

스쿠버 잠수활동과 안압, 시신경 및 시야의 변화

정상문¹ · 김성길² · 권정도¹

알레스기념 침례병원¹, 국립한국해양대학교 해양체육학과²

목적: 스쿠버 잠수 활동이 안압과 시야, 망막신경섬유층 및 시신경유두형태에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 다이버군 32명과 대조군 32명을 대상으로 시력 및 굴절검사, 안압검사, 시야검사, 망막신경섬유층사진, OCT, 입체시신경 유두 사진검사하여 두 군간의 차이를 분석하고 다이버군에서 잠수경력과 경향을 설문 조사하여 검사 결과치와 연관성을 분석하였다.

결과: 평균안압은 다이버군 15.71 ± 2.54 mmHg, 대조군 14.23 ± 2.15 mmHg, 시야이상은 다이버군 7안 11.3%, 대조군 0안 0%로 두 군간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p=0.019$, $p=0.006$). 시야이상의 85.7%가 초기 시야손상에 속해 있었다. 망막신경섬유층사진상 다이버군 8안 12.9%, 대조군 2안 3.1%에서 시신경 섬유층 위축의 유의한 변화를 보였다($p=0.042$). 시신경유두형태검사에서는 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p=0.546$).

결론: 스쿠버 잠수 활동을 하는 다이버들은 주기적인 녹내장검진이 필요할 것이며, 스쿠버 잠수 활동이 이러한 변화를 유발하는 원인에 대한 추가적인 연구와 대규모의 횡단연구 및 종단연구가 필요할 것으로 판단된다.

(대한안과학회지 2010;51(12):1598-1605)

스쿠버(Self Contained Underwater Breathing Apparatus) 잠수란 육상 또는 수면으로부터 공기를 공급받지 않은 상태로 압축 공기통이나 호흡기체를 압축해 담은 용기를 착용하고 수중에서 자유로이 호흡하면서 이동하며 자신의 목적을 수행하는 활동을 말한다. 스쿠버 잠수에 대한 가장 오랜 기록은 기원 전 900년경으로 확인된다. 앤티리아에서는 다이버가 동물의 방광을 가지고 들어가 몇 차례 급한 숨을 들이쉬는 방법을 고안해냈다는 기록이 있다. 19세기 초반에는 헬멧 형태 잠수장비의 고안이 이루어졌고, 1943년 프랑스의 자끄 쿠스토와 에밀 가냥은 아쿠아 령(Aqua lung)이라 불리는 개인휴대용 압축공기 실린더, 자동호흡장치 등을 발명하였는데, 이를 시발점으로 현대의 스쿠버 잠수는 수많은 장비의 발전과 더불어 급속히 대중적인 스포츠 잠수운동으로 자리매김하게 되었다.¹

우리나라 스쿠버의 역사는 1955년 U.D.T가 창설되면서 시작되었고, 1960년대에 들어서면서부터 일반인들도 스포

츠로 즐기게 되었으며 20만명 이상으로 추정되는 인구가 스쿠버 잠수를 하고 있다.² 이렇게 스쿠버 잠수를 즐기는 인구가 급증한 이유는 첫째 바쁜 일상에서 벗어나 또 다른 활동을 즐길 수 있다는 기회에 커다란 매력을 느낄 수 있다는 점, 둘째 육상과는 달리 자유로운 이동이 가능한 수중세계의 신비함에 대한 사람들의 특별한 관심, 셋째 개인의 여가활동에 보다 많은 관심을 가지게 된 시대적 흐름 때문이다.

그러나 스쿠버 잠수를 즐기는 인구의 지속적 증가와 동시에 관련손상이나 질환 역시 증가하고 있는 추세이다. 잠수환경은 수심에 따라 수압이 증가하는 고압의 환경이다. 고압의 환경에 노출될 때 인체에는 여러 생리적인 변화가 생기게 되고, 또한 압력의 변화에 대한 올바른 적응 실패로 여러 가지 의학적인 문제점을 일으킬 수 있다.³⁻¹³ 외국의 경우에는 이미 스쿠버 잠수로 인한 압력손상에 대하여 꾸준한 연구가 발표되어 왔으나 우리나라의 경우 잠수의학의 역사가 짧고 스쿠버 잠수에 관련한 압력손상이나 이와 관련한 안과적 질환에 대한 연구가 미미한 실정이다.

여러 잠재적 위험성이 있는 스쿠버 잠수에서 안과적 질환과의 관련성을 파악하고 잠수로 인한 인체손상을 예방하기 위한 목적으로 저자들은 본 연구에서 최근 다이버의 잠수경향을 조사하고 안압, 시신경손상 및 시야결손 등의 발생여부를 대조군과 비교하여 스쿠버 잠수활동이 미치는 영향을 구체적으로 알아보고자 하였다.

■ 접 수 일: 2010년 4월 9일 ■ 심사통과일: 2010년 5월 7일

■ 책임저자 권 정 도

부산시 금정구 남산동 374-75
알레스기념 침례병원 안과
Tel: 051-580-1359, Fax: 051-512-1354
E-mail: kjdeye@naver.com

* 본 논문의 요지는 2010년 대한안과학회 제103회 학술대회에서 구연으로 발표되었음.

* 본 논문의 요지는 2010년 ESCRS에서 포스터로 발표되었음.

* 본 논문의 요지는 제9회 EGS에서 포스터로 발표되었음.

대상과 방법

2010년 1월부터 2010년 3월까지 부산 및 경남지역에서 강사급 경력의 10년 이상 스쿠버 잠수 활동을 해 온 다이버군 32명 62안과 병원직원과 정형외과와 이비인후과에 입원한 환자 중 스쿠버 잠수 경험이 없고 전신질환이 없는 나이, 성별이 동일한 대조군 32명 64안을 무작위 짝짓기 추출하여 안과검사를 시행하였다. 시력 및 굴절검사, 안압검사, 시야검사, 망막신경섬유층 사진, 빛간섭단층촬영(optical coherent tomography, OCT), 입체시신경유두 사진검사에서 다이버군과 대조군간의 차이에 대하여 분석하고 다이버군에서 잠수경력, 잠수깊이, 1회 잠수시간, 1일 잠수시간 등의 스쿠버 잠수 활동의 양상을 설문 조사하여 안압과 시야, 망막신경섬유층 이상간의 연관성을 분석하였다.

모든 피험자들은 시행되는 검사에 대하여 설명을 받고 동의를 하였고 모든 검사과정 및 분석은 Declaration of Helsinki에 의거하여 시행되었다.

모든 검사는 검진을 위해 내원한 날에 시행하였다. 시력측정, 굴절검사, 세극등을 이용한 전안부 검사, 골드만 압평안압계(Hag-Steit, Bern, Switzerland)를 이용한 안압측정, Humphrey central 24-2 시야검사(Humphrey Instruments, San Leandro, CA, U.S.A.), 무적색망막신경섬유층촬영(VX-10 Fundus camera, Kowa, Japan), 그리고 빛간섭단층촬영(Version 3.0 Optical coherence tomography; Humphrey Systems Inc., Dublin, California, USA)을 시행하였고, digital optic disc stereo camera (VX-10 Fundus camera, Kowa, Japan)로 양안의 시신경 유두의 입체사진을 촬영하였다. 다이버군에서는 추가로 잠수경력, 연간 잠수작업 횟수, 하루 평균작업 시간, 하루 평균잠수 횟수, 1회 잠수시간, 1회 잠수 깊이 등을 포함한 잠수의 전반적 형태를 설문 조사하였다.

대상 선정 시 검사에 영향을 미칠 수 있는 경우는 제외하였는데, 제외기준은 1) 최대교정시력이 20/40 이하이고, 2) 구면렌즈 대응치 값이 ± 4 디옵터 이상이고, 난시 3디옵터 이상이고, 3) 안압이 한번이라도 30 mmHg를 초과한적 있거나, 4) 시야검사상 지표에서 주시 상실도(fixation loss)가 20% 이상, 가움성 반응이 15% 이상, 가양성 반응이 15% 이상 중에 하나라도 해당되는 경우, 5) 시야결손이 상당히 진행된 경우(mean deviation < -16 dB),¹⁴ 6) 망막 및 맥락막질환, 망막 레이저 시술병력, 망막 수술병력, 신경학적 질환, 당뇨망막병증 등이 있는 경우, 7) 녹내장 이외에 시신경유두 병변 및 시신경 병변, 안구매체에 혼탁이 있는 경우, 8) 안구외상의 병력이 있는 경우로 정의하였다. 이로 인해 다이버군에서 외상성백내장 1안, 소아백내장 1

안으로 2안이 제외되었다.

시력의 통계분석을 위하여 Snellen 시력표로 측정된 시력을 logMAR (logarithm of Minimal Angle Resolution)로 변환하여 비교 분석하였다.

안압은 골드만 압평안압계를 이용하여 3회 측정한 평균값을 사용하였다. 모든 측정은 한 연구자에 의해 측정되었다. 두 집단간 안압의 일증변동에 의한 오차를 줄이기 위해서 짝지워진 대조군의 방문시간을 잠수부군의 방문시간대와 같게 하였다.

시야검사는 굴절을 및 나이를 보정하여 Humphrey 자동 시야검사(Zeiss-Humphrey, San Leandro, CA, U.S.A.)의 central 24-2, SITA-standard strategy로 학습효과를 배제하기 위해 연속적으로 최소한 2회 검사하였고, 표준지표(global indices)인 mean deviation (MD)와 pattern standard deviation (PSD) 값을 구하였다. 시야결손은 Mills et al¹⁵이 제안한 방법에 따라 4가지로 나누어 분류하였다. MD가 -6.00 dB 이상이며, pattern deviation plot에서 가장자리를 제외한 부위에서 인접한 3개 이상의 점의 역치가 정상 5% 미만에서 나타나고 그 중 한 개 이상은 1% 미만이거나, glaucoma hemifield test가 outside normal limit인 경우를 초기 시야결손(stage 1: Early defect)으로 정의하였다. MD가 -12.00 dB 와 -6.01 dB 사이에 속하며, pattern deviation plot에서 5%보다 작은 점이 25%와 50% 사이에 나타나고, 1%보다 작은 점이 15%와 25% 사이에 존재하거나, 중심 5도 이내에 15 dB 미만의 점이 한쪽 hemifield에 국한된 경우를 중등도 시야결손(stage 2: Moderate defect)으로 정의하였다. MD가 -20.00 dB와 -12.01 dB 사이에 속하며, pattern deviation plot에서 5%보다 작은 점이 50%와 75% 사이에 나타나고, 1% 보다 작은 점이 25%와 50% 사이에 존재하거나, 중심 5도 이내에 15 dB 미만의 점이 양쪽 hemifield에 국한된 경우를 진행된 시야결손(stage 3: Advanced defect)으로 정의하였다. MD가 -20.00 dB 이하이며, pattern deviation plot에서 5%보다 작은 점이 75% 이상이고, 1%보다 작은 점이 50% 이상이거나, 양쪽 hemifield의 중심 5도 이내에 15 dB 미만의 점이 50% 이상 포함된 경우를 심한 시야결손(stage 3: Severe defect)으로 정의하였다.

Stratus 빛간섭단층촬영기(Version 3.0 Optical coherence tomography; Humphrey Systems Inc., Dublin, California, USA)를 이용한 시신경유두 분석과 유두주위 망막신경섬유층두께 분석을 시행하였다. 검사 시 대상안을 모두 0.5% tropicamide, 0.5% phenylephrine hydrochloride (Mydrin-P®, Santen, Japan)으로 산동시킨 후 aiming beam을 주시하게 하여 눈을 고정시키는 internal fixation의 방법을 이용하였

Table 1. Nerve Fiber Layer Grading system Features

Nerve Fiber Layer Feature	Grade D0*	Grade D1†	Grade D2‡	Grade D3§
Brightness	Bright	Less bright	Minimally bright	Dark
Texture	Coarse and fine striations	Fine striations	Scarcely detectable striations	No texture
Blood vessels				
Large	Clear or blurred	Clear	Clear	Clear
Medium	Blurred	Less blurred	Clear	Clear
Small	Very blurred	Still blurred	Clear	Clear

*D0 = diffuse atrophy of retinal nerve fiber layer 0; †D1 = diffuse atrophy of retinal nerve fiber layer 1; ‡D2 = diffuse atrophy of retinal nerve fiber layer 2; §D3 = diffuse atrophy of retinal nerve fiber layer 3.

고, 시간을 단축시키고 효율성을 높이기 위한 fast optic disc algorithm과 fast retinal nerve fiber layer (RNFL) algorithm을 사용하여 시신경유두측정치들과 망막신경섬유층 두께 측정치들을 구하였다. Fast optic disc algorithm를 이용하여 horizontal intergratedrim area (HIRA), vertical intergratedrim area (VIRA), 시신경유두면적(disc area), 유두함몰비(cup area), 시신경테면적(rim area), 유두함몰비면적(C/D area ratio), 수평유두함몰비(horizontal C/D ratio), 수직유두함몰비(vertical C/D ratio)를 분석에 사용하였다. Fast RNFL thickness algorithm을 이용하여 시신경유두면에서 3.4 mm 지점의 망막신경섬유층 두께를 측정하였고, 평균 망막신경섬유층두께, 4사분면에서의 망막신경섬유층두께(상측: 46~135도, 비측: 136~225도, 하측: 226~315도, 이측: 316~45도)를 분석에 사용하였다. 검사자의 오차를 줄이기 위해 한 사람의 숙련된 검사자가 검사를 시행하였다.

무적색망막신경섬유층촬영은 디지털 안저 사진기(VX-10 fundus camera, Kowa, Japan)를 이용하여 모든 대상군에서 양안에 시행하였다. 망막신경 섬유층 사진 이상은 Quigley et al¹⁶의 제안한 분류법에 따라 밝기, 질감(texture), 혈관이 비쳐지는 정도 등을 기준으로 미만성 망막신경섬유층 위축 1 (diffuse atrophy of retinal nerve fiber layer 1, D1), 미만성 망막신경섬유층 위축 2 (diffuse atrophy of retinal nerve fiber layer 2, D2), 미만성 망막신경섬유층 위축 3 (diffuse atrophy of retinal nerve fiber layer 3, D3), 췌기모양 국소망막신경 결손(localized wedge shaped defect of retinal nerve fiber layer, W), 결손이 없는 정상 등의 5가지로 구분하였고, 한 사람의 연구자가 다른 임상 정보가 없는 상태에서 판단하였다(Table 1).

시신경 유두분석을 위하여 digital optic disc stereo camera (VX-10 Fundus camera, Kowa, Japan)로 양안의 시신경유두의 입체사진을 촬영하였다. 시신경유두의 녹내장성 변화를 의심하는 소견으로 알려진 시신경 유두테의 패임, 시신경 유두출혈, 코 쪽으로의 유두함몰증가, 시신경

Table 2. Diving pattern of scuba divers (N = 62)

	Mean*	Range
Diving years	15.18 ± 7.23	10 ~ 35
Working hours / day	1.92 ± 0.89	1 ~ 4
Diving hours / 1 time	0.69 ± 0.32	0.5 ~ 2
Diving depth (m)	18.47 ± 6.64	5 ~ 30

*Values are given as a mean ± standard deviation.

유두주위위축, 국소창백 등을 관찰하여 시신경유두의 녹내장성 변화의 유무를 판정하였다.

통계분석은 SPSS software version 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였고, 각 군간의 연령은 student *t*-test를, 안압, 시력, 자동시야검사의 MD와 PSD, OCT의 시신경유두 및 망막신경섬유층 측정치는 일반선형모형 (general linear model)의 반복측정 분석을, 각 군간의 시야이상, 망막신경섬유층결손의 비교는 chi-square test를 이용하였다. 다이버들의 경력, 1일 작업시간, 1회 잠수시간, 1회 잠수 깊이와 안압, 시야결손, 시신경섬유층결손, 시신경유두 측정치, 망막신경섬유층 측정치들과의 상관관계는 Pearson 상관분석을 이용하였다. *p* 값이 0.05 미만일 경우 통계적으로 유의한 것으로 판정하였다.

결 과

다이버들의 잠수경력 10년에서 35년까지 평균 15.18 ± 7.23년, 1일 잠수시간은 1시간에서 4시간까지로 평균 1.92 ± 0.89시간, 1회 잠수시간은 30분에서 2시간까지로 평균 0.69 ± 0.32시간, 잠수 깊이는 5 m에서 30 m까지로 평균 18.47 ± 6.64 m였다(Table 2).

다이버군의 나이는 평균 42.48 ± 8.00세, 대조군은 평균 42.48 ± 8.00세이었고, 다이버군의 최대교정시력은 0.027 ± 0.058, 대조군은 0.023 ± 0.043로 두 군간의 연령이나 최대교정시력은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 (*p*=0.974, *p*=0.776). 자동시야검사 결과 다이버군이 MD가 -1.77 ± 1.61 dB, PSD가 1.67 ± 1.47 dB, 시야결손이

Table 3. Characteristics of the study groups

	Diver eyes (N = 62)	Control eyes (N = 64)	P value
Age (yr)	42.48 ± 8*	42.53 ± 8.37*	0.974 [†]
Hypertension (%)	3.2	0	0.148 [‡]
IOP (mmHg) [§]	15.71 ± 2.54*	14.23 ± 2.15*	0.019 [¶]
BCVA (logMAR) [#]	0.03 ± 0.06*	0.02 ± 0.04*	0.776 [¶]
Mean deviation (dB)	-1.77 ± 1.61*	-1.24 ± 1.07*	0.048 [¶]
Pattern Standard deviation (dB)	1.67 ± 1.47*	1.34 ± 0.23*	0.124 [¶]
Visual field defect (%)	11.3	0	0.006 [‡]
Red free defect (%)	12.9	3.1	0.042 [‡]

*Values are given as a mean ± standard deviation; [†]Statistical significance by student *t*-test, *p* < 0.05; [‡]Statistical significance by Chi-square test; [§]IOP = intraocular pressure; [¶]Statistical significance by General linear model; [#]BCVA = best corrected visual activity.

Table 4. Comparison of OCT parameters between diver eyes and control eyes

	Diver eyes (N = 62) Mean ± SD	Control eyes (N = 64) Mean ± SD	P value*
Optic disc parameters			
Disc area (mm ²)	2.60 ± 0.4	2.67 ± 0.49	0.525
VIRA (mm ²) [†]	0.33 ± 0.17	0.38 ± 0.27	0.366
HIRW (mm ²) [‡]	1.68 ± 0.27	1.7 ± 0.24	0.710
Cup area (mm ²)	1 ± 0.47	0.98 ± 0.48	0.860
Rim area (mm ²)	1.6 ± 0.42	1.71 ± 0.46	0.346
Horizontal C/D [§] ratio	0.67 ± 0.15	0.64 ± 0.16	0.489
Vertical C/D [§] ratio	0.54 ± 0.11	0.53 ± 0.12	0.724
RNFL [¶] thickness parameters			
Superior quadrant	130.26 ± 22.76	147.7 ± 76.86	0.090
Temporal quadrant	85.56 ± 14.43	86.59 ± 14.58	0.657
Inferior quadrant	136.55 ± 18.92	137.2 ± 12.75	0.764
Nasal quadrant	81.39 ± 13.38	84.23 ± 14.5	0.232

*P value based on General linear model; [†]VIRA = vertical integrated rim area; [‡]HIRW = horizontal integrated rim width; [§]C/D = Cup to disc ratio; [¶]RNFL = retinal nerve fiber layer.

Table 5. Correlation of between IOP, VF, RF, OCT parameters and diving patterns in diver eyes

	Diving years P value (R)*	Diving hours / day P value (R)*	Diving seconds / 1 time P value (R)*	Diving depth (m) P value (R)*
IOP [†] (mmHg)	< 0.05 (0.306)	0.270 (0.142)	0.562 (0.075)	0.253 (0.147)
Visual field defect	0.242 (-0.151)	0.630 (0.062)	0.297 (-0.135)	0.579 (-0.072)
Red free defect	0.701 (-0.050)	0.890 (-0.018)	0.244 (0.150)	0.489 (0.090)
MD [‡] (dB)	0.819 (-0.030)	0.182 (0.172)	0.587 (0.070)	0.517 (0.084)
PSD [§] (dB)	0.373 (-0.115)	0.808 (-0.031)	0.363 (-0.117)	0.915 (0.014)
Disc area (mm ²)	0.156 (-0.182)	0.545 (0.078)	0.859 (0.023)	< 0.05 (-0.293)
VIRA [¶] (mm ²)	0.352 (-0.120)	0.338 (-0.124)	0.412 (-0.106)	< 0.05 (-0.352)
HIRW [#] (mm ²)	0.071 (-0.231)	0.423 (-0.104)	0.757 (-0.040)	< 0.05 (-0.288)
Cup area (mm ²)	0.764 (-0.039)	0.589 (0.070)	0.798 (0.033)	0.381 (0.113)
Rim area (mm ²)	0.300 (-0.134)	0.980 (-0.003)	0.859 (-0.023)	<0.05 (-0.405)
Horizontal C/D ratio	0.743 (0.042)	0.797 (-0.033)	0.565 (0.075)	<0.05 (0.330)
Vertical C/D ratio	0.985 (-0.002)	0.234 (0.153)	0.505 (-0.086)	0.080 (0.224)
Superior quadrant	0.809 (-0.031)	0.350 (0.121)	0.975 (0.004)	0.936 (-0.010)
Temporal quadrant	0.246 (-0.150)	0.853 (-0.024)	0.076 (-0.227)	0.560 (-0.075)
Inferior quadrant	0.532 (-0.081)	0.356 (-0.119)	0.810 (-0.031)	0.847 (-0.025)
Nasal quadrant	0.518 (-0.084)	0.204 (-0.164)	0.228 (-0.155)	0.869 (-0.021)

*Values are number of P value (R). *P* = Pearson's correlation, *R* = Pearson's correlation coefficient; [†]IOP = intraocular pressure; [‡]MD = mean deviation; [§]PSD = pattern standard deviation; [¶]VIRA = vertical integrated rim area; [#]HIRW = horizontal integrated rim width.

11.3%이며, 대조군은 MD가 -1.24 ± 1.07 dB, PSD가 1.34 ± 0.23 dB, 시야결손이 0%으로 MD와 시야이상에서 두 군간에 유의한 차이를 보였다($p=0.048$, $p=0.124$, $p=0.006$). 다이버군의 시야이상의 대부분이 early defect 인 stage 1에 속해 있었다.

망막신경섬유층결손은 1993년 Quigley et al¹⁶이 제안한 NFL defect grading을 사용하여 분류하였는데 다이버군에서는 D1 1안, D2 1안, D3 2안, W 4안으로 8안 12.9%, 대조군은 D1 1안, W 1안으로 2안 3.1%로 두 그룹간에 유의한 차이를 보였다($p=0.042$). 다이버군에서 망막신경섬유층결손과 시신경유두형태이상과의 상관관계에서 유의한 상관관계를 보였다($r=0.661$, $p<0.001$). 다이버군의 안압은 15.71 ± 2.54 mmHg, 대조군은 14.23 ± 2.15 mmHg로 유의한 차이가 있었다($p=0.019$) (Table 3, 4).

그 밖에 다이버들의 잠수경력, 1일 작업시간, 1회 잠수시간, 1회 잠수 깊이와 안압, 시야결손, 시신경섬유층결손, 시신경유두 측정치, 망막신경섬유층 측정치들과의 상관관계에서 잠수 깊이와 수평시신경유두함몰비($r=0.330$, $p=0.009$)에서 유의한 상관관계를 보였다(Table 5).

고 찰

잠수 활동이란 인간이 수중에서 활동하는 모든 행위와 수심으로부터 압력에 노출되는 행위를 의미하고 이와 더불어 현대에는 잠수기들이 작업을 하기 위해 수중으로 들어가는 것도 잠수의 한 부분으로 포함된다.

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 내압 잠수복을 입고 잠수하는 대기압 방식으로 나눌 수 있다. 이 중에서 일반인들이 레저 스포츠로 즐기는 스쿠버 잠수는 환경압 방식에 속한다. 스쿠버(Self-Contained Underwater Breathing Apparatus) 잠수를 활동분야별로 구분하면 군대에서 훈련이나 군사작전을 목적으로 하는 군사잠수와 산업현장에서 해저탐사와 교량건설을 위해 하는 산업잠수, 과학적 목적의 과학잠수, 그리고 일반인들이 즐기는 레저 스포츠 잠수로 구분되는데 이중 스포츠 잠수는 대부분의 관련교육기관에서 수심 30 m ~ 40 m 이내로 제한하고 있다.¹⁷

스쿠버 잠수는 스쿠버 장비를 사용하여 수중의 주위압력과 동일한 압력으로 공기를 공급받게 되고 이로 인해 수심에 상관없이 폐가 정상 부피로 확장될 수 있다. 폐 내부의 공기 밀도는 수압과 비례하여 커진다. 즉, 밀폐된 탄력성의 기체 공간을 압축하면 압력의 증가에 비례하여 부피가 감

소한다는 보일의 법칙(Boyle's law)에 따라 압력을 두 배로 하면 기체가 든 공간은 기존의 절반의 부피가 되고, 이때 기체의 밀도는 기존의 두 배가 된다.¹⁸ 그리고, 헨리의 법칙(Henry's law)은 기체의 흡수를 표명한 것으로 기체의 부분압은 액체에 용해되는 기체의 양을 결정하고 일정한 온도에서 액체에 용해되는 기체의 양은 기체의 부분압에 정비례한다.¹⁹ 이렇게 보일의 법칙과 헨리의 법칙으로 수압이 올라가면 기체의 밀도는 증가하여 산소분압도 증가하므로, 스포츠 다이버들은 고분압산소를 흡입하는 환경에 노출되어 있다. 그리고 수심이 깊어지면 그 압력의 영향과 잠수복의 압착에 의해 말초 정맥 압축이 발생하여 정맥환류가 증가하고 흉곽내의 혈액량이 증가하게 되고, 심박수는 감소하게 되고, 심박출량은 증가하게 되므로 인체의 혈류 순환의 역학이 지상에서와는 다른 양상으로 나타나게 된다.²⁰⁻²³ 또한, 수면으로 상승시 숨을 참고 올라오면 폐포 안의 공기가 급격히 팽창되어 폐포 파열로 인한 공기방울이 혈관 내로 유입되어 혈류의 흐름을 차단하는 공기색전증이 발생할 수 있고, 잠수한 상태에서 너무 빨리 압력이 낮은 수면으로 올라오면 혈액 중에 용해되어 있던 질소가 기포를 형성하여 혈류순환을 저해하고 조직 손상을 유발하는 감압병이 발생할 수 있다.^{3,24} 이상과 같이 주위의 고압 환경, 고분압산소 흡입 환경, 수면으로 상승 시 급속한 감압 환경 및 변화된 혈류 순환 역학의 영향이 스쿠버 잠수를 하는 동안 작용하게 된다.

본 연구는 이상과 같은 특수환경에 인체가 장기간 노출될 때 안압의 상승이 발생가능하고 감압병과 공기색전증 등의 압력손상관련 질환이 시신경 손상 및 시야장애를 유발할 수 있다는 가능성을 염두에 두고 연구를 시작하였고, 결과는 대조군에 비해서 다이버군에서 안압의 유의한 증가 소견, 유의한 초기 녹내장성 시야결손 소견과 MD값의 유의한 증가 및 유의한 시신경 섬유층의 위축 변화가 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 안압은 특정한 시간대를 정해서 측정하지 못하고 실험군이 외래 진료 시간대에 방문하는 시점에서 측정한 것으로 일일안압변동에 따른 안압의 차이를 통제하지 못했다는 제한점이 있으나, 양군간에 방문시간대가 비슷해지도록 대조군의 방문시간대를 실험군과 짝짓기하여 집단간 편향 오차를 줄이려고 노력했다. 다이버 집단의 안압이 높게 유지되고 있는 사실을 확인하였으나 이러한 차이를 가져오는 기전에 대해서는 설명하기 어렵고, 실제 잠수 작업 중에 안압의 상승을 이를 통해 확인할 수 없다는 제한점을 가지고 있다. 하지만, 시야결손, MD값, 시신경섬유층에서 나타난 유의한 차이는 잠수활동에 의해 유발되었다는 가능성을 배제할 수 없다. 스쿠버 잠수 활동이 이러한 변화를 유발하는 가능성은 다음과 같이 여러 가지

를 생각해 볼 수 있다.

첫째, 수면으로 상승 시 감압환경에서 나타나는 감압병이나 공기색전증의 발생이 망막 혈관 및 시신경혈관에 영향을 주어 망막신경섬유층 손상을 유발할 가능성이 있다. 감압환경과 관련하여 안구와 관련된 감압병은 로버트 보일이 고압에 노출되었을 때 전방에 가스 기포를 발견한 것을 처음 기술하면서 알려지게 되었다.^{25,26} 그리고, Butler²⁵는 감압병과 관련된 안증상으로는 안구진탕, 복시, 시야결손, 압점, 시신경병증, 중심망막동맥폐쇄 등이 있다고 보고하였으며, Kalthoff and John²⁷은 협우각 녹내장을 가진 다이버에서 안압의 갑작스런 상승의 위험이 있으며, 수면으로 올라오는 동안에 급성 녹내장의 발생위험도 있다는 연구 결과를 발표하였다. 이처럼 감압환경이 망막신경섬유층의 손상에 영향을 미쳐 시야의 변화를 유발할 수 있을 것이다.

둘째, 고압의 수중자가호흡장치를 이용하여 잠수를 하게 되는 스쿠버 잠수의 특성상 다이버들은 고분압산소환경에 노출되게 된다. 이러한 고분압 산소를 호흡하여 활성산소의 생성량이 너무 많아지면 효소들이 이를 다 처리하지 못하므로 세포의 손상을 가져오고 이로 인해 중추신경계와 눈에 여러 가지 증상을 유발할 수 있다.^{26,28}

Macarez et al²⁹는 21명의 해군잠수부와 21명의 대조군에서 시행한 색각검사상 잠수부의 42.5%에서 yellow-blue축 색각결손을 보고하였고, Butler²⁶는 중추신경계 산소 독성의 안구증상으로 눈꺼풀 경련, 초점흐림, 시야협착, 환시, 일시적인 한쪽 시력상실 등이 있다고 보고하였다. Calvert et al³⁰은 고압의 산소 환경이 뇌혈류를 감소시킨다고 하였다. 또한 고압의 산소환경은 강력한 망막혈관수축제의 역할을 한다.³¹⁻³³ 이처럼 고분압산소 호흡 환경에 의한 중추신경계와 눈에 미치는 작용이 본 연구 결과와 같은 변화를 가져올 가능성도 생각할 수 있다.

셋째, 고압의 환경으로 인해 체내 혈액 재분포에 의한 정맥환류 증가로 인한 안압의 상승 가능성을 생각해 볼 수 있다. 잠수 시 중력의 영향이 적어져서 하체에 혈액 축적이 줄어들고 수압과 suit squeeze에 의한 말초 정맥 압축으로 정맥환류가 증가하여 홍곽내의 혈액량이 증가하게 된다.^{20,23} Park et al³⁴은 잠수 시 홍곽 내 정맥환류 증가에 의한 심장 확장은 심장의 펌프 작용을 항진시키고 이 때 심박수는 크게 변하지 않으므로 전체 심박출량은 50% 정도 증가시키게 된다고 하였다. 또한 수중잠수 시 체류 수심별 수압과 수온의 감소로 인해 심박수의 저하현상이 나타나기도 한다.³⁵ 이처럼 홍곽내 정맥환류증가로 중심 정맥압이 상승하고, 심박수의 저하로 인한 중심 정맥압 상승 유지 시간의 연장은 맥락막 혈류의 정체를 유발하여 안압의 상승과 이에 따른 시신경 손상을 유발할 가능성이 있다고 조심스럽

게 제안해 본다.

그 외에 Pretorius³⁶는 고압의 환경에서 안압의 변화는 없으나 방수유출은 감소하였다는 연구결과를 발표하였다. 이들은 방수유출의 감소는 상공막정맥압의 증가에 의해 발생한다고 하였고, 이는 잠수중 안압의 상승을 일으킬 수 있다. 그리고, 잠수작업 시 착용하는 마스크내의 압력균형이 이루어지지 않을 경우 마스크 내 음압으로 인해 결막하출혈, 피하출혈을 동반한 안검부종, 심하면 전방출혈이 생길 수도 있다고 알려져 있다.^{20,24,37} 만약, 경미한 전방출혈이 생길 경우 잠수부는 일시적인 시야흐림이나 시력저하로 간과할 수 있으나 이때 전방출혈로 인한 안압 상승은 시신경 손상을 유발할 가능성이 있다.

본 연구는 몇 가지 한계점을 가지고 있다. 첫째, 스쿠버 다이버를 모집하는 과정에서 무작위로 보낸 모집글을 보고 관심 있는 대상자의 참여로 이루어진 연구이기에 selection bias가 존재할 수 있다. 둘째, 실험군의 규모가 적고 감압병 병력을 가진 경우가 2명으로 적어서 감압병 병력이 시야 및 시신경섬유층에 미치는 영향을 평가할 수 없었다. 셋째, 대조군의 모집에서 socioeconomic matching을 할 수 없었다. 넷째, 스쿠버 잠수는 군사 잠수, 산업 잠수, 과학 잠수, 스포츠 잠수 등으로 구분되는데 이번 연구에서는 스포츠 잠수에 국한된 연구대상자를 모집하였기에 연구결과를 일반화 시키기에는 제한점이 있다.

본 연구에서 두 집단간에 차이를 유발하는 정확한 기전을 밝혀낼 수 없었으나, 스쿠버 다이버군과 대조군 사이에 안압, 망막신경섬유층 및 시야검사 결과치의 차이가 명확히 존재함이 확인되었다. 이에 오랜기간 스쿠버 잠수 활동을 수행한 다이버들에서는 주기적인 녹내장 검진이 필요하다고 할 수 있다. 그리고, 스쿠버 잠수 활동을 지속하는 사람들을 대상으로 이번 연구보다 대규모의 횡단연구와 실질적인 변화를 확인하기 위한 종단적 연구가 필요할 것이며, 이에 시야 검사 및 무적색망막신경섬유층촬영 검사가 유용할 것이다.

참고문헌

- 1) Joiner James T. History of diving & NOAA contributions. In: NOAA diving manual, 4th ed. Best Pub, 2006; chap. 1.
- 2) Kim SG, Lee BD. Sports scuba diving. Poong-deung Publisher, 1993;1-163.
- 3) DeGorordo A, Vallejo-Manzur F, Chanin K, et al. Diving emergencies. Resuscitation 2003;59:171-80.
- 4) Moon RE. Treatment of diving emergencies. Crit Care Clin 1999; 15:429-56.
- 5) Melamed Y, Shupak A, Bitterman H. Medical problems associated with underwater diving. N Engl J Med 1992;326:30-5.

- 6) Neuman TS. Pulmonary disorders. In: Bovv AA, ed. Diving medicine, 3rd ed. Philadelphia: Saunders, 1990;270-7.
- 7) Bovv AA. Cardiovascular disorders. In: Bovv AA, ed. Diving medicine, 3rd ed. Philadelphia: Saunders, 1990;278-92.
- 8) Neuman TS, Jacoby I, Bove AA. Fetal pulmonary barotraumas due to obstruction of central circulation with air. *J Emerg Med* 1998; 16:413-7.
- 9) Strauss RH, Yount DE. Decompression Sickness. *Am Sci* 1977;65: 598-604.
- 10) Cheshire WP Jr, Ott MC. Headache in divers. *Headache* 2001;41: 235-47.
- 11) Neblett LM. Otolaryngology and sports SCUBA diving. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 1985;115:1-12.
- 12) Farmer JC. Diving injuries to the inner ear. *Ann Otol Rhino Laryngol Suppl* 1977;86:1-20.
- 13) Fagan P, Mckenzie B, Edmonds E. Sinus barotraumas in divers. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1976;85:61-4.
- 14) Heijl A, Lindgren G, Olsson J. A package for the statistical analysis of visual fields. In: Greve EL, Heijl A, eds. *Doc Ophthalmol*, Dordrecht: M Nijhoff, W Junk, 1987;153-68.
- 15) Mills RP, Budenz DL, Lee PP, et al. Categorizing the stage of glaucoma from pre-diagnosis to end-stage disease. *Am J Ophthalmol* 2006;141:24-30.
- 16) Quigley HA, Reacher M, Katz J, et al. Quantitative grading of nerve fiber layer photographs. *Ophthalmology* 1993;100:1800-7.
- 17) Kang SY. Diving skills for high school. Dae-han textbook Publisher, 2007;8.
- 18) Guyton AC, Hall JE. Physiology of deep-sea diving and other hyperbaric conditions. In: *Textbook of medical physiology*, 10th ed. Philadelphia, PA: Saunders, 2000;504-5.
- 19) Guyton AC, Hall JE. Physical principles of gas exchange; diffusion of oxygen and carbon dioxide through the respiratory membrane. In: *Textbook of medical physiology*, 10th ed. Philadelphia, PA: Saunders, 2000;452-3.
- 20) Joiner James T. Diving physiology. In: *NOAA diving manual*, 4th ed. Best Pub, 2006; chap. 3.
- 21) Schipke JD, Pelzer M. Effect of immersion, submersion, and scuba diving on heart rate variability. *Br J Sports Med* 2001;35:174-80.
- 22) Hong Suk-Ki. Breath-hold diving. In: Bovv AA, ed. Diving medicine, 3rd ed. Philadelphia, PA: W. B. Saunders Company, 1997; 65-74.
- 23) Liner MH. Tissue gas stores of the body and head-out immersion in humans. *J Appl Physiol* 1993;75:1285-93.
- 24) Jeoung IK, Yoon JH. Human performance and exercising physiology, 2nd ed. Seoul: Daekyung books, 2007;498-500.
- 25) Butler FK. Decompression sickness. In: Gold T, Weinstein G, eds. *The Eye in Systemic Disease*. Philadelphia: JB Lippincott, 1990;469-71.
- 26) Butler FK. Diving and hyperbaric ophthalmology. *Surv Ophthalmol* 1995;39:347-66.
- 27) Kalthoff H, John S. Intraocular pressure in snorkling and diving. *Klin Monbl Augenheilkd* 1976;168:253-7.
- 28) Arieli R, Shochat T, Adir Y. CNS toxicity on closed-circuit oxygen diving: symptoms reported from 2527 dives. *Aviat Space Environ Med* 2006;77:526-32.
- 29) Macarez R, Dordain Y, Hugon M, et al. Long-term effects of iterative diving on visual field color vision and contrast sensitivity in professional divers. *J Fr Ophthalmol* 2005;28:825-31.
- 30) Calvert JW, Cahill J, Zhang JH. Hyperbaric oxygen and cerebral physiology. *Neurol Res* 2007;29:132-41.
- 31) Mink RB, Dutka AJ. Hyperbaric oxygen after global cerebral ischemia in rabbits reduces brain vascular permeability and blood flow. *Stroke* 1995;26:2307-12.
- 32) Dollery CT, Hill DW, Mailer CM. High oxygen pressure and the retinal blood-vessels. *Lancet* 1964;2:291-2.
- 33) Nichols CW, Lambersten C. Effects of high oxygen pressures on the eye. *N Engl J Med* 1969;281:25-30.
- 34) Park KS, Choi JK, Park YS. Cardiovascular regulation during water immersion. *Appl Human Sci* 1999;18:233-41.
- 35) Nadel ER, Holmer I, Bergh U, et al. Energy exchange of swimming man. *J Appl Physiol* 1974;36:465-71.
- 36) Pretorius GH. The effect of increased barometric pressure on inter-ocular-pressure and aqueous dynamics. *S Afr Med J* 1968;42:1254-6.
- 37) Senn P, Helfenstein U, Senn ML, et al. Ocular barostress and barotraumas. A study of 15 scuba divers. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2001;218:232-8.

=ABSTRACT=

The Changes of Intraocular Pressure, Optic Nerve and Visual Field in SCUBA Diving

Sang Moon Jeoung, MD¹, Sung Gil Kim², Jeong Do Kwon, MD¹

Department of Ophthalmology, Wallace Memorial Baptist Hospital¹, Busan, Korea

Department of Ocean Physical Education, Korea Maritime University², Busan, Korea

Purpose: To examine how SCUBA diving activities in high-pressure underwater environment affect their intraocular pressure (IOP), visual field (VF), retinal nerve fiber layer (RNFL), and the shape of optic disc.

Methods: We performed visual acuity and refractory test, IOP test, VF test, RNFL photography, optical coherent tomography, and 3D optic disc photography for a group of 32 people and a control group of 32 non-divers, and analyzed the differences between the two groups. For the diver group, we conducted a questionnaire survey on the patterns of diving and diving experience, and analyzed their correlation with results of test.

Results: Compared to the Control, the diver group showed significant difference in the mean IOP (diver group: 15.71 ± 2.54 mmHg, control group: 14.23 ± 2.15 mmHg, $p = 0.019$), and abnormal visual field (diver group: 7 eyes (11.3%), control group: 0 eye (0%), $p = 0.006$). 85.7% of abnormal visual field belonged to early defect. The diver group did not showed significant difference in the shape of optic disc ($p = 0.546$), but the optic nerve atrophy in shape of optic disc test field (diver group: 8 eyes (12.9%), control group: 2 eyes (3.1%), $p=0.042$) was significantly different.

Conclusions: Divers who did SCUBA diving activities need to have a glaucoma test regularly. Additional research and large cross or longitudinal study are needed to evaluate causes that scuba diving activities affect.

J Korean Ophthalmol Soc 2010;51(12):1598-1605

Key Words: Intraocular pressure, Optic nerve, SCUBA diving, Visual field

Address reprint requests to **Jeong Do Kwon, MD**

Department of Ophthalmology, Wallace Memorial Baptist Hospital

#374-75 Namsan-dong, Kumjung-gu, Busan 609-340, Korea

Tel: 82-51-580-1359, Fax: 82-51-512-1354, E-mail: kjdeye@naver.com