악한 환경 속에서도 젊음의 학구열을 불태우고 몸을 아끼지 않았던 한국해양대학교 잠수 전문동아리 “아쿠아맨” 후배님들에게도 진심으로 고마움의 마음을 전합니다. “아쿠아맨 영원하iera!”

또한, 세계의 바다를 누비고 함께 공부하며 사랑으로 뽕뽕 뭉쳤던 수중잠수 기술전공의 오 재혁, 김 우형, 김양규 동기님들과 선배인 김 덕근, 백 인탁님과 때로는 친구처럼 형처럼 누나처럼 정다웠던 후배님들께도 진심으로 감사를 드립니다.

많은 분들의 진심어린 격려와 사랑으로 이루어진 본 논문이 많이 부족하지만 “우리의 미래는 바다에 있다”라고 외치며 바다사랑을 실천하는 모든 분들께 조금이나마 도움이 되길 진심으로 바랍니다.

끝으로, 본 논문의 결론을 맺기까지 저의 지식에 대한 일깨움을 전해주고 물심양면으로 큰 힘이 되어준 나의 영원한 스승이자 친구인 김 준모 교수에게 진심으로 고마움의 마음을 전합니다.