

Environmental

감압병 환자의 최적 치료를 위한 전원 경로 연구

아주대학교 의과대학 응급의학교실, 일산백병원 응급의학과¹, 해군 해양의료원²

김 진 · 정희환 · 조준필 · 전우찬¹ · 오강진² · 최상천

A Study on Heuristic Transportation Routes of Patients with Acute Dysbarism for the Best Prognosis

Jin Kim, M.D., Hoe Hwan Jeong, M.D., Joon Pil Cho, M.D., Woo Chan Jeon, M.D.¹, Kang Jin Oh, Ph.D.², Sang Chun Choi, M.D.

Purpose: Acute dysbarism is a potentially lethal injury associated with environmental medicine. Therefore, prompt treatment, including transportation of victims, is important for the best prognosis. The aim of this study was to examine transportation routes of patients with acute dysbarism for the best prognosis in Korea.

Methods: Geography of South Korea was analyzed using the geographic information system (GIS). The study examined two scenarios using transportation analysis, which relies on a GIS base and pressure variation during air and ground transportation. Given the practical assumptions, we propose some heuristic transportation routes based on the simulation of altitude, transportation time, and availability of related factors.

Results: Currently, transportation by ground to the treatment facilities always passes high altitude areas above 152 feet. Also, available helicopters for air transportation could not approach the treatment facilities due to the limitation of flying distance and insufficiency of medical staff and treatment equipment. Altitude variation and delayed time were identified during the period of transportation by ground from Ganneung or Incheon to Tongyoung. Heuristic algorithm through the above facts recommends air transport along

coasts as the best method for transportation from Ganneung or Incheon to Tongyoung.

Conclusion: In Korea, transportation by ground was not expected to result in the best prognosis for patients with acute dysbarism. Transportation by air should be considered first as the method of transportation. Also, for the best treatment of patients with acute dysbarism, additional treatment facilities need to be established in the west coast region.

Key Words: Decompression sickness, Transportation of patients, Prognosis, Medical geography

Department of Emergency Medicine, Ajou University School of Medicine, Suwon, Department of Emergency Medicine, Ilsan Inje Paik Hospital, Gyeonggi-do¹, Underwater Medical Institute of Marine Medical Center, Changwon², Korea

Article Summary

What is already known in the previous study

Acute dysbarism is a potentially lethal injury associated with environmental medicine. Prompt treatment, including transportation of victims, is important for the best prognosis. However, there is no clear report regarding transportation of victims with acute dysbarism in Korea.

What is new in the current study

In Korea, transportation by ground was not expected to result in the best prognosis for patients with acute dysbarism. Transportation by air should be considered first as the method of transportation. Also, additional treatment facilities need to be established in the west coast region.

책임저자: 최 상 천

경기도 수원시 영통구 월드컵로 164

아주대학교병원 응급의학과

Tel: 031) 219-7754, Fax: 031) 219-7760

E-mail: avenue59@ajou.ac.kr

접수일: 2015년 8월 14일, 1차 교정일: 2015년 8월 18일

게재승인일: 2015년 11월 10일

서 론

우리 나라는 삼면이 바다로 둘러 쌓여 있기 때문에 전국 어디에서도 감압병이 발생할 수 있다. 또한 최근 잠수 관련

레크레이션 활동 및 기타 잠수 관련 사업의 증가는 감압병 환자 발생의 가능성을 높이고 있다¹⁾. 일명 잠수병으로도 알려진 감압병은 혈액내에 과용해된 질소가 급격히 수면위로 상승 시 떨어지는 압력으로 인해 인체 내에서 기체화되어 신경계와 근골격계에 다양한 증상들을 나타내는 질환으로 흔히 마비, 감각 이상, 요저류, 경련, 실어증 등 뇌졸중 유사 증상과 어깨, 무릎 등의 관절통이 발생하며 흔하지 않지만 흉통, 호흡곤란, 쇼크, 사망 등이 발생할 수 있다²⁾. 실제로 최근 발생한 세월호 사건과 관련한 구조 활동에 참가하였던 다수의 잠수사가 전문치료기관으로 이송되었으며, 치료 중 사망자가 발생하였다.

신속한 치료, 표준화된 감압 설비, 치료 전문 인력이 감압병 환자 치료에서 가장 중요한 요소임을 감안할 때 이들에 대한 현황 파악 및 인프라 구축이 반드시 필요하다. 현재 민간 дай버들이 감압병에 대한 고압산소치료를 위해 이용할 수 있는 표준화된 고압산소치료의료기관은 8곳으로 주로 남해안 및 제주도에 위치하고 있다³⁾. 수도권 인구 밀집 지역이나 서해안 지역에서 멀리 떨어져 있기 때문에 신속한 치료를 위해서는 항공 이송이 주요한 이송 수단으로 고려될 수 있다. 항공 이송시 압력 변화가 감압병에 의한 증상을 악화시킬 수 있기 때문에 일반적인 항공 이송 고도보다 매우 낮은 152~305 m (500~1000 feet)에서 이송하도록 권장하고 있다⁴⁾. 그러나 우리나라는 국토의 64%가 산지로 구성되어 있고, 특히 태백 산맥과 소백 산맥이 높은 고도에서 국토를 분할하기 때문에 산맥을 경계로 환자가 발생할 경우 치료시설이 있는 남부권까지 잠수병 환자를 항공 수단으로 이송하는 방법은 적절하지 않으며, 육상 운송만 가능하리라 생각한다. 그러나 육상 운송의 경우 장시간이 소요되므로 적절한 치료시기 및 효율적인 치료를 기대하기 어렵다⁵⁾. 신속한 치료 및 최적의 치료를 위해서는 항공 이송이 가능한 최적의 위치에 감압치료시설이 설치되어 있어야 하고 사전에 환자 이송 경로를 설정할 필요가 있다. 이에 저자들은 최근 감압병 발생 정도를 파악해 보고 최적의 치료를 위한 이송이 필요한 경우를 위해 위성 정보를 토대로 한 지형 정보를 활용하여, 감압병 환자의 항공 이송 경로 평가해보았고 더불어 향후 최적의 감압병치료시설 건립 시 고려할 점에 대하여 알아보기 위해 본 연구를 시행하였다.

대상과 방법

감압병에 대한 전국적 발생 규모를 평가하기 위해 감압병 다빈도 치료지역이나 의료기관을 먼저 확인하기로 하였다. 이를 확인하기 위해 2012년과 13년 고압산소치료 관련 건강보험심사평가원에 대한 전체 청구 자료를 확인하였으며, 이중 청구 코드가 감압병에 대한 코드인 M5862~5868이고, 청구 시 주상병명이 “기압 및 수압의 영향”이었던 경우

들을 대상으로 하였다. 코드에 대한 정의로 고압산소치료법 시행 시간이 M5862코드는 “30분 초과 1시간 이내”, M5863코드는 “1시간 초과 1시간 30분 이내”, M5864 코드는 “1시간 30분 초과 2시간 이내”, M5865 코드는 “2시간 초과 2시간 30분 이내”, M5866 코드는 “2시간 30분 초과 3시간 이내”, M5867 코드는 “3시간 초과 8시간 이내”, M5868 코드는 “8시간 초과 24시간 이내”였다.

또한 감압병 환자의 항공 이송 경로 평가와 함께 향후 최적의 감압병치료시설 건립 시 고려할 점에 대하여 알아보기 위해 다음 사항들을 확인하기로 하였다.

- 1) 지리정보체계(geographic information system, 이하 GIS)를 이용한 지형도 및 고도 분석
- 2) 육상 운송에 대한 압력 변화 분석 및 감압병 환자 이송 가능성 확인
- 3) 항공 이송 가능 반경 및 감압병 환자 이송 가능성 확인
- 4) 특정 지역에서 감압병 환자의 항공 이송 경로 시뮬레이션
- 5) 치료시설의 최적 위치 제안

GIS를 이용한 지형도 및 고도 분석을 위해 오픈소스 GIS인 QGIS 소프트웨어를 사용하였다(<http://www.qgis.org>). 이를 통해 미 항공우주국-일본경제산업성의 30 m 해상도 ASTER-GDEM2 디지털 고도 모델을 분석하였고, 항공 이송 시 제약이 되는 152 m 이상의 고지대를 확인하기로 하였다⁶⁾.

육상 운송시 압력 변화 분석 및 이송 가능성 확인을 위해 국토교통부의 지능형교통체계 관리시스템인 표준노드링크 정보를 이용하여 구급차를 이용, 주요 고속 국도를 통한 육상 이송 시 압력 변화를 분석하였다(<http://nodelink.its.go.kr>).

항공 이송 가능 반경 및 감압병 환자 이송 가능성 확인을 위해 민간에서 환자 이송 시 이용 가능한 회전익 항공기(보건복지부, 소방방재청, 해양경찰, 산림청)의 운영 반경을 확인하였다⁷⁾.

특정 지역에서 감압병 환자의 이송 경로와 시간 계산을 위해 데이크스트라(Dijkstra) 알고리즘을 이용하였다⁸⁾. 적절한 감압병치료시설의 최적 설치 위치를 찾기 위해 Voronoi 도표(diagram)를 활용하였는데, Voronoi 도표는 항공 운송과 같이 지형의 영향을 크게 받지 않는 운송 수단의 운용 범위나 국가간 세력 균형 등을 확인할 때 흔히 사용되는 방법이다⁹⁾. 앞서 기술한 자료들을 토대로 감압병 치료시설의 최적 설치 위치를 제안하기로 하였다.

결 과

1. 2012~13년 감압병 관련 청구 및 치료 내역

2012년부터 13년까지 고압산소치료로 건강보험심사평

가원에 청구된 치료 건수는 9,614건이었다. 이중 M5862이 8건, M5863이 768건, M5864가 4,810건, M5865가 527건, M5866이 127건, M5867이 3,363건, M5868이 1건이었다. 감압병과 관련해서 고압산소치료에 대한 청구를 시행했던 의료 기관은 총 12개 기관이었으며, 세부 청구 내역 및 지역 구분은 Table 1과 같다. Table 1에서와 같이 실제 감압병에 대한 치료가 1000건 이상 시행되고 있는 기관은 3군데였으며, 모두 제주도 및 남해안에 인접한 의료기관들이었다.

2. GIS를 이용한 지형도 및 고도 분석

1) 육상 운송에 대한 압력 변화 분석 및 감압병 환자 이송 가능성 확인

Fig. 1과 같이 대한민국 국토 많은 부분의 고도가 152 m (500 feet) 이상이고, 수도권을 제외한 지역으로 육상 이송 시 현재 국내 도로 시스템을 통해서 고지대를 통과하여야 함을 확인할 수 있다. 고도가 152 m 상승함에 따라 약 1.73%의 기압 감소가 유발되는 사실을 고려할 때, 육상 이송 시 저압 환경에 수 시간 노출되면 환자의 상태를 악화시킬 수 있으므로 이송 경로가 고지대를 통과하는 경우라면 육상 이송을 반드시 피해야 한다¹⁰⁾. 또한 육상 이송은 속도가 느리기 때문에 장시간 이송 자체로도 중증 환자의 상태를 악화시킬 수 있으므로 항공 이송의 필요성을 확인할 수 있다.

2) 항공 이송 가능 반경 및 감압병 환자 이송 가능성 확인 분석 결과는 Fig. 2와 같다. 현재 대한항공에서 운용하고

있는 보건복지부 소속 닥터헬기(EC-225)의 경우 제원상 운항 거리는 635 km이지만 병원으로부터 반경 70~100 km 내외의 근거리에서 출동하도록 제한하고 있어 감압병 환자 항공 이송에 부적절한 것으로 판단된다. 소방방재청/해양경찰청/산림청 항공기는 이러한 제한이 없지만 의료진의 탑승이 제한적이고, 응급의료 장비 탑재 또한 제한적이므로 감압병 환자 이송에 부적절함을 확인할 수 있다. 따라서 현재 실제 치료가 가능한 고압산소치료시설로 환자를 항공 이송하는데도 제한점이 있음을 확인할 수 있다(Fig. 3).

3) 특정 지역에서 감압병 환자의 항공 이송 경로 시뮬레이션

압력 변화를 최소화하는 것을 전제로 할 때 인천공항이나 김포공항이 근접한 수도권에서 현재 표준화된 감압병 치료시설까지 직선 거리로 항공 이송이 불가능하므로 가능한 이송 경로를 제안해 보았다.

(1) 강릉에서 감압병 환자 발생을 가정한 통영 이송 시 시뮬레이션 결과

- 육상 이송(Fig. 4)
- 원주를 거쳐 중부내륙 혹은 중앙 고속 국도를 이용하는 최단 시간 이송 경로는 약 500 km이고, 4시간 30분이 소요될 것으로 예측되었다. 그러나 최단 시간 이송 경로의 경우 수 시간 동안 저압 환경(고지대)에 노출되어 감압병 환자 이송 시 환자 상태를 악화시킬 수 있으므로 최단 경로를 통한 육상 운송은 적절치 않은 것으로 판단된다.

Table 1. Hospital names and code of claims for hyperbaric treatment therapy in South Korea between 2012 and 2013.

Area	Name of Hospital	Sum of claims	Code of claims						
			M5862	M5863	M5864	M5865	M5866	M5867	M5868
Island	Seoul Asan	1		1					
Island	Ajou University	2	1	1					
East coast	Gangneung Asan	3	2		1				
Gangwon	Wonju Christian	3			3				
Island	Keimyung University	2				1	1		
South coast	Busan University	3	3						
South coast	Kosin University	214		3		196	6		9
South coast	Tongyeong Segyero	3,395			40	4	1		3,345
South coast	Samchunpo Seoul	279		40	4	197	32		6
Jeju	Jeju Medical	3,411	1	662	2,626	122			
Jeju	Seogwipo Medical	2,295	1	61	2,136	7	87		3
South coast	Navy Marine medical	6				4	1		1

M5862; treatment time of hyperbaric oxygen therapy between 30 minutes and 1 hour, M5863; treatment time of hyperbaric oxygen therapy between 1 hour and 1 hour 30 minutes, M5864; time of hyperbaric oxygen therapy between 1 hour 30 minutes and 2 hours, M5865; treatment time of hyperbaric oxygen therapy between 2 hours and 2 hours 30 minutes, M5866; treatment time of hyperbaric oxygen therapy between 2 hours 30 minutes and 3 hour, M5867; treatment time of hyperbaric oxygen therapy between 3 hours and 8 hours, M5868; treatment time of hyperbaric oxygen therapy between 8 hours and 24 hours.

- 항공 이송
- 동해안 해안선을 따라 저고도 항공이송하는 경로는 약 400 km로 회전익 항공기를 이용하면 큰 압력 변화 없이 2시간 이내에 이송이 가능하므로 항공 이송이 적절한 운송 방법으로 판단된다.

(2) 인천-통영 감압병 환자 이송 시뮬레이션 결과

- 육상 이송(Fig. 5)
- 거리는 약 410 km로 약 4시간이 소요될 것으로 예측되었으나, 최단 거리인 통영대전중부고속국도 이용 시 152 m 미만의 고도로 이송할 수는 없어 저압 환경에 노출되는 문제점이 확인되므로 육상 운송은 적절하지 않은 것으로 판단된다.
- 항공 이송
- 지면과 일정 고도를 유지하여야 하기 때문에 항공 이송 최단 거리인 소백 산맥을 관통하는 이송 경로 설정은 불가능하다.

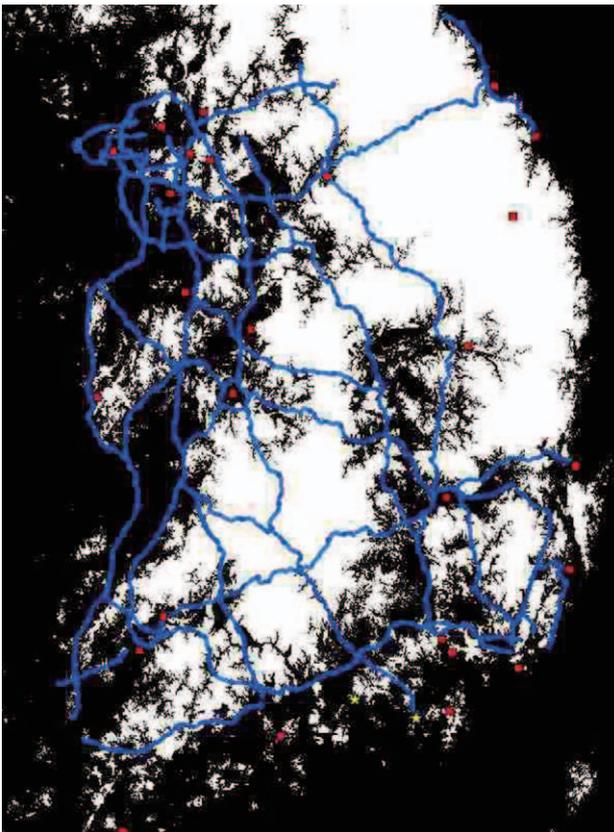


Fig. 1. Express ways above 500 feet in South Korea. Altitudes of white areas are higher than 152 meter (500 feet) in the peninsular of South Korea. Therefore, most transportation by ground would expose patients with acute dysbarism to the environment of low pressure during transportation. (red dots: hyperbaric oxygen therapy facilities, blue lines: national express way roads)

- 서해안과 남해안 해안선을 따라가는 경로는 550 km로 회전익 항공기를 이용하면 큰 압력 변화 없이 약 2시간 30분이 소요되므로 항공 이송이 적절한 운송 방법으로 판단된다.

3. 치료시설의 최적 위치 제안(Fig. 6)

상기 결과를 종합해 볼 때 감압병 환자의 최적치료를 위한 치료시설 설치에 필요하고 설치시 다음과 같은 내용을 반드시 고려해야 할 것으로 생각한다. 현재 운영되고 있는 항공 이송 헬기의 운항 반경 및 신속한 치료 접근을 고려할 때 서해안권에 2개, 동해안권에 1개의 표준화된 감압병 치료 시설의 설립이 필요하다. 치료시설에는 감압병과 유사한 증상을 나타낼 수 있는 뇌졸중, 폐색전 등 다른 질환군의 감별 진단을 위한 전문화된 진료 인력의 확보와 고압산소치료시설을 전문적으로 운영할 수 있는 전문 인력의 확보도 함께 고려되어야 한다. 본 연구 진행 중에 강릉 지역에 고압산소치료시설이 설립되어 운영 중임과 현실적으로 새로운 인력의 확보 및 단독 치료시설의 건립이 어려운 점을 고려할 때 서해권에 운영되고 있는 권역 응급의료센터에 표준화된 고압산소치료시설을 추가하고 동시에 전문 인력을 추가하는 방안을 대안으로 고려할 수 있겠다.

고 찰

본 연구는 지금까지 감압병 환자의 신속한 치료 및 감압

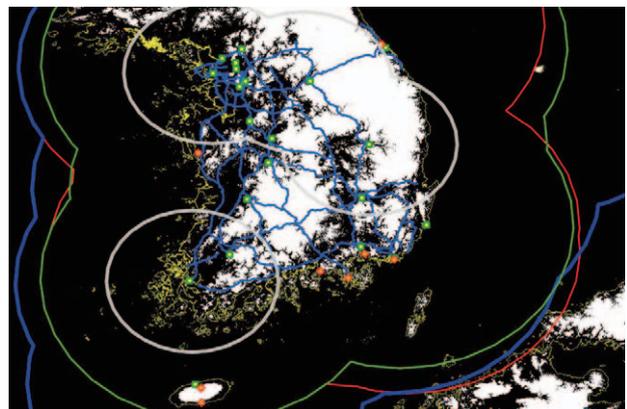


Fig. 2. Helicopter emergency medical service and express way of South Korea.

Facilities treating Decompression Illness (yellow stars), Hyperbaric chambers (red squares), 500 ft (152 m) contour line (blue-red lines), Express way (blue lines), Doctor-Heli (black circles 100 km-radius from base), National Emergency Management Agency 119 (circles 200 km-radius from base), Korean coast guard (blue circles 200 km-radius from base), Korea Forest Service (green circles 200 km-radius).

병 치료시설의 최적 위치 선정에 관한 지침이나 제안이 없는 현실에서 향후 감압병 환자 이송 정책 수립시 근거 및

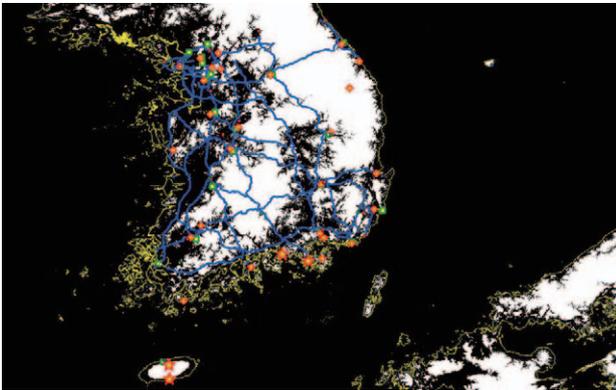


Fig. 3. Emergency center and hyperbaric facilities.
 Red star: high-pressure hyperbaric chambers, Red diamond: hyperbaric chambers, Green square: Emergency medical center, Blue line: express ways.

기반이 될 수 있을 것으로 생각한다. 국내의 경우 산지가 많은 지형이므로 대기압의 변화가 질병이나 손상의 상태에 영향을 줄 수 있는 경우 치료기관으로 환자 이송이 필요한 경우라면 이송 방법 선택 및 이송 경로 사전 설정은 또 매우 중요한 부분이라 할 수 있겠다.

우리 나라는 삼면이 바다이기 때문에 잠수가 가능한 바다의 경우 전국 어디에서도 감압병 발생이 가능하다. 또한 최근 잠수 관련 레크레이션 활동 및 기타 잠수 관련 사업의 증가로 인해 감압병 환자 발생의 가능성이 높아지고 있다. Figure 1, Oh 등³⁾, Yoon 등⁵⁾의 연구에 따르면 국내에 적어도 26개 이상의 감압병 치료가 가능한 고압산소치료시설이 있는 것으로 종합할 수 있으나 Table 1을 살펴보면 실제 운영 여부 및 실태는 상당히 다른 것으로 판단된다. Table 1에 따르면 실제 1년에 천건 이상의 활발한 고압산소치료가 이루어지고 있는 기관은 3개 정도이며, 고압산소 청구 의료기관의 전체 수도 12개이다. 서해안이나 동해안 지역의 경우에도 역시 감압병 발생 개연성이 높음에도 불구하고 남해

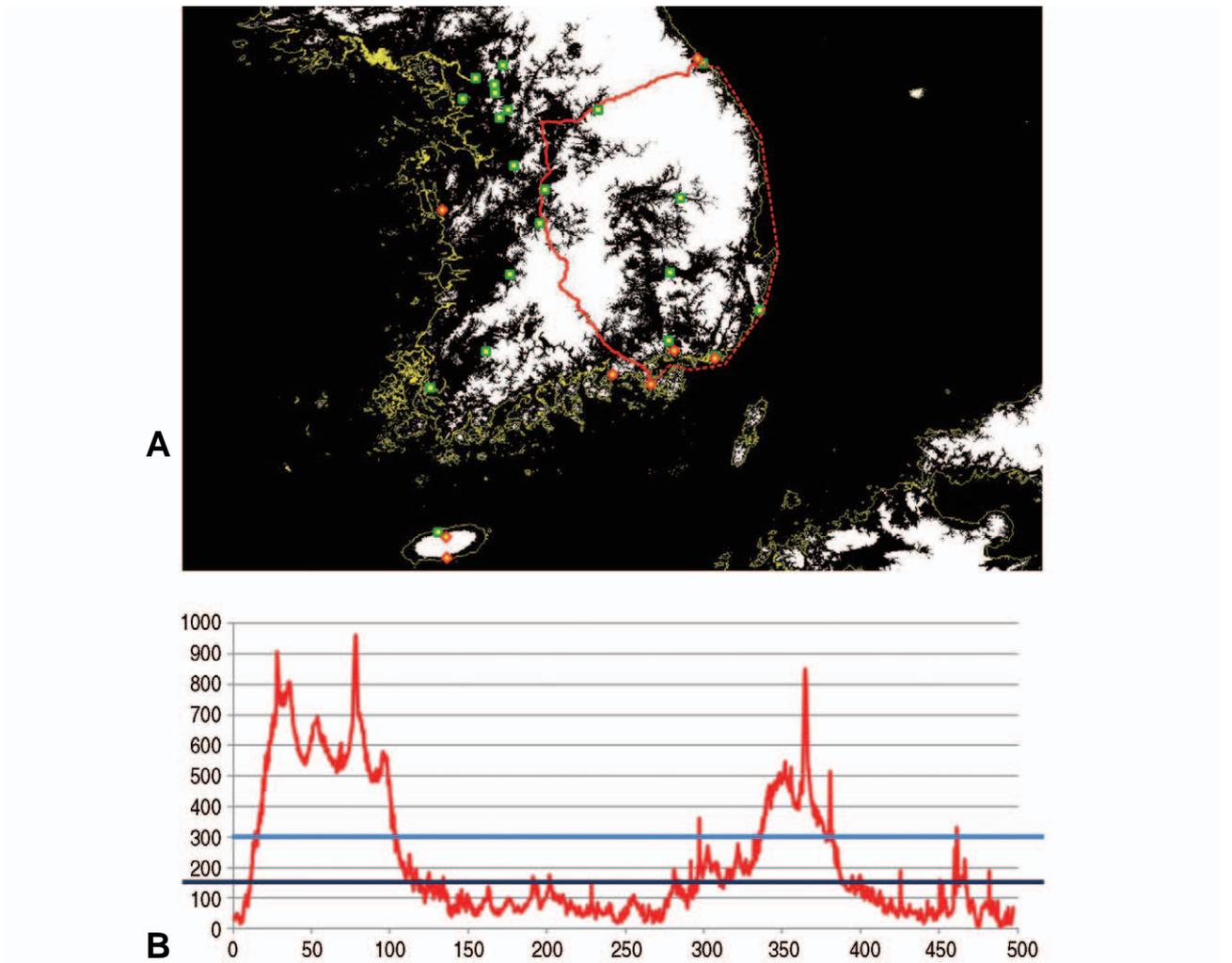


Fig. 4. Ground transportation between Gangneung and Tongyoung. (A) Transportation route between Gangneung and Tongyoung. (By Ground: line, By air: dot-line) (B) Altitude variations during ground transportation

안 및 제주도 위치한 의료기관에서만 활발한 감압병 관련 치료가 시행되고 있었다. 총 2년동안 남해안 및 제주도에 위치한 의료기관에서 9,603건의 고압산소치료가 시행된 결과를 살펴볼 때, 서해안이나 동해안 지역에도 다수의 환자가 발생하였을 것이라 추측해볼 수 있다. Oh 등³⁾에 따르면 서해안 지역에도 26개의 고압산소치료시설이 있는 것으로 보고하고 있으나, 본 연구 결과를 살펴보면 서해안 지역으로 구분될 수 있는 의료기관에서 고압산소치료를 위해 청구한 건수는 3건으로 매우 적었고 치료 내용 또한 경증에 준한 치료였다. 서해안권에서도 감압병 환자가 발생한다고 가정할 때 이러한 결과들은 다음과 같은 해석이 가능하다. 해당 지역의 환자들이 남해안의 치료 가능 의료기관으로 이동하여 치료받고 있거나, 의료기관이 아닌 시설에서 치료받고 있거나, 2011년 Oh 등³⁾의 조사 이후 치료시설 등의 낙후나

인력 부족으로 운영하지 않는 것으로 생각해 볼 수 있겠다. 민간 시설에서 치료를 시행하는 경우 의학적으로 정확한 치료가 시행되기 어려운 문제점도 있지만 다른 손상이나 질환이 동반되었을 경우 치료 결과는 더욱 좋지 않을 수 있다. 그러므로 신속한 치료 및 최적의 예후를 위해 추후 서해안 지역에서 발생하는 감압병 환자들을 치료할 수 있는 치료센터 설립이 요구되지만, 설립에 필요한 정책 수립 및 제원 마련을 위한 시간을 고려하지 않을 수 없다. 현실적인 대안으로 서해안권 지역이나 내륙에서 환자가 발생하는 경우 최적의 치료를 위해서는 현재 활발히 감압병 치료가 시행되고 있고 신속한 이송이 가능한 남해안 지역 의료기관으로 항공이송이 필요하리라 생각한다¹¹⁾. 이러한 관점에서 최근 강릉에 다인용 고압산소치료센터가 개소한 것은 동해안권의 감압병 환자들에 대한 최적의 치료가 시행될 수 있는 완전한

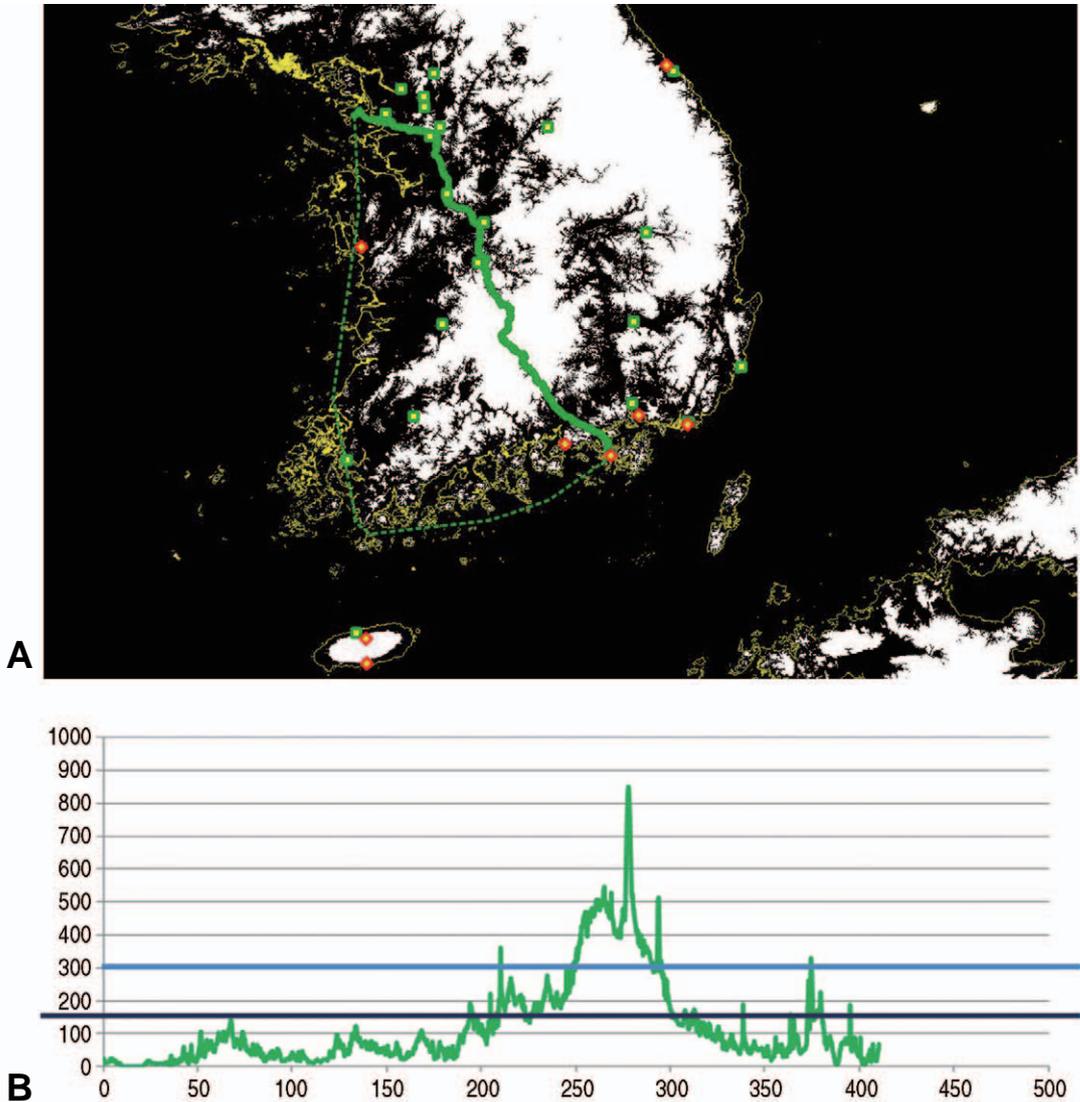


Fig. 5. Ground transportation between Incheon and Tongyeong. (A) Transportation route between Incheon and Tongyeong. (By Ground: line, By air: dot-line) (B) Altitude variations during ground transportation

기반이 구축된 것으로 생각할 수 있겠다.

Figure 1의 분석과 같이 육상 이송의 경우 수도권을 중심으로 각 지역으로 전원 경로를 최단 거리로 설정하는 경우 152 m 이상의 고지대를 통과할 수 밖에 없으며, 이는 기압 변화에 의한 질환의 악화 가능성을 담보한다. 또한 고지대 통과를 피하기 위해 전원 경로를 원거리로 설정하는 경우 이송 지연이 발생하여 최적의 예후를 기대하기 불가능하다^{11,12)}. 따라서 현재까지 대다수의 이송이 육상 이송의 형태로 이루어지고 있으므로 치료 및 예후를 고려한 이송 방법을 선택 시 항공 이송 방법을 사용해야 할 것으로 판단된다^{11,12)}.

항공 이송과 관련하여 현재 국내에서 항공 이송에 이용이 가능한 헬리콥터를 분석한 결과를 살펴보면 향후 감압병 환자의 항공 이송과 관련하여 개선되거나 고려하여야 할 점이 많은 것으로 보인다. 우선 이송 거리와 관련하여 닥터 헬리의 현재 운항 반경이 제원상 운항 거리보다 적은 70 km~100 km 정도이므로 현재 감압병 치료가 시행되고 있는 남해안이나 제주도의 치료시설로 많은 경우에서 이송이 불가능할 것으로 예측되므로 운항 반경을 조절할 필요가 있을 것으로 생각된다(Fig. 2). 또한 소방방재청/해양경찰청/산림청 등 정부 헬리콥터의 경우 의료 인력이나 치료 관련 장비 등이 부족하므로 항공이송의 수단으로 고려할 경우 사전 준비가 필수적이라 생각한다.

특정 지역으로의 이송과 관련하여 본 연구의 구성 단계 및 시작 시점에서는 강릉 지역에 감압병치료시설이 설치되기 이전이었기 때문에 실제 환자 발생이 가능한 강릉 지역에서의 환자 발생과 외국에서 이송되는 경우를 예상해서 인천에서의 환자 발생을 가정했다. 결과 3에서와 같이 2곳 모두 현재 치료시설이 있는 통영까지 육상 이송을 통해서 높은 고도 운행에 따른 저압 환경 노출로 안전한 이송이 불

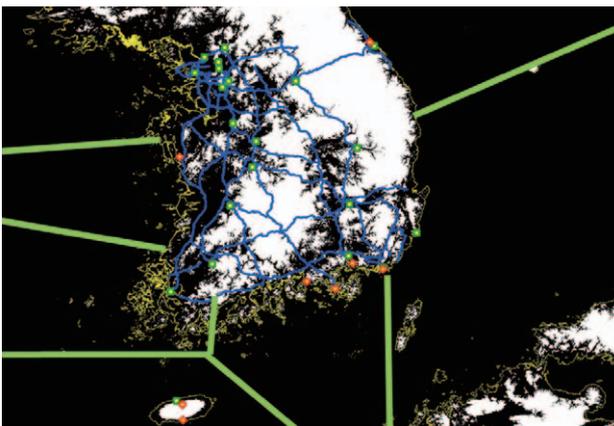


Fig. 6. Potential treatment sectors for patients with acute dysbarism.

Heuristic algorithm through this research recommends that further new treatment facilities will be established at each sector for the best treatment of the patients with acute dysbarism

가능했고, 빠른 치료 및 최적의 예후를 위해서는 항공 이송 방법이 적절한 것으로 판단되었다(Fig. 4, 5). 강릉 지역의 경우 현재 치료시설이 설치되었으므로 지역 환자 발생에는 대처할 수 있겠지만 대량 환자 발생이나 타지역에서 강릉 지역으로 환자 이송 등을 고려할 때 항공 이송과 관련된 준비가 역시 필요하리라 생각한다. 두 지역에서 통영으로 항공 이송 시 현재 문제점은 다음과 같다. 해안가를 통한 항공 이송 시 압력의 변화를 최소화시킬 수는 있지만 이송 거리가 증가하므로 현재 헬리콥터 운영 체계로는 이러한 거리를 운항할 수 없으므로 앞서 기술한 바와 같이 헬리콥터 운영과 관련된 지침의 개선이 선행되어야 할 것으로 생각한다.

새로운 감압병치료시설의 설치와 관련하여 Fig. 6과 같이 남해안의 경우 기존의 시설들을 활용할 수 있다고 가정할 때 본 연구를 통해 분석한 육상 운송 환경 및 항공 운송 환경의 장단점을 고려한다면 서해권의 경우 2개, 동해권의 경우 1개의 추가적 치료시설이 설치되어야 할 것으로 생각한다. 현실적으로 감압병의 치료를 위한 전문적인 치료 시설을 설치하고 새로운 인력을 교육 및 배치하는 데에는 많은 예산과 시간이 소요되고, 감압병과 유사한 질병군들에 대한 감별 진료도 함께 시행되어야 하므로 현재 운영되고 있는 응급의료센터 중심으로 고압산소치료시설을 추가하는 것이 적절한 대안이라 생각한다. 또한 이는 감압병 이외에도 고압산소치료가 도움이 되는 급성일산화탄소 중독, 폐부익식이나 절단 봉합 후 관리, 혐기성 감염 등 다수의 손상 및 질병에도 도움이 되리라 생각한다.

또한 본 연구 결과를 토대로 다음의 사항을 기대해 볼 수 있으리라 생각한다. 첫째, 본 연구는 전세계 모든 장소의 고도 정보를 무료로 제공하는 미항공우주국-일본경제산업성의 디지털고도 모델을 사용하였기 때문에, 고압산소치료 시설을 계획하고 있는 어떠한 국가나 정부의 경우에도 그대로 적용이 가능하리라 생각한다. 또한 오픈소스 소프트웨어인 QGIS, 공개지도 서비스인 Open Street Map을 사용하였기 때문에 높은 기술적 수준 없이도 활용할 수 있을 것으로 보인다. 둘째, 항공 이송과 관련된 이송 정책 설립은 민간 항공이송 산업 활성화의 계기가 될 수 있을 것으로 생각한다. 셋째, 항공 이송 시 최적 경로 확인 및 사전 설정은 감압병 뿐 만 아니라, 다른 질환의 환자군 이송 시에도 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 넷째, 특히 소방구급정보센터의 병상 정보, 진료가능 질환정보, 한국도로공사의 실시간 교통정보, 최단/최적 경로 모델 등과 연동하여 실시간으로 처리하는 소프트웨어나 어플리케이션을 개발하는 경우 상품화도 가능할 것으로 생각된다. 마지막으로 앞서 기술한 것처럼 해양 스포츠 여가 활용의 증가나 예기치 못한 사건이나 사고로 인해 감압병 환자의 발생이 증가할 것으로 예측되는 상황에서 본 연구 결과를 이용한 고압산소 치료시설의 설치에 국민 건강 향상 및 보건 증진에 큰 기여가 될 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 국내감압병 환자의 발생 규모를 평가하기 위한 자료로 건강보험심사평가원의 청구 자료를 확인하였는데 의료기관이 아닌 경우 청구를 할 수 없어 감압병 발생 정도가 과소 평가 되었을 가능성이 있다. 또한 환자의 중증도에 따라 한 환자에서 여러 번 치료요법이 시행될 수 있으나 이를 확인할 수 없어 정확한 규모가 아닐 수 있다. 정확한 발생 빈도 확인을 위해서는 향후 의료기관 이외의 치료시설에 대한 추가 조사가 필요할 것으로 생각된다. 둘째, 항공 및 육상 이송의 경우 운행 경로와 같은 실제 항공 운항 및 육상 이송 상황을 반영하지 못했으므로 결과에 편향이 있을 수 있다. 본 연구에서 제한적인 자료들을 통해 결과를 예측하였으므로 감압병 치료를 위한 최적 시설을 제안하는 데에는 다소 부족한 면이 많다. 향후 이들을 반영한 확대된 연구가 필요하리라 생각한다. 셋째, 감압병치료기관의 경우 현재 의료기관이 아닌 민간에서 시행되는 경우를 반영하지 못했으므로 추후 이를 반영한 추가 연구가 필요하리라 생각한다. 또한 항공 운항 역시 민간 부분만을 고려하였고 군대 운항 관련 부분을 반영하지 못했으므로 본 연구 결과의 해석에 있어 이에 대한 고려가 필요하다. 그러나 현 시점에서 군의료기관에 설치된 고압산소치료시설을 이용할 수 있다는 점이 고무적이기는 하지만 현실적으로 접촉 포인트나 비교적 복잡한 절차가 요구되는 점 또한 고려해야 할 것으로 생각한다. 넷째, 연구설계 당시에는 동해안에 감압병치료전문시설이 완비되지 않았으나 현재 강릉에 감압병치료시설이 완비된 점을 고려할 때 강릉에서 타지역으로 환자 이송은 의미가 퇴색된 분석일 수 있으나 재난 발생이나 의학적 추가 치료 발생이 충분히 가능하므로 향후 본 연구 결과를 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

결론적으로 감압병 환자의 전원 시 이송 경로가 고지대를 통과하는 경우라면 육상 운송을 통해서도 압력 변화 및 지연 이송으로 인해 최적의 치료가 시행될 수 없으므로 항공 이송을 반드시 고려해야 한다. 또한 최적의 치료를 위한 의료 시설이 제주도 및 남해안, 강원도 북부에 제한적으로 위치하고 있으므로 서해안권의 경우 새로운 치료시설의 건립이 요구된다.

Acknowledgement

First two authors equally contributed to this research.

참고문헌

1. Park SK, Oh JW. An introduction to diving medicine and decompression sickness. *J Korean Med Assoc.* 2012;55:659.
2. Mahon RT, Regis DP. Decompression and decompression sickness. *Compr Physiol.* 2014;4:1157-75.
3. Oh KJ, Choi SW, Park JS, Lee SU. A study on hyperbaric chambers for treating decompression sickness in the republic of Korea. *J Korean Soc Emerg Med.* 2011;22:253-8.
4. Macdonald RD, O'Donnell C, Michael AG, Breeck K, Chow Y, Demajo W, et al. Interfacility transport of patients with decompression illness: literature review and consensus statement. *Prehosp Emerg Care.* 2006;10:482-7.
5. Yoon JH, Kim GW, Jung YS, Han CS, Min YG, Cho JP, et al. Recent 10-year experience of one regional emergency center and recommendation for hyperbaric oxygen therapy. *J Korean Soc Clin Toxicol.* 2013;11:81-8.
6. Available at: <http://gdem.ersdac.jspacestsystems.or.jp/index.jp/>. Accessed September 1, 2014.
7. Kang HS, Ko KJ, Kim SH. 2013 year report on helicopter transport of emergency patients. South Korea: National emergency medical center; 2013. p.15-100.
8. Cormen TH, Leiserson CE, Rivest RL, Stein C. *Introduction to Algorithms.* 2nd Edition. MIT Press and McGraw-Hill; 2001. p. 595-601.
9. Aurenhammer F. Voronoi Diagrams - A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure. *ACM Computing Surveys.* 1991;23:345-405.
10. Available at: <http://www.regentsprep.org/regents/math/algtrig/atp8b/exponentialresource.htm>. Accessed September 1, 2014.
11. Xu W, Liu W, Huang G, Zou Z, Cai Z, Xu W. Decompression Illness: Clinical Aspects of 5278 Consecutive Cases Treated in a Single Hyperbaric Unit. *PLoS One.* 2012;7:e50079.
12. Toklu AS, Cimsit M, Yildiz S, Uzun G, Korpinar S, Sezer H, et al. Decompression sickness cases treated with recompression therapy between 1963 and 1998 in Turkey: review of 179 cases. *Undersea Hyperb Med.* 2014;41:217-21.