

잠수관련 사망의 부검을 위한 기술적 접근

김 윤 신

조선대학교 의학전문대학원
법의학교실

접 수 : 2014년 1월 21일
수 정 : 2014년 2월 7일
게재승인 : 2014년 2월 19일

책임저자 : 김윤신
(501-759) 광주광역시 동구 필문대로
309, 조선대학교 의학전문대학원 법의학
교실
전화 : +82-62-230-6998
FAX : +82-62-234-4584
E-mail : ysk007fm@hotmail.com

Technical Approach for the Postmortem Examination of SCUBA Diving Fatality

Youn Shin Kim

Department of Forensic Medicine, Chosun University School of Medicine, Gwangju, Korea

Recreational diving is an exciting and adventurous sport, but is also potentially hazardous. Despite its inherent hazards, an increasing number of people enjoy SCUBA (self-contained underwater breathing apparatus) diving; the number of diving-related accidents is therefore also likely to increase. Divers might face physical or psychological stresses from the unfamiliar or hostile underwater environment, which can lead to fatal accidents. To investigate deaths related to SCUBA diving, a forensic pathologist should understand the types and mechanisms of injuries and illnesses unique to SCUBA diving. Postmortem examination of diving fatalities is therefore a formidable task for most forensic pathologists because cases are sparse and the process requires an understanding of diving physiology, diving equipment, and the underwater environment. The primary aim of autopsies in SCUBA diving fatalities is to detect evidence of pulmonary barotrauma, intravascular gas, or pre-existing illnesses. Standard autopsy protocol for SCUBA diving-related deaths should include methods to detect intravascular gas and gas accumulation in the tissue or body cavity through plain radiographs or Computerized Tomography (CT) scans. Analysis of the gas components is also helpful for determining the origin of the gas. Here, the author proposes a practical method for performing an autopsy on a person who died while SCUBA diving.

Key Words : Scuba diving, Pulmonary barotrauma, Intravascular gas, Autopsy protocol

서 론

잠수관련 사망의 부검을 통한 사인 규명은 쉽지 않은 임무이다. 그 이유는 그러한 종류의 사망이 흔치 않아 법의의사로서 감정에 대한 다양한 사례 경험이 부족할 수밖에 없고, 아울러 사인의 합리적인 설명을 위해서는 장비에 대한 이해, 잠수 환경에 대한 정보, 사망자의 신체적 및 정신적 건강상태 등 다양한 정보가 수반되어야 하지만 대부분의 경우에 수중 사고 상황에 대한 적절한 목격 정보를 확보하기 어렵기 때문이다.

잠수 중의 사소한 장비 이상이나 수중 시야불량 등 환경적 인자, 혹은 경미한 사고가 사망을 유발할 수도 있다. 수심 10 m에서 다이빙 중이던 초보자가 갑자기 이상을 호소하며 호흡기를 내뱉고 상승하였다가 수면에서 사망하여, 조사해보니 사망자의 한쪽 발에 솜뎡이(stonefish)의 독성 가시 하나가 찔려 있는 것이 발견되었던 사례¹⁾처럼, 수중생물의 가시에 찔리는 상황이 극심한 통증을 유발함으로써 사망 사고의 촉발 원인으로 작용할 수도 있다. 그러나 다이빙 관련 사망의 가장 흔한 사인¹⁻³⁾은 익사이고, 그밖에 공기색전증, 감압병(Decompression illness), 손상, 심장 이상 같은 질병 등으로, 잠수 생리에 대한

이해가 동반된다면 비교적 제한된 범위 내에 사인의 종류가 국한될 수 있다.

이와 같이 잠수상황에서 흔히 초래될 수 있는 치명적인 병변을 이해하고 잠수상황 및 장비의 기능 상태 등에 대한 적절한 정보가 확보된 상황에서 그에 맞는 부검술기를 적용할 수 있다면 훨씬 더 합리적이고 신뢰할만한 사인 규명이 가능해질 수 있다. 따라서 저자는 자신의 잠수훈련 경험과 그동안의 잠수 관련 사망에 대한 사례 경험, 그리고 문헌고찰을 통해 잠수 관련 사망의 부검을 위한 보다 실질적인 부검술기를 제안하고자 한다.

잠수사망의 조사

먼저 잠수사고가 일어난 수중 환경에 대한 정보의 확보가 필요하고, 사고자가 사용한 잠수 장비의 기능에 대한 조사도 필요하다. 이를 위해서는 잠수전문가의 협조와 참여가 필수적이다. 아울러 사고자의 잠수경력 및 자격수준, 사고 당일의 반복 잠수 횟수, 과거 병력 등에 대한 정보가 확보되어야 한다. 이러한 정보를 바탕으로 부검을 통해 확인되어야 할 소견에 대한 목표를 갖고 그에 걸맞은 부검술기를 선택할 필요가 있다.

1. 수중환경 및 잠수상황에 대한 정보

잠수 중에 해초나 그물 혹은, 낚싯줄 등에 걸림(entanglement), 동굴, 난파선, 얼음 밑 등에 갇힘(entrapment), 강한 조류나 수중 시야 불량, 낮은 수온 같은 거친 수중 환경 등이 잠수 안전을 위협할 수 있고, 경험이 부족한 잠수부에게 신체적 심리적 스트레스를 가함으로써 잠수사고가 촉발될 수 있다. 또한, 수중동물의 공격에 의한 손상, 사고 수역을 운항 중이던 선박에 의한 손상도 직접 사인으로 혹은 사망 사고를 유발하는 선행 원인으로 작용할 수 있다.

2. 장비의 조사

밸브 이상으로 인한 공기 누출, 잠수부용 공기통 내 오염 공기 주입(일산화탄소 등) 혹은 공기통 내부의 부식으로 인한 산소 소진, 잠수 중의 공기 고갈(out of air), 얼음 잠수에서 차가운 수온에 의한 호흡기의 결빙으로 야기되는 장비 작동 이상 등이 잠수부의 안전을 위협할 수 있다. 심지어는 잠수부가 수중 잠수 중에 어떤 원인에 의해 구토를 하게 되면 그 구토물이 호흡기를 막아서⁴⁾ 장비 이상이 초래될 수도 있으므로 다양한 상황을 가정한 장비에 대한 철저한 조사가 필요하다.

3. 질병력 정보

잠수 관련 사망에서는 기존의 질병 자체가 수중 사망의 원인이 되는 경우도 있지만, 그보다 더 실질적으로는 어떤 가벼운 질병이 수중사고의 선행원인으로 작용하여 사망의 촉발원인이 될 수 있기 때문에⁵⁾ 철저한 병력의 확보가 매우 중요하다. 가벼운 감기나 상기도 감염, 심장의 이상, 혈압 이상, 알레르기 혹은 천식, 어떤 일과성 혹은 만성 질환도 그러한 위험성 때문에 잠수활동에 참여해서는 안 된다는 주장도 있다.⁶⁾ 마찬가지로 이유로 흡연자의 경우도 만성 기관지염에 의한 폐 압력손상 등의 위험성 때문에 잠수활동이 추천되지 않지만, 현실적으로는 적지 않은 잠수부들이 흡연을 계속하고 있기도 하다. 따라서 잠수 관련 사망의 조사를 위해서는 과거 병력과 현재 건강 상태, 흡연 습관 등을 포함하여 가능한 한 많은 정보를 확보하고자 노력하는 것이 바람직하다.

4. 부검 전 방사선검사

잠수 관련 사망의 주된 사인은 익사, 공기색전증, 감압병 등이다.¹⁻³⁾ 따라서 혈관 내 공기색전의 입증과 해석이 사인 규명에 대단히 중요한 비중을 차지하게 된다. 기흉, 기종, 공기색전 등은 부검 전 흉부 단순방사선 촬영만으로도 확인될 수 있다.⁴⁾ 다이빙 사고는 잠수부의 훈련 정도와 경험, 신체 적합성(fitness to dive), 환경요인, 장비기능, 수중생물의 영향 등 일련의 요인들에 의해 복잡한 인과관계를 형성하며 일어나게 되지만, 이런 다양한 인자의 확인이 부검만으로는 곤란한 경우가 많고 특히 혈관 내 공기색전의 입증은 미리 의심하지 못한 상황에서 절개하거나 혹은 조심스럽게 절개를 한다 해도 부검 자체에 의한 간섭현상이 개입되면서 매우 어려운 상황이 초래될 수 있다. 이러한 난점을 극복하는 효과적인 방법이 사후 방사선 혹은 CT (Computerized Tomography)검사가 될 수 있다.

따라서 모든 다이빙 관련 사망사건에서는 부검에 앞서 방사선검사를 필수적으로 실시하도록 권고된다.^{7,8)} 이를 통해 심장 및 혈관 내 공기-수면상(air-fluid level) 등 공기색전증의 부위와 정도를 확인할 수 있다면 사인 규명에 매우 효과적인 도움을 얻을 수 있다. 뿐만 아니라 사후 CT검사나 MRI (Magnetic Resonance Imaging)검사는 부검술기만으로는 접근하기 어려운 내부 장기의 혈관 내 공기까지를 확인해 줄 수 있고, 아울러 그 양에 대한 추정까지도 가능하게 해주기 때문에 사인 규명은 물론 사건의 재구성을 위해서도 매우 중요한 역할을 하게 된다.⁹⁾ 또한 어깨관절, 엉치(hip)관절, 무릎 등을 촬영해 볼 필요도 있고, 이를 통해 이압성 골괴사(dysbaric osteonecrosis)의 증거를 확보할 수도 있다. 이러한 소견이 확보된다면 이는 잠수부가 과거에 감압병에 노출되었을 가능성을 시사해 준다.⁴⁾

5. 부검

잠수사망의 조사에 있어서 부검은 반드시 필요한 검사이지만 그 자체의 역할은 부분적인 역할에 그칠 수밖에 없다.¹⁰⁾ 왜냐하면 잠수상황에 대한 정보나 장비에 관한 정보가 확보되지 않은 상태에서는 필요한 소견을 확보하지 못할 가능성이 높고, 확보한다더라도 적절한 해석을 할 수 없게 되는 경우가 많기 때문이다. 따라서 잠수 관련 사망에 있어서 부검은 정확하게 의심되는 사인을 확인하거나 혹은 기존 질병이 사망사고에 기여하는 정도나 그 기전을 평가하는 것이 주목적이 될 수 있다.¹⁰⁾ 잠수사망의 효과적인 부검을 위한 절차를 정리하면 아래와 같다.

1) 신원확인

일반적으로 잠수사고의 사망자는 동료 잠수부에 의해 사고장소 혹은 실종의 위치가 지목되기 때문에 시체의 수습 및 신원확인에 큰 어려움이 없다. 그러나 강한 조류 등에 의해 시체가 휩쓸려 가버리거나 혹은 불량한 수중 시야 등으로 인해 시체의 확보가 지연되는 상황에서는 예상치 못한 어려움이 수반될 수 있다. 수중 침수에 의한 간섭, 손상 혹은 부패 등의 영향으로 인해 잠수사고 사망자의 신원확인이 방해받을 수도 있으므로, 결코 소홀히 처리되어서는 안 되는 과정이다.

2) 외표검사

장비의 무게 때문에 사망자는 수중에서 대개 드러누운 자세를 취하게 되지만, 수중에서는 환경적인 영향으로 인해 전형적인 시반의 출현을 보지 못하는 경우가 많다. 시반의 출현 위치가 어디이든 선홍색 시반을 본다면 차가운 물에서의 사망임을 시사하는 정보로 간주할 수 있다. 그러나 드물지만, 잠수부의 공기통에 오염된 일산화탄소 중독에 의한 선홍색 시반의 출현일 가능성도 고려되어야 한다.⁴⁾

코와 입 주위의 포말은 당연히 의사의 소견으로서 조사되어야 하지만, 위(胃)충만 상태에서의 잠수는 수중에서 구토를 유발할 수 있고, 구토물이 호흡기의 공기 흐름을 방해하면 치명적인 사고를 유발할 수 있기 때문에 구토의 흔적을 확인할 필요가 있다.⁴⁾ 만약 구토물이 확인되었다면 호흡기에 대한 조사도 당연히 병행해야 한다.

외표검사 단계에서 피부에 대한 촉진도 필요하다. 경부 및 흉벽의 피하 염발음(crepitus)은 폐 압력 손상에 의한 피하기종을 시사하는 소견이 될 수 있기 때문이다. 마찬가지로 이경 등의 장비를 통해 고막을 검사하는 것도 필요하다. 고막에 파열 혹은 출혈 등의 손상이 있다면 이 또한 수중 상승 혹은 하강과정에서의 압력 평형의 실패나 압력손상의 증거가 될 수 있기 때문이다. 귀, 특히 중이는 잠수 중 압력손상의 가장 흔한 부위이다. 이때 압력손상에 의해 부비동의 얇은 골 벽에 골절이 일

어나면 주위 연조직에 기종이 발생할 수 있고, 심지어는 기두증(pneumocephalus)까지도 발생할 수 있다.¹¹⁾

3) 내부검사

내부장기의 검사는 당연히 사고의 정황에 근거한 사인 추정 의 우선순위에 따라 결정되어야 하지만 뇌동맥공기색전이 의심되는 경우라면 뇌혈관으로의 공기 유입을 최소화하기 위해 흉부보다 두부를 먼저 절개하는 것이 바람직하다. 경부와 흉부를 먼저 절개해야 하는 경우라면, 연조직 절개 후 경동맥을 결찰하여 뇌혈관으로의 공기 유입을 차단해 둠으로써, 이후 두개골에 대한 절개 및 뇌 적출 단계에서 혈관 내 공기의 입증 및 해석이 방해받지 않도록 조치해 두어야 한다.¹⁰⁾ 두개골을 절단하는 과정에 경막에 손상이 가해지지 않도록 주의를 기울여야 하고, 절단된 두개골과 뇌막의 절개 및 분리 중에 뇌표면 혈관으로의 공기 유입에도 주의하여야 하며, 그러한 혈관 내 공기방울의 해석도 신중해야 한다. 두개골을 열고 뇌를 적출하고자 할 때에는 기저동맥 혹은 척추동맥을 결찰한 상태에서 뇌 적출을 시도해야만 간섭소견으로서의 혈관 내 공기 유입을 최소화할 수 있다.¹²⁾ 뇌혈관, 뇌막 정맥동(dural sinus), 윌리스 환(circle of Willis)이 공기로 채워져서 부풀어 올라 있으면서 혈액이 거의 빠져나가 버린 소견을 본다면 뇌동맥공기색전의 증거로 간주할 수 있지만, 아울러 폐에서 다수의 늑막하 기포(subpleural blebs) 같은 폐 압력손상(pulmonary barotrauma)의 증거를 찾는 것이 필요하다.^{7,8)}

흉복부 장기에 대한 검사 단계에서는 흉강과 심장을 천자하여 각각 기흉이나 공기색전의 유무를 확인해야 한다. 먼저 경동맥을 결찰한 다음, 심장의 4개 방실을 각각 천자하여 공기색전의 가능성을 탐색하고,^{7,8)} 이어 내부장기에 대한 검사를 진행하면서 동맥공기색전의 주요한 원인이 되는 폐 압력손상의 근거를 탐색해야 한다. 폐 압력손상의 육안적 증거로는 늑막하 기포(subpleural bleb), 폐실질 출혈, 기흉이나 종격동 기종 등이 있고, 궁극적으로는 심외막 혈관, 복부 혈관, 뇌혈관(특히, circle of Willis) 등에서 공기를 입증하고자 시도해야 한다. 폐 압력손상의 증거로서 늑막 파열의 부위를 찾아야 한다면, 뇌동맥류 파열의 부위를 확인하기 위해 주사기에 물을 넣어 주입하면서 파열부위를 탐색하는 것처럼, 폐를 물에 가라앉힌 상태에서 주사기에 공기를 넣어 기관지를 통해 주입하면서 기포가 빠져나오는 늑막 부위를 확인하는 것이 도움이 될 수 있다.¹²⁾

공기색전증의 입증을 위해서는 매우 신중하고 세밀한 절개검사가 필요하다. 피부의 절개와 늑연골의 절단 후 쇄골하동맥에서 기시하여 흉골의 측면으로 주행하며 늑연골 아래에 위치하고 있는 내유방혈관(internal mammary vessel)을 찾아 결찰하고 흉골을 조심스럽게 들어 올려서 심낭을 절개한 후, 심외막 혈관의 공기 방울을 탐색하고, 심실을 천자하여 공기색전의 유무를 확인해야 한다.⁴⁾ 또한 하대정맥, 장골동맥, 경부혈

관, 뇌혈관 등 여러 장기의 혈관들에서 공기 방울을 탐색해나가야 한다. 뇌 공기색전증은 기본적으로는 폐 압력손상에 이은 동맥공기색전증에 의해 발생하지만, 감압병 상태에서 혈관 중에 유리된 공기 방울이 난원공개존증 같은 심장의 단락을 통해 좌심을 거쳐 전신순환에 들어감으로써 초래(paradoxical air embolism)될 수도 있으므로, 심장의 단락도 확인해야 한다.

6. 각종 검사

우선 사망자의 병력에 입각한 각종 약물에 대한 분석이 필요하다. 기존에 복용하고 있던 약물은 잠수자의 병력을 반영해 줄 수 있고, 이런 약물들이 상황에 따라서는 잠수사고의 유인이 되었을 가능성도 있기 때문에 철저한 분석이 필요하다. 특히 심장약, 고혈압약, 천식약, 혈당강화제 등의 정성적 정량적 검사가 필요하다. 잠수 중의 격렬한 육체 활동은 당뇨 환자의 혈당 저하를 촉진하기 때문에 혈액이나 안방수 등에서 당 농도를 측정하는 것도 필요하다.

알코올에 대한 분석도 중요하다. 원칙적으로 잠수 전의 음주는 안전에 해를 끼칠 수 있기 때문에 금기시된다. 또한, 압력상 태에서의 질소는 마취제와 유사한 영향(질소 마취, nitrogen narcosis)을 뇌에 미치는데, 대개는 수심 30 m 이상에서 이상 증상을 나타내게 되지만, 알코올 섭취 상태의 잠수는 30 m 이내의 수심에서도 질소 마취 증상을 유발할 수 있으므로,¹³⁾ 혈중 알코올농도의 분석이 중요하다.

잠수 중에는 압축된 공기를 호흡하기 때문에 대기 중에서는 무시할만한 정도의 오염 공기가 하더라도 수중에서는 수압만큼의 압력으로 농축된 공기를 호흡하게 되므로, 일산화탄소 같은 오염 공기가 소량만이라도 공기통 내에 섞여 있다면 잠수부의 생명을 위협할 수 있다. 따라서 사망자의 혈액은 물론 그가 착용하고 있던 공기통에서도 일산화탄소 등 오염 공기의 존재 여부 및 그 농도를 분석해야 한다.

여러 가지 기질적 질병이 잠수 중 사망의 직접적인 원인 혹은 사고의 촉발 원인으로 작용할 수 있기 때문에 사망자의 과거 병력 및 사고의 정황에 따라 조직검사를 시행하는 것이 바람직하다. 이를 통해 어떤 병변이 발견된다면 그 자체로는 직접 사인이 되지 못한다 할지라도 사고의 선행요인으로 작용하였을 가능성이 있기 때문에 철저한 검사와 해석이 필요하다.

7. 부검보고서

철저한 부검을 통해 확보된 소견에 근거하여 사망자의 과거 병력, 방사선소견, 조직검사 및 약독물 검사 소견, 잠수 장비 검사 결과 등을 종합한 다음, 사망 사고의 전체적인 선후 인과관계가 파악될 수 있게 작성하는 것이 바람직하다. 다음과 같은 질문에 답하듯 소견을 종합해 나가는 것이 도움이 될 수 있다.

① 압력손상이나 감압병의 증거나 정황이 있는가 ② 의사의 증거가 있는가 ③ 외상이 있는가 ④ 기존 질환의 증거가 있는가 ⑤ 약독물의 영향은 어떠한가 등을 재검토하면서 해석하는 것이 편리하다.⁹⁾ 이와 같이 사망자의 과거 병력, 부검소견, 방사선소견, 조직검사 및 약독물 검사, 잠수 장비 검사 결과 등을 종합해서 가장 합리적인 사인의 설명이 이루어질 수 있도록 작성되어야 한다.⁴⁾ 자칫 잘못하면 서로 간의 인과관계가 뒤바뀌거나, 심지어는 사인에 대한 판단에 오류가 생길 수도 있으므로, 잠수 전문가의 의견을 확보하는 것도 필요하다.

고 찰

다이빙 사고는 잠수부의 훈련 정도와 경험, 신체 적합성(fitness to dive), 환경요인, 장비기능, 수중생물의 영향 등 일련의 요인들에 의해 복잡한 인과관계를 형성하며 일어나게 된다. 따라서 잠수 관련 사망의 사인 규명을 위해서는 그러한 다양한 요인들을 고려한 상태에서 입증되어야 할 부검소견을 염두에 두고 전략적으로 접근하는 것이 바람직하다. 치명적 잠수 사고에 있어 그 사인의 종류는 비교적 제한되어 있지만, 원인 인자는 매우 다양하므로 법의의사는 이러한 인자들을 어떻게 해석하고 규명할지 그 방법에 대해 익숙해 있어야 한다.⁴⁾ 이러한 사망의 적절한 조사를 위해서는 사고 당시 함께 다이빙에 참여한 짝(buddy), 인솔 강사, 구조팀, 경찰, 장비회사, 법의의사가 긴밀히 협조할 필요가 있다. 사망 후 수중 채취, 수심, 잠수 프로파일(dive profile; 반복 잠수 회수, 잠수 시간, 최대 수심 등), 사고 현장의 수중 환경, 날씨, 풍속, 파도의 방향, 수중 시야, 수온, 장비, 시체부검 등이 종합되어야만 합리적인 사인 규명이 가능해진다.

수중에서는 주변 온도의 급격한 변화, 하강 중의 주위 압력 상승에 따른 심장 내의 혈액 저류, 과호흡, 호흡정지, 잠수 중의 과도한 신체활동 등에 의해¹⁴⁾ 심장에 별다른 이상이 없는 경우에도, 육상에서보다 수중에서 부정맥이 22배 더 빈발하는 것으로 알려져 있다.¹⁵⁾ 이렇듯 잠수 중의 신체활동은 그 자체가 심장의 이상을 유발할 수 있고, 그것이 육상에서 발생한 경우라면 생명을 위협할 정도가 아니었을 텐데 유감스럽게도 수중에서의 이런 가벼운 심장 이상도 치명적인 사고로 이어질 수 있다는 점이 잠수 관련 사망의 본질적인 특성이 될 것으로 생각된다. 이 경우 부검에서 의사의 소견이 확보된다면 의사의 선행원인은 밝혀내지 못하거나 혹은 무시된 채 단순한 의사로 처리되는 사인 판단의 오류 내지는 한계에 부딪히게 되고 만다.

공포(panic)는 응급상승의 약 1/5에서 그 원인으로 작용하는 것으로 보고되어 있다.¹⁰⁾ 잠수부가 공포상황에 빠져 과호흡을 하게 되면 호흡기에 기능적 장애가 없더라도 호흡기의 공급 용량을 초과하는 호흡을 하게 되므로 호흡에 불편 혹은 저항을 느낀 잠수부가 호흡기 고장으로 착각하고 더욱 당황하여 호흡

기를 내뱉어 버리고 응급상승이나 탈출을 시도하다 결국 익사에 빠지는 상황도 발생할 수 있다. 이와 같이 공황발작(panic attack)이나 부정맥 같은 기능적 요인은 아무리 부검을 철저히 한다더라도 부검 소견만으로는 밝히기 어렵다는 점도 인식하고 있어야 한다.

잠수자의 병력과 잠수 조건의 상호작용도 또한 고려되어야 한다.⁴⁾ 질병, 신체적 건강상태 및 탈진, 음주 혹은 약물 복용, 잠수 반사, 저체온, 잠수경험 혹은 잠수자격의 수준에 따라 매우 사소한 요인이 치명적인 결과를 초래하는 선행원인이 될 수도 있기 때문이다.

래저 잠수부의 사망 사고에서 뇌동맥공기색전증은 익사에 이은 두 번째 빈도의 사인으로 전체 사망의 약 30%를 차지한다고 알려져 있다.¹⁶⁾ 그러나 뇌 공기색전의 원인이 무엇이든 간에 그 결과는 같다. 즉 파열된 폐포로부터 공기 방울이 폐정맥으로 들어오고 이어 좌심방, 좌심실을 거쳐 전신순환으로 가면서 동맥혈관을 폐쇄하게 된다. 잠수부가 수표면으로 상승한 직후(5~10분)에 의식소실을 보이거나 소리를 지르는 등 이상 증상을 보인다면 일단 뇌공기색전증을 의심해야 한다. Wheen 등¹⁷⁾은 뇌동맥공기색전증의 사인규명을 위한 3가지 기준으로 ① 급상승에 이은 의식소실 등의 정황, ② 좌심방 윌리스 환(circle of Willis)내 공기색전, ③ 기종(피하, 중격동) 혹은 기흉 등의 소견을 제시하였다. 그러나 동맥공기색전증의 선행원인으로서의 폐 압력손상의 증상, 즉 흉부 통증이나 호흡곤란, 각혈, 중격동 기종이나 기흉 등의 증상이 모든 증례에서 동반되는 것은 아니라는 사실도 이해하고 있어야 한다.¹⁶⁾

감압병은 혈관이나 조직 속에 유리된 질소가스에 의해 혈관의 색전 혹은 조직에의 허혈성 손상을 초래하는 것이 기본 기전이지만, 공기와 혈액의 상호작용에 의해 혈전 형성을 촉진하고 이로 인해 파종혈관내응고(DIC, disseminated intravascular coagulation)를 야기할 수 있다.¹⁸⁾ 그러나 감압병 자체가 직접적인 사인이 되는 경우는 흔치 않다¹⁰⁾는 점도 고려해야 한다.

Webster⁶⁾는 잠수사고를 직접원인(Proximate causes)과 기여원인(Contributory causes)의 관점에서 분석하였다. 그 결과 86건의 다이빙 관련 사망 중 46건에서 탈진(흔히 panic과 연관된)이 직접원인으로 작용하였고, 다른 16건은 얼음 밑이나 해조류, 그물 등에 갇히거나 걸려서 익사에 이르렀다고 하였다. 기여원인으로는 수중 안전규칙을 무시하거나 소홀히 하는 것으로 자신의 잠수능력에 대한 과신이 사고로 이어진 경우가 28건이었고, 응급상황에서의 대처를 위한 짝(buddy)다이빙 원칙을 무시한 나홀로(solo) 다이빙이 15건, 그리고 장비의 이상이 23건이었다고 하였다.

그러나 이런 직접원인과 기여원인의 분류보다는 Denoble 등³⁾이 제안한 연속순차 유인(sequential events)의 개념이 더 실질적인 도움이 될 것으로 보인다. 그들이 주장한 연속순차 유

인이란 잠수사고의 원인을 촉발요인(trigger), 불능잠수요인(disabling agent), 불능손상요인(disabling injury), 사인(COD, cause of death)의 4단계로 분류하여 그 인과관계의 선후관계를 반영하자는 것이다. 이러한 분류가 중요한 이유는 잠수사망에서 불능손상요인이 결과적인 직접 사인보다 잠수안전에 관한 더 실질적인 정보를 전달해 줄 수 있기 때문이다. 예컨대 공기부족이 촉발요인이 되어 응급상승(disabling agent)을 시도하다 뇌 동맥공기색전증(disabling injury)이 발생하였고, 결국 의식을 잃은 잠수부가 다시 수중으로 가라앉으면서 익사에 이르렀다면, 익사라는 결과적 사인보다는 뇌 동맥공기색전이라는 치명적 손상이 더 의미가 크고, 잠수사고 예방 및 안전의 관점에서는 왜 공기부족 상태가 발생하였는지, 그것이 잠수부의 부주의인지 아니면 장비의 이상 때문인지를 밝히는 것이 더 중요하다는 것이다. 이와 같이 잠수사고는 몇 가지 원인 인자들이 인과관계의 연쇄 고리를 형성하고 있게 마련이고, 따라서 이들 순차적 인과관계의 연결고리를 파악하는 것이 조사의 핵심이 되어야 한다.

Caruso¹⁰⁾는 직접사인에 기여하는 가장 흔한 원인은 공기 부족, 갇힘(entrapment), 응급상승 등이고, 그밖에 짝과의 분리나 짝 없는 단독 다이빙도 다이빙 사고의 주요한 원인으로 작용한다는 연구보고에서, 잠수 중에 발생하는 익사는 여러 가지 다이빙 사고의 마지막 결과일 수 있다는 점에 주목해야 한다고 강조하였다. 이것이 잠수사고의 사인규명에서 법의의사가 가장 유념해야 할 부분으로 생각된다. 잠수사고에서의 사인으로 익사가 가장 많은 이유는 수중환경이라는 상황적 특성에 의한 당연한 결과이기도 하겠지만 다른 선행원인을 밝히지 못함으로 인해서 결국은 익사라는 사인 밖에는 제시할 수 없는 상황도 분명히 적지 않으리라고 생각된다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 김¹⁹⁾은 잠수 중의 익사에 대해서는 “잠수익사” 또는 “잠수 중 익사”라는 별도의 사인 분류를 만들어 통상적인 익사와는 구별할 필요가 있다고 제안하였다.

잠수 후 상승 과정에서 정맥 내 미세 기포형성(micro gas bubbles)은 비교적 흔히 발생하는 현상이지만, 이들은 대개 폐순환 과정에서 걸러지기 때문에 특별한 문제를 일으키지 않는다. 그러나 난원공개존 같은 심장 내 단락이 있는 경우에는 압력 평형을 위한 발살바 수기(Valsalva maneuver)의 과정에서 우심의 압력이 올라감으로써 이 단락을 통해 기포가 동맥순환으로 넘어갈 수 있게 된다.²⁰⁾ 실제 Cantais 등²¹⁾의 연구에서, 감압병 증상을 보인 101명의 잠수부 중 58.4%에서 우-좌 단락이 확인된 반면, 대조군 잠수부에서는 24.8%에서 단락이 발견되었다고 하였다. 이와 같이 혈관 내 가스는 압력손상이나 감압실패에 의해서는 물론 정상 다이빙 중에도 미세 기포 형태로 온전한 폐순환을 통해서 발생할 수 있으므로 부검 술기의 적용 및 그 소견의 해석에 신중을 기해야 할 필요성을 강조해 주지만, 더욱 주목해야 할 것은 사망 후에도 시체가 인양되는 과정

에서 주변 압력이 떨어지면 잠수 중의 압축공기 호흡으로 혈관이나 조직에 과용해 되어 있던 질소가 사후에 기포를 형성(postmortem off-gassing)할 수 있다는 것이다.⁹⁾ 더욱이 수중에서 의식을 잃고 쓰러진 잠수부를 구조목적으로 급하게 수면으로 상승시킨 경우, 잠수부의 폐에 담고 있던 공기가 주변 압력의 저하에 따라 팽창됨으로써, 이 때문에 폐 압력손상에 이은 공기색전증이 발생할 수도 있다.²²⁾ 따라서 동맥 공기색전증이나 감압병의 진단, 혹은 이들의 감별진단을 위해서는 철저한 해부소견의 확보와 함께 잠수행적에 대한 정보의 확보가 필수적이게 된다. 이때 급상승의 증거로 간주할 수 있는 조건들로는 수표면 도착 후 소리를 지르거나 의식소실에 빠지는 것, 잠수부가 착용하고 있던 잠수 컴퓨터 상에 기록된 상승 속도, 고막 파열, 폐 파열 혹은 출혈, 공기통 내 공기 소진 등이 있다.²³⁾

혈관 내 공기 색전의 해석에서는 감압병과 폐압력손상에 이은 동맥공기색전의 감별이 필요해진다. 주로 동맥 내에 집중된 혈관 내 공기가 부검 중에 발견된다면 공기색전증이 강력히 의심될 수 있지만, 이 경우 잠수정황이 공기색전증에 부합되는지 확인해야 한다. 또한, 공기가 좌심실에서만 발견되었거나 혹은 양심실에서 발견되었으나 좌심실에서 산소농도가 우심실의 것보다 높다면 이 경우에도 공기색전증의 가능성을 시사한다. 그러나 궁극적으로는 감압병과 폐 압력손상에 이은 동맥공기색전의 감별을 위해서는 혈관 내 공기의 성분 분석이 필요하다.⁹⁾ 폐 압력손상에 의한 동맥공기색전의 경우에는 혈관 내 가스의 산소농도가 높기 때문이다.

Lawrence²³⁾는 다이빙 관련 사망의 부검 시 관찰되는 혈관 내 공기의 의미를 연구하였다. 13건의 다이빙 사망 중 12건에서 혈관 내 공기 관찰되었고, 12건 중 5건은 잠수정황이나 부검 소견에서 공기색전증의 가능성이 전혀 의심되지 않았다고 하였다. 반면 다이빙과 관련 없는 일반 사망 13건 중 10건에서 방사선사진과 부검 소견에서 혈관 내 공기가 확인되었고, 그중 5건은 간문맥과 간정맥에서 소량의 공기가 확인되었지만 다른 5건은 심장과 경부정맥, 간문맥과 간정맥에서 다량의 공기 확인되었다고 하였다. 이들 사망건의 사후 경과 시간은 5시간~8일(평균 35시간)이라고 보고하였다. 그는 동맥공기색전증 이외에, 혈관 내 가스의 원인으로 부패 과정에서의 세균에 의한 가스 형성, 기도삽관을 통한 양압호흡이나 정맥관 확보를 통한 혈관 내 공기유입, 사후 감압(postmortem decompression)에 의한 혈액 내 포화질소의 기포화(postmortem off-gassing) 등을 제시하였다. 육안적으로 이미 심하게 진행된 정도가 아닌 한, 부패로 인한 혈관 내 가스는 다이빙 중의 공기색전에 비하여 소량이 그친다. 그러나 그러한 정도의 어렵짐작만으로는 객관적인 결론을 내리기 어렵기 때문에 부패 가스와 공기색전의 감별을 위해서는 혈관 내 가스의 분석이 필요하다. 부패로 인한 혈관 내 공기나 사후 감압으로 인한 기포(postmortem off-gassing)의 경우에는 산소 농도가 낮고 주로 질소와 이산화탄

소로 구성되므로, 결국 이산화탄소와 수소 농도의 증가가 부패에 대한 가장 좋은 표지자(marker)가 될 수 있다.²³⁾

결론적으로, 다이빙 관련 사망의 사인 규명을 위해서는 잠수 상황에 대한 정보에 근거하여 부검술식이 결정되어야 하고, 대표적인 사인이 되는 익사와 공기색전, 잠수병, 그밖에 기존질환이 사망을 초래한 선행원인이 되었을 가능성에 대해 고려를 하면서 사인 입증을 위한 부검소견의 확보를 위해 노력해야 한다. 잠수 관련 사망의 부검에서 가장 어려운 과제가 되고 있는 공기색전의 입증을 위해서는 부검 전 사후 방사선검사를 시행하는 것이 필요하지만, 부패와 소생술, 그리고 사후 감압에 의한 질소 기포의 생성 등 혈관 내 공기 기포를 야기할 수 있는 간접현상을 배제하기 위해서는 현장에서 부검실로 이어지는 시체 관련 정보의 관리 및 전달, 그리고 가능한 한 빠른 시간 내에 부검이 이루어질 수 있게 하는 검시 제도상의 보완도 필요하다. 사회경제적 여건의 개선으로 국내 다이빙 인구는 계속 늘어날 것으로 예상된다. 따라서 이런 종류의 사고성 사망에 대한 국가 검시제도의 관심이 증대될 필요가 있고, 그러한 관심 표명의 시작은 잠수 관련 사망 사고의 발생 시 사인과 사고의 원인을 적극적으로 규명해야 할 필요성에 대한 인식의 전환과 사회적 공감대의 형성을 통해 뒷받침되어야 한다. 잠수 관련 사망자에 대한 철저한 사후조사, 즉 부검이 중요한 이유는 한 사람의 사망을 통해서 남은 사람들이 배우고 얻어야 할 교훈이 결코 작지 않기 때문이다.

참 고 문 헌

1. Ihama Y, Miyazaki T, Fuke C, et al. Scuba-diving related deaths in Okinawa, Japan, from 1982 to 2007. *Legal Med (Tokyo)* 2008;10:119-24.
2. Lansche JM. Deaths during skin and scuba diving In California in 1970. *Calif Med* 1972;116:18-22.
3. Denoble PJ, Caruso JL, Dear GL, et al. Common causes of open-circuit recreational diving fatalities. *Undersea Hyperb Med* 2008;35:393-406.
4. Busuttil A, Obafunwa J. A review of the forensic investigation of scuba diving deaths. *Sci Justice* 1995;35:87-95.
5. Obafunwa JO, Purdue B, Busuttil A. Endomyocardial fibrosis in a scuba diving death. *J Forensic Sci* 1993;38:1215-21.
6. Webster DP. Skin and scuba diving fatalities in the United States. *Public Health Rep* 1966;81:703-11.
7. Haydon JR, Williamson JA, Ansford AJ, et al. A SCUBA-diving fatality. *Med J Aust* 1985;143:458-62.
8. Williamson JA, King GK, Callanan VI, et al. Fatal arterial gas embolism: detection by chest radiography and imaging before autopsy. *Med J Aust* 1990;153:97-100.
9. Plattner T, Thali MJ, Yen K, et al. Virtopsy-postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) in a fatal scuba diving incident. *J*

- Forensic Sci 2003;48:1347-55.
10. Caruso JL. Pathology of Diving Accidents. In: Brubakk AO, Neuman TS. ed. *Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving*. 5th ed. Philadelphia: Saunders, 2003:729-43.
 11. Sim RJ, Youngs RP. Otolaryngological requirements for recreational self-contained underwater breathing apparatus (SCUBA) diving. *J Laryngol Otol* 2007;121:306-11.
 12. Lawrence C, Cooke C. Autopsy and the investigation of scuba diving fatalities. *Diving Hyperb Med* 2006;36:2-8.
 13. Michalodimitrakis E, Patsalis A. Nitrogen narcosis and alcohol consumption - a scuba diving fatality. *J Forensic Sci* 1987;32:1095-7.
 14. Doubt TJ, Hogan PM. The arrhythmogenic potency of hydrostatic pressure on cardiac conduction. In: Bachrach AJ, Matzen MM, ed. *Underwater Physiology VIII*. Bethesda: Underwater Medical Society, 1980:235-40.
 15. McDonough JR, Barrut J, Saffron JC. [Letter] The medical problems of underwater diving. *N Engl J Med* 1992;326:1498.
 16. Kizer KW. Dysbaric cerebral air embolism in Hawaii. *Ann Emerg Med* 1987;16:535-41.
 17. Wheen LC, Williams MP. Post-mortems in recreational scuba diver deaths: the utility of radiology. *J Forensic Leg Med* 2009;16:273-6.
 18. Melamed Y, Shupak A, Bitterman H. Medical problems associated with underwater diving. *N Engl J Med* 1992;326:30-5.
 19. Kim YS. Checklist for forensic investigation on fatal SCUBA diving accidents. *Korean J Leg Med* 2009;33:107-10.
 20. Schminke U, Ries S, Daffertshofer M, et al. Patent foramen ovale: a potential source of cerebral embolism? *Cerebrovasc Dis* 1995;5:133-8.
 21. Cantais E, Louge P, Suppini A, et al. Right-to-left shunt and risk of decompression illness with cochleovestibular and cerebral symptoms in divers: case control study in 101 consecutive dive accidents. *Crit Care Med* 2003;31:84-8.
 22. Edmonds C. A forensic diving medicine examination of a highly publicized scuba diving fatality. *Diving Hyperb Med* 2012;42:224-30.
 23. Lawrence C. Interpretation of gas in diving autopsies. *SPUMS J* 1997;27:228-30.