

高壓酸素療法の理論과 應用

Hyperbaric Oxygen Therapy —Basic Principles and Clinical Applications—

서울大學校 醫科大學 豫防醫學教室

尹 德 老 · 趙 秀 憲

緒 論

高壓酸素療법은 100% 酸素를 正常 大氣壓보다 높은 壓力으로 呼吸하게 하여 治療效果를 얻고자 하는 하나의 治療方法이라고 定義할 수 있다.

1. 療法의 名稱

우리나라를 비롯하여 日本等地的 漢字影響圈에서는 大體로 高壓酸素療法 또는 高壓酸素治療法이 共用되고 있으나 英文으로는 그 名稱이 多樣하다. 卽 國家 또는 著者の 趣向에 따라 oxygen high pressure, hyperbaric oxygenation, hyperbaric oxygen therapy, hyperbaric oxygen drenching, high pressure oxygen 등이 쓰이고 있으며 드물게는 hyperbaricity 또는 hyperbarism이 使用되기도 한다. 本文中에서는 次後 oxygen high pressure의 略稱인 OHP를 使用하여 敘述하겠다.

2. 高壓酸素療法の 歷史의 背景

高壓酸素療법은 實際 利用面에 있어서나, 또 理論에 있어서는 比較的 긴 年輪을 가진 反面, 하나의 療法으로 認定, 使用되기에는 그 歷史가 그리 길지 않다. 卽 1956年 和蘭의 Boerema教授에 依해서 從來의 高壓療法 또는 高壓酸素療法를 現代醫學의 概念에 立脚, 再 整理하여 tetralogy of Fallot 등의 心臟疾患의 手術, 嫌氣性細菌感染, 一酸化炭素中毒 등에 choice of therapy로서 再登場하기까지는 오랜 歲月동안 여러 疾患에 對하여 廣範圍하게 施行된 高壓療法이 體系의인 治療法으로서 갖춰져야 할 具備條件들이 試圖만큼 充實치 못했다는 間接的 證據이기도 하다.

便宜上 高壓酸素療法の 變遷過程을 高壓裝置利用時代, 高壓療法盛行時代, 高壓療法活用時代, 高壓生理研究時代, 高壓裝置企業化時代, 高壓酸素療法準備時代 그리고 高壓酸素療法全盛時代의 7段階로 나누어 볼 수 있는데 그 內容은 Table 1과 같다.

高壓酸素療法の 理論

OHP는 그 名稱이 말해주듯 高壓이라는 하나의 物理的 環境과 100%의 酸素를 吸入시킨다는 두가지 條件이 複合적으로 作用하는 새로운 環境아래 行하여진다. 따라서 OHP의 原理를 說明하는때는 氣體의 運動 및 狀態에 關係되는 모든 物理的 法則이 適用된다. 이 中 基本的인 法則으로 Boyle의 法則, Dalton의 法則, 그리고 Henry의 法則을 들 수 있다.

Boyle의 法則은 溫度가 一定할 때 氣體의 容積은 壓力에 反比例한다는 것으로 高壓裝置內에 容積의 n倍가 되는 氣體를 注入하게 되면 內壓은 n倍로 上昇되어 OHP의 壓力效果(pressure effect) 또는 機械的 效果(mechanical effect)를 說明할 수 있다. 混合가스의 分壓에 關한 Dalton의 法則은 混合가스의 全體壓은 混合가스를 構成하고 있는 各 가스의 分壓의 總和와 같다는 것으로, 이는 液體內로 溶解되는 가스의 量은 溫度가 一定할때 가스의 液體에 對한 溶解係數와 가스의 分壓에 比例한다는 Henry의 法則과 아울러 OHP의 酸素分壓上昇效果(effect of increased P_{O_2})의 原理를 說明함에 있어 必須不可缺한 것이다.

한편 壓力의 單位는 歐美에서는 psi(pound per square inch)를, 그리고 東洋에서는 kg/cm^2 單位를 많이 使用하는데 1氣壓(atm)은 14.7psi, $1kg/cm^2$ 그리고 760 mmHg, 1013.25 millibar와 같다. 一般의으로 흔히 使用되는 壓力計器(pressure gauge)는 大氣壓을 表示하지 않은 狀態 卽 計器壓에는 0으로 나타내므로 實際 壓力은 計器壓에 1氣壓을 加하여야 한다.

1. 動脈血의 酸素分壓에 따른 酸素溶解量

正常大氣 環境에서는 1氣壓의 酸素分壓은 158mmHg이지만 肺胞內에서는 飽和水蒸氣壓 및 二酸化炭素로 因하여 P_{O_2} 는 100mmHg로 떨어져 實際 動脈血에 있어서의 P_{O_2} 는 89mmHg밖에 되지 않는다. 이때 動脈血

Table 1. 高壓酸素療法の 變遷史

時代區分	年代	特記事項
高壓裝置利用時代	BC 332	Alexander大王이 Tyre市 攻擊에 潜水鍾(Diving Bell)利用
	1531	Demarchi : 沈沒般 引揚에 高壓裝置 利用
	1562	Trasnier : 高壓裝置內에서 物理化學 實驗
高壓療法盛行時代	1662	Henshaw : 高壓治療裝置 製作 및 運用
	1782	和蘭王室翰林院 : 高壓裝置의 設置를 公募
	1834	Junod : 高壓治療裝置(銅製, 球形) 製作 및 治療
	1837	Pravaz : 12人用 大型 高壓治療裝置 製作
	1841	Triger : 潛函病 認知(Bends 觀察)
高壓療法活用時代	1875	Forlanini : 肺疾患研究所 開設 및 高壓療法 施術
	1879	Fontaine : 移動式 手術用 高壓裝置 製作
高壓生理研究時代	1878	Paul Bert : 高壓生理學의 鼻祖, 神經系 酸素中毒報告
	1889	Lorrain Smith : 肺酸素中毒報告
高壓療法 企業化 時代	1860	Canada의 Ashawa에 高壓治療裝置 設置
	1891	美 New York에 高壓治療裝置 設置
	1921	Cunningham : 美 Kansas市에 大型 高壓治療裝置 設置
	1928	Cunningham : 美 Cleveland에 超大型 高壓治療裝置 製作 設置
高壓酸素療法準備時代	1775	Priestley : 大氣中 酸素의 存在確認
	1923	Haldane : 一酸化炭素中毒에 있어서 高壓酸素療法の 動物實驗으로 臨床 治療의 根據提示
	1950	Pan : 一酸化炭素中毒 患者를 高壓酸素로 治療
高壓酸素療法全盛時代	1956	Boerema : 高壓酸素療法の 理論的 根據 提示
	1961	Boerema : 手術用 高壓酸素療法裝置 建造 및 臨床實驗
	1963	第一次 世界高壓酸素療法學會(和蘭 Amsterdam)
	1969	서울大 附屬病院에 韓國 最初로 高壓酸素治療室 開設
	1977	第六次 世界高壓酸素療法學會(英 Aberdeen)

100cc가 運搬 可能한 酸素의 量은 血中 血色素의 酸素 飽和度를 97%以上, 血液 100cc當 血色素의 量을 15g 으로 한다면

$$15 \times 1.36(\text{Hüfner係數}) \times 0.97 = 19.8(\text{ml})$$

即 血色素에 依해 運搬되는 19.8ml와 物理的으로 血漿內에 溶解된 0.3ml를 合한 20.1ml가 된다.

大氣壓에서 100% 酸素를 吸入하면 肺胞內 PO_2 는 $\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}$ (47mmHg)를 除外한 673mmHg가 되며 이때 動脈血內의 PO_2 는 515mmHg, 그리고 血漿內에 物理的으로 溶解된 酸素의 量은 2.0ml가 된다. 이러한 吸入氣體의 壓力 및 酸素造成比에 따른 動脈血內의 酸素分壓 및 血中에 溶解된 酸素의 量은 Fig. 1, Table 2, Table

3과 같다.

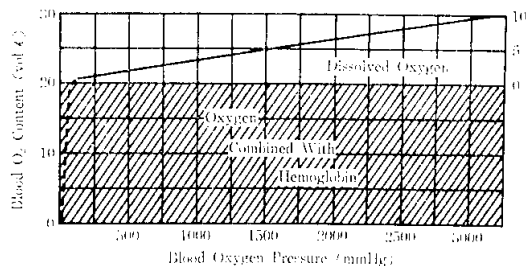


Fig. 1. Blood oxygen content at various blood oxygen pressure.

Table 2. Oxygen partial pressure of arterial blood

Inspired gas	PaO ₂ (mmHg)	Investigator
1 ATA·Air	89	Lambertsen
1 ATA·O ₂	515	Schoemaker
3 ATA·O ₂	1,720	Whalen
3.5 ATA·Air	190	Lambertsen
3.5 ATA·O ₂	2,100	Lambertsen
4 ATA·O ₂	2,608	Hahnloser

따라서 100% 酸素를 3ATA으로 吸入시키면 動脈血 100cc內에 物理적으로 溶解될 수 있는 酸素의 量은 6.6 ml에 이르게 되며, 이 量은 腦의 動靜脈酸素差(cerebral arterio-venous oxygen difference)인 6vol%을 上廻하는 값으로 Boerema(1960) 등은 이 狀態를 血色素와 結合되지 않고도 供給되는 酸素로 生命維持가 可能한 이른바 "Life without Blood(or Hemoglobin)"이라 하였다. 100%의 酸素를 3.5ATA으로 吸入시킬 때의 血中 酸素分壓 및 酸素量 등에 關한 變化는 Table 4와 같다. (Lambertsen et al., 1953)

2. 炭酸가스 運搬에 미치는 影響

一般大氣를 呼吸할 때는 組織에 供給되는 酸素의 大部分은 毛細血管을 통해 血色素에 依해 供給된다. 그러나 高壓酸素吸入時는 物理적으로 溶解된 酸素의 供給量이 增加함으로 酸化血色素(HbO₂)의 一部은 酸素解離가 되지 않은 채 毛細血管을 通過하게 된다. 이러한 結果, 酸素運搬은 化學적으로 아무런 影響을 받지 않으나 組織內 炭酸가스 運搬은 抑制된다. 即 一般大氣呼吸時는 組織內 CO₂의 90%는 組織毛細血로 擴散되어 bicarbonate 또는 carbamino 形態로 運搬되므로, 한개의 CO₂分子는 赤血球內에 한개의 水素 ion을 유리한다. 따라서 血色素의 酸素解離에 依해 생긴 還元血色

Table 3. Blood oxygen content dissolved at various inspired oxygen pressures

Inspired gas	O ₂ dissolved [vol %]
Air·1 ATA	0.29
O ₂ ·1 ATA	2.0
2 ATA	4.3
3 ATA	6.6

素(reduced hemoglobin)가 鹽基群(basic group)으로 作用하여 pH의 變化는 일어나지 않으며 同時에 組織內 Pco₂의 上昇도 일어나지 않는다

그러나 高壓酸素環境下에서는 血液內 HbO₂增加가 일어나고 HbO₂는 還元血色素에 比하여 水素 ion 緩衝作用이 적기 때문에 組織의 Pco₂와 pH의 上昇이 招來된다. 이 現象에 對하여 3ATA 以上の 高壓酸素 投與時 CO₂蓄積에 依한 危害가 尙論議되곤 하였으나, 現在 까지 밝혀진 實驗結果에 依하면 血色素의 酸素解離를 完全遮斷한 狀態에서 腦의 Pco₂增加는 約 5mmHg에 이르는 것으로 밝혀졌으며 5mmHg增加는 海水面에서 21% O₂에 6% CO₂를 混合하여 吸入한 結果와 같다. 一般的으로 酸素에 依해 惹起된 中樞性 炭酸가스過剩 狀態(Central Hypercapnia)는 自體調節이 可能하다.

3. 呼吸系(Respiratory system)에 미치는 影響

Lambertsen(1964) 등에 依하면 高壓酸素 吸入으로 呼吸數에는 變化가 없으나 換氣量에 影響을 주는데 이는 酸素分壓의 增加 때문인 것으로 解釋하고 있다 (Table 5).

그러나 MacHattie 등(1960)은 換氣量 增加에 對하여 조금 다른 見解를 表出하고 있다. 即 正常人에게 OHP를 投與하면 初半에는 換氣量이 徐徐히 減少하다

Table 4. Effect of 3.5 ATA oxygen inhalation

Inspired gas	1ATA·Air			3.5ATA·O ₂			
	Blood	Arterial	Internal jugular	A-V difference	Arterial	Internal jugular	A-V difference
Hb Sat. (%)		96.1	65.2	30.9	100.0	89.3	10.7
O ₂ Content (vol %)		18.7	12.6	6.1	26.0	17.8	8.2
Po ₂ (mmHg)		91.0	38.0	53.0	2,100.0	75.0	2,025.0
CO ₂ Content (vol %)		50.0	55.7	5.7	46.9	55.2	8.3
Pco ₂ (mmHg)		39.0	50.0	11.0	34.0	53.0	19.0
pH		7.40	7.34	0.06	7.43	7.31	0.12

Table 5. Effect on the respiratory function

Inspired gas	Ambient pressure (ATA)	Inspired PO ₂ (mmHg)	Resp. rate (per min)	Tidal volume (l at BTPS)
Air	1.0	159	14.4	0.45
6% O ₂	3.5	160	13.5	0.468
Air	3.5	557	14.1	0.454
Oxygen	3.5	2,660	13.5	0.616

가 後半에 漸次 增加하는데 이는 單純히 PaO₂의 增加에 依한 直接的인 影響보다는 OHP投與로 CO₂運搬이 妨害되어 體內 Pco₂와 pH의 上昇이 오고 이로 因해 呼吸中樞刺戟이 後半의 換氣量增加를 가지오는 것으로 說明하고 있다.

頭部損傷, 藥物中毒 또는 疾病 等の 原因으로 呼吸機能이 顯著히 低下된 狀態에 OHP를 實施하면 酸素分壓의 增加로 化學的呼吸刺戟(chemoreflex drive of respiration)에 依한 呼吸은 抑制되지만 低酸素症은 解消된다. 卽 OHP時는 呼吸機能의 低下로 動脈血과 組織內的 Pco₂와 pH는 增加하지만 Po₂는 높게 維持된다.

4. 循環系(Circulatory system)에 對한 影響

高壓酸素 環境下에서는 血液中에 物理的으로 溶解된 酸素의 量이 增加하여 相對的으로 血液의 酸素運搬能力이 增加하므로 心搏出量의 減少가 일어나게 된다 (Table 6).

各 臟器의 血流量은 心搏出量과 마찬가지로 高壓酸素 環境下에서는 低下된다. 이러한 現象은 腦血管, 冠

狀動脈에서뿐 아니라 成人의 눈, 腎臟 그리고 微微하지만 皮膚에서도 볼 수 있다(Table 7).

血流量의 減少原因은 血管收縮으로 因한것으로 說明되고 있는데 血管收縮의 機轉에 對해서는 많은 論難이 있다. 從來에는 高壓酸素 環境에서 Pco₂가 上昇하여 血管이 收縮되는 것으로 說明하였으나, krypton 85를 利用한 實驗에서 Po₂上昇 그 自體가 血管收縮에 直接 影響을 미치는 것으로 밝혀졌다. 卽 實驗動物을 人工呼吸方法으로 動脈內 Pco₂를 35mmHg로 固定시킨 뒤 dextran에 溶解한 krypton 85를 頸動脈內에 注入하여 大腦皮質의 放射能을 測定한 結果 吸入酸素의 壓力이 1ATA일 때 12%, 2ATA일 때 21%의 血流量減少를 觀察하였다 한다(Jacobson et al., 1963). 그러나 酸素分壓의 上昇이 直接 血管의 平滑筋에 作用하여 血管收縮을 招來하는지 또는 呼吸促進으로 因하여 惹起된 動脈血의 hypercapnia가 間接的으로 血管收縮을 일으키는 지에 對해서는 아직 뚜렷하지 않다.

高壓酸素療法の 臨牀的 應用

OHP의 効果는 (1) 血色素에 依한 酸素供給이 抑制된 狀態에서도 生命維持器管의 機能을 維持할 수 있는 酸素를 物理的으로 溶解된 溶存酸素를 通하여 供給할 수 있고, (2) 藥理學的 機能 卽 嫌氣性細菌感染에 對하여 殺菌效果를 나타내며, (3) 壓力效果를 利用하여 組織內的 gas bubble의 크기를 縮小시키며 이의 除去를 促進시키는 세가지 機能으로 區分할 수 있다.

A. 絕對的 適用疾患(Absolute indications)

1) 一酸化炭素中毒(Carbon monoxide poisoning)

19世紀末 C. Bernard(1857)와 Haldane(1895)이 一酸化炭素中毒(以下 CO中毒)의 原因이 carboxyhemoglobin(HbCO)形成에 依한 酸素供給 障礙로 因한 것임을 밝히기 前에는 CO中毒의 機轉에 對하여 전혀 아는 바가 없었다. CO中毒은 CO와 血色素와의 結合력이 酸素보다 210배나 높아 낮은 濃度の CO에서도 多量의

Table 6. Change of cardiac output

Inspired Gas	% Decrease	Investigator
1 ATA·O ₂	11%	Daly & Bondurant
3 ATA·O ₂	15%	Kuhn
	13%	Whalen
4 ATA·O ₂	20~25%	Hahnloser

Table 7. Change of blood flow

Inspired gas	Brain		Upper extremities	
	% decrease	Investigator	% decrease	Investigator
1ATA · O ₂	10%	Kety	16%	Bird
	12%	Jacobson		
2ATA · O ₂	21%	Jacobson	28.5%	Bird
3ATA · O ₂	25%	Lamberten		

HbCO가 形成되어 血色素의 酸素運搬能力이 遞減될 뿐만 아니라 HbCO가 30% 以上되면 酸素의 解離曲線이 左側으로 移動하여 HbO₂에서 酸素가 解離되는 것도 抑制된다. 이러한 두가지 機轉을 CO中毒의 二重作用이라고 한다. 이러한 狀態에서 OHP는 두가지의 決定的인 治療效果를 나타낸다. 卽 3ATA · 100% O₂에서 6 vol% 以上の 溶存酸素로 生命維持器管의 動靜脈酸素差인 6vol%를 凌駕하여 低酸素 내지는 無酸素症을 解消시키며, 同時에 CO排出을 促進하여 10分 以內에 危險 HbCO水準에서 安全水準까지 내릴 수 있다는 點이 다.

이런 效果를 期待하기 爲해서는 100% O₂ · 3ATA이 바람직하나 英國系統에서는 酸素中毒의 危險을 고려하여 生存하고 있는 限 HbO₂가 存在하고 있으므로 2~2.5ATA · 100% O₂를 권하고 있다. 그러나 餘他 유럽이나 美國 學者들은 低酸素症의 即時解消와 損傷되어 가는 腦細胞의 早速한 回復을 爲해 3ATA을 주장하고 있다.

治療時間은 壓力에 關係없이 60~90分이 利用되고 있다. 特히 CO中毒患者가 많은 우리나라에서는 1969年부터 서울大學附屬病院에서 實施되었는데 그 治療方式은 治療 前半 30分은 3ATA으로 그리고 後半 30分

은 2ATA으로 減壓하여 治療하는 2段階療法(two stage therapy)를 써서 高壓으로 인한 安全問題, 酸素의 節約 등을 圖謀하고 있는데 治療結果에는 별다른 影響은 없다. Table 8은 1969年부터 서울大學附屬病院 高壓酸素治療室에서의 一酸化炭素中毒患者 治療成績을 나타낸 것으로 98.2%의 回復率을 보이고 있다.

2) 嫌氣性細菌感染

嫌氣性細菌(anaerobic bacteria)의 感染症, 特히 *Clostridium welchii*에 의한 가스壞疽(gas gangrene)에 對하여는 卓越한 治療效果를 나타냄으로써, OHP는 CO中毒治療와 함께 醫學史上 하나의 里程標가 될만한 療法이라고 주장하는 學者도 있다.

가스壞疽에 對한 OHP의 作用機轉은 細菌成長抑制와 exotoxin生成抑制의 두가지를 들 수 있다. 卽 van Unnick(1965)는 OHP에 의한 α-toxin生成抑制를 實驗的으로 證明한 바 있고, Hopkinson 等(1963)은 表面培養에서 Clostridia의 成長이 抑制됨을 觀察한 바 있다.

治療方式은 施術者에 따라 약간씩 다른 治療計劃을 세우는데, 大體로 3ATA · 100% O₂로 加減壓時間(大略 30分)을 包含하여 120分을 限회로 하여 5~7回 反復하는 方式을 取하고 있다. 初期의 Boerema 等(1960)과

Table 8. Number and recovery rate of patients of carbon monoxide poisoning treated with hyperbaric oxygen chamber by month and year, Seoul National University Hospital

Month	1969	70	71	72	73	74	75	76	77	78	Total
Jan.	33	24	14	34	41	31	12	29	45	13	276
Feb.	23	14	0	21	28	56	21	35	11	13	222
Mar.	25	6	21	30	28	48	20	19	19	10	226
Apr.	21	8	13	21	38	25	19	22	9	9	185
May	21	10	12	12	20	28	6	8	4	8	129
Jun.	12	9	11	14	15	16	17	2	1	4	101
Jul.	6	8	5	11	6	16	4	8	3	4	70
Aug.	0	5	9	11	5	7	3	3	3	2	48
Sep.	17	4	5	25	33	8	14	5	4	—	115
Oct.	17	24	21	33	38	23	28	22	11	—	217
Nov.	31	41	40	29	52	34	16	29	9	—	281
Dec.	27	48	51	65	61	36	34	21	29	—	372
Total	233	201	202	306	365	328	194	202	148	63	2,242
Dead	3	4	2	4	7	6	5	6	2	1	40
Recovery Rate (%)	98.7	98.0	99.0	98.7	98.1	98.2	97.4	97.0	98.6	98.4	98.2

Illingworth(1962)는 他國에서 OHP施設이 없어 依賴된 가스壞疽患者 118名中 94名을 回復시켰으나 治療時期가 늦어 amputation에 依한 disability와 mortality rate는 높은 편이었다. Brummelkamp 等(1961)은 1日 3回씩(8時間 間隔) 2日間, 그리고 第3日에는 1回로 總 7回를 實施하였는데 1回當 90分으로 하였으며, Roding 等(1972)은 첫날은 3回, 2,3日에는 12時間 間隔으로 2回, 總7回 14時間의 OHP를 勸奨하고 있다.

OHP는 빨리 適用시킨수록 治療效果는 좋은데 Hedström(1975)은 가스壞疽治療에 있어 早期鑑別診斷의 重要性을 強調하여 潛伏期를 3日로 보아 3日以內에 3ATA·100% O₂로 3回 以上을 實施하여야 效果가 있다고 主張하고 있다. 勿論 OHP와 併行하여 debridement 및 感受性檢査에 의한 抗生劑投與가 必要하다.

著者들도 서울大學病院에서 가스壞疽가 併發한 3例를 OHP를 實施하여 全例 回復시킨 經驗이 있는데 治療方式은 3ATA·100% O₂를 1回 90分間으로 1日 3回씩 2日間, 그리고 第3日에는 1回, 總 7回 實施하였다.

가스壞疽患者의 治療時 患者의 意識이 明瞭하므로 壓力變化로 因한 耳痛을 豫防하기 爲하여 施術前 鼓膜穿孔이 必要하다.

3) 減壓病(Decompression sickness)

減壓病에 對해서는 다시 壓力을 加해 주는 것이 唯一, 最善의 治療法이다. 過去에는 大氣를 使用한 高壓治療法을 使用했으나 最近에는 OHP가 더 效果의인 것으로 밝혀졌다.

壓力은 作業하였던 水深의 壓力보다 2~3ATA 더 높게 하고 治療始作이 늦어질수록 治療時間은 延長된다. 輕症은 3ATA·100% O₂에서 1時間 治療한 後 分當 1/14.7ATA의 速度로 減壓한다. 甚한 경우에는 6ATA·50% O₂로 15分에서 2時間까지 症狀이 消失될 때까지 治療한 後 分當 1/14.7ATA의 速度로 減壓한다. 萬若 症狀이 消失되지 않으면 21%의 酸素를 包含한 空氣로 3ATA下에서 24時間 治療하기도 한다. 메로는 輕症의 疼痛은 codeine이나 aspirin으로도 緩和되고 局所溫浴으로도 效果를 본다.

減壓病과 關聯있는 air embolism의 治療에도 OHP가 適用된다. 即 Peter 等(1954)은 cardiopulmonary bypass로 發生한 air embolism이 甚한 3例에 對하여 6ATA·空氣로 加壓하여 air bubble의 크기를 縮小시킨 뒤 徐徐히 減壓한 後 nitrogen narcosis를 豫防하기 爲하여 2~5ATA, 100% O₂를 利用하여서 좋은 結果를 얻었음을 報告하고 있으며, Steward(1961)도 血液透析中 發生한 air embolism 1例를 OHP로 完快시킨 報

告를 하고 있다.

B. 相對的 適用疾患(Relative indications)

1. 內科疾患

1) 急性시안化物中毒(Acute cyanide poisoning) : 시안化物의 中毒作用은 細胞內의 呼吸酵素인 cytochrome 이나 catalase와 結合하여 電子 또는 H⁺의 移動을 妨害함으로써 結果적으로 Krebs' cycle의 斷絶을 가져 오는데, 높은 Po₂ 下에서는 이러한 cyanide의 作用이 阻止되는 것으로 알려져 있다. 一般적으로 急性 cyanide 中毒時 그 作用은 急激히 進行되므로 治療前 死亡이 大部分이지만 死亡前 OHP를 實施한 경우 效果를 볼 수 있다. 動物實驗으로는 Skene 等(1966)도 쥐를 利用하여 2ATA·100% O₂에 依한 OHP效果를 報告한 바 있다.

2) 藥物中毒 및 毒物中毒 : 藥物中毒에 對한 治療例로서는 barbiturate系 藥物의 過多服用(主로 急性)으로 因한 中毒時 OHP가 좋은 效果를 나타낸 것을 報告한 例가 多數있으며 著者들도 約 10例의 急性 barbiturate 中毒患者를 治療한 바 있는데 豫後는 모두 좋았다.

毒劑物에 依한 中毒時 中毒物質이 四鹽化炭素(CCl₄), chloroform인 경우 3.5ATA·100% O₂로 OHP를 施術하면 門靜脈과 肝動脈의 酸素飽和度가 높아져 肝損傷을 減少시키는 것으로 報告되고 있으며, 二酸化窒素(NO₂)中毒 또는 四酸化窒素(NO₄)中毒時 OHP로 肝腫脹을 減少시킨 例가 報告되었으나 致命率에는 差가 없어 앞으로 OHP適用에 對해 더 研究에 불 餘地가 있는 것으로 알려져 있다. 農藥中毒에 對해서는 中毒劑가 많은 反面 OHP適用에 對한 報告가 없어 아직 이렇다 할 判斷을 내릴 수는 없으나, 呼吸不良狀態에 對한 人工酸素吸入療法에 準하여 OHP의 活用도 考慮할 수 있을 것으로 생각된다.

3) 腦血管系疾患(Cerebro-vascular accident) : CVA의 原因中 出血로 因한 境遇 그 程度가 輕하고 初期이면 OHP가 回復에 좋다고 알려져 있다. 腦血栓症 및 栓塞症인 경우에도 硬塞이 完全치 않고 또 範圍가 넓지 않으면 매우 效果가 좋은 것으로 報告되고 있으며, 急性腦硬塞症의 50%가 回復完治되었다는 報告는 있으나 아직 症例報告가 많지 않아 結論을 내리기에는 時機尙早인 것 같다. 다만 OHP의 初期에 腦血管의 收縮이 오므로 CO₂의 混入, 腦血管擴張劑 投與 또는 低體溫方法의 併用을 勸奨하는 傾向이 있다.

4) 心筋硬塞症(Myocardial infarction) : 心筋硬塞症 또는 急性冠狀動脈閉鎖症에 對한 OHP效果에 對하여는

肯定과 否定이 對立하고 있다. 即 Trapp(1963)은 3ATA·100% O₂의 OHP로 心筋機能의 安靜 및 強化에 有効한 結果를 얻었다고 報告한 反面 Cameron 등(1965)은 OHP와 通常治療를 各各 20例에 實施한 後 別다른 差異를 發見하지 못하였다고 報告하고 있다.

2. 外科疾患

1) 出血性 shock: Blair 등(1965)은 實驗的으로 出血性 shock를 일으켜 OHP를 實施한 結果 生存率 및 生存時間이 延長되었음을 確認하였으며, Clark 등(1965), Young 등(1965)도 出血性 shock에 OHP가 效果있음을 主張한 바 있다. 또한 事故로 多量의 出血을 일으킨 患者가 宗教上의 理由로 輸血을 拒否하여 이를 OHP를 利用하여 回復시킨 治驗例도 報告된 바 있다.

Clark 등(1965)은 OHP의 治療機轉으로 OHP下에서 酸素運搬의 增加와 末梢血管 抵抗의 增加로 因한 血壓上昇으로 說明하고 있으나, 日本의 恩地 등(1967)은 回復不能의 shock를 일으키는 決定的 要素는 動脈壓의 下降이나 hypovolemia가 아니라 組織으로 運搬되는 酸素의 量이 決定的 要因이라 主張하고 있어 OHP에 依한 酸素供給增加를 主機轉으로 들고 있다.

2) 火傷(Burns): 動物實驗을 통하여 火傷에 對하여 OHP를 施術한 結果 回復率이 向上되었다는 報告는 Ikeda 등(1969), Nelson 등(1966)에 依하여 提示되고 있다. 特히 火災時 煤煙吸入으로 因한 ガス中毒은 그 成分이 主로 一酸化炭素이며 드물게는 cyanide가스이므로 OHP 治療가 바람직하다.

Smith 등(1961)은 血管火傷이 OHP에 依해 잘 治療되는 機轉을 確認하기 위하여 angiography를 한 結果 微細血管의 反應이 充進됨을 糾명한 바 있다.

3) 皮膚移植: Po₂가 높고 血管循環이 잘 될수록 細胞의 再生 特히 表皮의 再生은 빠르고, 瘢痕이 적어진다는 것은 잘 알려진 事實이다. 火傷의 境遇에 OHP 效果도 이런 機轉의 一環으로 볼 수 있다.

Turka大學의 研究에 依하면 血液循環이 좋지 않은 皮膚片에 間歇的인 3ATA·100%O₂ OHP로 蘇生되었다는 報告를 土臺로, 實驗的으로 흰쥐의 皮膚片을 利用하여 OHP가 一般空氣보다 效果가 越等히 좋다는 것을 確認하고 있다. 한편 Illingworth(1965)는 OHP下에서 組織低酸症이 解消되므로 貧血性皮膚再生에 도움을 줄 것이라고 反論하고 있다. 即 皮膚移植에 있어 OHP는 根本治療效果보다는 施術後 豫後를 良好하게 한다는 附加의 效果를 나타낸다.

4) 臟器移植: 臟器移植過程에 必要한 臟器保存에 OHP가 利用된다. 即 保存 臟器의 生存力(viability)를

保存시키려는 諸方法中 低溫法으로는 10~12時間程度 밖에 안되나 OHP를 併用시킬 경우 相當時間 延長시킬 수 있는 것으로 報告되고 있다(Spilg 등; 1972).

理論的으로는 組織에 따라 同一하지는 않으나 安靜狀態에서 消費되는 酸素量이 平均 5~6cc이므로 3ATA·100% O₂下에서는 viability 維持는 無難하다 할 수 있다. 그러나 最近의 研究에 依하면 OHP下에서 臟器의 表層 1cm以內的 Po₂는 높으나 그 以下에서는 急速히 減少하는 것으로 밝혀졌다. 따라서 直徑이 2cm以上되는 臟器保存時에는 酸素의 分壓을 높일 必要가 있으나 이에도 問題點이 있다. 實驗的으로 5°C의 低溫에서 여러 壓力의 O₂를 投與하였는데 腎의 深層까지 充分한 酸素가 供給되려면 5.0ATA·O₂가 必要한데 이 壓力에서는 腎의 表層部損傷을 일으키는 것을 報告하고 있다. 따라서 이런 問題를 解決하기 위하여 近來에는 OHP下에서 心肺器等을 利用하여 灌流液을 注入하는 方法이 研究되고 있다(Manax 등, 1966).

3. 其他

現在까지 OHP를 適用하여 그 效果에 對한 研究를 試圖한 또는 試圖하고 있는 疾病은 osteoradionecrosis, refractory osteomyelitis, Meleney's ulcer, hyaline membrane disease 등이 있으며 TOF 등의 心臟手術等에도 適用된 바 있다.

C. 高壓酸素-放射線 併用療法

惡性腫瘍의 治療方法으로 放射線療法의 開發에 拍車를 加하고 있던 1950年代의 學者들은 매카침 脚光을 받기 시작한 OHP와의 併行을 試圖하여 鼓舞的인 結果를 얻게 되었다. Gray(1957)는 低酸素狀態에서 癌細胞의 放射線感受성이 顯著히 減少되는 것을 發見하고, OHP를 投與하여 組織의 Po₂를 上昇시켜 준 結果 低酸素狀態에 있던 細胞들의 放射線感受성은 選擇的으로 增加하는 反面, 正常狀態의 細胞에서는 變化의 程度가 微微하다는 結果를 發表함으로써 學界를 興奮케 하였다. 이에 따라 Churchill-Davison(1964), van den Brenk 등(1964)이 이를 檢討하고 研究하여 明白한 理論의 根據를 내세웠음에도 不拘하고 實際 治療成果에 對해서는 오늘날까지 治驗報告例가 적어 確實한 結論을 내리지 못하고 있다.

治療方法에 對해서는 Holt(1975)가 提案한 方法等 많은 異見이 있다. Holt는 OHP裝置에 患者를 넣고 治療를 始作하기 前에 100%酸素로 裝置內의 空氣를 除去하는데 重要한 것은 酸素의 濃度を 97%以上으로 維持시키는 것이라 하였다. 壓力은 4ATA 또는 3ATA을 擇하게 되는데 大概 3ATA을 많이 利用한다. OHP曝露

時間은 放射線照射 20~30分前부터 始作하며 放射線照射가 終了된 後 減壓시키는 速度는 2~5分內에 平常 壓이 되도록 한다. 治療時 OHP의 壓力外에 溫度, 濕度 等을 細密하게 觀察하여야 하며 可能하면 治療前 痲醉를 實施하지 않는 것이 바람직하다.

OHP-放射線併用療法の 施術上 問題點은 OHP裝置의 照射窓口에 比하여 癌病巢가 너무 큰 나머지 放射線 Beam이 全病巢에 꽂고루 미치지 못하는 境遇이다. 따라서 併用療法時 hot spots뿐 아니라 적게 照射된 部位가 없이 均衡된 照射가 可能한 病巢의 크기 等을 考慮하여 患者를 選擇하여야 한다.

高壓酸素療法 運營의 問題點

OHP를 適用시킴에 있어 血管疾患 等으로 因하여 生命維持器官으로 酸素運搬이 適切히 이루어지지 못한 境遇 效果를 期待할 수 없으나 이는 外的 問題이며, OHP 施術上의 問題로는 酸素中毒이 가장 큰 難題이다.

酸素中毒에 對하여는 現在까지도 많은 實驗과 研究가 進行되고 있으나 그 發生機轉이나 耐性 等에 關하여는 아직 確實한 定說이 없으며, 一般적으로 사람에 있어 比較的 낮은 氣壓(0.6~2atm)의 酸素에 曝露될 때는 肺 및 氣道에 刺戟症狀이 나타나게 되고 高壓의 酸素에서는 神經症狀이 나타나는 것으로 알려져 있다. OHP의 壓力과 時間에 따른 酸素中毒의 危險性에 對해서는 Behnke 等(1934)은 3ATA·100% O₂ OHP時 4時間이 되면서부터 惡心, 眩氣症 等이 나타나며 4ATA로 올린 경우에는 15分內 다리에 痲痺이 온다고 報告하였다. 그러나 酸素中毒發生에는 酸素의 壓力과 時間외에 血中 二酸化炭素濃度, 運動量, 代謝, 副腎 hormone 等이 關與하므로 酸素中毒이 일어나지 않는 壓力別 曝露時間을 決定하기는 어려우나 大體로 3ATA에서 90分以內 그리고 2ATA以下에서는 治療時間을 延長하여도 全身痲痺 等의 神經症狀은 거의 나타나지 않는 것으로 報告되고 있다.

酸素中毒外 加壓 및 減壓에 依한 問題, 體內가스의 容積變化로 오는 障害 等의 醫學的 諸問題外에 火災危險, 爆發, 設置費用, 維持費 等이 舉論될 수 있으나 1人用 治療裝置의 開發로 점차 解消되고 있다.

結 語

高壓酸素療法の 歷史는 매우 길고도 짧은 것이라고 볼 수 있다. 合理的인 理論의 根據나 假設없이 空氣를

壓縮시켜 施行한 高壓療法の 時代가 三世紀에 이르렀음은 매우 놀라운 일이다. 이 療法에 依存하여 治療方面에서 無力했던 十九世紀까지의 醫學이 어떤 突破口를 찾아보려고 努力했음은 높이 評價할만하나 그 結果는 減壓病 以外에는 全히 評價할만한 價値조차 없었음은 이 療法에 큰 期待를 걸어 보았던 醫師들이나 患者에게는 차라리 하나의 悲劇이었음을 否定할 길이 없다. 그러나 하나의 療法이 三世紀의 連綿한 歷史를 維持하면서 二十世紀 後半에 와서 燦然히 開花했음은 不幸中 多幸이다. 甚至於 어느 學者는 二十世紀에 들어와서 그 發展의 里程表를 삼을만한 것으로 血液型發見에 依한 輸血의 施行, 抗生劑의 開發, 그리고 多樣한 臨床的 應用의 實例와 可能性을 提示한 高壓酸素療法の 出現을 들고 있다. 아마도 致死率이나 不具率의 見地에서 가스壞疽를 비롯한 各種嫌氣性菌의 治療可能性을 念頭에 두고한 主張일지도 모르겠다.

이미 論해은 바와 같이 高壓酸素療法이 갖고 있는 機械的 作用이나 Po₂上昇으로 因한 極甚한 低酸素症의 治療效果에 對해서는 理論적으로 異論을 提起할 餘地가 없다. 다만 本療法の 實施에 必要한 裝置의 建造費나 維持費가 매우 高價이어서 이 療法이 誇大宣傳되고 있다는 一部 學者들의 非難은 이 療法의 빠른 普及을 爲해 귀지 않을 수 없는 陣痛일지도 모른다.

그러나 深海開發, 大陸棚開發, scuba diving의 普及 (self-contained under water breathing apparatus)으로 高壓酸素裝置의 繼續的인 開發과 普及은 不可避한 社會需要의 段階에 와 있다. 確實히 病院의 醫療施設로서 그 利用度에 比해 高壓酸素裝置의 設置費用이나 運營費가 너무들어 一種의 奢侈性醫療器라는 一部의 批判이 一理가 없는 것은 아니다. 그러나, treatment of choice로서, 어느療法이 絶對的인 適應症을 갖고 있을 때 採算만을 내세운다는 것은 높은 醫療水準의 維持나 나아가서 醫療倫理의 問題까지 考慮치 않을 수 없는 것이다. 現在 世界 各國의 先進國들은 手術型 또는 一人用을 相當히 保有하고 있다. 그러나 手術型의 境遇에는 建造費 및 維持費의 問題와 더우기 適應疾患때문에 既存施設을 拋棄하는 病院도 있으나 나라의 規模에 따라 相當數는 確保할 必要가 있을 것이다.

따라서 手術型보다 價格이 훨씬 廉 一人用이 人氣를 모으고 있으며 美製의 境遇 5萬弗 程度이다.

高壓酸素療法을 實施할 수 있는 病院은 美國이 400~500個, 韓國·日本이 100個가 넘고 歐羅巴諸國은 數十個에서 數個病院밖에 없는 나라가 많다.

1960年代에 들어와 盛行을 보게 된 高壓酸素療法은

이제 하나의 療法으로서 그 자리를 굳혀가고 있다.

특히 우리나라의 境遇 大部分의 最新醫療器를 外製에 依存하는 形便에 國產으로 130臺 以上の 高壓酸素裝置를 普及시켰음은 世界에서 그 類例를 볼 수 없을 만큼 많은 CO中毒患者가 每年 發生하는데 緣由하고 있자만 萬若 外製로 이 裝置를 設置하려 했다면 不過 몇 個의 病院밖에는 안되었을 것으로 推定되어 이는 國內開發이 가지온 큰 成果라 아니할 수 없다. 擱筆함에 있어 마지막 念願이 있다면 어떻게 하든지 CO中毒의 發生과 이로 因한 犧牲을 豫防할 對策에 成功하기를 바라며 그 많은 高壓酸素裝置가 다른 應用疾患研究에 活用되어 高壓酸素療法만으로도 醫學上 先進國의 面貌를 갖출 수 있기를 懇切히 바라고 싶다.

—ABSTRACT—

Hyperbaric Oxygen Therapy
—Basic Principles and Clinical
Applications—

Dork Ro Yun and Soo Hun Cho

*Department of Preventive Medicine, College of
Medicine, Seoul National University*

Carbon monoxide poisoning is one of the most serious public health problems in Korea. According to authors' recent survey on the incidence of CO poisoning, the severity of health hazards by this invincible demon is threatening one. Among 30 millions of people who depend on the coal briquette as a domestic fuel for heating and for cooking, almost one million are suffering from noxiousness of coal briquette gas, especially from carbon monoxide. More than 85% of the intoxicated by CO are mild cases with those symptoms such as headache, emesis and chest pain, but around 15% of the intoxicated are semi-comatous or comatous. The fatal cases have been estimated around three to four thousands annually.

In Korea, we are employing very unique under-floor heating system called as 'ONDOL'. The coal briquette gas passes through the horizontal flues below the mudplastered stone floor covered by oil paper and exhausts out through the chimney located in the opposite side of the fire place. The regurgi-

tations of the exhausted gas by weather conditions, poorly built chimney and broken flues take place and finally leak into the room through the door or broken floor pad. However, the anthracite coal is the only available underground energy source in Korea, and the cost of it is very reasonable taken into consideration of our developing economic status.

Initially, authors studied this serious health problem in the point of view of Preventive Medicine since 1963. The extensive status surveys brought us such a disappointing conclusion that carbon monoxide poisoning in Korea is entailed by so many complex socio-economic and cultural variables besides the true medical emergency. These variables are acting as an unshaken impediment on the way to final solution of this preventable accident.

Authors' second approach to this problem by seeking more effective therapeutic measures seems to be out of the realm of Preventive Medicine. But, general indifference of the health authorities concerned and the clinicians to this social malady as inevitable accident pushed us to the territory of the clinical practice by opening the Hyperbaric Chamber Unit (one man, clinical type, designed by author, 1965) in Seoul National University Hospital at January 19, 1969. It has been more than 10 years since our initiation of the Hyperbaric Chamber Unit in Seoul National University Hospital. More than 2,200 CO poisonings have been benefited by this single one-man hyperbaric chamber with dramatic recovery rate of almost to 98%. Now, there are more than 130 hospitals operating Hyperbaric Chamber Unit in South Korea. We have 43 general hospitals with Hyperbaric Chamber Unit in Seoul City. We suppose this number ranks the next to U.S.A. in the world in the size, but not in the varieties, because we don't have any operating type.

We reviewed the papers on hyperbaric oxygenation, mainly published since 1960. We summarized this review for the references and understandings of the clinicians and para-medical personnels working in the Hyperbaric Chamber Unit. As long as we use anthracite coal briquette as our most popular domestic fuel, we can't help living under this awful

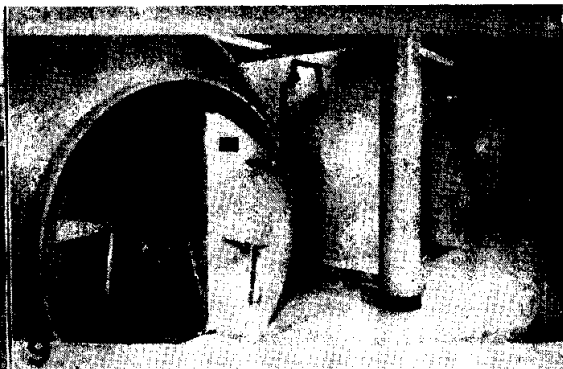
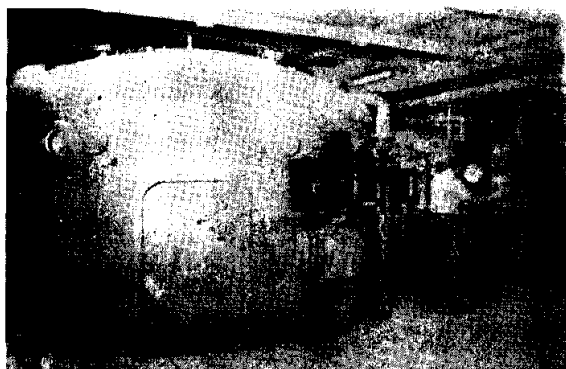
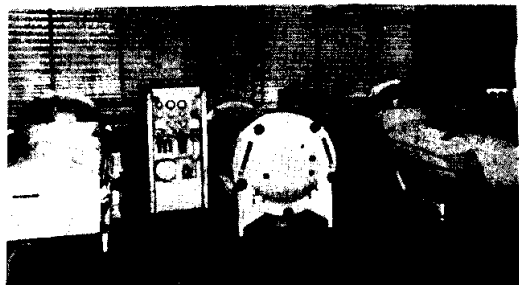
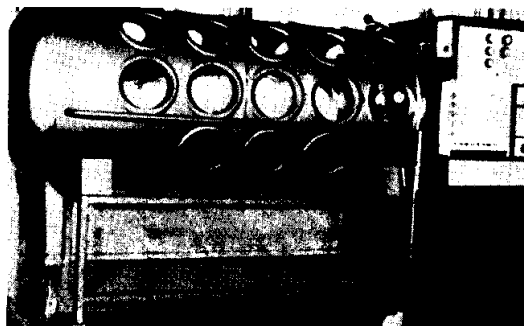
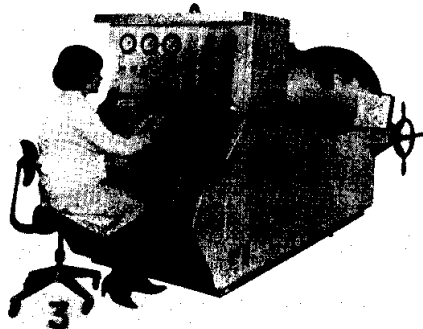
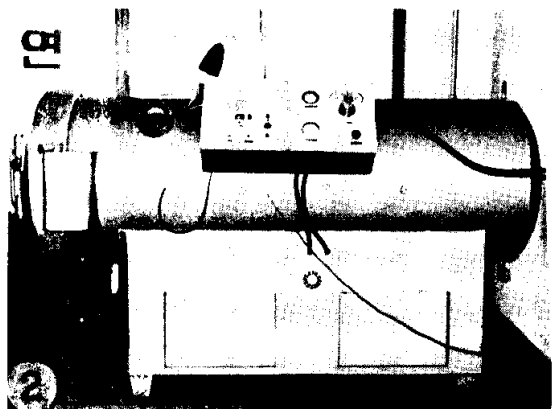
risk all the time.

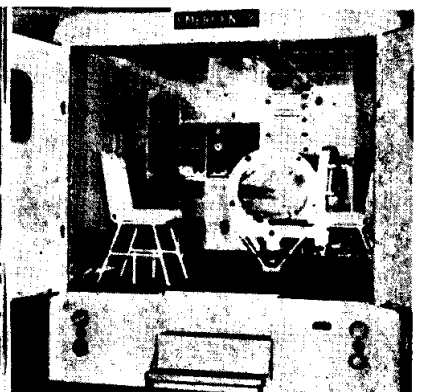
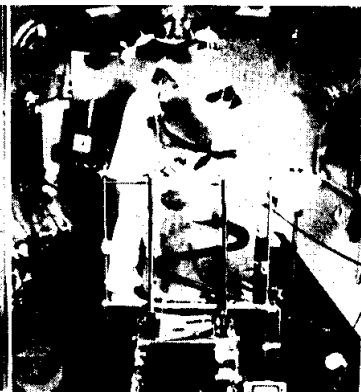
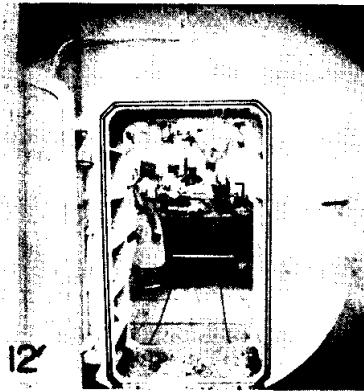
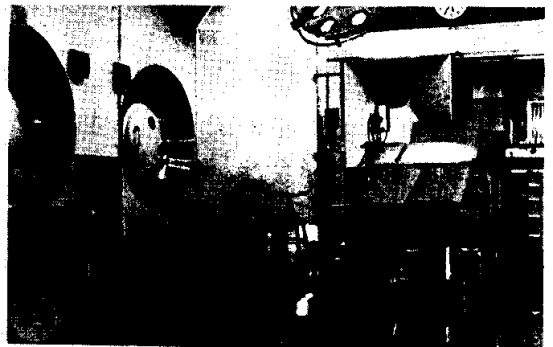
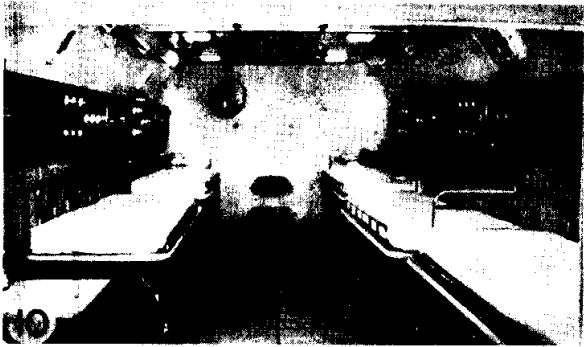
The development of Hyperbaric Oxygen Therapy in Korea may seem a little bit curious because this unit is still regarded as one of very expensive medical luxuries in the view of cost-benefit outcome. We resolve this problem by local supply of economic cost. We hope we can apply the Hyperbaric Oxygen Therapy to many other clinical indications in near future, overcoming present emphasis on the treatment of CO poisoning in Korea.

REFERENCES

- 金仁達, 尹德老: 一酸化炭素中毒. 新醫學叢書 第一卷, 서울, 1969.
- 金仁達, 尹德老: 煉炭有害가스除去方案. 科學技術處, 서울, 1968.
- 尹德老: 煉炭가스中毒의 豫防과 治療. 煉炭가스中毒防止方案研究, 서울特別市, 서울, 1968.
- 尹德老: 一酸化炭素中毒. 應急處置, 서울大學校 醫科大學 醫學教育研修院, 改訂版, 서울, 1980.
- 尹德老, 趙秀憲: 煉炭가스中毒의 發生 및 診療實態에 關한 調查研究. 大韓醫學協會誌, 20(8):705, 1977.
- 趙秀憲, 尹德老, 金仁達: 急性一酸化炭素中毒治療에 關한 疫學的 研究, 서울大學校 醫科大學 附屬病院 高壓酸素治療室의 患者를 中心으로. 豫防醫學會誌, 7(2):359, 1974.
- 恩地裕, 吉矢生人: 高壓酸素의 治療의 應用. 高壓酸素療法, 恩地裕等 共著, 大阪·東京, 永井書店, 昭和42年.
- Behnke, A.R., et al.: *Studies on the Effects of High Oxygen Pressure. I. Effect of High Oxygen Content, the Acidity and the Carbon Dioxide Combining Power of the Blood.* *Amer. J. Physiol.*, 107:13, 1934.
- Bernard, C.: Cited in Comroe, J.H., Jr.: *The Functions of the Lung. Harvey Lectures Series*, 58:110, 1964.
- Bird, A.D. and Tefler, A.B.M.: *The Effects of Increased Oxygen Tension on Peripheral Blood Flow. Clinical Application of Hyperbaric Oxygen*, edited by Boerema, I., Amsterdam, Elsevier Publishing Co., 1964.
- Blair, E., et al.: *Hyperbaric Oxygenation in the Treatment of Experimental Shock.* *Amer. J. Surg.*, 110:348, 1965.
- Boerema, I., et al.: *Life without Blood.* *J. Cardiovasc. Surg.*, 1:133, 1960.
- Brummelkamp, W.H., et al.: *Treatment of Anaerobic Infections (Clostridial Myositis) by Drenching the Tissue with Oxygen under High Atmospheric Pressure.* *Surgery*, 49:269, 1961.
- Cameron, A.J.V., et al.: *A Controlled Clinical Trial of Hyperbaric Oxygen in the Treatment of Acute Myocardial Infarction.* *Hyperbaric Oxygenation*, edited by Ledingham, I. McA., E.S. Livingstone Ltd., 1965.
- Churchill-Davison, I.: *The Use and Effects of High Pressure Oxygen in Radiotherapy. Clinical Application of Hyperbaric Oxygen*, edited by Boerema, I., Amsterdam, Elsevier Publishing Co., 1964.
- Clark, R.G., et al.: *Effects of Hyperoxygenation and Sodium Bicarbonate in Hemorrhagic Hypotension.* *Brit. J. Surg.*, 52:704, 1965.
- Comroe, J.H., Jr.: *The Functions of the Lung. Harvey Lectures Series*, 58:110, 1952.
- Daly, W.J. and Bondurant, S.: *Effects of Oxygen Breathing on the Heart Rate, Blood Pressure and Cardiac Index of Normal Men Resting with Reactive Hyperemia and Atropine.* *J. Clin. Invest.*, 41:126, 1962.
- Gray, L.H.: *Oxygenation in Radiotherapy. Radiobiological Considerations.* *Brit. J. Radiol.*, 30:403, 1957.
- Hahnloser, P.B., et al.: *Hyperbaric Oxygenation. Alterations in Cardiac Output and Regional Blood Flow.* *J. Thoracic Cardiovasc. Surg.*, 52:223, 1966.
- Haldane, J.S.: *The Action of Carbonic Oxide on Man.* *J. Physiol.*, 18:430, 1895.
- Hedstrom, S.A.: *Differential Diagnosis and Treatment of Gas-producing Infections.* *Acta Chir. Scand.*, 141(7):582, 1975.
- Holt, J.A.G.: *The Principles of Hyperbaric and Anoxic Radiotherapy.* *Brit. J. Radiol.*, 48:819, 1975.
- Hopkinson, W.I. and Towers, A.G.: *Effects of Hyperbaric Oxygen on Some Common Pathogenic Bacteria.* *Lancet*, 2:1361, 1963.
- Ikeda, K., et al.: *Burn and Hyperbaric Oxygenation.*

- Geke (Japan), 31:138, 1969.
- Illingworth, C.: *Treatment of Arterial Occlusion under Oxygen at Two Atmospheres Pressure*. *Brit. Med. J.*, 2:1271, 1962.
- Illingworth, C.: *Arterial Insufficiency and Hyperbaric Oxygenation*. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 117:671, 1965.
- Jacobson, I., et al.: *The Effects of Oxygen under Pressure on Cerebral Blood Flow and Cerebral Venous Oxygen Tension*. *Lancet*, 2:549, 1963.
- Kety, S.S. and Schmidt, C.F.: *The Effects of Altered Arterial Tensions of Carbon Dioxide and Oxygen on Cerebral Blood Flow and Cerebral Oxygen Consumption of Normal Young Men*. *J. Clin. Invest.*, 27:484, 1948.
- Kuhn, L.A., et al.: *Hemodynamic Effects of Hyperbaric Oxygenation in Experimental Acute Myocardial Infarction*. *Circ. Res.*, 16:499, 1965.
- Lambertsen, C.J., et al.: *Oxygen Toxicity. Effects in Man of Oxygen Inhalation at 1 and 3.5 Atmospheres upon Blood Gas Transport, Cerebral Circulation and Cerebral Metabolism*. *J. Appl. Physiol.*, 5:471, 1953.
- Lambertsen, C.J., et al.: *Symposium on Hyperbaric Oxygenation*, N.Y. Acad. Sci. and Ntl. Res. Council, 1964.
- MacHattie, L. and Rahn, H.: *Survival of Mice in Absence of Inert Gas*. *Proc. Soc. Exptl. Biol. & Med.*, 104:772, 1960.
- Manax, W.G. and Lillehei, R.C.: *Canine Kidney Preservation and Transplantation with Particular Reference to Surgical Significance*. *Proceedings of the Third International Conference on Hyperbaric Medicine*, edited by Brown, I.W., Jr. and Cox, B.G., Washington, D.C., Ntl. Acad. Sci. and Ntl. Res. Council, 1966.
- Nelson, B.S., et al.: *Hyperbaric Oxygen in Experimental Burn*. *Proceedings of the Third International Conference on Hyperbaric Medicine*, edited by Brown, I.W., Jr. and Cox, B.G., Washington, D.C., Ntl. Acad. Sci. and Ntl. Res. Council, 1966.
- Peter, H. and Grüning, W.: *Über die Behandlung der arteriellen Luftembolie mit der Überdruckkammer*. *Beitr. Klin. Chir.*, 188:27, 1954.
- Roding, B., et al.: *Ten Years of Experience in the Treatment of Gas Gangrene with Hyperbaric Oxygenation*. *Surg. Gynecol. Obstet.*, 134:579, 1972.
- Schoemaker, G.: *Oxygen Tension Measurement in Cerebro-spinal Fluid during Anoxia and Ischemia under Hyperbaric Conditions*. *Hyperbaric Oxygenation*, edited by Ledingham, I. McA., E.S. Livingstone Ltd., 1965.
- Skene, W.G., et al.: *Effect of Hyperbaric Oxygen in Cyanide Poisoning*. *Proceedings of the Third International Conference on Hyperbaric Medicine*, edited by Brown, I.W., Jr. and Cox, B.G., Washington, D.C., Ntl. Acad. Sci. and Ntl. Res. Council, 1966.
- Smith, G., et al.: *Near-avulsion of Foot Treated by Replacement and Subsequent Exposure of Patient to Oxygen at 2 Atmospheres Pressures*. *Lancet*, II, 1:122, 1961.
- Spilg, H., et al.: *Twelve-hours Liver Preservation in the Pig Using Hypothermia and Hyperbaric Oxygenation*. *Brit. J. Surg.*, 59:273, 1972.
- Steward, D.J.: *Decompression Illness. A Case Report*. *Med. Serv. J. Canada*, 17:475, 1961.
- Trapp, W.G.: *The Therapeutic Use of High Pressure Oxygen*. *Canad. Med. Ass. J.*, 88:356, 1963.
- Young, D.G. and Clark, R.G.: *Use of Oxygen at Two Atmospheres in Hemorrhagic Hypotension*. *Brit. J. Surg.*, 52:621, 1965.
- Yun, D.R.: *Clinical Application of the Hyperbaric Oxygen Therapy in the Management of Acute Carbon Monoxide Poisoning*. *Proceedings of 9th Asian Conference on Occupational Health*, Seoul, 1979.
- van den Brenk, H.A.S., et al.: *Experience with Megavoltage Irradiation of Advanced Malignant Diseases Using High Pressure Oxygen*. *Clinical Application of Hyperbaric Oxygen*, edited by Boerema, I., et al., Amsterdam, Elsevier Publishing Co., 1964.
- van Unnik, A.J.M.: *Inhibition of Toxin Production in Clostridium perfringens Vitro by Hyperbaric Oxygen*. *Antonie Leeuwenhoek*, 31:181, 1965.
- Whalen, R.E., et al.: *Cardiovascular and Blood Gas Responses to Hyperbaric Oxygenation*. *Amer. J. Cardiol.*, 15:638, 1965.





HYPERBARIC CHAMBERS OF EACH COUNTY

- Fig. 2.** One man, clinical type. Designed by Yun, D.R., Made in Korea.
- Fig. 3.** One man, clinical type. Made in Japan.
- Fig. 4.** One man, clinical type. Made in U.S.A.
- Fig. 5.** One man, clinical type with physiograph. Made in Germany.
- Fig. 6.** One man, clinical types of various designs. Made in England.
- Fig. 7.** One man, clinical type. Made in France.
- Fig. 8.** Operating type. Made in U.S.A.
- Fig. 9.** Chambers for operation and research. Made in U.S.A.
- Fig. 10.** Recovery room of operating type. Made in U.S.A.
- Fig. 11.** Inner-view of operating type. Made in Japan.
- Fig. 12.** Operating type in surgery. Made in U.S.A.
- Fig. 13.** In operating artificial lung. Made in U.S.A.
- Fig. 14.** Mobile van of one man, clinical type. Made in U.S.A.
- Fig. 15.** Collapsible, one man type. Made in Japan.
- Fig. 16.** Respirator. Made in France.
- Fig. 17.** Fluid infusion apparatus. Made in France.
- Fig. 18.** Experimental type for animal. Department of Preventive Medicine, S.N.U.