

잠수활동 시 불활성가스가 퍼포먼스에 미치는 영향에 관한 문헌연구

윤상택¹⁾

Review on Influence to Performance by Inhaling Inert Gas during Underwater Diving

Yoon, Sang-Taek

ABSTRACT

The Review was to investigate signs & symptoms, underwater performance and narcosis cause & mechanism by inhaling pressured air during underwater diving activity. Also it was to elucidate the phenomena bring about dangerous sign by inert gas-pressure-activity time spent in underwater on the basis of literature on the subject.

First the signs & symptoms of pressured air(inert gas) in underwater have characteristics bring to narcosis effect, includes largest parts(79%) of air and narcosis effectiveness by interaction of inert gas and neuron. The symptom was considered to show hypoxia phenomena in initial stage, the state increase by depth & time in underwater activity.

Second the factors influencing to underwater performance by inert gas include helium, hydrogen, Neon, nitrogen etc in air and effect of narcosis different by gas

Third cause & mechanism is complex, and major theory asserting till now is cellular and membrane mechanism, Electrophysiological mechanism and Inert gas theory, Carbon Dioxide theory.

In conclusion, It is evident that the future solution of the narcosis problem, particularly in regard to the mechanisms, require intensive study of the accompanying membrane physiology and neurotransmitter function. With its relationships to the mechanisms of anaesthesia by general aesthetics and pressure reversal, which is making sound progress, it may be possible in the future to make deep air dive with minimal signs and symptoms of nitrogen narcosis.

1) 제주산업정보대학 스포츠산업계열 전임강사

1. 서론

21세기 국제자유도시로서의 제주도 관광레저스포츠 산업은 1차 산업과 더불어 가장 비중이 큰 고부가가치성을 띄는 산업으로 부상할 것이며, 특히 가장 면적을 많이 차지하는 해양의 경우 각종 해양관광레저스포츠 산업의 보고가 될 것으로 전망된다. 즉 증가하는 해양레저스포츠 수요자에게 만족스런 상품 개발과 동시에 안전한 체험관광을 할 수 있는 인프라 및 안전사고에 대한 예방책이 필요하다.

해양 레저스포츠 중 수중에서 이루어지는 수중레저스포츠의 경우 참여형 레저스포츠로서 최근에 급속한 인구의 증가 추세에 있으며, 동시에 수중에서 안전을 위한 대책이 필요하다. 즉 수중활동시 흡입하는 공기는 혼합가스로서 그 구성 성분은 질소(N₂)가 78.084%, 불활성 알곤 0.934%, 산소(O₂) 20.946%, 이산화탄소(CO₂) 0.033%, 기타 가스가 0.003%이지만 크게 질소 분압을 .8atm(11.76psi), 산소분압을 .2atm(2.94psi)로 간주한다. 이 중 불활성가스인 질소의 경우 생명유지에 불필요한 무색 무취의 기체로서 공기 속에 산소와 결합되어 다니며, 높은 압력에서 호흡을 할 경우 질소마취(nitrogen narcosis)를 일으키면서 판단력과 방향감각의 손실로 무감각해지는 특징을 지닌다(류 등, 1998).

질소마취는 Meyer-Overton(Meyer, 1899; Overton, 1901)의 가설로서 가스가 뇌 신경세포의 지질세포에 침투할 때 발생하며, 세포 간 임펄스 전달체계를 방해하여 중추신경을 마비시키는 현상이며, 특정 수심에 도달한 후 수초 내에 시작되어 수면에 상승하면 동일한 시간에 현상이 사라진다는 이론이다.

깊은 수심에서 압축된 공기의 흡입으로 운동수행능력에 영향을 주는 기전을 규명하고, 정신적 및 물리적 능력의 결합을 정량화 하려는 많은 연구(Shilling 등, 1937; Case 등, 1941; Bennett 등, 1961; Kiessling 등, 1962; Frankenheuser 등, 1963; Adolphson, 1964; Adolphson 등, 1972; Criscuoli 등, 1971; Dickson 등, 1971; Fowler 등, 1972, 1977, 1985; Fowler, 1973; O'Reilly, 1974.; Hesser 등, 1978; Jones 등, 1979; Fowler 등, 1985; Hamilton, 1985; Mekjavi, 1995; Sledkov, 1996; 류, 2002)가 보고되었다.

위 선행연구 보고의 공통된 결론은 수심에 따라 불활성가스의 흡입은 마취상태를 유발하며, 이를 가중시키는 요인은 알코올, 약물, 고농도의 이산화탄소, 스트레스 및 불안, 현기증, 추위, 질병상태, 수면부족, 빠른 상승 등 여러 요인이 작용할 수 있지만 수심과 수중활동 시간이 가장 큰 영향을 미치며, 특정 수심에서 압축된 공기를 흡입할 경우 과도한 양의 질소흡입과 부적절한 배출기전에 의해 퍼포먼스에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다(류, 2002).

특히 O'Reilly(1974)는 수심40m까지 6명의 피험자에서 장기기억(long term memory)과 인지기능(cognitive function)에서 과제의 복잡성과 관련된 퍼포먼스의 결합을 보였고, O'Reilly(1974)는 가압챔버 실험에서 수심 48m 에서 다이빙할 경우 증가된 반응시간과 산술능력에서 증가된 오차와 공간방향감각에서 다소의 감소를 보였다고 보고하였다.

이처럼 특정수심에서 압축된 공기를 흡입하므로 인해서 퍼포먼스에 영향을 주는 기전을 규명하고, 정신적 및 물리적 능력의 결합을 정량화 하려는 많은 연구가 보고되어 왔지만 아직 국내에서 수중에서 활동하는 동안 압축된 공기를 흡입함으로써 인체에 나타나는 이상증세를 정량적으로 연구한 사례는 거의 드문 편이다.

따라서 본 연구는 수중레저스포츠에 참여하는 동안 신체적 및 정신적인 여러 이상 현상들 중 불활성가스-압력-수중활동시간으로 인해 나타나는 여러 연구결과를 종합하여 추후 수중에서 신체활동과 관련하여 발생할 수 있는 여러 이상증세를 심도 있게 연구하는 데 활용할 수 있는 국·내외 문헌들을 고찰하여 체계화시키는 데 있다.

II. 문헌연구 및 고찰

1. 압축공기(불활성가스)마취의 증상과 징후

생리적으로 질소는 정상적 상태에서 불활성가스지만 부분압이 증가하게 되면 마취효과를 지닌다. 질소는 대기중 79%를 차지하는 가장 많은 양을 포함하는 불활성가스로서 체내에서 에너지 대사과정에 참여하지 않는 기체로서 Dalton 법칙에 의해 질소마취를 유발시키며, 압력 감소과정 없이 깊은 수심에서 상승할 경우 Boyle법칙에 의해 갑압증(decompression sickness)을 일으키는 원인이 된다(류, 2002)고 보고하였다.

수중에서 마취효과의 정확한 원인은 잘 알려지지 않았지만 근본적인 원인은 가스와 신경세포의 상호작용에 의한 결과로 볼 수 있다. 이 현상은 수심 약 18m에서 발생가능성이 있고 약 30m수준에서 뚜렷이 나타나며, 그 징후는 초기의 저산소증(hypoxia)과 비슷하다.

증세를 보이는 정도는 개인 체력과 하루의 신체 상태에 따라서도 차이를 보인다. 또한 수중활동시간과 수심에 따라서 그 강도는 심해지고 사고력, 판단력, 기억능력에서 비 정상상태가 되고, 심리적 및 신체적 스킬을 수행할 능력을 감소시킨다(NAUI, 1991).

일단 질소에 마취되면 스스로 해결할 능력이 감소하기 때문에 위험성이 높다. 마취의 효과가 빠르게 나타나는 반면 회복 역시 동일한 시간에 이루어지고, 현재보다 더 얕은 수심으로 상승하면 불활성가스로 인한 마취영향이 감소하기 때문에 빠르게 회복된다. 이러한 질소 마취 상태를 더욱 악화시키는 요인은 알콜, 약물, 고농도의 이산화탄소, 스트레스 및 불안, 현기증, 기타 추위, 질병상태, 수면부족, 빠른 상승, 시간에 대한 성급함, 익숙지 않은 장비를 사용할 경우이다(NAUI, 1991).

특히 수중활동시 4기압 이상 압력 혹은 30m 이상의 수심에 해당하는 압력에 신체를 노출할 경우 활활감, 도취, 마취와 같은 위험한 증상과 징후가 발생할 수 있다는 사실이 터널공사나 다이버 등에서 증명이 되어왔다(류, 1998).

압축공기의 마취현상을 최초로 보고한 프랑스인 Junod(1835)는 압축된 공기를 호흡할 경우 뇌의 기능이 활성화되고 상상력이 생동적이고, 사고방식이 독특한 모습을 띄게되며, 어떤 경우 마취의 징후가 나타난다고 보고한 후, Green(1861)은 활활감, 결함이 있는 판단력과 결부되어 졸음현상을 동반하며, 수면으로 안전을 위해 급상승한 다이버의 경우에 나타났다고 보고했다(Bennett, 1993). 이와 비슷한 증상과 징후는 Hill과 Greenwood(1906), Hill과 Mcleed(1903)의 터널 공사 인부 혹은 케이슨 병 노동자에서 관찰된 것으로 보고했다. 그로부터 30년 후 Damant(1930)은 91m에서 다이버들은 정신적으로 비정상상태가 되고, 기억력 상실증을 가진다고 보고하였다. Hill과 Philip(1932)는 심해 다이버들의 조작능력(assimilating fact)과 소뇌의 정보처리능력의 감소(slowing of the process of cerebation)로 인한 판단속도(making rapid decision)에서 다소의 결함을 보였다고 보고하였다.

이 연구결과는 Hill 등(1933)의 딥 다이빙과 잠수함 탈출 문제를 연구하기 위해 영국해군에 의한 연구 결과로서 반의식 상실증(semiloss of consciousness)의 현상으로 불려졌고, 100-67m에서 58명중 17명 다이버에서는 정상적인 수신호가 인식되었지만 정확하지는 않았고 다이빙동안 마취현상(амnesia of event)은 갑압동안 신속히 정상으로 회복되는 의식불능구간(lapse of consciousness)이 발생하였다.

Hill과 Philips(1932)는 정신적으로 멍한 상태의 원인, 의식상실, 결정과정의 결함 등은 정상적이지 못한 컴프레셔에서 원인이 되는 호흡공기의 불순한 상태에 기인할 수 있다고 주장했다.

압축공기의 질소성분이 마취와 관련성을 가진다는 처음의 추론은 Behnke 등(1935)에 의해 20m 이상의 수심에서 압축된 공기는 활활감, 높은 수준의 정보처리능력의 결함(mental process), 부적절한 신경협응

등으로 특징 지워진 마취를 유발한다고 결론을 내렸다. 30m 수심에 도달하였을 때 자극(stimulation)의 느낌, 흥분, 황홀감정 및 경우에 따라서 의미 없는 웃음을 동반하고, 시각, 청각, 촉각, 후각 자극에 대한 반응이 지연되어 정신적 활동의 지연작용을 보이며, 연산능력(power of association)의 한계와 특정 생각에 집착하는 경향(fixiation of idea)을 보고하였다.

즉, 기억력의 결함과 집중력의 감소와 데이터를 기록하는 과정에서 많은 오차를 유발하였고, 산술능력(arithmetical calculation)과 미세동작(fine movement)에서 결함을 보였고, 지적인 기능(intellectual function)이 수작업 정교성(manual dexterity)보다 더 심각하게 영향을 받았으나 이러한 증세와 징후는 압축공기에 노출한 후 초기에 발생하였고, 감압 동안 회복이 신속하게 이루어 졌다고 보고하였다.

특히, Behnke 등(1935)은 수심 30m에서 증가한 신체활동으로 인해 마취정도를 다소 상쇄시킬 수 있지만, 91m에서는 큰 결함을 보인 근육활동에서 마비증세를 보였다고 보고했다. 91m이상 수심에 노출함으로써 의식상실을 초래할 수 있고, 충분한 압력에서 압축된 공기는 마비현상을 일으킬 수 있다. 이 증상에는 폭넓은 개인의 차이가 작용하며, 어떤 다이버의 경우 50m 수심에서 전혀 마취현상을 보이지 않는 경우가 있는 반면 다른 경우는 30m에서도 아주 심각한 정도의 영향을 받을 수 있다. 이와 관련하여 심리적으로 충분히 안정이 된 경우는 덜 안정된 경우보다 더 적은 정도의 영향을 받고(Cousteau, 1953), 알코올(Fowler 등, 1987), 피로, 파로(Adolfson, 1965), 심리적 근심상태와 불안상태(Davis 등, 1972)와 내외분비의 이산화탄소의 증가(Hesser 등, 1978)과 같은 마취현상의 증상과 징후를 강화시키는 많은 요인들을 제시하였다.

압축공기에 빈번한 노출로 다소의 내성력을 높일 수 있지만(Fowler 등, 1985), 퍼포먼스에서 어떤 실제적인 정량적 향상을 회복하기 위해 5일 정도까지 소요될 수 있다(Bennett, 1972)고 보고하였다.

Shilling 등(1976)은 수심 30m를 초과하면 압축된 공기 속에 있는 질소에 의해 질소마취, 혹은 술에 취한 듯한 증세로, 이 수심 이상일 경우 작업수행능력은 급격히 감소하여 사고의 확률, 의식상실의 확률이 높아진다고 보고하였다.

질소마취는 부분압의 법칙(Dalton 법칙)에 따라 33m 이상 수심에서 다이빙활동을 할 경우 발생하며, 복잡한 추론 능력을 33%와 작업 정교성이 7.3%를 감소시키는 (<http://www.gullftel.com/~scubadoc/n2narc.html>) 것으로 보고하였다.

또한 수심에 따른 신체의 반응정도는 10m-33m에서 숙련되지 않은 작업에서 중간정도 퍼포먼스장애, 33m에서 추론 및 즉각적인 기억의 장애, 40m-55m에서 산술능력 장애 및 고정물체에 집착현상, 55m에서 졸림, 판단결함, 환각상태, 55m-75m에서 환각상태, 공포반응, 히스테리에 가까운 제어불능 웃음, 75m에서 극심한 지적활동 결함, 75m-100m에서 자극반응 지연, 집중력 감소, 정신적 혼돈, 청각력 증대, 100m에서 환각현상 등의 장애 현상을 보이는 것으로 보고되었다.(NAUI, 1991).

이처럼 수심과 수중활동시간에 따라서 불활성 가스가 신체에 미치는 영향은 뚜렷이 나타나고, 퍼포먼스에 미치는 정도는 개인의 체력과 정신력의 차이, 내성력의 차이에 따라서 개인마다 달리하지만, 공통된 결과는 수중에서 각종 위험을 수반하며, 퍼포먼스에 영향을 미쳐 능률을 감소시키는 것으로 사료된다.

2. 불활성 가스가 수중 퍼포먼스에 미치는 정량적 연구

Shilling와 Wilgrube(1937)의 연구를 토대로 정신적 및 물리적 능력의 결함을 정량화 시키려는 많은 시도의 결과 공통점은 수심 30m에서 뚜렷이 나타나는 공기 부분압의 증가로 인해 운동수행능력에서 현저한 감소현상을 보였다는 일반적인 연구 결과를 보고하였다(류, 2002).

특히 Shilling와 Wilgrube(1937)는 46명의 남자 피험자를 대상으로 27m와 91m사이에서 공기분압의 영향을 수의 가감승산(더하기, 빼기, 곱하기, 나누기)을 하여 소요된 시간과 오류의 회수, 반사시간과 문자지우기(letter cancellation)테스트를 하였다. 이 실험 결과 압축된 공기분압 중 질소성분에 대한 첫 정량적인 증거를 제시했을 뿐 아니라 수중에서 작업 경험이 있는 사람과 지능수준이 높은 경우는 덜 영향을 받고, 가장 심각한 증상과 징후는 적정압력에 도달하자마자 나타났고(표 1), 급속한 압력 변화는 질소마취를 더욱 가중시키는 것으로 나타난다고 보고하였다.

〈표 1〉 Psychometric test에서 압축공기의 영향(Shilling과 Willgrube, 1937)

수심(m)	0	27.5	30.5	38	46	53.5	61	68.5	76	84	91.5
Mean extra time to solve problem(s)	0.35	11.09	6.89	7.65	9.74	11.95	13.98	17.17	26.07	26.53	31.42
Mean extra error in solving problem	0.18	0.86	0.49	0.42	0.72	0.84	1.22	0.88	2.18	2.66	3.02
Mean decrease in number crossed out	-	-0.59	-0.09	-2.26	-2.30	-2.49	-2.55	-4.24	-5.85	-6.43	-8.74
Average reaction time(s)	0.214	-	-	-	0.237	-	0.242	-	0.248	-	2.257
Mean extra time to solve problem	1.64	2.55	3.42	3.91	4.66	8.00	11.75	15.73	16.33	17.09	24.36

Baddeley(1966)은 해수와 압력챔버에서 실험결과 60msw의 수심에서 손기능의 정교함과 숫자 합하기 작업에서 수행속도에서 감소를 보였다고 보고했다. 이 감소는 매우 신속한 압력변화로 인해 발생하였고, 이 결과는 새롭게 개발되고 시험해보지 않은 장비를 사용하였다는 사실에 의한 불안과 실제 바다에서 실시하였다는 복합적인 결과로 보고하였다.

Case와 Haldane(1941)은 수심 76m와 91m에서 공기를 흡입하는 다이버를 대상으로 산술능력과 작업의 정교성을 분석한 결과 여러 요인 중 다양한 질소-산소부분압의 영향과 알곤, 헬륨, 수소 등의 기타 생리학적으로 불활성 가스의 작용과 함께 이산화탄소 및 추위 등의 영향을 분석하였다. 수심 76m에서 손의 조작 기술은 큰 영향을 받지 않았지만 산술능력에서 오차는 해수면(6회)에서 보다 수심 76m에서는 22회로 증가했다. 수심 91m에서 질소마취 정도는 심각했고, 과제수행능력과 판단에서 현저한 결함을 일으키면서 2분 이내 최악 상태에 도달했다. 이 수심에서 지속하여 압력에 노출되는 동안 질소마취 상태는 더욱 악화되었다고 보고했다.

Rashbass(1955)는 질소마취의 원인으로 이산화탄소 영향을 규명하기 위해 수심 76m에서 곱하기 능력을 실험하였다. 대기압에서 26명의 다이버는 정답을 평균 24.12회의 정답을 보였으나 수심 76m에서는 단지 평균 16.81회 정답을 보였고, Bennett와 Glass(1961)는 동일한 문제로 61m에서 실험한 결과 평균 20.34회에서 15.67회로 감소되었다고 보고했다.

Kiessling과 Maag(1962)는 곱하기, 문자제거(letter cancellation)와 대근운동 기술의 테스트 방법에 대해 타당성에 문제를 삼았지만, 한자리 숫자 0, 1, 5와 두 자리 숫자 11을 곱하는 것을 제외한 한 숫자를 가지고 두 숫자를 곱하는 산술테스트 방법의 2분내에 정답 수와 시도된 문제의 수로 평가하는 방법을 지지하였다.

대안으로서 Kiessling와 Maag는 Purdue Pegboard와 개념추론 테스트 방법을 토대로한 기계적 정교성을 내포한 선택반응시간(choice reaction time)을 사용하였다. 이러한 연구는 수심 30m의 비교적 낮은 압력에

서 이루어졌다. 이 연구결과는 추론 능력에서 33.46%, 반응시간에서 20.85%, 정교성에서 7.9%의 감소를 보였다. 그 압력의 수심에서 소요한 시간의 길이는 질소마취효과에 유의하게 영향을 미치지 않은 것으로 보고하였다.

이와 유사한 실험으로 Bennett와 Towse(1971)는 55m, 61m, 67m에서 1시간 동안 압축공기를 흡입하는 피험자를 대상으로 Ball bearing과 같은 테스트로 Purdue pegboard, Wechsler Bellevue Digit Symbol과 산술테스트 결과 뚜렷한 적응(adaptation)현상은 보이지 않았지만, 평가자(단기기억의 효능성, efficiency of short-term memory)가 14일 동안 수심 30m에서 노출하는 동안 5일부터 적응이 시작되었고, 8-9일까지는 다이빙 전 통제상황과 차이가 없었다고 보고하였다.

Adolfson 등(1972)은 압력챔버에서 압축된 압력의 공기에 노출하는 동안 졸음과 현기증 정도를 정량화 하였다. 신체의 동요측정은 평형감각이 흐트러지는 정도와 증가수심간의 관계를 91m 상황에서 실험함으로써 가능했다.

Poulton 등(1964)은 30m이하 10-20m에서도 정신적인 결함이 발생할 수 있다고 제시하였다. 이는 카드 분류테스트(card-sorting test) 방법으로 34명의 잠수병 환자를 대상으로 나온 증거를 토대로 한 결과이다. 각각의 피험자는 가능한 한 4장의 카드놀이를 하여 분류하도록 했다. 측정된 요인 중에는 평균 분류 비율과 반응에는 매 분류간에 2.2초 혹은 더 느린 차이를 보였다. 초심자들은 과거에 이러한 테스트에 익숙한 피험자만큼 압력에 노출되었을 때 다소 더 서투른 결과를 보였고, 일단 과제가 수행되었을 때 수심 24m만큼 높은 압력 상황에서조차 과제수행능력에는 감소가 없었다고 보고했다.

증가된 질소부분압력 이외 다른 요인들이 작용할 수 있기 때문에 이 실험은 공기(질소80, 산소20%) 혹은 산소(21%)·헬륨(79%)을 호흡하면서 10m와 30m에서 80명의 해군을 대상으로 반복 실험을 하였다. 반복 실험에서 과제수행능력에서 유의한 감소는 과제수행 경험과는 상관없이 30m에서 압축된 공기를 호흡한 남자에서 나타났다. 따라서 과제수행에서 유효한 감소를 발생시킬 수 있는 질소의 최소 부분압은 3.2기압 혹은 30m에서였다고 결론을 내었다. 당연히 정상적인 상황에서 정량적인 질소마취의 증거를 보여주는 민감한 테스트였지만 이 증거는 단지 학술적인 관심사가 될 수 있음을 시사했다.

<표 2> 일정한 질소분압에 의해 발생한 마취에 대한 산소부분압의 차이의 영향
(12명 다이버)(Frankenhaeuser 등, 1963; Hesser, 1963)

Test of narcosis	O ₂ ata 0.2	0.94	0.22	1.03	2.60
	N ₂ ata 0.74	-	3.92	3.91	3.94
Simple reaction time(s)	0.243	0.242	0.241	0.248	0.254
Choice reaction time(s)	0.671	0.683	0.685	0.691	0.691
Mirror drawing time(s)	9.16	9.25	9.47	9.24	8.931
Mirror drawing time(s)	2.89	2.85	3.39	3.11	3.341

지금까지 질소마취 위험 때문에 압축된 공기로 다이빙을 할 경우 제한 수심은 91m로 널리 알려져 왔다. 30m, 61m, 91, 122m에서 질소마취에 대한 연구결과 91m를 초과하였을 경우 아주 심각한 질소마취 현상을 보였다고 보고했다(Adolfson, 1964; Adolfson 등, 1972, 1965). 이 수심에서 손 조작 정교성 테스트(manual dexterity), 집중력(attention), 시각적 판별력(visual discrimination), 반응시간(reaction time), 산술능력(arithmetic) 테스트를 이용하여 30명 이상의 남자 피험자를 대상으로 122m보다 더 높은 압력에 노출시켰을 때 손작업 정교성에서 35.3%, 산술능력은 25%이상 오차를 유발하면서 61.6%까지 감소하였다. 목소리

신호 반응과 증가된 시각적인 강도(visual intensity), 청각 등이 주지되었다. 많은 요인들 중에서 긴박한 상실감, 행복감, 졸음, 우울사태, 공중에 뜬 기분(levitation), 시간 인식에 대한 혼란, 얼굴모습에서 변화 등이 대표적 반응이었다. 122m에 반복적으로 노출했을 경우 현저한 동화작용이 유발했다. 이러한 증상과 징후는 수심 91m에서보다 유의하게 더 크게 나타났고, 알코올에 의한 결과라기보다 LSD와 같은 환각제에 의한 현상을 보였다.

그러나 신속한 압력변화와 순간적인 노출이라면 부적절한 질소마취의 영향을 받지 않고 높은 압력에 노출을 시킬 수 있다. 신속한 압력변화(rapid compression)는 이산화탄소 잔류로 인해 압축된 공기의 질소마취 효과를 더 강화시키지만(Shilling & Willgrube, 1937; Bennett, 1965; Albano, 1970), 뇌에 누적되어 질소마취에 필요한 임계 질소농도를 허용하는 수심에서 짧은 시간을 보내게 된다면 질소마취는 발생하지 않는다. 따라서 10명의 다이버를 대상으로 122m와 152m 수심에서 20초간(후에 40초간 감압을 하였음) 체류하였을 때 152m에서는 2가지 선택반응시간에서 15-16%의 감소를 보였고, 122m에서는 유의한 변화를 보이지 않았다(Bennett 1966).

신속한 압력변화(rapid compression)에 따라서 이산화탄소의 보유량은 혈류운반 용량에서 이산화탄소를 차단함으로써 높은 산소부분압의 효과를 강화시킬 수 있다고 보고하였다(Frankenhaeuser 등, 1963; Hesser, 1963).

이와 관련하여 Frankenhaeuser 등(1963)은 30m의 일정한 질소부분압이 일정한 상황에서 다양한 산소부분압에 대한 질소마취 효과를 연구하기 위해 과제추적(mirror drawing)과 함께 단순 4개의 선택반응시간(choice reaction time)을 실험했다. 이 결과 산소는 유의하게 질소마취작용을 강화시킨 것으로 보고했다(표 2).

그러나 산소 부분압을 감소시킴으로써 질소마취효과를 감소시킨다는 것은 아니다. 즉 Albano 등(1970)은 시각적 기억(visual memory)과 산술테스트(arithmetic test)를 이용하여 실험한 결과 96%의 질소와 4%의 산소를 이용하여 수심 91m에서 7명의 피험자를 대상으로 실험한 결과 일반 공기를 호흡하는 경우보다 정량적으로 더 많은 질소마취 증세를 보였다(표 3).

〈표 3〉 산술테스트를 이용하여 10기압에서 다이버들의 일반공기와 96/4% 질소-산소를 호흡함으로써 발생하는 마취의 비교(Albano emd, 1962)

(1)환경압	sums attempted			% of error			
	(2)10ata air	(3)10ata 96/4 N ₂ -O ₂	(4)환경압	(5)10ata air	(6)10ata 96/4N ₂ -O ₂	Difference	
					(5)-(4)	(6)-(5)	
23	18	12	4.35	22.2	41.6	17.85	19.4
24	19	15	4.25	79.0	86.6	74.75	7.6
50	43	33	-	23.0	21.8	23.00	-1.2
40	20	14	10.00	30.0	42.8	20.00	122.8
36	32	28	28.00	53.6	71.4	25.60	17.8
27	24	20	7.40	50.0	60.0	42.60	10.0
45	34	30	-	26.4	30.0	26.40	3.6
						M = 32.88	10.0
						t = 4.30	4.20
						P < .001	< .01

Barnard 등(1962)은 일반 공기와 질소 95%, 산소 5%의 혼합가스를 호흡하면서 수심91m에서 산술테스트를 한 결과 역시 유사한 결과를 보고했다. 그러나 일정한 질소 부분압에서 산소부분압의 감소는 질소마취를 감소시켰다.

한편 류(2002)는 잠수활동시간대별(BT), 수심별에 따른 반응시간(RT), 각 국면별 및 과제추적 완료시까지 총 소요시간이 질소마취효과로 인한 정교한 작업수행능력을 정량화 하여 안전다이빙을 위한 예방책을 제시하기 위해 수심 0m(1atm), 10m(2atm), 20m(3atm), 30m(4atm), 40m(5atm), 50m(6atm)에서 각각 수중 과제추적 장치를 이용하여 운동학적 및 공간인지능력 테스트를 하였다. 연구결과 첫째, 잠수 활동시간에 따른 반응시간에서 잠수활동 시간대별 및 수심에 따라서 출발 신호에 대한 반응시간이 10분, 15분, 5분, 20분의 순으로 더 지연된 결과를 보였지만 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 둘째, 잠수활동수심과 시간에 따른 소요시간에서 시간 경과에 따라서 4/4>3/4>2/4>1/4국면의 순으로 완료시간이 지연된 결과를 보였고, 특히 모든 시간대에서 시작국면(1/4국면)보다 추적이 진행됨에 따라서 정교한 작업수행능력에서 감소한 것으로 나타났다고 보고하였다.

셋째, 수심과 시간에 따른 과제추적의 오차실험결과 수심에 따라서 각 국면별 오차의 정도는 얕은 수심인 10m, 20m의 경우에 비해 수심 30m, 40m, 50m의 경우 1/4국면에서 14.87배, 2/4국면에서 평균 7.27배, 3/4국면에서 평균 5.13배, 4/4국면에서 평균 83.35배의 정교성과 작업수행 능력 면에서 감소하였으나, 수중 활동시간과 수심간의 상호작용효과는 없었고, 수중활동시간대별 보다는 수심의 변화가 오차의 정도를 증가시키는 요인이었다(표 4)고 보고하였다.

<표 4> 변인간의 상관관계(류, 2002)

Variable	Bottom time(BT)	Depth	Canonical coefficient
task tracing error(I, II, III, IV phase), TTE	-.1267	.5652***	W1(BT) = -0.1267TTE + 0.0733TET - 0.0578RT
Total(by phases) elapsed time(TET)	.0733	-.0272	W2(Depth) = 0.5652TTE - 0.0272TET + 0.0163RT
RT(response time)	-.0578	.0163	

따라서 수중에서 압축된 불활성 가스사용으로 운동수행능력에서 감소를 보였고, 특히 30m 이상의 수심의 경우에는 20m 수준보다 더욱 치명적인 위험성에 노출이 될 수 있고, 정교한 작업능력에서 감소를 보일 확률이 높기 때문에 수심 30m이상에서 안전 다이빙 및 작업을 수행할 때 가스분압을 조절한 나이트록스 다이빙(nitrox diving) 혹은 트리믹스 다이빙(trimix diving), 및 상승시 안전감압과 상승속도를 철저히 지켜야할 위험한 수심인 것으로 제안하였다.

최근 지질용해도(lipid solubility) <표 5>에 대한 연구결과에서, 크세논(xenon)은 대기압에서는 무감각하고, 아르곤은 질소보다 약 2배정도 더 심한 질소마취효과를 유발시킨다고 보고했다(Ackles & Fowler, 1971; Bennett 등, 1975).

헬륨(Helium)은 질소마취효과가 없기 때문에 심해잠수와 포화잠수(saturation diving)를 위해 사용되지만(Hamilton 1966), 152m 이상 수심에서 노출이 될 경우 고압신경증후증(high pressure nervous syndrome, HPNS)을 유발할 수 있다(Hunter & Bennett, 1974).

〈표 5〉 지질을 포함한 불활성가스, 수소, 산소, 이산화탄소와 기타 물리적 특성의 마취잠재능력의 상관

Gas	Molecular weight	Solubility in lipid	Temperature (°C)%	Oil water solubility ratio	Relative narcotic potency
He	4	0.015	37	1.7	least narcotic
Ne	20	0.019	37.6	2.07	4.26
H ₂	2	0.036	37	2.1	3.58
N ₂	28	0.067	37	5.2	1.83
A	40	0.14	37	5.3	1
Kr	83.7	0.43	37	9.6	0.43
Xe	131.3	1.7	37	20.0	0.14
O ₂	32	0.11	40	5.0	0.03
CO ₂	44	1.34	40	1.6	most narcotic

지질용해도(lipid solubility, 〈표 5〉)를 토대로 볼 때 만약 헬륨이 질소마취 속성을 가진다면 증세와 증후는 약 408m에서 압축된 공기를 사용할 때보다 더 악화될 수 있다. 증가된 수압으로 약한 질소마취효과에 반대 효과를 주기(pressure reversal effect) 때문에 헬륨에는 질소마취 영향이 없는 것으로 보고하였다(Johnson & Flager, 1950).

네온(Neon)은 헬륨의 대안으로 사용하지만 헬륨보다 밀도가 상대적으로 높기 때문에 훨씬 낮은 압력에서 호흡장애를 일으킨다. Marshall(1951)은 동물을 대상으로 연구한 결과 네온은 질소보다 최소한 배의 적은 질소마취효과를 가지며, 이러한 사실은 액체용해도 상관분석 결과 재확인되었다(Ikels, 1964).

사람을 대상으로 한 첫 실험은 Hamilton 등(1966)으로서 수심 183m에서 표준화된 추적장치(standard pursuit rotor)실험을 한 결과 어떠한 비정상적인 현상을 보이지 않았다. 이와 유사한 실험으로 Bennett(1966)는 91m에서, Townsend 등(1971)은 305m에서 각각 실험을 했다. Lambertsen(1975)은 수심 366m에서 네온 호흡의 영향을 분석한 결과 어떠한 질소마취 증세는 보이지 않았다고 보고했다.

Schreiner 등(1972)은 10%의 산소로 61m, 91m, 122m까지와 7% 산소로 152m, 183m까지 다이빙에서 운동수행과 신경생리학적 척도로 네온, 질소, 헬륨의 영향을 처음으로 비교 분석한 결과 질소마취효과가 없음을 재확인하였다.

수소(hydrogen)는 심해다이빙에서 사용되어지며, 생리학적으로 볼 때 불활성가스이다. 산소 4%이상과 혼합되면 폭발성을 지니며, Brauer 등(1968)은 질소마취 잠재성이 수소액체 용해도와 일치하는 것으로 보고했다. 1.83의 상대적인 질소마취 유발성에 대해 헬륨이나 네온보다 더 많은 마취성이 있으나 질소보다는 적은 것으로 보고되었다(표 5).

Brauer 등(1971)은 헬륨과 산소의 혼합가스에 수소를 첨가하면 고압신경증후증(high pressure nervous syndrome, HPNS) 증세와 징후를 더 깊은 수심에까지 지연시켜준다고 보고했다. 따라서 Chouteau(1971)은 5마리의 토끼를 277m 수심에 노출시켰지만 7-12시간 후 모두 죽은 것으로 보고하였다.

질소 혹은 마취와 관련하여 고압신경증후증(high pressure nervous syndrome, HPNS)을 방지하기 위해 헬륨-산소혼합가스를 첨가시키는 것과 관련하여 Simon 등(1975)은 헬륨-산소(heliox)에 16%수소를 혼합하면 사람에서 HPSN의 증세를 개선하기 위해 10% 질소를 혼합한 것만큼 영향을 미치고, 쥐의 경우에는 29±6% 수준인 것으로 보고했다(Brauer 등, 1974). 더욱 최근 연구로서 520m 상당 수심의 챔버에서 수소-

헬륨-산소에 노출된 다이빙의 영향에 대한 연구에서 사용된 혼합가스 부분압은 수소(H₂) 49%, 헬륨(He) 48.6%, 질소(N₂) 1.6%, 산소(O₂) 0.8%의 혼합가스가 사용되었다(Gardette 등, 1990)는 보고가 있다.

〈표 6〉 46m에서 처음 7분 동안 VER(cortical visual evoked response)과 퍼포먼스 테스트(Bennett와 Towse,1972)

Test	% change from surface in 20/80 oxygen-argon	% change from surface in air
VER	-21±6.87	-20.1±8.05
Arithmetic correct	-62.1±6.54	-28.6±8.80
Arithmetic attempted	-47.6±8.88	-22.9±6.76
Visual analogy	-33.3±5.22	-0.42±2.57
Ball-bearing	-18.1±8.91	00.6±6.89

불활성가스의 혼합비율에 따른 수심과 시간에서 수중의 작업능력 테스트 방법들이 다양하게 제시되었지만 측정도구의 타당성과 신뢰도의 문제로 인한 각자 연구결과를 달리하는 경우들이 많이 지적되었다(표 6). 이러한 문제점들을 해결하기 위한 방법으로 첫째, 실험실 상황이 아닌 실제 특정수심에서 실험이 이루어짐으로서 심리적 및 체력적 문제의 한계를 반영할 수 있고, 이를 위해서는 수중에서 각종 임상적 및 운동학적 측정기구의 개발로 최소의 위험상황에서 대처할 수 있는 대안이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

3. 불활성가스 마취 원인과 기전

불활성가스의 마취의 원인은 복합적이며 어떤 한 요인만을 결부시킬 수 없다. 많은 변인이 관련된다는 것은 마취의 원인에 대해 더 많은 주장이 있게 되고, 이들 주장 대부분이 정확하지 않다. 즉 초기의 주장은 단위 면적당 압력의 결과로 간주했다(Junod 1835; Moxon 1881). Junod 가설은 증가된 공기밀도가 정맥혈관의 직경을 이완시킴으로써 증가된 혈류 흐름이 증추신경을 자극하여 동맥시스템과 주요 증추신경 특히 뇌신경쪽으로 흘러 직접적인 압력으로부터 골격에 의해 차단되기 때문으로 간주했다.

한편 Moxon(1881)은 혈액이 말초 순환에서 호흡가스교환이 이루어지지 않는 신체부위까지 압력을 받기 때문이고, 따라서 정체된 혈액이 감정적인 혼란을 야기한다고 간주했다.

이 두 이론 모두 정확하지 않다. 즉 마취는 압력의 속성뿐 아니라 호흡한 가스의 속성에 대한 함수관계를 가지기 때문이다. 따라서 91m에서 압축된 가스는 매우 높은 마취효과를 가지며, 반면 20/80 산소-헬륨 혼합가스가 아니기 때문이다.

초기 연구자들은 원인을 잠재적으로 억압된 밀실공포증(claustrophobia)과 같은 심리적인 요인에 기인한다고 간주하기도 했지만(Hill 등, 1933), 각각의 불활성 가스들은 동일한 수심에서도 다른 정도의 마취를 야기한다는 사실을 미루어 볼 때 위의 제안들은 지지될 수 없으며, 지금까지 주장되어온 이론들은 다음과 같다.

1) 일산화탄소 이론(Carbon Dioxide theory)

Bean(1947)은 압축되는 동안 개의 동맥혈에서 산도가 0.15-0.02PH의 산의 변화를 지적하고, 이는 일산화탄소 보유량 때문으로 귀인시켰다. 상승된 공기압에 잠시 노출되는 동안 마취된 개에서 폐포에서 일산

화탄소 수준을 연속적으로 측정된 결과 정상 5%에서 10%만큼 높게 증가했고, 이 현상에 대해 Bean (1950)은 일산화탄소가 압축된 공기의 독성에 기여하거나 원인인 것으로 결론을 내렸다. 또한 환기의 결함으로 발생한 일산화탄소의 잔류는 호흡한 가스의 밀도를 증가시키고, 헤모글로빈 운반기전을 차단하면서 높은 산소부분압과 함께 가스의 압축된 유입을 유발하는 빠른 압축에 기인하는 것으로 결론을 내렸다.

그러나 Rashbass(1955)의 실험에서 폐포의 일산화탄소의 측정은 마취에 대한 정상적인 측정치로 비교했지만 시너지효과를 제외한 일산화탄소 이론을 지지하지 않았다. 즉 호흡곤란증이 높아진 압력하에서 발생하였기 때문에 지지하지 않았다.

이외 수심 82m와 58m 상황에서 20/80 산소-헬륨 혹은 공기에 노출된 남성의 일산화탄소와 산소에 대한 동맥혈 측정(Bennett & Blenkarn, 1974)결과, 공기를 호흡하는 동안 현저한 마취증세를 보였지만 헬륨에서는 보이지 않았다. 그러나 두 집단사이 동맥 일산화 탄소에서 차이가 없는 것으로 보고하였다(표 5).

Hesser 등(1971)은 산소 1.3기압상태로 52m에서 폐포측정 결과를 심리적 및 운동효율성과 상관 분석하였다. 흡입된 질소와 일산화탄소 부분압은 다양하게 나타났다. 그 결과 높은 폐포의 질소부분압과 일산화탄소 부분압은 운동수행능력에서 감소를 유발하는 데 기여한 것으로 보고했다.

Hesser 등(1978)은 압축된 공기마취에서 질소, 산소, 일산화탄소의 역할을 규명한 결과 1.3기압 혹은 산소 .7기압에서 공기를 호흡하는 동안 흡입된 가스에 대해 다양한 수준의 부분압으로 일산화탄소를 가중시킴으로써 상승된 가스 부분압에서 세 가지 가스는 마취속성을 지니지만 일산화탄소의 마취 기전은 질소와 산소의 영향기전과는 근본적으로 다르다고 결론을 내렸다.

2) 불활성가스이론(Inert gas theory)

Behnke가 Meyer-Overton 가설(Meyer, 1899; Overton, 1901)을 토대로 한 질소와 불활성가스이론은 지질에 대한 지방성 마취에 대한 친화력과 마취잠재성간 비례를 한다는 이론이다. 이 이론은 모든 가스나 휘발성 물질은 동물마다의 특성을 가지는 일정한 질량 농도(0.03에서 0.06 물의 약물/kg)에서 지질세포를 투과할 수 있을 경우 마취를 유도한다는 이론이다.

그러나 <표 5>에서 제시된 바와 같이, 오일-물의 용해순서에서 불활성가스의 배열은 불규칙적임을 나타낸다. 예를 들어 아르곤은 오일-물의 용해율이 비슷하다 할지라도 질소보다 2배정도 마취성을 지닌다. 이는 아르곤이 지질과 물에서 2배정도 더 잘 용해되기 때문이다.

Miller(1961)은 불활성 가스 혹은 마취 성분은 분해된 가스분자를 둘러싼 Ice-berg 혹은 치밀하게 순차적으로 물의 경계층을 이루는 지역을 증가시킬 수 있다는 가설을 제시하였다.

기타 실험에서 불활성가스는 단백질 내에서 특수한 장소에 결속되어 있다는 결속기전(bounding mechanism)도 제시되었지만, 기전에 대한 이론에 대해서는 더 명확히 규명되어야 할 과제로 제시하였다.

3) 전기생리학적기전(Electrophysiological mechanism)

지금까지 불활성 가스와 관련하여 Marshall과 Fenn(1950)은 불활성가스 마취 기전을 규명하기 위해 개구리와 쥐의 세포조직에서 반사표본(reflex preparation)과 개구리 뇌활동 파형표본을 불활성가스의 부분압에 노출시킨 결과 질소와 아르곤의 경우 실험실 개구리 표본에서 역으로 차단(block)되었고, 헬륨은 어떠한 영향도 받지 않았다. 즉 실험실에서 개구리의 좌골신경은 다양한 압력에서 불활성가스에 영향을 받지 않았다. Carpenter(1954)는 말초신경에서 신경충격 전달을 차단할 정도 영향을 주기 위해서는 매우 높은 압력과 낮은 압력으로 각각 실험한 결과 불활성가스마취 및 마취 작용의 장소는 중추 시냅스인 것으로 추론하였다.

실험실 연구에서 불활성 가스에 영향을 받는 방추 시냅스(spinal synapse)는 Chun(1959)에 의해 재 입증

되었으며, 방추시냅스와 말초신경에서 전달기전을 규명하므로서 규명한 결과, 억제 시냅스 기전(inhibitory synaptic mechanism)은 흥분기전 전에 영향을 받았고, 마취와 불활성가스 기전은 시냅스의 전각세포(anterior horn cell of synapse)에서 작용했음을 의미한다고 보고했다..

따라서 위의 여러 방법으로 마취를 정량화할 수 있는 유효한 실험수단으로 더 많은 심도 있는 연구가 필요한 것으로 제시하였다..

4) 세포조직과 막 기전(cellular and membrane mechanism)

불활성 가스 마취의 기전과 관련하여 대사율 하락, 이온 침투에서 차단을 야기하는 세포막 안정성, 소듐의 배출펌퍼의 저항, 감마 아미노낙산과 같은 억제효소의 생성증가, 아데노신 3인산염 생성으로 인한 방해 등과 같은 많은 요인이 고려되어 왔지만, 마취성과 관련한 두 가지 이론은 생화학학과 물리학으로 구분된다. 전자의 경우 호흡효소 체계에 대한 영향과 후자의 경우 세포막과 같은 신경세포의 특성 부분과 용해 혹은 상호작용과 관련을 가진다(Roth, 1980)는 이론인 반면, 전자와 관련하여 불활성가스에 대해 여러 압력에서 생화학적 변화에 대해 만족할 만한 증거를 얻은 것은 아직 불확실하다.

다양한 이론 중에서 Halsey 등(1978)은 다양한 장소에서 팽창하는 가설(multi-site expansion hypothesis)을 주장하였다. 즉 그의 가설 주장의 근거로서

첫째, 일반적인 마취현상은 한 장소 이상에서 팽창함으로써 발생하고, 이러한 장소는 각각 다른 물리속성을 지닌다.

둘째, 분자 장소(molecular site)의 물리속성은 무감각 혹은 압력 발생으로 영향을 받는다.

셋째, 분자장소는 부피가 큰 솔벤트처럼 작용하는 것이 아니라 미세한 크기를 가지고 작용한다.

넷째, 압력 자체는 마취성을 지니는 동일한 장소에서 필수적으로 작용하는 것이 아니다. 무감각성에 따라서 어느 특정한 장소는 압력과 상호작용을 결정하는데 우선적일 수 있다.

다섯째, 무감각을 유발하는 분자장소는 압력 증가 상황과 유사하게 온도의 감소로 인해 교란되지 않는다. 실험실에서 불활성가스-산소혼합가스에 노출된 고양이(Bennett & Hayward, 1967)의 것과 정상적인 압력에서 1시간동안 고양이의 뇌방추액(cerebral spinal fluid)에서 포타슘, 소듐, 칼로라이드 이온을 비교한 결과 질소-아르곤혼합가스는 청각유입반응(auditory evoked cortical response)에서는 유의하게 하락했지만 유입반응(evoked response)과 전해질(electrolyte)에서는 어떠한 변화도 보이지 않았다.

III. 맺음 말

수중레저스포츠 활동시 발생 가능한 신체의 이상증세들 중 불활성가스- 압력- 수중활동시간으로 인해 나타나는 현상 등을 종합하여 추후 수중과 관련한 심도 있는 연구를 위해 국·내외 문헌들을 고찰하여 종합하는데 있다. 즉 수중에서 불활성가스로 인한 증상과 징후, 불활성가스가 수중 퍼포먼스에 미치는 영향, 불활성가스에 의한 마취의 기전과 원인을 규명하였다.

첫째 압축공기(불활성가스) 중독의 증상과 징후로서 정상적 상태에서 불활성가스지만 부분압이 증가하게 되면 마취효과를 지닌다. 특히 질소는 대기 중 79%의 가장 많은 량을 포함하며, 에너지 대사과정에 참여하지 않는 기체로서 수중에서 마취효과는 가스와 신경세포의 상호작용에 의한 결과로 규정되었다. 수심 약 18m에서 발생가능성이 있고 약 30m수준에서 뚜렷이 나타나며, 그 징후는 초기의 저산소증(hypoxia)과 비슷한 증상을 보인다. 일반적으로 수중활동시간과 수심에 따라서 그 강도는 심해지고 사고력, 판단력, 기

역능력에서 비 정상상태가 되고, 심리적 및 신체적 퍼포먼스에 영향을 준다.

둘째 불활성가스가 수중 퍼포먼스에 미치는 요인으로 헬륨(Helium), 수소(hydrogen), 네온(Neon), 질소(nitrogen)를 들 수 있고, 각 가스마다 수중에서 마취효과의 정도는 다르다.

셋째 마취 원인과의 기전은 복합적이며 지금까지의 주장되어온 주요 이론은 세포조직과 막기전(cellular and membrane mechanism), 전기생리적이전(Electrophysiological mechanism), 불활성가사이론(Inert gas theory), 일산화탄소 이론(Carbon Dioxide theory) 등이 보고되었다.

결론적으로 마취문제에 대한 추후의 해결방안, 특히 발생기전과 관련하여 세포막 생리학과 신경전달물질과 함께 심도 있는 연구가 필요하다. 일반적으로 압력의 변화와 더불어 마취의 기전과 관계를 규명하는 것이 최소한의 질소마취 징후와 증상과 관련한 딥 다이빙을 가능하게 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 류재청·윤상택(1998). 「스킨·스쿠버Ⅱ」, 온누리.
- 류재청(2002). 잠수활동에서 활동수심과 시간에 따른 잠수증(질소마취)에 미치는 요인의 정량화와 예방법. 한국체육학회지 제 41권 제 1호.
- Ackles, K. N. & Fowler, N.(1971). Cortical evoked response and inert gas narcosis in man. *Aerospace Med.* 41. 1181-1184.
- Adolfson, J.(1964). Compressed air narcosis. Thesis. The Institute of Psychology, University of Gothenburg Sweden.
- Adolfson, J., Goldberg, L.& Berghage, T.(1972).Effect of the increased ambient air pressure on standing steadiness in man. *Aerospace Med.* 43.520-524.
- Albano, G.(1970). Principle of observation on the physiology of the scuba diver. Office of Naval Research Report DR-50. Arlington, Va.
- Baddeley, A. D.(1966). The influence of depth on the manual dexterity of free diver. A comparison between open-sea and pressure chamber testing. *J. Appl. Physiol.* 50. 81-85.
- Barnard, E. E. P., Hempeeman, H. V. H. & Trotter, C.(1962). Mixture breathing and nitrogen narcosis. Report.Medical Research Council, RN, UPS 208, London.
- Bean, J. W.(1950). tensional change of alveolar gas in reaction to the rapid compression and decompression and question of nitrogen narcosis. *Am. J. Physiology.* 161. 417-425.
- Behnke, A. R., Thomson, R. M. & Motley, E. P.(1935). The psychological effect from breathing air at 4 atm. pressure. *Am. J. Physiol.* 112. 554-558.
- Bennett, P. B.(1971).Performance impairment in deep diving due to nitrogen, helium, neon and oxygen. In *The physiology and medicine of diving IV.* 170-193. Ed. Perter B. Bennett and David H. Elliott. Saunder.
- Bennett, P. B.& Blenkarn, G. D.(1974). Arterial blood gases in man during inert gas narcosis. *J. Appl. Physiol.* 6. 45-48.
- Bennett, P. B.(1971). Psychological, Physiological and biophysical studies of narcosis. In *Proc.4th Symp. Underwater physiology.* PP.457-469. ED. C. J .Lambertsen. London Academic Press.

- Bennett. P. B. & Glass. A.(1961).Electro encephalographic and other changes induced by high partial pressures of nitrogen. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 13. 91-98.
- Bennett. P. B.(1965). Psychometric impairment in man breathing oxygen- helium at increased pressure. Report. Medical Research Council. RN Personnel Research Committee. UPS 251. London.
- Bennett. P. B. & David. H. E.(1993). *The physiology and medicine of diving.* pp. 170-193. Ed.4th. Saunders. London Philadelphia Toronto Sydney Tokyo.
- Bennett. P. B. & Towse. E. J.(1971). Compressed air intoxication at 180ft. 200ft during exposure of hour. Ministry of Defense. RN Physiological Lab. Report 13/71.
- Bennett. P. B., Roby. J., Simon. S. & Youngblood. D.(1975). Optimum use of nitrogen to suppress the high pressure nervous syndrome. *Aviat. Space environ. med.* 46. 37-40.
- Brauer. R. W., Way. R. O., Perry. R. A.(1968). Narcotic effect of helium and hydrogen and hyperexcitability phenomena at simulated depth of 1500-4000ft of sea water. *Intoxicity of amesthtics.* pp.41-255.
- Brauer. R. W., Way. R. O., Jordan. M., & Parrish. D. E.(1971). Experimental studies on the high pressure hperexcitability syndrome in various mammalian species. In proc. 4th Symp. Underwater physiology. PP.487-500. Ed. C. J. Lamnersten. London: Academic pressure.
- Carpenter. F. G.(1954). Anaesthetic action of inert and unreactive gases on inact animal and isolated tissue. *Am. J. Physiol.* 178.505-509.
- Case. E. M. & Hldane. J. B. S.(1941). Human physiology under high pressure. *J. Hyg. Camb.*41.225-249.
- Chun. C.(1959). Effect of increased nitrogen pressure in spinal reflex activity. *lizol. Zh. SSSR* 45.605-609.
- Criscuoi. P. M. & Albano. G.(1971). Neurophysiological effect of exposure to compressed air. In proc. 4th Symp. underwater Physiology. PP.417-478. Ed. C.J. Lambersten. London: Academic Press.
- Cousteau. J. Y.(1953). *The silent world.* London: Reprint Society.
- Damant. C. C.(1930). Physiological effect of work in compressed air. *Nature.Land.*126.606-608.
- Davis. F. M., Osborne. J. P., Baddeley. A. D. & Graham. I. M. F.(1972). Dive performance: Nitrogen narcosis and aniety. *Aerospace Med.* 43.1079-1082.
- Dickson. J. G., Lambertsen. C. J. & Cassils. J. G.(1971). Quantification of performance decrements in narcotized man. In Proc.4th Symp. Underwater Physiology. 449-455. Ed. C.J.Lambertsen. London. Academic Press.
- Fowler. B.(1973). The effects of hyperbaric air on short-term and long-term memory. *Aerospace Med.* 44. 1017-1022.
- Fowler. B., & Ackles. K. N.(1972). Narcotic effects in man of breathing 80-20 argon-oxygen and air under hyperbaric conditions. *Aerospace Med.* 43. 1219-1224.
- Fowler. B., Ackles. K. N. & Porlier. G.(1985). Effect of inert gas narcosis on behavior: A critical review. *Undersea Biomed.Res.* 12. 369-402.
- Fowler. B., Hamilton. H. & Porlier. G.(1987). Interaction between ethanol, amphetamine and inert gas narosis on th performance of a memory scanning task. In Proc. 9th Symp. Underwater and Hyperbaric medical Society.
- Foller. B., White. P. L., Wright. G. R. & Ackles. K. N.(1980). Narcotic effects of nitrous oxide and

- compressed air on memory and auditory perception. Undersea Biomed. Res. 7. 35-46.
- Frankenhaeuser. M., Graff-Lonnevig. V. & Hesser. C. M.(1963). Effects on psychomotor functions of different nitrogen-oxygen gas mixtures at increased ambient pressures. Acta Physiol. Scand. 59. 400-409.
- Gardette. B., Lemaire. C. Rostain. J. C. & Fructus. X.(1990). The french deep diving scientific program on oxygen-helium, trimix and oxygen hydrogen gas mixture. In man in the sea, Vol.1. Ed. Yu Chong Lin and K. Shida. pp. 70-100. San Pedro, Calif.: Best Publication..
- Halsey. M. J., Wardley-Smith. B. & Green. C. J.(1978). Pressure reversal of general anesthesia: A multi-site expansion hypothesis. Br. J. Anaesth. 50.091-1097.
- Hamilton. K.(1995). Dissociation of the behavioral and subjective component of nitrogen narcosis and diver adaptation. Undersea Hyperb. Med.
- Hesser. C. M.(1963). Measurement of inert gas narcosis in man. In Proc. 2nd Symp. Underwater Physiology.202-208. Ed. C. J Lambertsen & L. J. Greenbaum. Washington. D. C.: Natl Acad. Sci.-Natl Res. Council.
- Hesser. C. M., Frageus. L. & Adolfson. J.(1978). Roles of nitrogen, oxygen and carbon dioxide in compressed air narcosis. Undersea Biomed. Res.5.391-400.
- Hill. L., Davis. R. H., Selby. R. P., Pridham. A. & Malone. A. E.(1933). Deep diving and ordinary diving. report of committee Appointed by the British Admiralty.
- Hill. L. & Greenwood. M.(1906). The influence of increased barometric pressure on man. Proc. R. Soc. B77. 442-453
- Hill. L. & Mcleod. J. J.(1903).The influence of compressed air on respiratory exchange. J. Physiol. 29. 492-453.
- Hill. L. & Phillips. A. E.(1931). Deep sea diving. J.R. Nav. Med. Serv. 8. 157-173.
- Hunter. W. L. & Bennett. P. B. The cause, mechanism and prevention of the high pressure nervous syndrome. Undersea Biomed. Res. 1.1-28.
- Jones. A. W., Jennings. R. D., Adolfson. J. & Hesser. C. M.(1979). Combined effects of ethanol and hyperbaric air on body sway and heart rate in man. Undersea Biomed. Res. 6. 15-25.
- Johnson. F. H. & Flagler. E. A.(Hydrostatic pressure reversal of narcosis in tadpoles. Science. N. Y.12. 91-92.
- Kiessling. R. J. & Maag. C. H.(1962).Performance impairment as a function of nitrogen narcosis. J. Appl. Psychol. 46. 91-95.
- Lambertsen. C. J.(1975). Collaborative investigation of limit of human tolerance to pressurization with helium, neon and nitrogen. Simulation of density equivalent to helium-oxygen respiration at depth to 000, 3000, 4000 and 5000ft of sea water. In underwater physiology V. PP.35-48. Bethesda. Md.: Fedn Am. Socs Exp. Biol.
- Marshall. J. M., & Fenn. W. O.(1950). The narcotic effect of nitrogen and argon on the central nervous system of frog. Am. J. Physiol. 63. 733.
- Mekjavi(1995). Nitrogen narcosis attenuates shivering thermogenesis. IB : J. Appl. Physiol. 19.
- Meyer. H. H.(1899). Theories der alkoholnarkose. Arch. Exp. path. Pharmak. 42. 109. Cited in Physiology

- and Medicine of Diving 4ed. 170-193. Ed. Peter B. Bennett & David H. Elliott. Saunder.
- Miller. S. L.(1961). A theory of gaseous amnestheics. Proc. Natl. Academy Sci. USA 47. 515-1524.
- Moxon. W.(1881). Croonian lectures on the influences of the circulation on the nervous system. Br. Med. J. 1. 491-497. 583-585. Cited in Physiology and Medicine of Diving 4ed. 170-193. Ed Peter B. Bennett and David H. Elliott. Saunder.
- NAUI(1991).Advanced diving. Technology and techniques.. National Association of Underwater Instructor.
- O'Reilly(1974). Effect of nitrogen narcosis on cortical and subcortical evoked response in cat. Aviat. Spacw Environment med. 46. 259-263.
- Overton. E.(1901). Studien uber die Narkose. Jena: Fischer. Cited in Physiology and Medicine of Diving 4ed.170-193. Ed Peter B. Bennett & David H. Elliott. Saunder.
- Poulton. E. C., Catton. M. J. & Carpenter. A.(1964). Efficiency at sorting cards in compressed air. Br. J. Ind. Med. 21. 242-245.
- Rashbass. C.(1955). The unimportance of carbon dioxide in nitrogen narcosis. Report. Medical Research Coulcil. RN personnel Research Committee. UPS 153.London.
- Roth. S. H.(1980). Membrane and cellular actions of anesthetic agent. Fed. Proc. 39. 595-1599.
- Schreiner. H. R., Hamilton. R. W., & Langley. T. D.(1972). Neon: An attractive new commerical diving as. In Proc. Offshore technology Conference. Huston. 1-3 May.
- Shilling. C. W. & Willgrube. W. W.(1937). Quantitative study of mental and neuromuscular reactions as influenced by increased air pressure. US Nav. Med. Bull.35. 373-380.
- Sledkov AI(1996). Involvement of adrenergic mechanisms in developing the nervous syndrome of high pressure and nitrogen narcosis. Aviakosm Ekolog Med.
- Townsend. R. E., Thompson. L. W. & Sulg. I.(1971). Effect of increased pressure of normoxic helium, nitrogen and neon on EEG and reaction time in man. Aerospace Med. 42. 843-847.

* Web Reference

<http://www.gullftel.com/~scubadoc/n2narc.html>

접 수 일 : 2002. 11. 1.
게재확정일 : 2002. 11. 13.