

# 한국에서 고압산소치료의 현재 동향과 임상적 적용

유연호<sup>1</sup> · 김희덕<sup>2</sup> · 김현<sup>3</sup> · 최상천<sup>4</sup> · 김기운<sup>4</sup> | <sup>1</sup>충남대학교 의과대학 응급의학교실, <sup>2</sup>동명세계로병원 외과, <sup>3</sup>연세대학교 원주의과대학 응급의학교실, <sup>4</sup>아주대학교 의과대학 응급의학교실

## Clinical applications and contemporary trends of hyperbaric oxygen therapy in Korea

Yeon Ho You, MD<sup>1</sup> · Heeduck Kim, MD<sup>2</sup> · Hyun Kim, MD<sup>3</sup> · Sangcheon Choi, MD<sup>4</sup> · Giwoon Kim, MD<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Emergency Medicine, Chungnam National University College of Medicine, Daejeon, <sup>2</sup>Department of General Surgery, Tongyeong Segyero Hospital, Tongyeong, Department of Emergency Medicine, <sup>3</sup>Yonsei University Wonju College of Medicine, Wonju, <sup>4</sup>Ajou University College of Medicine, Suwon, Korea

Hyperbaric oxygen therapy (HBOT) is approved in the United States for 14 accepted indications, which are approved by the HBOT committee of the Undersea and Hyperbaric Medical Society and by the Food and Drug Administration. These indications are also used worldwide. HBOT is a mode of medical treatment in which the patient is situated in an enclosed pressure chamber and breathes 100% oxygen at a pressure greater than 1 atmosphere absolute (ATA), with the usual therapeutic pressure set at greater than 1.4 ATA. In South Korea, an expanded knowledge base and formalized education in HBOT do not exist, and numerous HBOT devices are old and nearing the cessation of operation, although HBOT has undergone refinement, with an increased understanding of mechanisms of action and clinical applications. Furthermore, there is no specific board certification of HBO competence for emergency, critical care, and surgical physicians and technicians in South Korea. We summarize the existing literature on the uses of HBO with the aim of enhancing the understanding of this therapeutic technique.

**Key Words:** Hyperbaric oxygenation; Therapy; Complications

### 서론

고압산소치료란 고농도의 산소를 높은 압력으로 환자에게 투여하는 치료법으로, 100% 산소와 최소 1.4기압 이상의 압력을 사용한다[1]. 혈액을 통해 운반되는 대부분의 산

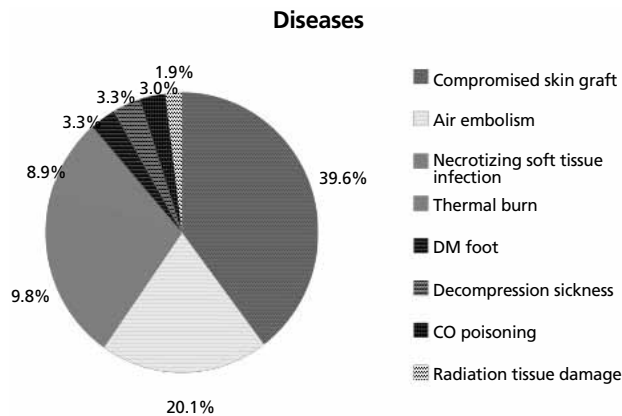
소는 산소-헤모글로빈 결합 형태로 운반된다. 산소가 산소-헤모글로빈 결합 형태로 운반되면 산소-헤모글로빈 해리의 생리적 특징, 즉 헤모글로빈 완충작용 때문에 공급되는 산소농도가 60-120 mmHg 사이로 변한다. 해도조직에 공급되는 산소농도는 일정하게 유지될 수 있다. 정상기압에서 혈장 용존 산소는 단지 100 mL의 혈액 중 0.3 mL(이를 volumes percent [vol%]라고 한다)이며, 반면에 헤모글로빈에 의한 것은 20 mL (20vol%)이다. 기압을 3기압으로 올리면 PaO<sub>2</sub>는 2,200 mmHg에 달하며 이는 혈장 용존 산소량은 5.4vol%로써 정상 0.3vol%의 18배 정도까지 증가하게 된다. 그러므로 이렇게 높아진 산소분압은 헤모글로빈이 완전히 없어도 기초대사기능을 지속적으로 유지시킬 수 있는

Received: April 15, 2014 Accepted: April 29, 2014

Corresponding author: Giwoon Kim  
E-mail: flyingguy@ajou.ac.kr

© Korean Medical Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



**Figure 1.** This image shows the incidence of clinical application of hyperbaric oxygen therapy at each disease. DM, diabetes mellitus, CO, carbon monoxide.

충분한 산소를 공급할 수 있으며, 이러한 점이 치료의 원리가 된다[2].

1기압 이상의 압력에서는 혈장에 산소가 용해되기 때문에 압력상승에 따라 혈액의 산소용적 백분율이 증가하고 뇌증상 특히 경련을 일으키는 산소독성이 발생할 수 있다[2]. 그러나 3기압을 넘지 않고 120분 이하로 고압산소치료를 시행한다면, 산소독성은 잘 발생하지 않는다. 또한 산소공급 30분마다 산소공급을 5분 동안 중단한다면 산소독성을 예방할 수 있다. 이같은 이유로 대부분의 고압산소치료에서는 산소공급 기간을 20-30분 정도로 하고, 반드시 그 이후에는 5-10분 정도 산소공급을 중단하게 된다[3,4].

### 고압산소치료의 국내 현황

2012년부터 2013년까지 2년 동안 고압산소치료에 대한 건강보험심사평가원에 건강보험 신청한 자료를 분석한 결과 총 54개의 의료기관에서 전체 55,203건을 요청하였다. 질환 별로는 피부이식 후 상처치료 21,856건(39.6%), 공기색전증 11,119건(20.1%), 괴사성 연조직 감염치료 10,916건(19.8%), 열화상 4,930건(8.9%), 당뇨족 1,845건(3.3%), 갑압병 1,844건(3.3%), 일산화탄소 중독 1,669건(3.0%), 방사선 치료 후 발생한 조직손상 1,025건(1.9%)으로 조사 되었다(Figure 1).

그러나 현재 우리나라에서 고압산소치료는 그 실태를 파

악하기 매우 어려운 상황이다. 1980년대 일산화탄소 중독이 많은 경우 당시 세계 최고 수준으로 전국에 300여 곳에서 운영되던 것이 점차 노후화되고, 미국 등과 같이 갑압병, 창상 및 허혈성 질환에 대한 활용으로 이어지지 못하였으며, 수가가 30년 전 상태로 머무르면서 사실상 후진국의 치료법, 투자가 필요없는 장비 및 시설로써 방치되었다고 말할 수 있다. 국내에는 현재 1.4기압 이상의 챔버 제작업체가 모두 철수한 상태이며, 사용되는 장비는 20년 이상된 단실챔버이거나, 복실챔버 또는 기압을 높게 올리지 못하는 챔버일 경우가 많을 것으로 생각된다. 또한 관리체계나 미국과 같은 고압의학 전문의 제도, 기술자, 관리자 등의 교육시스템이 부재한 것도 향후 이 고압의학이 성장하는데 큰 장애물이 될 가능성이 있다.

### 고압산소치료 챔버의 종류

고압산소치료에 사용되는 챔버의 종류는 크게 단실챔버와 복실챔버로 나뉜다. 단실챔버는 가압실이 한 개로 구성되며, 보통 3기압 이상 가압할 수 없게 되어 있다. 단실챔버는 챔버 내부에서 어떠한 처치를 시행할 수 없기 때문에 중환자, 즉 무호흡증이 동반된 경우, 특히 중증 일산화탄소 중독 환자는 고압산소치료가 불가능하다. 복실챔버는 이중 격실로 제작되었으며, 고압 중에도 치료자가 드나들 수 있으며, 흡입공기는 100% 산소로, 가압공기를 일반 공기나 치료기체를 사용하기 때문에 화재 위험이 단실챔버에 비해 덜하다. 또한 6기압 이상 가압할 수 있기 때문에 높은 압력을 필요로 하는 질환의 경우에도 이용할 수 있으며, 챔버 내부에서 환자 감시 및 간단한 처치도 할 수 있다[2].

국내에서 지역응급의료센터 이상의 응급실을 운영하는 종합병원에서 고압산소챔버를 보유한 경우는 14개 병원으로 단실챔버를 보유한 병원이 13개 병원, 복실챔버를 보유한 병원이 1개 병원으로 조사되었다. 즉, 대부분 병원에서는 중환자에게 고압산소치료를 적용할 수 없으며, 보유하고 있는 단실챔버도 노후화되어 있어 고압산소치료를 적용하기 어려운 실정이다.

**Table 1.** Indications of hyperbaric oxygen therapy from Undersea and Hyperbaric Medical Society[5]

Air or gas embolism
Carbon monoxide poisoning
Carbon monoxide poisoning complicated by cyanide poisoning
Clostridial myositis and myonecrosis (gas gangrene)
Crush injury, compartment syndrome and other acute traumatic ischemias
Decompression sickness
Arterial insufficiencies
Central retinal artery occlusion
Enhancement of healing in selected problem wounds
Severe anemia
Intracranial abscess
Necrotizing soft tissue infections
Osteomyelitis (refractory)
Delayed radiation injury (soft tissue and bony necrosis)
Compromised grafts and flaps
Acute thermal burn injury
Idiopathic sudden sensorineural hearing loss

## 고압산소치료의 적응증

고압산소치료의 적응증은 각 나라마다 서로 다르다. 미국의 UHMS (Undersea and Hyperbaric Medicine Society)에서는 그 효과가 입증된 질환들로서 14가지를 제시하고 있다 (Table 1) [5].

### 1. 감압병

단실챔버로도 감압병을 치료할 수 있지만, 산소투여 중간에 일반공기를 흡입할 수 있게 해주는 장치(BIBS, built-in breathing system)가 있어야 하고, 압력 또한 최소 6기압까지 올릴 수 있어야 하므로, 감압병을 치료하기 위해서는 복실챔버가 갖춰져 있어야 한다. 감압병 치료는 전세계적으로 미국해군 잠수 지침서의 치료표를 기본으로 사용하고 있지만, 해당 치료센터의 임상경험이 풍부하고 자체적으로 사용하고 있는 치료표가 있다면 그 치료표를 사용하도록 권하고 있다[6].

### 2. 공기색전증

공기색전증의 가장 효과적인 치료는 고압산소치료이다. 고압산소를 통해 공기 색전의 크기도 줄일 수 있을 뿐 아니라 공기 색전으로 인해 발생하는 이차적인 화학반응도 막

을 수 있다. 일반적으로 받아들여지고 있는 공기색전증의 고압산소치료 프로토콜은 처음 6기압까지 가압해서 30분 동안 유지한 후 2.8기압으로 감압하여 산소를 투여하는 것이다. 단실챔버를 사용하고 있는 상태라면 3기압까지 가압해서 100%산소로 30분 동안 유지한 다음 2.5기압까지 감압해서 100% 산소로 1시간 동안 유지한다. 그 후 첫 번째 치료에도 증상이 남아 있다면, 한 시간 후 다시 치료를 시작한다. 초기 치료는 24시간 이내 3회까지 가능하다[7].

### 3. 일산화탄소 중독

일산화탄소 중독에 대한 고압산소치료의 효과에 대해서는 아직 논란이 많다. 고압산소치료를 시행해야 할 주요 증상과 징후로는 심전도 이상소견, 대사성 산증, 혈액검사 소견 이상, 임신이 의심될 때, 흉통, 의식 혼미, 지남력 상실, 성격변화, 의식변화를 동반한 약물중독, 기면상태, 신경학적 검사상 이상소견이 있는 경우이다. 일산화탄소 중독에 대한 고압산소치료는 초기 45분 동안 3기압으로 100% 산소를 투여하고, 이어서 2기압으로 2시간 혹은 일산화탄소해모글로빈이 10% 미만으로 떨어질때까지 산소를 투여한다[2].

### 4. 당뇨병, 피부이식 및 수술 후 상처치료

피부이식 후 조직 생존에 대한 고압산소치료의 효과는 아직 입증되지 않았다. 그러나 조직에 산소 분압이 20 mmHg 이하로 떨어지게 되면, 조직에 허혈이 발생하고, 이로 인해 감염에 취약하게 된다. 이때 조직에 산소를 공급하여 산소 분압을 증가시키면, 백혈구의 살균작용이 활성화되고, 혈관 신생에 필요한 섬유모세포와 아교질 공급이 증가한다. 이같은 이유로 당뇨병, 방사선 치료 후 발생한 피부궤양, 피부이식 및 수술 후 상처치료에 고압산소치료를 이용하고 있다 [8-10].

### 5. 괴사성 연조직 감염

괴사성 연조직 감염에 대한 고압산소치료는 보조적 수단으로써 권고되고 있다. 괴사성 연조직 감염의 경우 혐기성 세균이 혼재되어 있고, 고압산소치료가 살균작용을 활성화시키는 효과를 갖고 있어 괴사성 연조직 감염에 고압산소치

료를 사용하고 있다. 그러나, 괴사성 연조직 감염에 대한 일차적 치료는 괴사 조직 제거와 항생제 치료로, 이후 치료에 반응이 없는 경우 고압산소치료를 고려해 볼 수 있다[11].

### 6. 방사선 조사로 인한 조직손상

방사선 조사 후에 발생하는 조직손상으로는 방사선골괴사, 방광염, 장염 등이 보고되고 있다. 이 손상의 원인은 폐쇄동맥내막염으로 인한 조직손상이다. 따라서 혈관 신생에 필요한 섬유모세포와 아교질 공급을 증가시키고, 조직의 산소분압을 증가시키는 고압산소치료가 방사선 조사 후에 발생하는 조직손상에 대한 치료로써 고려될 수 있다. 특히 하악골에서 발생한 방사선골괴사의 경우 치료율이 91%에 이른다. 하지만 다른 방사선 조사로 인한 조직손상에 대하여 고압산소치료의 효과는 아직 입증되지 않고 있다[12,13].

### 7. 열화상

열화상으로 손상된 조직은 부종, 혈류 정체, 혈액응고 등으로 손상이 가중된다. 고압산소치료는 이런 조직 내 부종을 감소시키고, 손상 부위의 상피화를 촉진시키며, 조직의 염증을 감소시키므로써, 손상된 조직 주변부위를 보존하는 효과가 있다[14].

### 8. 압괴손상과 구획증후군

압괴손상과 구획증후군에 대한 고압산소치료는 보조적 수단으로써 권고되고 있다. 압괴손상과 구획증후군에서는 허혈로 인해 조직이 괴사가 되고, 결국 절단까지 하는 경우가 발생할 수 있다. 손상된 조직은 감염에 취약하며, 부종과 감염으로 인해 손상부위 회복이 어려울 수 있다. 고압산소치료는 살균 작용을 활성화시키며, 조직의 산소분압을 증가시켜, 손상부위 회복에 도움이 될 수 있다. 이같은 이유로 압괴손상과 구획증후군에서 고압산소치료를 사용하고 있으나, 압괴손상과 구획증후군에 대한 일차적 치료는 수술과 항생제 치료임을 명심해야 한다[15].

### 9. 가스괴저

고압산소치료는 가스괴저 균이 생성하는 알파독소를 제거

하거나 약화시키지 못한다. 하지만, 고압산소치료를 시행하는 동안 가스괴저를 일으키는 클로스트리디움 균은 알파독소를 생성하지 못한다. 이같은 이유로 가스괴저에 대해 고압산소치료를 사용하고 있으나, 일차적 치료는 수술과 항생제 치료이다[12].

### 10. 심각한 빈혈

환자가 심각한 빈혈이 있음에도 불구하고 종교적인 이유 등으로 수혈이 불가능할 경우 일시적으로 고압산소치료를 시행할 수 있다. 고압산소치료는 혈장에 산소를 용해시키므로, 압력상승에 따라 혈액의 산소분압을 증가시키고, 혈액이 생성될 때까지 조직으로 이동되는 부족한 산소를 보충하게 된다[16].

### 11. 치료에 반응하지 않는 골수염

고압산소치료는 뼈와 조직의 산소분압을 증가시킨다. 이는 혈관 신생과 백혈구의 살균기능을 높이며, 아미노글리코시드가 세균의 세포벽을 통과하는데 도움을 준다. 또한 고압산소치료는 파골세포 활성화를 통해 괴사된 뼈를 제거하는데 도움을 주어, 골수염에 대한 치료효과를 나타낸다[17].

### 12. 두개 내 농양

두개 내 농양이 뇌 실질 깊이 존재하거나 여러 부위에 발생된 경우, 수술로써 이를 제거하기가 힘들다. 이 경우 고압산소치료를 적용할 수 있는데, 고압산소치료는 혐기성 세균을 치료할 수 있을 뿐 아니라, 조직의 부종 감소에도 효과적이다[12].

## 금지증

고압산소치료의 유일한 절대적 금지증은 치료하지 않은 기흉이다. 고압산소치료를 시작하기 전에 기흉을 수술적으로 완전히 해결해서, 가능하면 고압산소치료에 방해가 되지 않도록 해야한다. Upton 등[18]은 쥐를 대상으로 독소루비신의 피부독성에 대한 고압산소치료의 효과를 연구하였다.

이 실험에서 고압산소치료를 받은 쥐 중 약 87%가 사망하였다. 따라서 불가피하게 고압산소치료를 해야 한다면 독소 루비신 약물치료 후 최소 2-3일이 지난 후에 고압산소치료를 시작하는 것을 권고하고 있다. 마페나이드는 탄산탈수효소억제제로서 이산화탄소 형성을 촉진하며, 이로 인해 말초혈관 확장을 일으킨다. 이와 동시에 고압산소치료로 인해 중심혈관이 수축하게 되면, 환자의 혈액학 상태를 악화시킬 수 있다. 따라서 고압산소치료를 해야 할 때는 치료 전에 마페나이드 크림을 완전히 씻어내야 한다[2].

## 고압산소치료의 합병증

고압산소치료의 합병증 중 중이 손상은 영구적인 청력소실과 현훈을 일으킬 수 있기 때문에 사전에 예방해야 한다. 이를 예방하기 위해서는 느리게 가압하는 것이 중요하다. 상기도 감염이 있는 환자에서는 가압하는 과정에서 코결골이 막힐 수 있는데, 이때 환자는 심한 통증을 느끼게 된다. 이를 예방하기 위해서는 상기도 감염이 나올 때까지 고압산소치료를 연기하고, 만일 고압산소치료를 급히 시행해야 할 상황이라면 코충혈 제거제를 투여하고 가압을 느리게 시행해야 한다. 고압산소치료의 급성기 합병증으로써 근시가 발생할 수 있는데, 이는 가역적인 질환으로 치료 중단 후 소실된다. 고압산소치료로 인한 폐 압력손상은 매우 드문 질환으로, 2기압으로 시행된 고압산소치료에서는 보고된 경우가 없다. 그러나 고압산소치료로 인한 폐압력손상이 일어나면, 공기색전증 및 긴장성 기흉과 같은 치명적인 합병증이 발생할 수 있다. 이런 상황이 발생하면 가압을 멈추고 가슴천자술을 시행해야 한다. 복실챔버에서 일어난 산소경련이라면 바로 산소호흡기를 제거해줘야 한다. 그리고 환자가 경련을 하고 있는 동안에는 절대로 감압을 시도해서는 안 된다. 경련을 하고 있는 동안에는 기도가 막혀있는 상태로, 이때 감압을 시행하면 폐 과팽창으로 인해 폐 파열이 일어날 수 있기 때문이다. 감압병은 높은 압력으로 가압한 상태에서 빠른 속도로 감압할 때 발생하는데, 최근에 발생한 보고는 없다. 폐쇄공포증은 고압산소치료의 상대적 금기증이기도 하지만 고압산소치료의 결과로 발

생할 수 있다. 일반사람들에게서도 폐쇄공포증은 흔하며, 이런 사람들을 챔버에 넣었을 때 불안 증상이 나타나기도 한다. 이런 환자들은 고압산소치료 시작 전에 폐쇄공포증에 대한 적절한 치료를 시행하는 것이 도움이 된다[1,2].

## 결론

이론적인 치료 기전이나 몇몇 의미 있는 임상연구를 통해, 고압산소치료는 다양한 질환에서 효과적인 치료법임을 알 수 있다. 그러므로 적응증이 되는 질환에 대해 고압산소치료를 적극적으로 사용할 필요가 있다. 그러나 우리나라의 고압의학의 현실은 매우 낙후되어 있으며, 이를 해결하기 위한 거시적이고 다양한 방법이 모색되어야 할 시기가 되었다.

## 찾아보기말: 고압산소; 치료; 합병증

## ORCID

Yeon Ho You, <http://orcid.org/0000-0001-5998-2510>

Heeduck Kim, <http://orcid.org/0000-0002-6609-5351>

Hyun Kim, <http://orcid.org/0000-0002-1696-9401>

Sangcheon Choi, <http://orcid.org/0000-0003-2271-3434>

Giwoon Kim, <http://orcid.org/0000-0003-2720-7442>

## REFERENCES

1. Vincent JL, Abraham EA, Moore FA, Kochanek PM, Fink MP. Textbook of critical care. 6th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2011. p. 373-375.
2. Lee HY. Hyperbaric oxygen therapy. In: Lee BK, editor. Textbook of clinical procedures. Seoul: Koonja; 2012. p. 955-971.
3. Leach RM, Rees PJ, Wilmshurst P. Hyperbaric oxygen therapy. *BMJ* 1998;317:1140-1143.
4. Tibbles PM, Edelsberg JS. Hyperbaric-oxygen therapy. *N Engl J Med* 1996;334:1642-1648.
5. Undersea and Hyperbaric Medical Society. Indications for hyperbaric oxygen therapy [Internet]. Durham: Undersea and Hyperbaric Medical Society 2011 [cited 2013 Jul 1]. Available from: <http://membership.uhms.org/?page=Indications>.



6. Shank ES, Muth CM. Decompression illness, iatrogenic gas embolism, and carbon monoxide poisoning: the role of hyperbaric oxygen therapy. *Int Anesthesiol Clin* 2000;38:111-138.
7. Catron PW, Dutka AJ, Biondi DM, Flynn ET, Hallenbeck JM. Cerebral air embolism treated by pressure and hyperbaric oxygen. *Neurology* 1991;41:314-315.
8. Boykin VJ. hyperbaric oxygen therapy: a physiological approach to selected problem wound healing. *Wounds* 1996;8:183-198.
9. Cohn GH. Hyperbaric oxygen therapy: promoting healing in difficult cases. *Postgrad Med* 1986;79:89-92.
10. Kindwall EP, Gottlieb LJ, Larson DL. Hyperbaric oxygen therapy in plastic surgery: a review article. *Plast Reconstr Surg* 1991;88:898-908.
11. Riseman JA, Zamboni WA, Curtis A, Graham DR, Konrad HR, Ross DS. Hyperbaric oxygen therapy for necrotizing fasciitis reduces mortality and the need for debridements. *Surgery* 1990;108:847-850.
12. Sahni T, Singh P, John MJ. Hyperbaric oxygen therapy: current trends and applications. *J Assoc Physicians India* 2003;51:280-284.
13. Dempsey J, Hynes N, Smith T, Sproat JE. A cost effectiveness analysis of hyperbaric therapy in osteoradionecrosis. *Can J Plast Surg* 1997;5:221-229.
14. Cianci P, Sato R. Adjunctive hyperbaric oxygen therapy in the treatment of thermal burns: a review. *Burns* 1994;20:5-14.
15. Cramer FS. Care of the injured soldier: a medical readiness role for clinical hyperbaric oxygen therapy. *Mil Med* 1985;150:372-375.
16. Hart GB. Exceptional blood loss anemia. Treatment with hyperbaric oxygen. *JAMA* 1974;228:1028-1029.
17. Calhoun JH, Cobos JA, Mader JT. Does hyperbaric oxygen have a place in the treatment of osteomyelitis? *Orthop Clin North Am* 1991;22:467-471.
18. Upton PG, Yamaguchi KT, Myers S, Kidwell TP, Anderson RJ. Effects of antioxidants and hyperbaric oxygen in ameliorating experimental doxorubicin skin toxicity in the rat. *Cancer Treat Rep* 1986;70:503-507.

### Peer Reviewers' Commentary

본 논문은 대형재난사고의 구조작업에 투입된 잠수부들에게서 감압병이 발생하고 일산화탄소 중독에 의한 사망이나 자살시도자가 증가하는 상황에, 효과적인 치료법인 고압산소치료에 대해 다양한 적응증을 설명하고 전국단위의 조사를 통해 고압챔버에 대한 실제적인 국내현황에 대해 소개하는 논문으로, 국내에서 고압산소치료의 발전이 어려운 이유를 제시하였고, 고압산소치료 원리와 적응증 뿐만 아니라 고압산소치료를 위해서 필요한 설비와 인력, 제도에 대해 요약 기술하였다. 특히 고압산소치료를 이용하여 효과적으로 치료할 수 있는 적응증에 대해 참고문헌을 근거로 간략히 요약하여 이해를 돕고 있다. 고압산소치료가 다양한 질환에 도움이 될 수 있는 시술임을 일깨워 줌과 동시에 국내 현실의 기술함으로써 향후 고압산소치료에 대한 정책과제를 제시하는 데에 의미 있는 논문으로 생각한다.

[정리: 편집위원회]