스쿠버 다이빙 전 운동강도의 차이가 스쿠버 다이빙 후 정맥 기포형성에 미치는 영향

한길형, 현광석, 박정민

충남대학교 체육교육과

The Effect of Pre-Scuba Diving Exercise Intensity on Vein Bubble Formation after Scuba Diving

Kil-hyung Han, Kwangseok Hyun, Jeong-Min Park

Department of Physical Education, Chungnam National University, Daejeon, Korea

PURPOSE: This study was to investigate the effects of pre-scuba diving exercise intensity on vein bubble formation after scuba diving.

METHODS: The participants were divided into four groups: Non-Exercise group (NEG/n=20) and Low Intensity-Exercise group (LEG/n=20) and Moderate Intensity-Exercise group (MEG/n=20) and High Intensity-Exercise group (HEG/n=20). The LEG group and MEG group and HEG group took part in the exercise program on pre-scuba diving.

RESULTS: The results of this study were as follows: First, As for the Subclavian vein of Left bubble grade, there were significantly increased in NEG group and MEG group and HEG group. Second, As for the Subclavian vein of Right bubble grade, there were significantly increased in NEG group and MEG group and HEG group. Third, As for the Right atrium of bubble grade. There were significantly increased in NEG group and MEG group and HEG group.

CONCLUSIONS: As conclusions, this study confirmed that the pre-scuba diving exercise intensity could improve the vein bubble formation of scuba diver.

Key words: Scuba diving, Exercise intensity, Vein bubble formation, Scuba diver

서론

스쿠버 다이빙은 수면에서 활동하는 일반적인 스킨다이빙에 비해 장시간 깊은 수심에서의 수중 활동을 의미하며, 압축된 공기를 공기조절 장치를 통해 흡입하고 배출하는 호흡 형태를 의미한다[1]. 이러한 스쿠버 다이빙은 수중이라는 특수한 공간에서 압축된 공기통을 메고 호흡함으로써 수중환경의 제한적 요인들을 극복하는 스포츠를 의미하며, 수중환경에서의 활동은 인체의 다양한 변화와 생리학적 요인의

제약 사항에 의한 신체 항상성의 변화를 유도하는 것으로 보고하고 있다[2]. 또한, 스쿠버 다이빙과 같은 수중환경에서의 운동은 높은 수압을 견디며 다양한 혼합기체로 호흡해야 하는 특수한 스포츠이기 때문에 외부온도나 환경으로 인하여 스트레스를 받게 되어 신체의 다양한 생리적인 변인에 변화가 발생하는 것으로 보고되고 있다[3,4]. 수중환경에서의 인체적 제약사항은 수온, 수압, 조류 및 염도 등과 같은 다양한 환경적 변인과 물의 밀도 차이로 인한 높은 수압은 인체에 커다란 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며[5], 수온에 의한 체온 저하와

Corresponding author: Kwangseok Hyun Tel +82-10-6421-6451 E-mail hyun6449@cnu.ac.kr

*이 논문은 2017년 충남대학교 자체연구과제 지원을 받아 수행된 연구임.

Keywords 스쿠버 다이빙, 운동강도, 정맥기포형성, 스쿠버 다이버

Received 1 Jan 2019 **Revised** 14 Feb 2019 **Accepted** 14 Feb 2019

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수압에 의한 압력 불균형은 스트레스성 과호흡(hyperventilation)과 폐 압박(lung squeeze) 및 잠수 반사(dive reflex)와 공기색전증(air embolism)이나 감압병(decompression sickness)과 같은 잠수병의 위험 가능성이 높은 것으로 보고되고 있다[6]. 이러한, 수압의 변화는 수심이 10 m 깊어질 때마다 1기압이 증가하는 것으로 수심이 증가할수록 인체는 외부압력에 의한 신체적 압박도 상대적으로 증가하는 것으로 보고되고 있다[7]. 또한, 수압의 변화는 심장기능의 심장박동수의 변화와 더불어 심박출량 및 동맥압과 혈관의 저항에 영향을 주어 압축공기 중의 산소와 질소 가스에 의한 신체적 기능 변화를 유도하는 것으로 보고되고 있으며[8], 수압의 증가로 인한 산소부분압의 증가와 호흡공기 밀도의 증가는 폐로 유입되는 기체의 분압도 증가시켜 폐포에서 혈액과 만나 역화되는 기체분자수도 증가시키는 것으로 보고되고 있다[9]. 이렇게, 수압의 증가로 인한 주위압력의 증가는 헨리의 법칙에 의한 압력변화를 의미하며, 이는 높은 데서 낮은 쪽으로 이동하는 압력 평형과 깊은 상관관계를 보이는 것으로 기체분자가 분압이 높은 폐를 떠나 인체조직으로 축적되는 현상을 의미하는 것이다. 이러한, 인체조직과 폐의 용해기체 전달은 폐와 인체조직과 혈액내의 분압이 같아지는 현상으로 호흡 시 산소는 인체로 용해되어 각 조직에 전달되어 에너지원으로 사용되어 소모가 진행되지만, 질소는 폐보다 분압이 낮은 경우 인체에 용해되어 소모되지 않고 체내에 계속 축적되는 것이다[10]. 이렇게, 체내에 축적된 질소는 수압의 변화와 수중활동 시간의 변화에 따라 그 축적량이 증가하는 것으로 보고되고 있으며, 체내에 축적된 질소 용해량이 혈액과 폐와 같은 분압 조건이 되면 주변의 압력에 맞추어 질소의 흡수와 배출을 시작하게 된다. 이러한, 질소의 흡수와 배출은 체내 질소 축적량의 포화상태에서는 압력의 변화가 없는 한 더 이상의 축적현상은 이루어지지 않는 것으로 보고되고 있으나, 질소의 배출은 정상적인 감압활동 시에만 이루어지는 것으로 보고되고 있다. 이는, 급속한 압력감소는 질소의 배출을 방해하는 원인으로 체내 질소 축적량을 급속도로 높이는 용해질소 포화상태의 원인이 되는 것으로 보고되고 있다[8,9]. 이렇게, 압력 변화로 인한 체내 질소 축적 요인을 이상기압관련 장애라고 보고하고 있으며, 이러한, 이상기압 관련 장애는 흔히 잠수병이라 불리는 감압병을 의미한다[7]. 이러한, 감압병은 감압을 시행하지 않거나 표준화된 감압방법을 따르지 않고 급속한 감압변화를 실시하였을 경우 발생하는 것으로 보고되고 있으며[11] 체내에 잔류한 불활성기체인 질소의 배출시간을 고려하지 않고 수중 활동을 수행하는 경우 감압병에 이환되는 확률이 높은 것으로 보고되고 있다[12]. 또한, 불안정한 감압에 의해 생성된 불활성기체인 질소는 기포형태로 체내에 축적되어 혈관을 통해 신체 전체로 이동하여 약한 조직에서부터 강한 조직까지 점진적으로 축적되어 감압병을 유도하는 것으로 보고하고 있으며, 상승속도, 최대산소섭취량, 나이, 비만도에 따라 체내에 축적량은 차이가 있는 것으로 보고하였다[13].

이렇듯, 감압병은 수중환경이라는 특수한 환경에서 인간이 극복해야 할 주요요인으로, 이를 극복하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있으며, 그중 신체활동을 통한 운동방법이 감압병의 주요요인인 체내 불활성기체의 축적물을 감소시키는 것으로 보고하고 있다[14]. 하지만, 세계적인 스쿠버 다이빙 관련단체들은 스쿠버 다이빙 전후 운동방법으로 가벼운 유산소운동은 권장하고 있으나 그 이상의 운동강도에 대한 방법은 우려를 나타내고 있다. 이에 본 연구는 스쿠버 다이빙 전 간헐적 운동방법[13]과 중강도 에어로빅[15] 및 스쿠버 다이빙 전 운동의 효과[16,17]를 보고한 연구들을 기반으로 안전한 수중환경에서의 다이빙 활동과 스쿠버 다이빙 시 일어날 수 있는 환경적 손상예방 및 수행 메뉴얼에 관한 연구를 통한 검증과 평가를 시행하고자 한다.

따라서, 본 연구는 특수한 환경에서 활동을 수행하여야 하는 스쿠버 다이빙의 수중활동 전 운동강도의 차이가 이상기압관련 장애로 불리는 잠수병의 원인과 정맥기포형성의 변화를 관찰하여 스쿠버 다이빙에 관한 효율성 및 안전성에 필요한 자료와 기술을 정립하고, 안전한 수중활동의 지침을 제공하고자 한다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 필리핀 C주 L City에 근무하고 있는 NAVY Naval Special Operations Group (NASOG)의 NAVY SEAL Diving Unit 대원 20명으로 심해잠수경력이 5년 이상, 년 평균 50회 이상의 스쿠버 다이빙을 수행하는 자로 선정하였다. 연구에 앞서 본 연구의 취지를 충분히 이해하고 실험에 대한 자발적인 참여의사를 가진 피험자들로 선정하였으며, 연구 참여자들은 연구 참여 동의서를 작성 후 실험에 참여 하였다. 실험 참여자들의 그룹선정은 그룹 간 동질성을 성립하기 위하여 같은 대상자들로 4회에 걸쳐 실시 하였으며, 고강도 운동 후 다이빙 그룹, 중강도 운동 후 다이빙 그룹, 저강도 운동 후 다이빙 그룹, 비운동 대조그룹으로 나누어 실시하였다. 대상자들의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구설계

본 연구의 목적에 따라 설정된 실험 설계 및 절차는 Table 2와 같다.

Table 1. Physical characteristics of subjects

Items	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
Divers (n=20)	31.72±3.73	172.34±9.46	72.63±8.62	20.42±3.28

All data represent means ± standard deviation.

BMI, body mass index.

3. 연구 환경 설정

본 연구는 환경적 요인의 변화에 민감한 연구로 환경적 요인의 동질성을 성립하기 위하여 현지 환경의 평균치를 조사하였으며, 조사된 환경적 요인의 평균에 맞추어 연구를 진행하였다. 연구환경의 특성은 Tables 3, 4와 같다.

4. 운동 강도 설정

본 연구의 운동 강도는 크게 3가지로 구성하였으며, ACSM [18]에서 권고한 운동 강도를 근거로 다음과 같은 강도설정을 하였다. 각 집단별 운동량을 동일하게 적용하였으며, 운동방법은 트레드밀 달리기를 통하여 운동강도를 조절하였다. 또한, 피험자들의 운동 강도를 정량화시키기 위하여 개개인의 안정시심박수를 목의 경동맥에서 측정한 후 Karvonen공식을 이용하여 개인별 산출공식을 적용하였다. 저강도 운동은 HRR 30% 이하의 강도로 목표심박수 약 116회 운동을 실시하였으며, 중강도 운동은 40-70%의 강도로 목표심박수 약 132회 운동을 실시하였다. 또한, 고강도 운동은 HRR 80% 이상의 강도로 목표심박수 160회 운동을 실시하였다. 운동 중에는 휴식 시간을 갖지 않는 방식으로 진행하였으며, 심박수 측정은 가슴 밴드형 심박계가 내장되어 있는 다이빙 컴퓨터 운동강도설정의 GALILEO SOL (SCUBA PRO, Wisconsin, USA)을 이용하여 측정하였다.

5. 측정항목 및 방법

본 연구의 변인측정은 안전성과 신뢰도를 높이기 위하여 국제 스쿠버 다이빙 강사 평가관과 필리핀 NAVY SEAL Diving 교관의 입회하에 스쿠버 다이빙 강사 3명, 보조 강사 2명에 연구참여 대상자 2인을 한 그룹으로 만들어 실시하였다.

1) 심박수 측정

본 연구의 심박수 측정은 다이빙 컴퓨터 GALILEO SOL (Uwatec, US)을 이용하여 측정하였으며, 대상자들의 가슴에 수중 심박 수신기인 POLAR T3를 착용하고 다이빙 활동 전과 후, 컴퓨터에 GALILEO SOL을 연결하여 시간대별 심박수를 측정하였다.

2) 정맥기포검사

본 연구의 정맥기포검사는 혈중 기포의 소리를 감지할 수 있는 헤드셋과 초음파 probe가 연결되어 있는 초음파진단기(Doppler Bubble Monitor, Techno Scientific Ontario, Canada)를 이용하여 스쿠버 다이빙 전과 후에 정맥기포검사를 측정하였다. 정맥기포검사는 쇄골하 정맥(좌측, 우측)과 우심방 총 3부위에서 측정하였으며, 쇄골하 정맥 측정은 초음파 probe를 통한 검사 준비를 마치면 측정 부위의 손을 쥐었다 풀었다를 반복하여 총 2분간 측정하였다. 또한, 우심방 측정은 검사 준비를 마친 후 앉았다 일어났다를 반복하여 2분간 측정하였으며, 이때 측정시간은 스쿠버 다이빙 후 5분을 경과하지 않도록 주의하였다.

Table 2. Study design

Items	Exercise time (min)			Rest time (min)	Total dive time (min)	Bubble-checking time
	Warm-up	Work-out	Cool-down			
Non-Exercise group (NEG/n=20)	10	40	10	60	35	Immediately after diving
Low Intensity-Exercise group (LEG/n=20)	10	40	10	60	35	Immediately after diving
Moderate Intensity-Exercise group (MEG/n=20)	10	40	10	60	35	Immediately after diving
High Intensity-Exercise group (HEG/n=20)	10	40	10	60	35	Immediately after diving

All data represent means $\pm$ standard deviation.

Table 3. Diving Environment characteristics of group

Items	Date	Temp	Humidity	Water temp
Non-Exercise group (NEG/n=20)	2018. 2. 18	31	78	29
Low Intensity-Exercise group (LEG/n=20)	2018. 2. 21	31	79	29
Moderate Intensity-Exercise group (MEG/n=20)	2018. 8. 22	31	80	29
High Intensity-Exercise group (HEG/n=20)	2018. 8. 24	31	78	29

All data represent means $\pm$ standard deviation.

Table 4. Diving Plan

Max Depth	Temp.	Bottom Time	Total Dive Time	Accent Rate	Accent Rate After Deco	Wave	Deco Time
30 m	29°C	25 min	35 min	9 M/min	3 M/min	1 M	5 min at 5 m

Table 5. K-M Code of Bubble Grade

Code	Frequency	Percentage	Amplitude
0	0	0	No
1	1-2	1-10	Ab < Ac
2	3-8	10-50	Ab < Ac
3	9-40	50-99	Ab ≈ Ac
4	Continuation	100	Ab > Ac

3) 정맥기포분석

본 연구의 정맥기포분석은 캐나다 국방청과 기상청의 연구기관인 Defense and Civil Institute Environment Medicine (DCIEM)에서 Defence Research and Development Canada (DRDC)로 명칭을 변경한 국제 유일의 다이빙 기포 연구소 소속의 DCIEM Doppler technician David Eastmann & Corry Van den Broek에 의해서 분석하였으며, DCIEM Diving Masurel과 Kisman Masurel Code (K-M Code)의 Bubble Grade를 통하여 분석하였다. 본 연구의 정맥기포분석은 초음파측정기의 Echo 분석방식으로 Frequency는 구간별 빈도의 변화를 나타내며, Percentage는 구간별 빈도에 대한 %를 나타낸다. 또한, Amplitude는 구간별 진폭의 변화를 나타낸다. K-M Code와 Bubble Grade는 Tables 5, 6과 같다.

6. 자료처리방법

본 연구는 SPSS 20.0 통계프로그램을 이용하여 고강도 운동그룹, 중강도 운동그룹, 저강도 운동그룹, 비 운동 대조그룹 각각 20명씩을 대상으로 각 네 집단에 대한 평균(mean)과 표준편차(standard deviation, SD)를 산출하였다. 구체적으로 통계처리는 이원반복측정변량분석(two-way repeated measures, ANOVA)을 실시하여 2시기(사전 및 사후)에 따른 4집단 간의 차이(2×4)를 분석하였다. ANOVA 검사 후 유의한 차이가 나타날 경우, 각 집단의 시기 간 차이검증은 Paired *t*-test, 각 집단 간 차이검증은 일원변량분석(One-way, ANOVA)을 이용하여 분석하였으며, 사후검증으로 Turkey 방법을 실시하였다. 이때 모든 통계적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

연구결과

1. 쇄골하 정맥 기포의 변화

1) 쇄골하 정맥 좌측

운동강도에 따른 좌측 쇄골하 정맥의 변화는 Table 7에 제시한 바와 같다. 운동강도에 따른 좌측 쇄골하 정맥의 변화 중 Frequency의 변화는 NEG ($p = .001$), MEG ($p = .032$), HEG ($p = .000$)에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의하게 증가하였으며, Percentage의 변화는 NEG ($p = .016$), MEG ($p = .028$), HEG ($p = .000$)에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 또한, Amplitude의 변화는 NEG ($p = .001$),

Table 6. K-M Code of Bubble Grade Analysis

fpa g	fpa g	fpa g	fpa g
111 I-	211 I-	311 I	411 II-
112 I	212 I	312 II-	412 II
113 I	213 I+	313 II	413 II+
114 I+	214 II-	314 II	414 III-
121 I+	221 II-	321 II	421 III-
122 II	222 II	322 II+	422 III
123 II	223 II+	323 III-	423 III
124 II	224 II+	324 III	424 III+
131 II	231 II	331 III-	431 III
132 II	232 III-	332 III	432 III+
133 III-	233 III	333 III	433 IV-
134 III-	234 III	334 III+	434 IV
141 I	241 III-	341 III	441 III+
142 III-	242 III	342 III+	442 IV
143 III	243 III	343 III+	443 IV
144 III	244 III+	344 IV-	444 IV

MEG ($p = .019$), HEG ($p = .000$)에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 하지만, LEG 그룹은 Frequency ($p = .234$), Percentage ($p = .412$), Amplitude ($p = .094$)에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나 기포의 변화는 스쿠버 다이빙 후에 증가한 것으로 나타났다. 또한, 운동강도에 따른 좌측 쇄골하 정맥의 그룹 간의 변화는 Frequency (LEG < MEG < NEG < HEG), Percentage (LEG < MEG < NEG < HEG), Amplitude (LEG < MEG < NEG < HEG) 순으로 나타났다.

2) 쇄골하 정맥 우측

운동강도에 따른 우측 쇄골하 정맥의 변화는 Table 8에 제시한 바와 같다. 운동강도에 따른 우측 쇄골하 정맥의 변화 중 Frequency의 변화는 NEG ($p = .014$), MEG ($p = .001$), HEG ($p = .000$)에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의하게 증가하였으며, Percentage의 변화는 NEG ($p = .042$), MEG ($p = .037$), HEG ($p = .000$)에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 또한, Amplitude의 변화는 NEG ($p = .001$), MEG ($p = .018$), HEG ($p = .000$)에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 하지만, LEG 그룹은 Frequency ($p = .096$), Percentage ($p = .233$), Amplitude ($p = .068$)에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나 기포의 변화는 스쿠버 다이빙 후에 증가한 것으로 나타났다. 또한, 운동강도에 따른 우측 쇄골하 정맥의 그룹 간의 변화는 Frequency (LEG < NEG < MEG < HEG), Percentage (LEG < NEG < MEG < HEG), Amplitude (LEG < MEG < NEG < HEG) 순으로 나타났다.

Table 7. Subclavian vein of Left bubble grade

Items	Group	K-M Code		Source	F (p)	Post-hoc
		pre	post			
Frequency	NEG (n=20)	0.03 ± 0.02	3.21 ± 0.25 ^{###,+++}	T	2.884 (.001)	B < C < A < D
	LEG (n=20)	0.02 ± 0.01	1.84 ± 0.11	G	1.032 (.234)	
	MEG (n=20)	0.02 ± 0.02	2.34 ± 0.65 ^{#,+}	G × T	1.826 (.032)	
	HEG (n=20)	0.03 ± 0.01	3.66 ± 1.02 ^{###,+++}		3.032 (.000)	
Percentage	NEG (n=20)	0.03 ± 0.02	2.86 ± 0.28 ^{#,++}	T	2.438 (.016)	B < C < A < D
	LEG (n=20)	0.02 ± 0.01	1.22 ± 0.32 ⁺	G	0.904 (.412)	
	MEG (n=20)	0.02 ± 0.02	2.48 ± 0.84 ^{#,++}	G × T	1.912 (.028)	
	HEG (n=20)	0.03 ± 0.01	3.84 ± 1.21 ^{###,+++}		3.242 (.000)	
Amplitude	NEG (n=20)	0.03 ± 0.02	3.33 ± 0.68 ^{#,+++}	T	2.904 (.001)	B < C < A < D
	LEG (n=20)	0.02 ± 0.01	2.02 ± 0.61 ^{#,+}	G	1.132 (.094)	
	MEG (n=20)	0.02 ± 0.02	2.84 ± 0.72 ^{#,++}	G × T	2.428 (.019)	
	HEG (n=20)	0.03 ± 0.01	3.92 ± 1.64 ^{###,+++}		3.406 (.000)	

A: Non-Exercise group. B: Low Intensity-Exercise group. C: Moderate Intensity-Exercise group. D: High Intensity-Exercise group. T: time. G: group. G × T: group × time.

Significantly different from pre-and post-values: [#] $p < .05$, ^{##} $p < .01$, ^{###} $p < .001$.

Significantly different among the groups: ⁺ $p < .05$, ⁺⁺ $p < .01$, ⁺⁺⁺ $p < .001$.

Significantly interaction among groups and time: ^{*} $p < .05$, ^{**} $p < .01$, ^{***} $p < .001$.

Table 8. Subclavian vein of Right bubble grade

Items	Group	K-M Code		Source	F (p)	Post-hoc
		pre	post			
Frequency	NEG (n=20)	0.02 ± 0.02	2.88 ± 0.62 ^{#,++}	T	2.440 (.014)	B < A < C < D
	LEG (n=20)	0.02 ± 0.01	2.04 ± 0.82 ⁺	G	1.112 (.096)	
	MEG (n=20)	0.01 ± 0.01	3.21 ± 0.74 ^{###,++}	G × T	2.844 (.001)	
	HEG (n=20)	0.01 ± 0.01	3.43 ± 1.14 ^{###,+++}		2.982 (.000)	
Percentage	NEG (n=20)	0.02 ± 0.02	2.42 ± 0.62 ^{#,++}	T	1.962 (.042)	B < A < C < D
	LEG (n=20)	0.02 ± 0.01	1.84 ± 0.64 ⁺	G	1.008 (.233)	
	MEG (n=20)	0.01 ± 0.01	2.62 ± 0.38 ^{#,+}	G × T	1.808 (.037)	
	HEG (n=20)	0.01 ± 0.01	3.77 ± 1.06 ^{###,+++}		3.126 (.000)	
Amplitude	NEG (n=20)	0.02 ± 0.02	3.32 ± 1.02 ^{#,+++}	T	2.903 (.001)	B < C < A < D
	LEG (n=20)	0.02 ± 0.01	2.12 ± 0.84 ^{#,+}	G	1.133 (.068)	
	MEG (n=20)	0.01 ± 0.01	2.88 ± 1.02 ^{#,++}	G × T	2.429 (.018)	
	HEG (n=20)	0.01 ± 0.01	3.93 ± 1.04 ^{###,+++}		3.407 (.000)	

A: Non-Exercise group. B: Low Intensity-Exercise group. C: Moderate Intensity-Exercise group. D: High Intensity-Exercise group. T: time. G: group. G × T: group × time.

Significantly different from pre-and post-values: [#] $p < .05$, ^{##} $p < .01$, ^{###} $p < .001$.

Significantly different among the groups: ⁺ $p < .05$, ⁺⁺ $p < .01$, ⁺⁺⁺ $p < .001$.

Significantly interaction among groups and time: ^{*} $p < .05$, ^{**} $p < .01$, ^{***} $p < .001$.

2. 우심방 기포의 변화

운동강도에 따른 우심방 기포의 변화는 Table 9에 제시한 바와 같다. 운동강도에 따른 우심방 기포의 변화 중 Frequency의 변화는 NEG ($p = .001$), LEG ($p = .039$), MEG ($p = .014$), HEG ($p = .000$)에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의하게 증가하였으며, Percentage의 변화는 NEG ($p = .008$), MEG ($p = .006$), HEG ($p = .000$)에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 또한, Amplitude의 변화는 NEG ($p = .000$), NEG ($p = .017$), MEG ($p = .019$), HEG ($p = .000$)에서 스쿠버 다이빙 후에

통계적으로 유의하게 증가하였다. 하지만, LEG 그룹은 Percentage ($p = .222$)에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나 기포의 변화는 스쿠버 다이빙 후에 증가한 것으로 나타났다. 또한, 운동강도에 따른 우심방 기포의 그룹 간의 변화는 Frequency (LEG < MEG < NEG < HEG), Percentage (LEG < NEG < MEG < HEG), Amplitude (MEG < LEG < NEG < HEG) 순으로 나타났다.

Table 9. Right atrium of bubble grade

Items	Group	K-M Code		Source	F (p)	Post-hoc
		pre	post			
Frequency	NEG (n = 20)	0.00 ± 0.01	3.38 ± 1.26 ^{###,+++}	T	2.926 (.001)	B < C < A < D
	LEG (n = 20)	0.02 ± 0.01	2.62 ± 0.84 ^{#,++}	G	1.809 (.039)	
	MEG (n = 20)	0.02 ± 0.02	2.96 ± 0.92 ^{###,++}	G × T	2.444 (.014)	
	HEG (n = 20)	0.02 ± 0.01	3.86 ± 1.38 ^{###,+++}		3.232 (.000)	
Percentage	NEG (n = 20)	0.00 ± 0.01	3.02 ± 1.24 ^{###,++}	T	2.668 (.008)	B < A < C < D
	LEG (n = 20)	0.02 ± 0.01	1.88 ± 0.69 ⁺	G	1.004 (.222)	
	MEG (n = 20)	0.02 ± 0.02	3.08 ± 0.88 ^{###,++}	G × T	2.802 (.006)	
	HEG (n = 20)	0.02 ± 0.01	3.94 ± 1.38 ^{###,+++}		3.412 (.000)	
Amplitude	NEG (n = 20)	0.00 ± 0.01	3.62 ± 0.68 ^{###,+++}	T	3.024 (.000)	C < B < A < D
	LEG (n = 20)	0.02 ± 0.01	2.88 ± 1.02 ^{###,++}	G	2.432 (.017)	
	MEG (n = 20)	0.02 ± 0.02	2.86 ± 0.94 ^{###,++}	G × T	2.426 (.019)	
	HEG (n = 20)	0.02 ± 0.01	3.96 ± 1.52 ^{###,+++}		3.412 (.000)	

A: Non-Exercise group. B: Low Intensity-Exercise group. C: Moderate Intensity-Exercise group. D: High Intensity-Exercise group. T: time. G: group. G × T: group × time.

Significantly different from pre-and post-values: [#]*p* < .05, ^{##}*p* < .01, ^{###}*p* < .001.

Significantly different among the groups: ⁺*p* < .05, ⁺⁺*p* < .01, ⁺⁺⁺*p* < .001.

Significantly interaction among groups and time: ^{*}*p* < .05, ^{**}*p* < .01, ^{***}*p* < .001.

논 의

본 연구는 스쿠버 다이빙 전 운동강도의 차이가 스쿠버 다이빙 후 체내 정맥기포 형성에 미치는 영향을 조사하여 이상기압관련 장애로 불리는 잠수병의 원인인 불활성기체의 체내 축적과 운동의 효과에 대해 연구함으로써 특수한 환경에서 활동을 수행하여야 하는 스쿠버 다이버들의 효율적이고 안전한 다이빙을 위한 수중활동의 지침을 제공하고 자 수행된 연구이다. 이러한 연구목적을 토대로 스쿠버 다이빙 전, 후의 체내 정맥기포 형성을 관찰한 결과 다음과 같이 논의하고자 한다.

스쿠버 다이빙(SCUBA Diving)은 대자연에 대한 인간의 투지와 한 계극복의 의미를 담고 있는 모험 스포츠로서[19], 스쿠버란 Self-Contained Underwater Breathing Apparatus (SCUBA)의 약자로 우리말로 는 ‘수중 자가 호흡기’란 뜻을 가지고 있다[7]. 이러한, 스쿠버 다이빙은 수중에서 압축된 공기통을 메고 잠수하여 공기조절 장치를 통해 호흡 하는 잠수 활동으로 장시간 깊은 수심에서의 수중 활동을 의미하는 것으로[20] 특수한 환경인 수중환경에서의 운동은 환경적 제한 요인들의 극복과 인체의 적응에 있지만, 높은 수압과 다양한 혼합기체로의 호흡은 외부온도나 환경적 요인으로 인하여 스트레스를 받게 되어 신체의 다양한 생리적인 변인에 변화가 발생하게 된다[3,4]. 이렇듯, 스쿠버 다이빙은 수온과 수압, 조류 및 염도 등과 같은 다양한 수중환경적 요인에 의하여 불안정한 호흡과 압력변화로 인한 감압병(decompression sickness)과 같은 잠수병의 위험 가능성이 높은 것으로 보고되고 있으며[21], 그중 압력과 공기의 변화에 의한 잠수병의 위험요인은 돌이킬 수 없는 사고를 유발할 수 있는 매우 중요한 요인인 것이다. 이러

한, 잠수병의 주원인 수중환경에서의 압력과 공기의 관계는 다양한 물리적 법칙에 의해서 설명하고 있으며, 그중 압력의 변화와 밀도의 차이 및 수중환경에서의 감압속도는 잠수병의 요인 현상으로 매우 중요하게 인식되고 있다[22]. 하지만, 잠수병의 원인인 체내 불활성 기체의 축적은 감압속도의 변화와 인체적 개별성에 의하여 차이가 있는 것으로 보고되고 있으며, 불활성 기체와 잠수병의 관계는 연령과 체지방 및 건강 상태와 신체적 요인에 의해서 변하는 것으로 보고하고 있다[23]. 이렇게 다양한 요인에 의한 수중활동의 제약사항들은 보다 전문적이고 과학적 접근 방법에 의한 해결방안들을 제시하기 시작하였으며, 그중 스쿠버 다이빙과 신체활동량 및 운동과의 관계에 관한 연구들이 속속 보고되고 있다. 스쿠버 다이빙 시 불안정한 감압의 변화는 잠수병의 주요인인 체내불활성 기포의 형성을 높이는 것으로 그 위험성 또한, 더욱 높아지는 것으로 보고[24]하고 있으며, 감압 시에는 신체적 활동량이 줄어들어 불안정한 감압은 체내 정맥 기포형성을 증가시키는 것으로 보고하고 있다[25]. 또한, 쥐를 대상으로 한 불안정한 압력 변화 전 운동이 감압병의 신경학적 발병률을 감소시키는 것으로 보고[14]하고 있으며, 인간을 대상으로 한 다이빙 전 고강도 에어로빅 운동이 체내 불활성 기포형성을 감소시키는 것으로 보고[16]하였다. 이는 본 연구 결과와 동일한 결과로서 스쿠버 다이빙 전 운동 그룹이 비 운동 대조 그룹에 비해 전반적으로 체내 불활성 기포형성이 적은 것으로 나타났다. 하지만, 본 연구에서는 저강도 운동 그룹은 비 운동 대조그룹에 비해 체내 불활성 기포형성이 쇄골하정맥 양쪽과 우심방에서 현저히 감소한 것으로 나타났으며, 중강도 운동그룹 또한, 불활성 기포형성이 비 운동 대조그룹에 비해 감소한 것으로 나타난 반면, 고강도 운동그룹

은 비 운동 대조그룹에 비해 체내 불활성 기포형성이 높은 것으로 나타나 전반적인 운동의 효과와는 상반된 결과이다. 이는 본 연구 시작 전 제시한 운동강도의 차이를 확인하기 위한 연구방법으로 긍정적인 연구결과를 도출한 것으로 생각되며, 이를 규명하기 위한 후속 연구의 필요성을 제시하는 바이다.

위와 같이, 스쿠버 다이빙은 수중환경에서의 제한적 요인을 극복하는 특수한 스포츠로 다양한 생리학적 변인들의 변화를 확인할 필요가 있으며, 환경적 불안전 요인으로 인한 인체의 생리학적 기전에 변화를 극복하기 위한 방법 중의 하나로 운동의 효과를 확인할 수 있었다. 또한, 수중환경과 같은 환경적 요인에서의 인체적 변화 요인과 이를 효과적으로 극복하기 위한 신체활동과 운동의 효과에 관한 연구는 더욱 다양하게 일어나야 할 것이며, 본 연구 결과와 같이 수중환경에서의 신체적 변화와 운동의 효과에 관한 연구는 운동강도와 운동량과 같은 운동생리학적 접근에 의한 다양하고 구체적인 연구결과들을 적립한다면 스쿠버 다이빙의 안정성과 효율성을 확인할 수 있는 것으로 보다 안전한 수중활동을 위한 교육적 자료를 제공할 것이다.

결론

본 연구는 스쿠버 다이빙 전 운동강도의 차이가 스쿠버 다이빙 후 체내 정맥기포 형성에 미치는 영향을 조사하여 이상기압관련 장애로 불리는 잠수병의 원인인 불활성기체의 체내 축적과 운동의 효과에 대한 연구이다. 이러한, 연구목적에 토대로 스쿠버 다이빙 전후의 체내 정맥기포 형성을 관찰한 결과 다음과 같이 결론을 얻었다.

1. 스쿠버 다이빙 전 운동강도의 차이가 스쿠버 다이빙 후 체내 정맥기포 형성의 변화 중 좌측 쇄골하 정맥의 변화는 Frequency, Percentage, Amplitude 모두 운동하지 않은 그룹과 저강도 운동그룹, 중강도 운동그룹, 고강도 운동그룹에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의하게 증가하였으나, 저강도 운동그룹은 체내 정맥기포 형성은 발생하였으나 Frequency는 나머지 그룹에 비해 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 또한, 그룹 간의 변화는 Frequency, Percentage, Amplitude 모두 저강도 운동그룹 < 중강도 운동그룹 < 운동하지 않은 그룹 < 고강도 운동그룹 순으로 나타났다.

2. 스쿠버 다이빙 전 운동강도의 차이가 스쿠버 다이빙 후 체내 정맥기포 형성의 변화 중 우측 쇄골하 정맥의 변화는 Frequency, Percentage, Amplitude 모두 운동하지 않은 그룹과 저강도 운동그룹, 중강도 운동그룹, 고강도 운동그룹에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 또한, 그룹 간의 변화는 Frequency와 Percentage는 저강도 운동그룹 < 운동하지 않은 그룹 < 중강도 운동그룹 < 고강도 운동그룹 순으로 나타났으며, Amplitude는 저강도 운동그룹 < 중강도 운동그룹 < 운동하지 않은 그룹 < 고강도 운동그룹 순으로 나타났다.

3. 스쿠버 다이빙 전 운동강도의 차이가 스쿠버 다이빙 후 체내 정맥기포 형성의 변화 중 우심방 기포의 변화는 Frequency, Percentage, Amplitude 모두 운동하지 않은 그룹과 저강도 운동그룹, 중강도 운동그룹, 고강도 운동그룹에서 스쿠버 다이빙 후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. 또한, 그룹 간의 변화는 Frequency는 저강도 운동그룹 < 중강도 운동그룹 < 운동하지 않은 그룹 < 고강도 운동그룹 순으로 나타났으며, Percentage는 저강도 운동그룹 < 운동하지 않은 그룹 < 중강도 운동그룹 < 고강도 운동그룹 순으로 나타났다. Amplitude는 중강도 운동그룹 < 저강도 운동그룹 < 운동하지 않은 그룹 < 고강도 운동그룹 순으로 나타났다.

본 연구를 종합해 볼 때, 스쿠버 다이빙 전 운동강도의 차이가 스쿠버 다이빙 후 체내 정맥기포 형성에 변화를 주는 것으로 확인할 수 있었으며, 이를 토대로 스쿠버 다이빙 전 운동조절이 안전하고 효율적인 수중활동에 긍정적인 도움을 줄 것으로 생각된다. 또한, 개개인에 맞는 운동강도와 신체활동을 적용한다면 수중환경적 요인에서 올 수 있는 신체적 불안정 요인에 의한 손상 및 상해 위험률의 예방 및 관리를 위해 효과적일 것으로 생각된다.

CONFLICT OF INTEREST

이 논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며, 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

REFERENCES

- Hyun GS, Jee YS, Park JM, Cho NH, Cha JY. Injury survey in scuba divers of British Sub-Aqua Club: A retrospective study. *J Exerc Rehabil*. 2015;11(6):331-6.
- Park JM, Hyun KS, Han GH, Jee YS, Cha JY. Effects of pressure equalizing insecurity symptoms on the heart rate and respiration the during scuba diving on beginner college student dive. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*. 2017;17(11):723-35.
- Doubt TJ. Cardiovascular and thermal responses to SCUBA diving. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28(5):581-6.
- Kim KJ. Comparison by the submergence duration of physiological responses in SCUBA diving. *The Korean Society of Living Environmental System*. 2001;8(3):256-62.
- Song SH, Lee WK, Chung YA, Hong SK. Mechanism of apneic bradycardia in man. *J Appl Physiol*. 1969;27(3):323-7.
- Kim YB, Choi JI. The change of the blood lactate, glucose, free fat acid,

- and hemoglobin following diving stage in control water and open water Scubadiving. *The Korea Journal of Sport*. 2012;10(2):505-14.
7. Kang SY. A study on the scuba certification and status of leisure diving in Southeast Asia countries, *Journal of Korean Navigation and Port Research*. 2008;32(1):109-14.
8. Han GH. A comparison of effectiveness of side-mount and back-mount system in scuba diving. Korea Maritime and Ocean University. 2013.
9. NAUI. Leadership Instruction and Instructor Guide. NAUI: FL. 2003.
10. BSAC. Scuba Diving. Circle Books. 2009.
11. Richardson D, Kinsella J, Shreeves K. The encyclopedia of recreational diving. 3rd ed. Rancho Santa Margarita (CA): PADI. 2008.
12. Walker R, Edmonds C. Long-term effects of diving. In: Edmonds C, Lowry C, Pennefather J, Walker R, editors. *Diving and subaquatic medicine*. 4th ed. London: Arnold Publishers, 2002;457-64.
13. Carturan D, Boussuges A, Vanuxem P, Bar-Hen A, Burnet H, et al. Ascent rate, age, maximal oxygen uptake, adiposity, and circulating venous bubbles after diving. *J Appl Physiol*. 2002;93(4):1349-56.
14. Jankowski LW, Nishi RY, Eaton DJ, Griffin AP. Exercise during decompression reduces the amount of venous gas emboli. *Undersea Hyperb Med*. 1997;24(2):59-65.
15. Dujic Z, Duplancic D, Marinovic-Terzic I, Bakovic D, Ivancev V, et al. Aerobic exercise before diving reduces venous gas bubble formation in humans. *J Physiol*. 2016;555(3):637-42.
16. Madden D, Thom SR, Milovanova TN, Yang M, Bhople VM, et al. Exercise before scuba diving ameliorates decompression-induced neutrophil activation. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;46(10):1928-35.
17. Madden D, Thom SR, Dujic Z. Exercise before and after SCUBA diving and the role of cellular microparticles in decompression stress. *Med Hypotheses*. 2016;86:80-4.
18. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (8th Edition). American College of Sports Medicine. 2010.
19. Lindholm P, Lundgren CE. Alveolar gas composition before and after maximal breath-holds in competitive divers. *Undersea Hyperb Med*. 2006;33(6):463-7.
20. Andersson JP, Linér MH, Rünow E, Schagatay EK. Diving response and arterial oxygen saturation during apnea and exercise in breath-hold divers. *J Appl Physiol*. 2002;93(3):882-6.
21. NAUI. NAUI Advanced diving Technology and Techniques. 1991;62-137.
22. Kang SY. NAUI. Scuba Diver. Asia-Pacific Rim: Malaysia. 2000.
23. Carturan D, Boussuges A, Burnet H, Fondarai J, Vanuxem P, et al. Circulating venous bubbles in recreational diving: relationships with age, weight, maximal oxygen uptake and body fat percentage. *Int J Sports Med*. 1999;20(6):410-4.
24. Spencer MP. Decompression limits for compressed air determined by ultrasonically detected blood bubbles. *J Appl Physiol*. 1976;40(2):229-35.
25. Carturan D, Boussuges A, Vanuxem P, Bar-Hen A, Burnet H, et al. Ascent rate, age, maximal oxygen uptake, adiposity, and circulating venous bubbles after diving. *J Appl Physiol* (1985). 2002;93(4):1349-56.