

스쿠버 다이빙으로 인한 인체의 압력손상

윤 석 근

영남대학교 의과대학 이비인후과학교실

Barotrauma of the Human Body from SCUBA Diving

Seok Keun Yoon

*Department of Otorhinolaryngology,
College of Medicine, Yeungnam University, Daegu, Korea*

—Abstract—

As economical and social status are getting better, many ordinary people are interested in well being and leisure sports, the populations enjoying SCUBA diving are increasing recently. The medical problems from SCUBA diving are also increasing. To provide diving knowledge to the medical Drs. for prevention of barotrauma from SCUBA diving and to provide medical knowledge to SCUBA divers for safer diving, author reviews barotrauma of the human body from SCUBA diving. Review includes diving physics, mechanism, clinical manifestations and prevention of barotrma. Pulmonary barotrauma manifests as pulmonary tissue damage, pneumothorax, mediastinal emphysema with or without arterial gas embolism. Arterial gas embolism is one of the most serious and urgent medical problem from SCUBA diving and it need immediate recompression treatment. Barotrauma in the middle ear is the most common medical problem from SCUBA diving, it manifests as Eustachian tube salpingitis, otitis media with effusion. Inner ear barotrauma may lead permanent sensorineural hearing loss. Barotrma also can be occurred in mask, teeth, dry suit, and gastrointestinal tract. Prevention of barotrauma is more important than treatment. Prevention of barotrauma is up to divers, diving instructors and medical Drs. Divers and diving instructors should follow guidelines in diving fitness test, keep physical state always to fit to dive, keep diving skills as sharp and keep physical ability to adjust changeable ocean environment. Medical Drs. are responsible to

their decision of medical fitness test, so they should know about diving physic, diving physiology and recent guidelines about medical fitness to dive.

Key Words : Barotruma, SCUBA diving, Diving medicine

서 론

최근 주5일제 근무제도의 확산과 참살이(well being)에 대한 욕구 증가 등의 사회문화적 배경을 바탕으로 취미나 레저 스포츠 목적으로 스쿠버 다이빙을 배우는 인구가 많이 늘고 있다. 외환위기 이후에 증가속도가 줄고 있으나 90년대 이후 매년 30~35%의 증가율로 증가하였고 2003년 기준으로 우리나라에는 약 25만 명 정도의 스포츠 스쿠버다이버들이 있을 것으로 추산되고 있다.¹⁾ 스쿠버 다이빙은 인체가 물리적 특성이 전연 다른, 익숙하지 않고 때로는 험악한 수중의 외부환경에 노출되어 엄청난 수압을 받아가며 압축된 공기로 호흡을 해야 하는 특수한 운동이므로, 고압의 외부환경에 노출되어 호흡할 때 인체에는 여러 가지 생리적인 변화가 생기게 되고 이런 변화에 적절히 적응하지 못하면 여러 문제점을 일으킬 수 있다. 스쿠버 다이빙으로 인한 의학적 문제점 중에서 생명에 영향을 주거나 심각한 후유증을 남길 수 있어 가장 중요한 것은 감압병과 공기색전증으로 이 두 경우 상대적으로 발생 빈도가 낮고²⁾ 심각성에서는 덜하지만 가장 발생빈도가 높은 의학적 문제는 인체가 수중에 들어갔을 때 인체의 자연적인 또는 인공적인 공기 공간에 수압의 물리적 영향으로 기체의 법칙에 의해 발생하는 폐와 중이, 부비강 등 이비인후과 영역의 압력변화에 의한 개체조직의 손상 즉 압력손상(barotrauma)이다.³⁾ 외국의 경우

일찍부터 스쿠버 다이빙으로 인한 압력손상에 관한 연구 결과가 꾸준히 연구 발표되어 왔으나^{3,4)} 우리나라의 경우 잠수의학(diving medicine)을 전공하는 의사가 많지 않고 잠수의학의 역사가 짧아 스쿠버 다이빙에 관련한 압력손상이나⁵⁻⁷⁾ 이와 관련된 이관 통기기능에 관한 연구는⁸⁾ 많지 않았고 더 깊은 잠수의학에 연관한 본격적인 연구가 미미한 실정이다. 어떤 목적으로 잠수를 하건 여러 잠재적 위험성이 있는 스쿠버 다이빙을 안전하게 하기 위해서는 의학적으로 잠수에 적합한 사람이, 올바르게 철저한 교육훈련과정을 거쳐서 항상 여러 규칙을 지켜가면서 행하여져야 안전하지만²⁾ 저자는 20년 동안 잠수를 즐겨왔던 다이버로, 또한 15년간 잠수 교육 훈련을 담당했던 잠수강사로, 또한 잠수 후에 발생한 신체손상과 질병을 치료해왔던 임상의로써 활동해오면서 잠수 현장에서 여러 이유로 의학적 문제점을 겪는 사례들을 보아왔기에 의사들에게 잘 알려지지 않은 분야인 잠수로 인하여 인체에 발생할 수 있는 압력손상에 관한 내용을 널리 알려 앞으로 늘어날 전망이다 스쿠버 다이버들의 진료와 치료에, 무엇보다 잠수로 인한 인체손상을 예방하는데 일조하고자, 또한 스쿠버 다이버들에게는 스쿠버 다이빙에 관계되는 의학지식을 이해시켜 안전한 다이빙을 장려하고자 하는 목적으로 스쿠버 다이빙으로 인체에 발생할 수 있는 압력손상의 기전과 잠수물리, 인체 기관별 임상양상, 압력손상의 예방 등을 여러 문헌고찰과

아울러 정리하는 바이다.

잠수물리, 압력손상의 발생기전

스쿠버 다이빙으로 인한 압력손상과 발생기전, 그와 관련한 잠수물리를 이해하기 위해서는 우선 압력의 정의, 다양한 종류의 단위로 표현되고 변환되는 상호관계, 그리고 기체가 압력, 부피, 온도 등의 외부 조건에 변화하는 상관관계를 표현하는 몇 가지 기체의 법칙과 인체의 공기공간에 관한 지식이 필요하다.

1. 압력의 정의, 단위, 종류

압력(pressure)은 단위면적당 가해지는 힘(force)의 크기로 정의하고 공식으로는 $P = F/A$ ($P =$ 압력, $F =$ 힘, $A =$ 면적)로 표현한다.^{2, 9-14)} 국제표준단위체계(International System of Unit, SI)로는 pascal(Pa), kilopascal(KPa), hectopascal (HPa) megapascal(MPa) 등으로 표시하지만 ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ Newton(N)}/\text{m}^2 = 1/100000 \text{ bar}$) 흔히 사용하는 압력의 단위로는 기압(atm), bar, 밀리바(mbar), kg/cm^2 , $\text{psi}(\text{lb}/\text{in}^2)$, mmHg, cmH₂O 등이고 그 외 torr, 해수미터(meter sea water, msw), 담수미터(meter fresh water, mfw), 해수피트(feet sea water, fsw), 담수피트(feet fresh water, ffw) 등 다양한 단위로 표현하고 있다.^{2, 9-22)}

1) 대기압(Atmospheric pressure) : 표준적 물리기압(standard physical atmosphere, atm)으로 삼는 대기압(atmospheric pressure)은 지구를 둘러싸고 있는 대기권내에 존재하는 대기의 무게로 인하여 지구상의 물체나 생명체에 가해지는 압력으로 정의하고 지구상 모든 물체나 인체를 포함하는 생명체는 어느 곳에서나 항상

일정하고 동일하게 대기압을 받고 있으며 해수면을 기준하여 항상 1기압의 대기압이 가해지고 인체 내의 폐 속에도 외부와 같은 압력으로 유지되고 있고 이 1기압의 압력상태는 우리 인체가 활동하는데 가장 이상적인 압력상태이다.²³⁾ 대기압은 해발이 높아질수록 압력이 줄어들어 해발 5,486 m(180,000 ft)에 이르면 해수면 기준의 반으로 줄어들어 0.5기압이 된다.¹¹⁾ 해수면 기준 대기압을 기준으로 삼는 1기압을 여러 가지 다른 단위의 압력으로 변환하여 표시하면 1기압, 1.013 bars, 1013 mbars, $1.033 \text{ kg}/\text{cm}^2$, $14.696 \text{ psi}(\text{lb}/\text{in}^2)$, 760 mmHg, 760 torr, 101,325 Pa, 1,013.25 HPa 101.325 KPa, 1,033.7 cmH₂O, 10.0786 msw, 10.337 mfw, 33.066 fsw, 33.90 ffw 등의 다양한 압력 단위로 표현한다.^{2, 9-14, 22)}

2) 정수압(Hydrostatic pressure)은 액체 속에 잠겨있는 인체나 물체가 물이나 액체의 무게로 인하여 받는 압력을 뜻하며 대기압과 마찬가지로 일정한 수심에서 모든 방향으로 동일하게 작용한다. 물의 무게는 누적되므로 수심이 깊어질수록 물의 무게가 증가하여 정수압이 증가하고, 밀도에 따라 달라지므로 바닷물과 민물에서의 정수압은 조금 차이가 있어 바닷물의 경우 수심 10.1 m 또는 33.1 ft 깊어짐에 따라 1 기압씩 증가하고(10.1 meter sea water, msw, or 33.1 feet sea water, fsw) 민물의 경우 수심 10.4 m 또는 33.9 ft 깊어짐에 따라 1 기압씩 증가한다.(10.4 meter sea water, msw or 33.9 feet sea water, fsw)^{2, 9-14, 22)}

3) 절대압(Absolute pressure)은 대기압과 정수압을 합친 압력을 뜻하고 물속에 잠긴 인체에 가해지는 절대압(absolute pressure)은 대기압과 특정 수심에서의 정수압의 합만큼 가해진

다. 절대압은 여러 가지로 표현하는데 절대압 (atmospheres absolute, atm abs, ata, ATA), meter of sea water absolute(mswa), meter of fresh water absolute(mfwa), pound per square inch absolute(psia) 등이다.^{2, 9-14, 22)}

4) 계기압(Gauge pressure)은 기계로 측정할 압력과 대기압의 차이를 뜻하고 대부분의 압력 측정계기는 정상 대기압 상태에서 0으로 조정하여 표시하므로 계기압을 실제의 절대압으로 바꾸려면 대기압 1기압을 더해야 한다.⁹⁻¹⁴⁾

5) 주위압(Ambient pressure)은 인체나 물체의 주위에 가해지는 압력을 뜻하고 통상적으로 절대압(absolute pressure)으로 표현한다.^{2, 9-14, 22)}

2. 기체의 법칙

산소, 질소, 헬륨 등과 같이 분자 사이의 힘과 분자가 차지하는 부피가 무시할 정도의 작은 기체인 이상기체(ideal gas)는 압력, 부피, 온도 등의 외부 조건에 따라 상태가 달라진다.⁵⁾ 또한 기체가 순수한 한 가지 기체인 혼합기체인 한 가지 조건이 변하면 다른 조건도 변하게 되고 이 세 가지 변화할 수 있는 조건의 상호변화관계를 기체의 법칙이라 한다.^{2, 9-14, 22)} 기체의 법칙에서는 압력은 절대압을 그 기준으로 삼고 온도는 절대온도를 기준으로 삼는다.⁸⁾ 스쿠버 다이빙을 할 때 인체에 영향을 미치는 기체의 법칙으로 Boyle의 법칙, Charles의 법칙, Gay-Lussac의 법칙, Dalton의 법칙, Henry의 법칙 등이 있으며^{2, 9-14, 22)} 이중 압력손상에 관계하는 법칙은 Boyle의 법칙, Charles의 법칙, Gay-Lussac의 법칙이고 기본이 되는 것은 Boyle의 법칙이다.^{2, 9-14, 22-23)}

1) Boyle의 법칙은 온도가 일정할 때 기체의 압력과 부피의 상관관계를 설명하여 기체의 부

피는 압력에 반비례한다는 것으로 공식으로 표현하면 $P=K/V$ 또는 $P_1V_1=P_2V_2$ 이다. (P=절대압, V=부피, K=constant)^{2, 9-14, 22-23)} 1기압인 해수면에서 부피 10 L의 공기를 물속으로 가져간다고 생각하면 수심 10 m에서는 정수압 1기압과 대기압 1기압을 더한 2기압의 절대압이 작용하므로 부피는 5 L로 줄어들게 되고 수심 20 m에서는 절대압이 3기압으로 되어 부피는 10/3 L로 줄어들게 되고, 수심 40 m에서는 절대압이 5기압이 되어 부피는 1/5로 줄어 2 L로 줄며 수심 90 m에서는 절대압이 10기압으로 되어 부피는 처음 10 L의 1/10인 1 L로 된다. 즉 인체가 잠수를 할 때 수심이 깊어짐에 따라 절대압이 증가하고 이에 따라 부피도 반비례하여 줄어들어 수축하게 되고 수심이 얕아짐에 따라 절대압이 줄어 부피는 늘어나 팽창하게 된다. 여기서 한 가지 유의해야 할 점은 수심이 얕아짐에 따라 팽창하는 공기의 양은 수면에 가까워질수록 더 커진다는 사실로 실제로 잠수사고에서도 압력손상의 대부분이 수면 가까이에서 일어나는 것이다.^{2, 14, 22)}

2) Charles의 법칙은 기체의 압력이 일정하다면 기체의 부피는 절대온도에 비례한다는 것으로 공식적 표현으로 $PV=RT$ 이다.⁹⁻²¹⁾ (P=절대압, V=부피, T=절대온도, R=기체상수)

3) Gay-Lussac의 법칙은 일정한 부피의 기체 압력은 절대온도에 비례한다는 것으로 공식적 표현으로 $P_1T_2 = P_2T_1$ 이다.⁹⁻²¹⁾ (P=절대압, T=절대온도)

3. 인체내 공기공간

인체가 물속에 잠겼을 때 인체에 가해지는 정수압은 실제로 엄청나게 크다. 통상적으로 스포츠 스쿠버 다이버가 잠수하는 20 m 수심

에서 인체에 가해지는 압력은 무려 55842 Kg의 압력을 온 몸에 받게 된다. 실제 바다에 맨 몸으로 450 m 수심까지 잠수기록이 있는데 이때는 인체에 가해지는 압력이 무려 46.4기압이나 된다.¹¹⁾ 실험적으로는 인체가 견딜 수 있는 수심은 무려 686 m 수심이고 이때 인체에 가해지는 절대압은 무려 69기압에 이른다.¹¹⁾ 인체가 이렇게 엄청난 압력을 받으면서도 견딜 수 있고 거의 압력감을 느끼지 못하는 것은 인체의 주요 구성성분이 물이기 때문인데 액체는 압력에 축소되지 않고 동일한 압력을 외부로 전도시키기 때문이다.^{2, 11, 12, 22)}

한편 인체 내에는 자연스럽게 공기로 차여져 있거나 공기가 있는 공간이 있고 이를 자연적 공기공간(natural air space)이라하고^{2, 11, 12, 22)} 폐, 중이강, 부비동, 위장관 등이다. 인공적인 공기공간이 형성되는 수도 있는데 이를 인공적 공기공간(artificial air space)라 하고 잠수용 마스크(diving mask), 치아관(dental crown), 건식잠수복(dry suit) 등이 있다.^{2, 11, 12, 22)} 이 공기공간이 바로 잠재적으로 잠수 시 발생하는 압력손상의 원인이 될 수 있는 곳이다. 이 공기공간이 주위압의 변화에 따라 균압이 잘 된다면 문제 될 것이 없다. 만약 공기공간의 소통하는 길이 없거나 소통하는 길이 있더라도 소통이 원활하게 이루어지지 않아 주위압이 변함에 따라 원활한 균압이 이루어지지 않으면 Boyle의 법칙에 의한 공기의 압축과 팽창을 피할 수 없고 공기의 수축과 팽창에 의한 주위 조직의 손상이 일어나게 되는 것이 바로 압력 손상인 것이다.^{2, 9-14, 22-23)}

4. 압력손상의 정의와 양상

압력손상(Barotrauma)의 어원은 그리스어에

서 유래하였는데 압력을 뜻하는 baros와 손상을 뜻하는 단어인 trauma의 합성어로¹¹⁾ 1976년에 Edmonds¹⁴⁾가, 1985년 Neblett³⁾가 주위 환경압의 변화에 따른 신체 공기 공간내 기체의 부피변화의 결과로 인체 조직에 손상이 오는 것을 압력손상(barotrauma)이라 정의하였다. 압력손상은 기체가 압력을 받았을 때 나타나는 두 가지 영향중에서 하강이나 상승 시 직접적이고 기계적인 영향으로 발생하는 것이다.¹¹⁾ 압력손상은 잠수의 행위별로 하강 시 압력손상과 상승 시 압력손상으로 구분하기도 하고 압력의 변화양상에 따라 압착과 역압착 두 가지로 나눌 수 있다.^{2, 12, 22)} 하강할 때 수심에 따라 정수압이 커지면서 이에 반비례하여 기체의 부피도 줄어들어 압축이 되고 인체 내의 공기공간에 적절한 균압이 이루어지지 않으면 압력의 직접적 영향이나 부피의 감소로 인한 조직손상이 일어나는데 이를 압착(squeeze)이라 하고^{2, 12, 22)} 반대로 상승도중 수심이 얕아짐에 따라 정수압이 줄어들고 반비례하여 기체의 부피가 늘어나서 팽창하게 될 때 적절한 균압이 이루어지지 않으면 공기의 팽창에 의한 조직손상이 일어나고 이를 역압착(reverse block, expansion injury)라 한다.^{2, 12, 22)} 또 모든 압력 손상의 발생 원인을 의학적 원인과 잠수장비와 잠수 기술적 원인으로도 나누어 볼 수 있을 것이다.

압력손상의 임상양상

스쿠버 다이빙으로 인한 압력손상은 인체의 모든 공기공간에서 발생할 수 있다. 자연적 공기공간의 압력손상들은 폐, 이비인후과 영역에서 외이, 중이, 내이와 안면신경, 부비동, 드물

계 위장관에서도 생긴다. 인공적 공기공간에서의 압력손상 중 가장 흔한 것이 마스크 압착이고 그 외 치관치아, 건식잠수복, 콘택트렌즈 등에도 가능하다.

1. 폐 압력손상(Pulmonary Barotrauma)

인체 내에서 가장 많은 양의 공기를 포함하는 장기인 폐의 압력손상은 중이의 압력손상만큼 발생빈도가 흔하지는 않지만 폐 압력손상을 동반하는 공기색전증은 스포츠잠수계의 사망원인 분석에서 익사 다음으로 두 번째 흔한 사망원인으로 알려져 있다.^{2, 11-12, 14)} 폐 압력손상은 지식잠수(breath hold diving, skin diving)에서도 가능하지만 SCUBA 잠수에서 더 흔하게 생기고 하강 시보다는 상승 시 발생할 가능성이 더 높다. 잠수 활동 중이나 상승 시 정상적이고 지속적으로 호흡을 하고 공기의 흐름을 막을 수 있는 폐질환이 없다면 상승 시에 정수압이 줄어들면서 팽창되는 공기가 호흡기를 통하여 배출되고 주위압과 균압이 되어 압력손상은 발생하지 않는다.

폐 압력손상의 의학적 원인으로는 자연기흉, 천식, 낭종, 종양, 늑막유착, 폐조직의 섬유화, 감염 등의 기존병력으로 인하여 폐조직의 국소적 탄성 변화나 기도폐색 등을 들 수 있다.^{11-12, 14)} 유발요인으로는 패닉, 장비불량, 잠수 도중 물을 마시는 등의 원인으로 호기를 충분하게 하지 못하여 유발 될 수 있다. 잠수 기술적 원인으로는 마스크 물 빼기, 호흡기 되찾기 등 기본적인 잠수기술의 미숙, 부적절한 중량납 착용, 부력조절기나 건식잠수복 사용법 등 장비 조작의 미숙 등의 요인으로 급상승 상황이 발생하였을 때 적절한 적응이나 대처를 못하는 경우이다.¹⁴⁾ Dick과 Massey²⁴⁾에 의하면 공기

색전증을 동반한 폐 압력손상은 초보 다이버에서 발생율이 더 높다고 하였다. 스포츠잠수 사고통계를 보고한 Neumann²⁵⁾에 의하면 공기색전증을 동반한 폐 압력손상의 가장 흔한 원인으로 공기 고갈 상태나 패닉 등의 원인으로 상승시의 숨 참기를 지적하였다. 폐의 압력손상은 폐포 조직 손상, 기흉, 중격동기종, 피하기종 등과 가장 심각한 형태인 공기색전증 등의 양상으로 나타날 수 있다.

1) 폐 조직 손상

급상승 등의 원인으로 공기의 급격한 팽창으로 폐포를 포함한 폐 조직이 손상되면 다이버가 수면 밖으로 나오는 즉시 호기 시에 팽창된 공기가 폭발적으로 쏟아져 나오면서 특징적인 날카로운 울음소리가 나온다. 그 외 호흡곤란, 기침, 객혈 등의 증상이 있고 폐포나 폐조직의 손상이 심하면 호흡장애로 사망에 이를 수 있다.^{12, 14)}

2) 기흉

폐포를 포함한 폐 조직이 손상되어 공기가 찢어진 늑막을 뚫고 늑막간으로 들어가서 기흉을 야기하는데 어떤 경우에는 출혈이 동반되어 혈흉이 동반될 수도 있다. 증상은 대부분 갑자기 발생하는데 초기 증상은 대부분이 날카로운 흉통을 호소하고, 흉골 뒷부분이나 가슴 옆 부분의 통증, 호흡곤란과 호흡수가 빨라지면서 얇은 호흡을 하고 환측으로 몸을 기울이는 자세를 보이며 혈압이 떨어지거나 청색증 등의 증상을 보이기도 한다. 진찰소견은 호흡에 따른 흉곽벽의 움직임이 감소하거나 숨소리가 감소하고 청진상 환측에 울림이 강하고, 기관이 건측으로 밀려있는 소견을 보일 수 있다. 기흉이

심하면 심한 쇼크에 이리거나 사망할 수도 있다.^{2, 9-19)} 잠수 중에 수중에서 기흉이 발생한 경우 상승 도중에 긴장 기흉(tension pneumothorax)이 될 수도 있다.¹⁴⁾

3) 종격동기종, 피부하기종, 복기종

종격동기종은 잔여 공기량이 적게 남아 있는 스쿠버 탱크에서 호흡기의 저항이 커진 상태로 잠수한 후이나 비상탈출 훈련 시 급상승한 후에 자주 발생하는 경향이 있다.¹⁴⁾ 대부분은 증상발현이 늦게 나타나는 경향이 있는데 그 이유는 공기가 서서히 갇히고, 기침, 운동 등으로 폐압이 상승되고, 잠수 도중 축적된 질소기체가 조직에서부터 기포화 되어 이동하기 때문이다. 공기가 피부하층에 번지면 목 주위, 흉곽 상부에 피부하기종이, 복막을 뚫고 들어가면 복기종(pneumoperitoneum) 등이 발생할 수 있다.¹⁴⁾ 주요 증상으로는 목소리가 거의 애성에 가깝게 변하고, 목안에 충만감을 느끼고, 호흡곤란, 연하곤란, 기침, 흉골 뒷부분의 불편함 등과 심한 경우 졸도, 쇼크, 의식소실이 생기기도 한다. 진찰 소견 상 목 주위나 흉고각의 상부를 눌러보면 특징적인 마찰음이 들리고 청진 상 심장의 울림소리가 감소하고 심장 박동음이 희미하거나 빈맥, 혈압저하 등의 소견이 보인다.¹⁰⁻¹⁴⁾ 흉부방사선검사에서 심장의 윤곽선을 따라 공기 음영상을 특징적으로 보이므로 확진에 도움이 된다.¹⁴⁾

4) 공기색전증, 뇌동맥 공기색전증

폐 조직 손상, 기흉, 종격동기종, 피하기종 등 여러 폐 압력손상으로 인한 2차적 공기 색전증은 스포츠잠수계의 사망원인 분석에서 의사 다음 두 번째 흔한 사망원인으로 알려져 있

어^{2, 14)} 가장 심각하고 중요한 폐 압력손상이다.^{2, 9-19)} 정상적으로 기도, 기관, 폐포에만 있어야 할 공기가 주위 압력의 변화에 의하여 폐포의 팽창과 폐포 주위 모세혈관이 늘어나거나 조직 손상으로 밖으로 나와서 폐정맥을 거쳐 전신적 혈행 속으로 들어가게 되고 아주 적은 양의 공기라도 거품 내지 공기방울 형태로 전신적 혈류내로 들어가서 주위압이 감소하면서 이로 인한 공기의 팽창으로 공기방울이 커지게 되고 관상동맥, 뇌혈관, 간, 비장, 신장, 사지의 혈관 등 더 작은 혈관에 이르러 혈관이 막히게 되면 말초부위의 혈류폐쇄, 저산소증, 경색을 일으키는 것으로 보통은 동맥 공기색전증(AGE, arterial gas embolism)라고 하고 뇌혈관을 막은 경우에는 뇌혈관 공기색전증(CAGE, cerebral arterial gas embolism)이라고 한다.^{2, 9-19)} Edmonds 등¹⁴⁾에 의하면 다이버의 자세와 관계가 있어 상승 도중 수직자세인 경우는 혈관내 공기방울이 상부인 두부 쪽으로 가서 뇌혈관의 공기색전증이 더 잘 생기고 수평위에서는 관상동맥을 더 잘 침범한다고 하였다.

공기색전증의 증상 발현시간은 매우 빠르다.^{2, 9-19)} 대부분 수중에서 상승하여 수면 위로 나온 즉시이거나 상승 후 10분 이내에 증상이 나타난다. 많은 예의 뇌동맥 공기색전증을 분석한 자료에 의하면 수면상승 후 증상발현시간이 5분 이내인 경우가 83.6%, 5분~10분 사이가 7.8%, 상승 도중에 증상이 발현한 경우도 8.6%였으나 10분을 넘긴 경우는 없었다고 한다.¹⁴⁾ 증상은 매우 다양하게 나타나는데 크게 두 군으로 나누어 5% 정도에서는 색전증의 발생과 동시에 무호흡, 무의식, 심장마비 등 극심한 증상이 나타나는 경우로 이 경우에는 관상동맥의 색전증과 뇌혈관 공기 색전증에 의한

부정맥이나 심장마비로 인한 것이며 사망률이 높고, 두 번째로는 다양한 신경적 또는 전신 증상을 보이지만 활력징후는 유지되는 경우로 가장 흔한 증상은 의식의 혼미(stupor)와 혼돈(confusion), 다음으로는 발작을 동반하거나 동반하지 않는 혼수(coma)와 편측운동장애의 순서로 나타나고 그 다음의 빈도로는 시각장애, 현훈(vertigo), 편측감각장애, 양측운동장애 등이고 그 외, 허탈(collapse), 두통, 편측운동장애와 편측감각장애, 흉통, 기침, 숨참, 거품과 피가 섞인 기침, 감각이상 등이다.^{2, 11-12, 14)} 공기색전증의 증상과 증후들은 시간이 경과함에 따라 다양한 양상으로 변하거나 발전할 수 있어 예측이 매우 어렵다. 증상 발현 후 수분 내지 수 시간 내에 일부 또는 여러 증상이 호전되거나 완전 회복하는 경우도 있는데 이런 경우는 공기로 막혔던 혈관이 공기방울이 통과하면서 다시 혈행이 흐르게 된 것으로 추정된다.¹⁴⁾ Edmonds 등¹⁴⁾이 인용한 Pearson의 보고에 의하면 4시간 이내 증상이 완전 회복된 경우가 15%, 일부에서 자연 호전된 경우가 53%나 되었으나 호전이 된다고 해서 계속 호전이 안 되고 결국 사망에 이른 경우가 15%라고 보고하였다. 또 어떤 경우에는 증상이 호전하다가 다시 악화하는 경우도 있는데 이 경우에는 기침, Valsalva법 등으로 새로운 공기방울이 생겼거나 환자의 자세나 위치 이동에 따른 공기방울의 이동 등의 원인으로 추정할 수 있다.¹⁴⁾

공기색전증과 감별 진단해야 할 병으로 순수한 감압병(DCS, decompression sickness)이 있는데 감압병의 병인은 잠수수심과 잠수시간에 비례하여 체내 각 조직에 축적된 과포화된 질소가 상승하면서 주위압이 줄어들 때 질소기체 방울을 형성하여 조직이나 혈류에 들어가

서 뇌, 척수, 근골격계, 내이, 폐조직, 피부, 혈관임파계 등의 기관에 혈류를 방해하여 생기는 것으로 정확한 감별진단을 하기 위해서는 잠수회수, 잠수수심, 잠수시간 등의 잠수행태(dive profile)와 위험인자의 분석, 임상증상 등을 종합하여 잘 판단하여야 한다.^{2, 9-19, 21-22)}

폐 압력손상의 치료는 잠수 현장에서의 응급치료와 의료시설에서의 치료로 나누어 생각할 수 있는데 피부하기종, 폐 조직 손상, 기흉, 종격동기종 등의 경우 시간을 다투는 응급상황은 아니지만 공기색전증의 경우 즉각적 응급처치가 이루어져야. 현장에서의 응급처치를 요약하면^{2, 11, 13)} 1) 모든 응급처치의 기본인 기도의 확보 및 유지, 호흡유지, 적절한 혈압, 맥박의 유지가 최우선이고 필요하면 심폐소생술을 시행하고 2) 100% 산소흡입 3) 수액공급 4) 자세유지 문제는 여러 가지 설이 서로 논란이 되고 있다. 5) 응급처치 도중 사정이 허락하는 대로 신경학적 검사 등의 이학적 검사를 반복하고 6) 가능하면 일찍 의료시설로 이송하여야 하지만 환자 이송 시 잠수현장이 섬이거나 원거리인 경우 비행기를 이용할 경우 주위압의 감소로 증상이 악화될 수 있으므로 반드시 비행 고도를 염두에 두어야 한다.^{11, 13)} 의료기관에 후송후의 치료는 피부하기종, 폐 조직 손상, 기흉, 종격동기종의 경우 심하지 않은 경우는 대부분 전통적인 방법으로 치료하면 되지만 심한 경우는 고압 챔버에서의 재압치료가 필요하다. 기흉을 재압 챔버로 치료할 때 100% 산소나 Nitrox가 아닌 공기로만 치료할 경우 감압 시에 긴장기흉이 되어 반복적으로 흉강천자가 필요할 수 있으므로 유의해야 한다.¹⁴⁾ 공기색전증의 경우 가능하면 빨리 확실하고 결정적인 치료인 재압치료에 들어가야 한다. 즉각적

인 재압치료로 공기 방울의 크기를 줄이고 또한 공기 방울의 소멸을 촉진시켜야 공기방울의 생성으로 인한 조직의 변성, 혈행의 폐색으로 인한 급성 효과를 줄일 수 있고 이에 따른 2차적인 조직의 변화를 방지할 수 있기 때문이다.^{2, 11-14)} 재압치료에 사용하는 기체는 다양한 재압치료표(treatment table)에 따라 공기, 100% 산소, Nitrox, Heliox 등을 혼합하여 사용하고 있으며 재압치료표도 미해군 재압치료표 4, 5, 6, 6A(US Navy Treatment Table 4, 5, 6, 6A), Comex 30 치료표, 뉴질랜드해군 재압치료표 1Alpha 등 다양하고 총재압 치료시간이 1시간 30분에서 무려 38시간 11분이 소요되는 치료표도 있다.¹¹⁻¹⁴⁾ 재압치료의 선택은 재압채임버의 종류와 내인압력, 초기 증상과 소견, 재압치료 도중의 증상호전의 평가에 따라 다양한 방법과 진행과정이 있다.

2. 이비인후과 영역의 압력손상

잠수와 관련된 의학적 문제점의 반 이상이 이비인후과 영역에서 발생하고 이비인후과 문제점 중 90% 이상이 귀에 발생하므로^{3, 23)} 이과적 압력손상은 스쿠버 다이빙시 생기는 의학적 문제점 중 가장 빈도가 높은 것이다. 이과적 압력손상은 외이, 중이, 내이, 안면 신경 등에 단독 또는 동시에 발생할 수 있으며 부위에 따라 압착 또는 역압착의 형태로 나타날 수 있다.^{2-3, 5-8, 23)}

1) 외이 압력손상

외이 압력손상은 흔하지는 않고 이구전색, 귀마개 사용, 꼭 끼는 후드 착용 등의 원인으로 올 수 있다. Edmonds²⁶⁾는 외이도와 주위 압력차가 150 mmHg 즉 수심이 불과 1.97 m

에서도 외이 압착 증상이 생길 수 있다고 하였다. 주요 증상은 이통이고, 한쪽 외이의 압착만 있을 때는 양쪽 귀의 불균형으로 현훈이 생길 수 있다. 소견은 외이도, 고막의 충혈이나 출혈, 수포 형성 등이 보이고 심하면 고막파열도 올 수 있다. 예방은 잠수할 때 절대 귀마개를 사용하지 말고, 귀지로 인한 경우 우선 외이도를 깨끗이 한 후 잠수하도록 하고, 후드를 쓸 때 이개를 앞으로 눌러지 않도록 해야 한다.⁷⁾

2) 중이 압력손상

중이 압력손상은 스쿠버 다이빙으로 인한 모든 의학적 문제점 중 가장 발생빈도가 높은 것으로 거의 모든 스쿠버 다이버들이 한 번 씩은 경험하였을 것이다. 저자가 이미 발표한 이과적 압력손상 증례에서도 모두 중이에서 발생하였다.⁷⁾ 중이 압력손상의 기전은 다이버가 하강 시 주위압의 상승으로 중이강 내의 압력은 상대적 음압상태가 되고 이 때 이관은 자동 개방되지 않기 때문에 Valsalva법, Toynbee법, Frenzel법, Lowry법, Edmonds법 등의 여러 방법으로 비인강의 압력을 높여주어 이관을 통한 중이의 균압을 이루어야 한다.^{14, 23)} 만약 이관을 통한 중이강의 균압이 안된 상태에서 주위압이 더 증가되는 모든 경우 중이에 압력손상을 일으킬 수 있다. Farmer²⁷⁾는 불과 0.78 m 수심에서 압력차가 60 mmHg가 되면 압력감, 이통을 느끼며, 고막, 이소골의 함몰 소견을 보이고, 수심 1.17 m에서 90 mmHg의 압력차가 생겨 바로 균압이 이루어지지 않으면 이관의 비인강 쪽 밸브가 잠기게 되어 더욱 균압이 어려워진다 하였다. Neblett³⁾은 1.3~5.27 m 수심에서 압력차가 100~500 mmHg까지 벌어지면 고막파열에 이를 수 있다고 하였다. 중이 압력

손상의 대부분은 다이버가 하강 시 압착으로 오지만 균압이 되지 않는 상태에서 억지로 균압을 하였을 경우에 중이강으로 들어갔던 공기가 상승할 때에 빠져 나오지 못해 공기의 팽창에 의한 역압착의 형태로도 중이의 압력손상을 올 수 있다.^{2, 12, 22-23)} 중이 압력손상의 원인을 보면, 의학적 원인으로는 상기도감염, 알레르기 성비염, 비폐색이 심한 비염, 비중격만곡증, 급성화농성중이염, 급성삼출성중이염 등과 기타 원인불명의 이관 통기기능 장애 등이고, 스쿠버 다이빙의 기술적 원인으로는 잠수기술의 부족이나 적정 무게의 중량압을 착용하지 못하거나 부력 조정 기술의 미숙으로 인한 하강 및 상승속도를 너무 빨리하였을 때에나 하강할 때 직립하여 하강하지 않고 빨리 하강하기 위하여 도립상태로 하강하는 경우에 정맥혈이 두부 쪽으로 몰려 이관 주위의 울혈로 균압이 안되어 중이의 압력손상이 올 수도 있다.^{3, 23)} 저자의 다른 연구에 의하면 잠수경력이 짧을수록 압력손상 빈도가 높았고 발생 원인으로는 상기도감염이 있는데도 잠수를 하였던 예가 가장 많았다.⁷⁾ 중이 압력손상의 증상은 압박감, 이충만감, 이통, 난청, 출혈, 현훈 등이 있다. 소견으로는 이경검사로 고막의 함몰, 발적, 충혈, 출혈을 보이고 고막 운동성을 검사하는 압력이경검사(pneumatic otoscope)로 고막 운동성이 저하되어 있고 심한 경우 고막 파열도 있을 수 있다. Edmonds는 중이 압력손상 정도를 6등급으로 분류하여 국제적 기준으로 삼고 있는데^{3, 26)} 0도 손상은 압력손상 증상은 있고 이학적 소견은 보이지 않은 경우, 1도 손상은 고막 발적이 있는 경우, 2도 손상은 고막 발적과 경한 출혈을 보이는 경우, 3도 손상은 심한 고막 출혈이 있는 경우, 4도 손상은 중이강내 혈성분비물이

있는 경우, 가장 심한 5도 손상은 고막파열이 있는 경우로 구분하여, 중이압력손상의 분류와 진단, 치료, 예후의 지표로 삼았다. 그러나 Bove¹²⁾는 Edmonds의 분류는 치료를 결정하는데 도움이 적으므로 중이 압력손상을 세 가지로 나누어 제1형을 증상은 있으나 소견이 없는 경우로, 제2형은 증상이 있고 고막 파열 이외의 병적 소견을 보이는 경우로, 제3형은 고막 파열이 있는 경우로 분류하고 그에 따라 치료의 방법을 정하였다. 저자는 기니픽을 대상으로 스포츠 다이버 잠수행태로 모의 잠수한 동물실험에서 고막과 중이강 점막의 충혈과 출혈 소견을 확인하였고 심한 경우 정원창의 파열도 6.3%에서 관찰할 수 있었다.⁵⁾ 중이 압력손상의 치료는 우선 외이도를 청결히 한 후 가능하면 수술 현미경으로 외이도, 고막, 중이의 상태를 철저히 점검하여야 된다. 이 때 외이도에 분비물이 있으면 흡인해 내고, 고막천공이 있으면서 2차 감염이 있을 경우 이 외에는 점액액을 넣지 않는다.^{3, 23)} 가벼운 증상만 있을 때는 대부분 며칠 내에 자연 치유되는 수 있으나 증상이 계속되면 혈관충혈 제거제, 항히스타민, 점액희석제 등을 단독 또는 혼합하여 투약하고 필요하면 비충혈제거제 국소도포도 도움이 된다.³⁾ 이렇게 치료하는 중 이관통기를 시키면 도움이 되지만 힘들어 억지로 해서는 안 될 것이다. 약물치료에 안 듣는 경우나, 처음부터 삼출성중이염이 생겨 일정기간 투약하여도 삼출성중이염이 지속되는 경우, 고막절개술 단독 또는 고막절개술 후 환기튜브 유치술 등의 수술적 방법을 고려할 수 있지만 결정을 신중하게 하여야한다. 고막천공이 있는 경우, 2차 감염에 의한 급성중이염으로 악화됨을 방지하는 것이 첫째 원칙이며, 2차 감염이 없는 경우 다른

외상성 고막천공과 같이 4주 후에는 대부분의 고막이 치유될 것이나²⁷⁾ 농성분비물이 있는 경우, 항생제의 전신투여와 점액액을 사용하고, 이후 상태에 따라 수술여부를 결정함이 좋을 것이다. 자연치유가 안 되는 고막천공의 경우 patch술로 고막의 재생을 유도할 수도 있고, 이에 실패 시 고막성형술이나 고막고실성형술을 고려하여야 한다. 중이 압력손상을 받은 모든 다이버는 고막, 중이, 이관의 상태와 압력이 경검사, 청력검사, 이관통기법, 고실도 검사 등이 정상으로 회복될 때 까지 수중활동을 금지시켜야 한다.^{3, 23)}

3) 내이 압력손상

내이의 압력손상은 단독 또는 중이의 압력손상과 동반하여 생길 수 있고 증상, 예후에서 심각한 결과를 초래할 수 있어 진단과 치료에 세심한 주의가 요한다. 잠수와 관련, 내이 압력손상으로 인한 감각신경성난청의 보고 증례는 1972년 Freeman³⁰⁾ 이후 Farmer,²⁷⁾ Abe,³¹⁾ Ashton³²⁾ 등 여러 학자들에 의해 증례가 발표되었다. 내이 압력손상은 그 발생 빈도가 높지는 않지만 감각신경성난청과의 연관관계는 많은 논란의 대상이 되어 일부 학자는 고압에 반복적으로 노출되는 다이버는 정상인보다 감각신경성난청의 유병률이 높다고 주장하였으나^{26, 28)} Brady 등⁵⁾은 이에 동의하지 않았다. 잠수 후에 생기는 내이 압력손상의 발생 기전으로 정원창이나 난원창의 누공, 내이막 파열, 내이 출혈 등이 단독 또는 동반되는 것으로 주장한다.^{23, 36-38)} Goodhill 등⁴⁴⁾은 정원창, 난원창 누공의 기전을 중이강의 압력과 내이 임파액 사이의 압력 관계로 설명하면서 내파설(implosive)과 외파설(explosive)로 설명하였다. Hando³³⁾

이후 반복적 고압 노출 후 내이 압력손상의 기전을 밝히려는 전자현미경을 이용한 연구가 Wilkes,³⁹⁾ Nakashima,^{34, 40-41)} Fukuta,⁴²⁾ Zheng⁴³⁾ 등 많은 사람들에 의해 진행되고 있다. 일반적으로 잠수 후 발생하는 감각신경성난청의 원인으로는 반복적 고압 노출과 내이 압력손상 외에 내이 감압병, 소음에 의한 난청 등으로 생각하고 있는데, 이중 내이 감압병과 내이압력손상에 의한 감각신경성난청은 치료 방침이 완전히 다르므로 감별의 주안점인 잠수의 방법, 증상 발현 시간, 동반증상, 동반 소견 등을 참조하여 철저히 감별하여야 한다.^{27, 33-35)} 내이 압력손상의 증상은 감각신경성난청, 이명, 현훈 등과 만약 중이 압력손상이 동반되는 경우 혼합성 난청이 올 수도 있다.^{3, 23)} 난청의 형태와 정도는 다양하게 나타나지만 고진동수에서 더 심한 난청을 보이는 경우가 많다.²³⁾ 누공검사에 양성을 보이는 수도 있으나 Neblett³⁾은 수술로 확인된 누공의 26%만이 양성을 나타낸다고 하여 큰 의미를 두지 않았다. 내이의 압력손상이 확인되면 우선 잠수를 금하고 입원시켜 절대 안정을 시키고, 뇌척수압이 올라가는 행위들은 금지시키고³⁾ 혈관확장제, steroid, 히스타민, carbogen 흡입,²³⁾ heparin 등을 투여한다.⁴⁵⁾ 중이의 시험적 개방술(explo tympanotomy)의 여부와 시기에 관하여는 논란이 있어 Parrel과 Becker⁴⁶⁾, Pullen은⁴⁷⁾ 일찍 누공을 확인 하자는 주장이고, Farmer²⁷⁾와 Ashton과 Watson³²⁾은 전통적 치료에 호전이 없거나 난청이 진행시에 중이 시험적 개방술 수술의 적응이 된다고 주장한다.

4) 압력손상에 의한 안면신경마비

흔하지는 않지만 잠수 후 안면신경마비가 발생할 수 있다. Molvaer⁴⁸⁾의 보고 이후 Becker⁴⁹⁾

는 반복적으로 재발한 안면신경마비의 증례를 보고한 적도 있다. 안면신경마비가 일어나는 기전은 안면신경의 주행경로가 내이, 중이강과 매우 가깝다는 해부학적 원인이다. 중이강에서 안면신경으로 압력이 전달되는 경로는 안면신경의 Fallopian관에 선천적 결손(dehiscence)이 있는 사람이 있고 이 결손이 가장 많은 곳은 안면신경 중에서 중이강과 가장 가까운 수평부위(horizontal segment)이다. 다른 경로는 안면신경의 두개강내 분지 중의 하나인 척삭신경(chorda tympani nerve)이 중이강내로 통하는 작은 구멍일 수도 있다.¹²⁾ Bove¹²⁾는 잠수 후 발생하는 안면신경 마비는 대부분이 일시적인 것으로 자연 회복된다고 하였으나 보고되지 않은 지속적인 경우도 있을 수 있다고 하였다. 잠수로 인한 안면신경마비의 치료는 100%산소 흡입, 충혈제거제, 스테로이드 등의 약물치료가 필요하고 그래도 마비가 지속된다면 재압치료를 시행한다.¹²⁾

5) 부비동 압력손상

중이 압력손상 다음으로 흔치 않게 볼 수 있는 것이 부비동 압력손상이다. 네 종류의 부비동 모두에서 생길 수 있고 하강 또는 상승 시 부비동에서 자연개구부를 통한 원활한 균압이 되지 않아서 공기의 팽창, 수축에 의한 비강, 부비동내의 점막의 종창, 울혈, 충혈, 출혈 등의 조직 손상으로 이어진다. 원인으로는 상기도감염, 비후성비염, 알러지성비염, 비중격만곡증, 비염, 비강내신생물, 급만성부비동염 등이고 증상은 해당 부비동 부위의 통증인데 통증의 특징은 하강 또는 상승 즉시 압박감으로 시작하여 바로 통증으로 바뀌고, 기침을 하거나 머리를 숙이면 더 심해지며 부위별로는 전

두동 68%, 사골동 16%, 상악동 6% 순서로 흔하다.^{14, 50)} 상악치 치통이나 안구 뒤쪽에 통증을 느낄 수도 있다. 두 번째 흔한 증상은 비출혈이고 그 외 안면부의 감각이상을 느낄 수 있다. Fagan 등⁵⁰⁾이 50례의 부비동 압력손상 증례보고에서 50%에서 최근에 감기증상이 있었고, 50%에서 비강, 부비동의 만성적 문제가 있었으며, 48%에서 동반된 고막 압력손상 소견을 보였고, 22%에서 과거에 부비동 압력손상 병력이 있었다한다. 부비동 압력손상의 치료는 첫째 증상과 소견이 회복될 때까지 잠수를 금하고, 국소적 또는 전신적 혈관수축제를 사용하여 비강, 부비강의 점막수축과 환기 배설을 촉진시키고 부비동염이 이미 있었던 경우나 합병증으로 생긴 경우에는 항생제를 투여한다. 충혈완화제나 항히스타민 등의 투약을 한 후 또는 충혈 완화를 위한 국소도포 분무약 등은 일시적인 통기의 호전이 될 수는 있으나 이 약들의 부작용 특히 졸음증이 심한 경우는 잠수를 시도하여서는 안 될 것이며 반복 사용 시 증상이 더 심해지는 rebound현상을 고려할 때 투약 도포는 신중히 결정하여야 한다. 부비동 압력손상의 증상이 반복되거나 오래 지속되는 경우에는 비강, 부비동의 정밀한 검사로 수술적 원인이 있다면 수술을 고려하여야한다. 비중격만곡증, 비후성비염, 알러지성 비염, 만성 부비동염 등의 비강, 부비동의 만성적 문제가 있는 경우 중이강의 균압에도 영향을 미치기 때문이다. 정상인과 만성부비동염 환자의 이관통기기능을 비교한 저자의 다른 연구에서 부비동염군의 이관통기기능 부전율이 50.3%로 정상인의 25.0%보다 훨씬 높았고 특히 비염을 동반한 경우 57.7%로 이관통기기능이 좋지 않아 이런 경우 부비동, 중이의 압력손상 가능성

이 높은 것이다.⁸⁾

3. 마스크 압착

수중에서 물체를 똑똑하게 보기 위해서 잠수용 마스크를 착용하여야하고 마스크를 씌우면서 그 속에 공기공간이 생기고 이곳에 압력손상이 생길 수 있다.^{2, 9-14, 22)} 마스크 압착은 특징적으로 상승 시에는 발생하지 않는다. 다이버의 자발적 노력 없이도 상승 시 주위압이 줄어들면서 마스크 안의 팽창된 공기가 저절로 마스크 밖으로 빠져 나오기 때문이다. 그러나 수중에서 하강할 때에는 주위압이 증가하면서 마스크를 쓴 안면부에 압력감을 느끼기 시작하는데 이 때 입으로 들어 쉰 숨의 일부를 코로 살짝 내쉬어주면 쉽게 균압이 되는 것이다.^{2, 22)} 그러나 잠수할 때 평상시의 호흡법은 반드시 입으로만 들숨과 날숨을 쉬어야한다. 누구나 마스크압착의 증상을 느낄 수 있지만 이런 간단한 방법으로 균압을 하면 전연 문제가 되지 않는 것이다. 마스크 균압을 적절한 시기에 해주지 않으면 마스크압착이 와서 여러 증상과 소견을 보일 수 있는데 결막출혈, 눈 주위조직의 종창이나 피하출혈이 생기고 시간이 지나면서 눈 주위가 시퍼렇게 멍이 들게 된다.^{2, 9-14, 22)}

4. 잠수복 압력손상

습식잠수복을 입고 잠수하는 경우에는 거의 생기지 않지만 건식잠수복을 입고 잠수하는 경우에는 흔히 일어날 수 있다. 추위와 저체온증 예방을 위해 착용하는 건식잠수복의 경우 손과 얼굴 부위를 제외한 몸 전체가 완전히 방수, 방압이 되는 재질로 만들어져 있고 이 경우 잠수복 전체가 하나의 밀봉된 공기공간이므로 다이버는 철저하고 완벽한 부력조절기술을 익혀

야한다. 실제 건식잠수복을 입어보면 하강을 준비하기 위하여 수면에 떠 있는 상태에서 다리 쪽에 가해지는 압력을 아주 강하게 느낄 수 있다. 하강할 때는 압축공기탱크와 연결된 호스를 통하여 공기를 주입해야하고 상승 시에는 수심이 알아짐에 따라 팽창하는 공기를 수시로 배출밸브를 통하여 잠수복 밖으로 배출시켜 주어야한다. 그렇지 못한 경우에는 압력손상을 받을 수 있는데 하강 시 건식잠수복이 찌그러들고 그 속의 피부도 주름이 생기면서 압착현상을 보여 강한 자극감과 통증을 느끼고 잠수 후에 건식잠수복을 벗어보면 온 몸 특히 하체부의 피부에 피하출혈이 줄 모양으로 생긴다.^{2, 11, 22)} 상승할 때 적절한 시기에 지속적으로 공기배출을 해주지 않으면 상승속도가 점점 빨라지는데 빨리 적절하게 대처해 주지 않으면 급속한 상승으로 위에 언급한 신체 모든 부위의 압력손상의 위험성이 있다.^{2, 11, 22)}

5. 치아 압력손상

비행기 탑승 시 치통을 호소하는 경우 이를 항공성치통(aerodontalgia)¹⁴⁾, 주위압 변화로 오는 치통을 압력성치통(barodontalgia)¹⁰⁻¹¹⁾이라 명칭하기도 하는데 이는 감염된 치아의 치근 주위에 기체가 있다가 주위압의 변화로 인한 기체의 팽창과 수축으로 생기는 일종의 압력손상이다. 또 다른 형태의 치아 압력손상은 충치가 있는 치아에 작은 홈 모양으로 파이면서 시멘트질(cementum)이 아주 얇아져 있어 주위압의 변화에 따라 제법 심한 치통이 생기는 압력손상이 있다. 또한 충치의 치료로 치관(crown)을 씌운 치아 속에 작은 양의 공기가 남아있는 경우에 압력손상이 발생 할 수 있다. 마지막으로 생기는 치아 압력손상은 구강 점막의 손상

이 있는 경우나 발치 후 또는 구강수술 후에 잠수를 하는 경우 호흡기로 호흡하면서 생기는 구강 압력이 증가하고 주위압의 변화에 따라 공기가 조직 안으로 들어감으로서 치아내지 구강에 통증을 느끼는 압력손상을 받을 수 있다.^{2, 11, 14, 22)}

6. 기타 부위의 압력손상

1) 안과 영역의 압력손상

시력이 나쁜 사람도 여러 방법으로 시력교정을 하여 잠수를 즐길 수 있지만 콘택트렌즈를 착용하거나 시력교정수술을 시행한 경우에는 고려해야할 사항이 있다. 콘택트렌즈를 착용하여 잠수를 하는 경우 렌즈의 종류에 따라 다른데 soft lens의 경우에는 기체가 투과하기 때문에 보통은 문제가 되지 않는다.²⁰⁾ hard lens의 경우 렌즈의 재질에 따라 기체의 투과성이 다른데 기체의 투과성이 전연 없는 렌즈를 착용하고 잠수를 하는 경우 렌즈와 각막 사이의 얇은 눈물층에 아주 작지만 공기 기포가 형성될 수 있고 이 기포가 주위압의 변화에 따라 압력손상을 일으켜 각막 상피층의 종창으로 각막에 등근 흡집을 낼 수 있고 눈이 따갑거나 시각의 감소, 밝은 광원을 볼 때 광원 주위에 등근 무리가 나타나는 증상들이 잠수 후 두어 시간 정도 지속될 수 있다.¹¹⁾ 한편 근래 들어 근시교정용 각막수술을 많이 시행하고 있는데 잠수의학 특히 잠수의학적합성검사 분야에서 많이 토론하고 있는 분야이다. 초기에 시행하던 방사상 각막절개술의 경우 요즘 시행하는 수술보다 각막의 절개 깊이가 더 깊었고 각막 중심부의 두께가 더 얇았기 때문에 술후 최소 1년간의 치유기간을 두고 잠수를 허락하는 것을 원칙으로 하였으나 요즘에 시행하는 수술들

은 각막절개의 깊이가 더 얇기 때문에 절대 금기로 하지는 않고⁵¹⁾ 수술 후 금기기간이 짧아졌지만 위의 마스크 압착을 염두에 두면 다이버 개개인의 특별한 주의가 요망된다.¹¹⁾

2) 위장관 압력손상

평소 위장관내에는 얼마간의 기체가 들어있고 대부분의 경우 점막으로 흡수되거나 트립, 방귀 등의 형태로 몸 밖으로 배출된다. 위장관내의 공기나 기체는 탄산음료를 마신 경우, 음식을 삼킬 때 같이 들어간 공기, 음식의 소화과정에서 생성된 기체, 위산 등의 소화액의 작용으로 생성된 이산화탄소 등이며¹⁴⁾ 잠수 도중에는 중이 균압을 하면서 삼킨 공기, 도립자세에서 균압을 하면서 역류해서 들어가는 경우도 생각할 수 있다.¹¹⁾ 위장관내에 있는 소량의 기체는 위장관기관이 연조직으로 쌓여 있기 때문에 정상적인 경우 크게 문제가 되지는 않는다. 하지만 일정량 이상의 공기나 기체가 위장관내에 있을 경우 하강과 상승 도중 주위압의 변화에 따른 기체의 압축과 팽창으로 압력손상이 일어날 수도 있다. 증상은 트립, 복부 팽만감, 구토, 복부 불쾌감, 급통(colicky pain) 등으로 나타날 수 있다.¹⁴⁾ 잠수 전 또는 잠수 중에 마신 탄산음료나 삼페인으로 위장관 압력손상이 발생한 증례가 있고 드물게 복부팽만이 너무 심하여 수술을 해야 했던 증례도 있었다.¹⁴⁾

3) 기타 부위의 압력손상

그 외 잠수로 인하여 압력손상이 발생하는 것은 안와부 기종(orbital emphysema)인데 그 원인으로는 안면부 피부 손상이나 비강, 부비동 점막의 열상, 비사골(nasoethmoidal bone) 골절, 비강과 안와의 경계를 이루는 얇은 뼈인

종이판뼈(lamina papyracea)의 골절 등의 원인으로 비강이나 부비동내의 공기가 안와부로 들어가게 되어 주위압의 변화로 안와에 압력손상이 생기는 것이다.¹⁴⁾ 손상된 폐포에서 나간 공기가 종격동을 거쳐 복막후 공간(retroperitoneal area)으로 들어가서 생기는 복막 기종(pneumoperitoneum)이 있고 부비동, 유양동내 공기가 두개강내로 파급되어 발생하는 두개강 기종(pneumocephalus), 골반골내의 낭종에서 발생하는 골성낭종 압력손상(bone cyst barotrauma), 상악동내의 공기가 바로 옆을 지나는 안와하신경(infraorbital nerve) 경로를 따라 파급되어 발생하는 삼차신경(trigeminal nerve)의 압력손상도 가능하다.¹⁴⁾

압력손상의 예방

모든 사고나 질병과 마찬가지로 잠수로 인한 인체의 압력손상도 치료보다는 예방이 훨씬 중요하다. 압력손상을 예방하기 위해서는 잠수 기술적인 면과 잠수의학적인 면 두 가지로 나누어 생각할 수 있다. 잠수기술적인 면은 다이버 본인과 강사의 분명한 역할과 그에 따른 책임이 뒤따르게 된다. 압력손상을 예방하기 위한 잠수기술적인 것은 첫째, 하강(분당 60 ft) 및 상승(분당 70 ft)속도를 규정대로 지키고 가능하면 규정된 하강, 상승속도보다도 더 느리게 하는 것이 좋다.^{2, 22)} 또 하강 시 하강줄을 잡고 하강하면 더욱 좋을 것이다. 다음으로 하강자세를 독립상태를 취하지 말고 직립상태로 하강하는 것이다.^{2, 22-23)} 독립자세로 하강 시에는 혈류의 저류로 인한 두경부의 울혈현상으로 이관통기가 어렵기 때문이다. 또 이관통기를 항상 미리 하는 점도 중요하다. 보트잠수 시

배 위에서 입수 전에 또는 물에 입수 후 하강 전에 미리 이관통기를 하여 종이강 내에 약간의 상대적 양압상태가 되도록 하고 하강 도중에도 귀에 압박감이나 충만감이 오기 전에 미리 균압을 취하는 것이 좋다. 이미 압박감이나 통증이 심하게 온 후에는 이관의 비인강 밸브의 잠김현상 때문에 균압이 더 어렵기 때문이다. 그 다음은 일정한 수심에서 통기가 되지 않으면, 수면 쪽으로 조금 상승하여 주위수압이 줄어든 상태에서 다시 시도하여, 통기가 되면 더 느린 속도로 더 자주 통기를 시켜가면서 하강하고 조금 상승하여 시도하여도 안 될 경우 조금 더 얕은 수심으로 상승하여 균압을 재 시도 한다. 이때 균압이 이루어지면 이전보다 더 느린 하강속도로 하강을 시도하고 수심을 알게 하여 재차 시도하였는데도 균압이 되지 않으면 그 날은 잠수를 포기하는 것이 가장 현명한 판단이다.^{2, 22)} 무리한 균압 시도는 문제점을 일으킬 가능성이 있는 것이다. 잠수의 기술적인 면에서 강조하는 것은 이관통기법으로 균압이 이루어지지 않을 때 무리한 힘으로 억지로 강하게 하지 말라는 점이다. 쉽게 균압이 되지 않는데 억지로 균압을 시켜 하강하였을 때는 상승 시 역압착이 생길 수 있고 정원장과 난원창 파열로 인한 누공상태가 되어 돌이킬 수 없는 상태가 될 수 있기 때문이다.^{2-3, 22)} 아울러 잠수도중 절대 호흡을 참지 말고 항상 깊고 천천히 할 것이며 다이버 교육훈련 급수에 맞는 제한수심을 지켜 공기 고갈이 되어 급상승을 해야 하는 상황이 오지 않도록 하고 사용하는 장비에 익숙하도록 하여야 할 것이다. 잠수기술적 면에서 본 압력손상 예방의 문제는 다이버와 잠수 강사가 모두 철저한 교육훈련을 거쳐 잠수장비, 해양환경 등 외부 요인이 생기

더라도 대처할 수 있는 잠수기술의 연마와 부력조절기술을 익히는데 있는 것이다.

압력손상을 예방하기 위한 의학적 측면에서는 첫째, 모든 스쿠버 다이버는 잠수 교육훈련 시작 전에 의학적합성여부에 애매한 점이 있다면 반드시 강사와 상담 후 잠수를 잘 아는 의사에게 상담, 진료 받아야 될 것이고 만약 과거 병력 또는 현재의 건강상 잠수의 금기사항이 있다면 원인되는 질환이나 조건의 치료나 교정 후에 잠수를 시작하거나 잠수를 포기하여야 함이 원칙이다. 두 번째는 자격 다이버가 되었다면 평소에 체력과 건강관리를 철저히 하여 언제든지 생길 수 있는 일시적 금기사항이 생기지 않도록 하고 상기도 감염 등으로 인한 일시적 금기일 경우 이관통기가 되지 않을 때는 잠수를 하여서는 안 된다. 압력손상 예방을 위한 의학적 측면에서는 다이버와 강사 외에 잠수적성판정 검사단계에서 의사가 개입될 수 있고 의사는 자신의 판정에 따라 그에 따른 책임문제도 발생할 수 있다. 대부분의 스포츠 잠수계에서는 잠수 교육훈련 시작 전에 다이버가 작성하는 잠수적성판정을 위한 설문지를 다이버 스스로 작성하도록 하고 있고 예, 아니오 둘 중 하나로 답변해야하는 여러 금기 항목 중 하나라도 예가 있으면 강사는 잠수교육훈련을 시행하기 전에 강사본인이 판단하여 교육훈련을 시작하고 그 책임을 지든지 의심스러운 경우 의사에게 적성판정을 미룰 수 있는데 이 경우에 의사는 잠수적성 판정을 위한 의학적합성 검사를 실시하여 의사가 판정하고 그 결과에 책임을 지게 되는 것이다. 마지막으로 요인을 찾을 수 없는 압력손상의 경우도 있기에 항상 철저한 교육훈련과 적절한 신체적성을 유지 되도록 하고 완벽한 잠수계획을 세워 잠수함으로

서 잠수로 인한 신체의 손상을 예방하고 즐겁고 유익한 레저 스포츠로 즐길 수 있을 것이다.¹⁴⁾

참 고 문 헌

1. 김인영. 연도별 다이버 인구, 사망자 및 교통사망자 통계. 스쿠버 다이버 2003 Dec;(98):268-9.
2. PADI (USA). The encyclopedia of recreational diving. Santa Ana: The Institute; 1993.
3. Neblett LM. Otolaryngology and sports SCUBA diving. Ann Otol Rhino Laryngol Suppl 1985 Jan-Feb;115(94):1-12.
4. Farmer JC. Diving injuries to the inner ear. Ann Otol Rhino Laryngol Suppl 1977 Jan-Feb;107(86):1-20.
5. Yoon SK, Yoo WJ. Barotrauma of the middle ear in guinea pigs after simulated diving. Kor J ORL 1997 May;40(5):732-8.
6. Yoon SK, Lee KH. Ventilatory function of the eustachian tube in sports scuba divers. Kor J ORL 1995 Jul; 38(7):1017-24.
7. Yoon SK. Otologic barotrauma from SCUBA diving. Kor J ORL 1994 Mar;37(3):421-9.
8. Lee MH, Yoon SK, Song KW. Eustachian tube function in paranasal sinusitis. Kor J ORL 1989 Jun;32(6):1074-9.
9. 해군 해양의학적성훈련원 (한국). 잠수의학. 진해: The Institute; 1998.
10. U.S. Navy (US). U.S. Navy Diving Manual. Volume 1(Air Diving). Revision 3. Flagstaff: The Institute; 1993.
11. NOAA, U.S. Department of Commerce (US). NOAA Diving Manual. Diving for Science and Technology. Flagstaff: The Institute; 2001.
12. Bove AA, editors. Diving medicine. 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 1997.
13. Acott C, Gorman D, editors. Diving and hyperbaric medicine. 4th ed. Adelaide(South

- Australia): Royal Adelaide Hospital: 2000.
14. Edmonds C, Lowry C, Pennefather J, editors. Diving and subaquatic medicine. 3rd ed. Jordan Hill(Oxford): Butterworth-Heinemann Ltd; 1992.
 15. Bennette PB, Elliot DH, editors. The physiology and medicine of diving. 4th ed. London: W. B. Saunders Company Ltd; 1994.
 16. Shilling CW, Carlston CB, Mathias RA, editors. The physician's guide to diving medicine. New York: Plenum Press; 1994.
 17. Jain KK. Textbook of hyperbaric medicine. 2nd ed. Kirkland(WA): Hogrefe & Huber Publishers; 1996.
 18. Kindwall EP, editors. Hyperbaric medicine practice. Flagstaff: Best Publishing Company; 1994.
 19. Edmonds C, McKenzie B, Thomas R. Diving medicine for scuba divers. Carnegie, Victoria (Australia): J.L. Publications; 1992.
 20. Parker J. The sports diving medical. Carnegie, Victoria(Australia): J.L. Publications; 1994.
 21. Lippmann J. Deeper into diving. Carnegie, Victoria(Australia): J.L. Publications; 1990.
 22. PADI (US). PADI open water diver manual. Santa Ana: The Institute; 1999.
 23. Paparella MM, Shumrick DA, Gluckman JL, editors. Otolaryngology. 3rd Ed. Philadelphia: WB Saunders Company; 1991.
 24. Dick AP, Massey EW. Neurological presentation of decompression sickness and arterial gas embolism in sports divers. Neurology 1985 May;35(5):667-71.
 25. Neumann TS. Pulmonary considerations I: Asthma; COPD; Need for special testing. In fitness to dive. Proceedings of the Thirty-Fourth Undersea and Hyperbaric Medical Society Workshop, sponsored by NOAA; 1986 May; Bethesda, MD, USA: UHMS Publication No. 70; 1987 May 49-59.
 26. Edmonds C. Hearing loss with frequent diving (deaf divers). Undersea Biomed Res 1985 Sep;12(3):315-9
 27. Farmer JC. Inner ear injuries in diving-differential diagnosis of inner ear decompression sickness and inner ear barotrauma. Proceedings of 7th International Symposium on Underwater and Hyperbaric Physiology; 1981; Undersea and Hyperbaric Medical Society, Bethesda, MD, USA; 1981:805-10.
 28. Molvaer OI, Albrektsen G. Hearing deterioration in professional divers: an epidemiologic study. Undersea Biomed Res 1990 May;17(3):231-46.
 29. Brady JL, Summitt JK, Berghage TE. An audiometric survey of Navy divers. Undersea Biomed Res 1976 May;3(1):41-7.
 30. Freeman P, Edmonds C. Inner ear barotrauma. Arch Otolaryngol 1972 Jun;95(6):556-63.
 31. Abe T, Sasamori S, Oikawa T, Aigami T, Endo Y, Matsuki C. Acute low tone sensorineural hearing loss caused by inner ear barotrauma. Nippon Jibiinkoka Gakkai Kaiho 1989 Sep;92(9):1381-8.
 32. Ashton DH, Watson LA. Inner ear barotrauma: a case for exploratory tympanotomy. Aviat Space Environ Med 1992 Jul;63(7):612-5.
 33. Hando M, Yanagita N, Yokoi H. Scanning Electron Microscopic studies on inner ear barotrauma mainly on the damage of cochlear sensory hairs. Nippon Jibiinkoka Gakkai Kaiho 1982 Aug;85(8):941-50.
 34. Nakashima T, Itoh M, Watanabe Y, Sato M, Yanagita N. Auditory and vestibular disorders due to barotrauma. Ann Otol Rhinol Laryngol 1988 Mar-Apr;97(2):146-52.
 35. Shupak A, Doweck I, Greenberg E, Gordon CR, Spitzer O, Melamed Y, et al. Diving related inner ear injuries. Laryngoscope 1991 Feb; 101(2):173-9.
 36. Miller JM, Axelsson A, McPherson D, Potter

- W. Mechanisms of aural barotrauma. Proceedings of 7th International Symposium on Underwater and Hyperbaric Physiology; 1981; Undersea and Hyperbaric Medical Society, Bethesda, MD, USA; 1981:811-6.
37. Sun JJ, Wang JB, Wei NR. Histopathological observation on the inner ear barotrauma in guinea pig. J of Tongji Med Univ 1987;7(3): 136-42.
38. Sun JJ, Wang JB, Wei NR. Histopathological observation on the ear barotrauma in guinea pigs. Chinese J of Otolaryng 1988;23(5):261-3.
39. Wilkes MK, Palmer AC, Pearce PC. Cochlear degeneration in minipigs after repeated hyperbaric exposures. Undersea Biomed Res 1989 Mar; 16(2):139-52.
40. Nakashima T, Kaida M, Yanagita N. Round window membrane rupture and inner ear damage due to barotrauma. Acta Otolaryngol Suppl 1992 May-Jun;493:57-62.
41. Nakashima T, Yokoi H, Ito M, Watanabe Y, Sato M, Yanagita N. Auditory and vestibular disorders due to barotrauma. Proceedings of 9th International Symposium on Underwater and Hyperbaric Physiology; 1987; Undersea and Hyperbaric Medical Society, Bethesda, MD, USA; 1987:229-36.
42. Fukuta S, Yokoi H, Ishida K, Yanagita N. Electron microscopic study on inner ear barotrauma; with emphasis on the cochlear damage. Nippon Jibiinkoka Gakkai Kaiho 1991 Jul;94(7):970-9.
43. Zheng XY, Gong JH. : Cochlear degeneration in guinea pigs after repeated hyperbaric exposures. Aviat Space Environ Med 1992 May;63(5):360-3.
44. Goodhill V, Brockman SJ, Harris I, Hantz O. Sudden deafness and labyrinthine window rupture, audio-vestibular observations. Ann Otol Rhinol Laryngol 1973 Jan-Feb;82(1):2-12.
45. McCormick JG, Holland WB, Brauer RW, Holleman IL Jr. Sudden hearing loss due to diving and its prevention with heparin. Otolaryngol Clin of North Am 1975 Jun;8(2): 417-30.
46. Parel GJ, Becker GD. Conservative management of inner ear barotrauma resulting from scuba diving. Otolaryngol Head Neck Surg 1985 Jun;93(3):393-7.
47. Pullen FW. Perilymphatic fistula induced by barotrauma. Am J Otol 1992 May;13(3): 270-2.
48. Molvaer OL. Alternobaric facial palsy. Med Aeronaut Spat Med Subaquat Hyperbar. 1979; 18:249-50.
49. Becker GD. Recurrent alternobaric facial paralysis resulting from scuba diving. Laryngoscope 1983 May;93(5):596-8.
50. Fagan P, McKenzie B, Edmonds E. Sinus barotrauma in divers. Ann Otol Rhinol Laryngol 1976 Jan-Feb;85(1):61-4.
51. Elliot D. Medical assessment of fitness to dive. Flagstaff(AZ): Best Publishing Company; 1995.