

# 一酸化炭素中毒に対する人体耐力の 数式的表示に就いて

韓国カトリック大学医学部生理学教室 (主任 鄭聖璋教授)

鄭 聖 璋・金 起 洙  
アイ セイ ショウ サン キ シュ

(受付 昭和 35 年 7 月 12 日)

## I. 緒 言

一酸化炭素は燃料の不完全燃焼の際発生する瓦斯であり、工場、炭鉱、家庭等において、一酸化炭素中毒は不注意、事故等で頻繁に起る。一酸化炭素中毒は大気内の一酸化炭素の濃度と吸入時間に左右される。もし吸入時間を時間で、一酸化炭素濃度を 10,000 中の parts として表わすならば、次の如き式(1)により、生理的反応が予測される事を Henderson<sup>1)</sup> は示唆した。

$$\left. \begin{aligned} \text{時間} \times \text{濃度} = 3 \dots\dots\dots \text{無症状} \\ \text{時間} \times \text{濃度} = 6 \dots\dots\dots \text{軽度の症状} \\ \text{時間} \times \text{濃度} = 9 \dots\dots\dots \text{頭痛} \\ \text{時間} \times \text{濃度} = 15 \dots\dots\dots \text{危険} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

米国標準協会<sup>2) 3)</sup>は工場における空気中一酸化炭素の最大許容量として 0.01% を推薦している。Henderson 式はCOの比較的高濃度において大体適用され得るとしても、閾値附近の低濃度においては適用されないと著者等は考へる。前述の最大許容量は毎日1日8時間の勤務をする場合で、Henderson の式を用うれば8の値を得る。この値は無症状の条件値3とは明らかに一致しない。従来 Henderson 式を除いてはCO濃度と吸入時間と臨床症状との間の関係を示す一般的な数式は余り考案されていない。著者の一人鄭<sup>4)~9)</sup>は「ストレス」と生体反応に関する生物現象において、ストレスの強度(i)と曝露時間(t)により、蓋然的反応出現率(P)を予測することのできる一般式(2)を提唱した。

$$P = \frac{(i - a)t - c}{b t + d} \dots\dots\dots(2)$$

ただし、a, b, c, dは常数

著者等は一酸化炭素も生体に対する一種のストレス<sup>10)</sup>とみなして、これに(2)式を応用した。人体に関する

報告資料<sup>2) 3) 11)~15)</sup>によつてCO中毒に対する人体耐力の限界条件を近似的に表わす数式を誘導した。

## II. 式の誘導及び考案

文献上の報告資料に準拠してCO中毒に対する人体耐力を表示する下記の如き(3)式を誘導した。

$$P = \frac{(c - 0.0057)t - 2.06}{0.000176t + 0.0673} \dots\dots\dots(3)$$

P : 反応出現率、鄭<sup>4)~6) 8)</sup>の“probacent” (probability per cent の略)

c : 空気中のCO濃度(%), ただし空気は19~21%の酸素を含有する。

t : 吸入時間 (分単位)。

(3)式は安静あるいは軽度の活動をしている人の一酸化炭素に対する耐力限界を表わす式である。CO中毒の症状の軽重はP値の大小に比例し、この関係を報告資料に基づいて大体の基準を設ければ、第1表の如き関係をみる。

無症状の安全限界は(4)式で、意識喪失を伴う危険限界は(5)式で、死亡限界は(6)式で各々近似的に表わし得る。これらの濃度および時間の限界条件を対数グラフ上にプロットすれば第1図の如くである。

$$t = \frac{2.06}{c - 0.0057} \dots\dots\dots(4) \dots\dots \text{無症状, 安全}$$

$$t = \frac{5.42}{c - 0.0145} \dots\dots\dots(5) \dots\dots \text{意識喪失, 危険}$$

$$t = \frac{8.79}{c - 0.0233} \dots\dots\dots(6) \dots\dots \text{死亡}$$

CO中毒に関する報告資料によつて(3)式を吟味すれば、第2表の示す如く大体において第1表に述べたP値の基準が妥当なることを見出し得る。

Sung Jang CHUNG, Ki Soo KIM (Department of Physiology, Faculty of Medicine, Catholic University, Republic of Korea) : A mathematical formula expressing human tolerance to carbon monoxide poisoning.

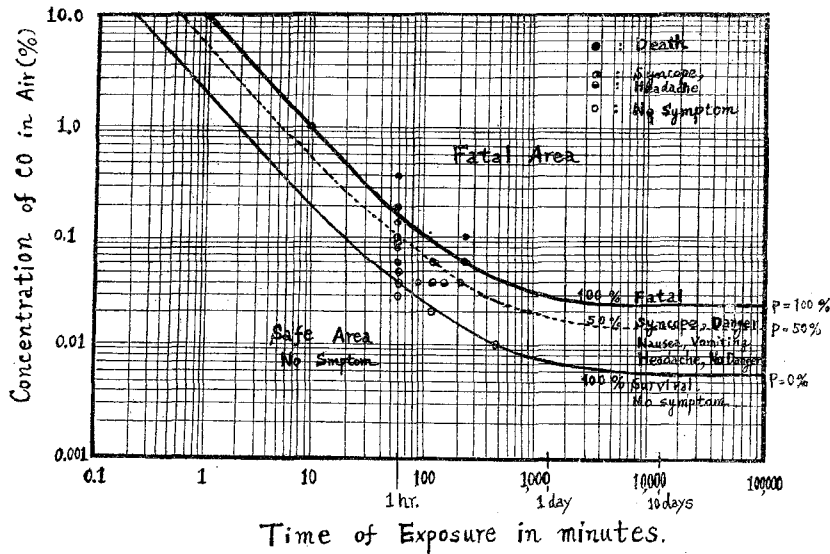
第1表 P値とCO中毒の時、出現可能な症状との関係

P 値	症 状
≤ 0	無症状, 安全
10	軽度の前頭痛, 食欲不振
20	中等度の頭痛
30	劇しい頭痛, 眩暈, 無力感, 不快感, 視力の朦朧, 非危険
40	虚脱, 可逆的病変, 非危険
50	意識喪失, 非可逆的病変, 危険
60	痙攣, 昏睡, " , "
70	心臓運動及び呼吸の減退, "
100	死 亡

症状であると報告されている<sup>20)</sup>。New York の道路清掃夫は3% CO-Hb 血中濃度を示したという<sup>15)</sup>。第3表の結果からP値は血中 carboxyhemoglobin 飽和度と症状を示唆する。米国標準協会<sup>2)</sup>は、血中 CO-Hb 飽和度の許容上限として20%を提示している。Hemoglobin に対する一酸化炭素の親和力は酸素の約300倍であつて、酸素濃度の $\frac{1}{300}$ の濃度をもつ一酸化炭素の混合空気、すなわち空気中の $\frac{1}{1500}$ の濃度(0.067%)の一酸化炭素を含有する空気を呼吸する際は、Dreisbach<sup>11)</sup>の所論に従つて酸素と一酸化炭素は各々同量の Hemoglobin と結合して、50%の飽和度を示すことになる。

(3)式中の常数 0.0057 は一酸化炭素以外のストレスが生じない限り無限に生存し得るCOの最大濃度に相当する。

0.0057% は0.067%の%以下であるから、この条件



第1図 CO中毒に対する人体耐力、文献上に報告されたるCO濃度(%), 吸入時間(分単位), 症状の関係をプロットした。100%致命線, 生存無症状及び意識喪失曲線を示す。各曲線は次式で表はされる。

$$P = \frac{(c - 0.0057)t - 2.06}{0.000176t + 0.0673}$$

P: 反応出現率 c: 空気中のCO濃度(%)  
t: 吸入時間(分単位)

Webster<sup>14)</sup>に従つて血中 CO-Hemoglobin 飽和度と症状との関係を第1, 第2表の示す結果と比較検討すると、第3表に示す如くP値とCO-Hemoglobin 飽和度とは割合に一致するのを見る。故に一酸化炭素中毒時の血中 carboxyhemoglobin の飽和度をCO濃度, 吸入時間で算出されるP値によつて、直接近似的に推測し得ると考える。

一般に血中 CO-Hemoglobin 飽和度5%以下では無

においては、理論上 carboxyhemoglobin の飽和度は9%以下となり、oxyhemoglobin の飽和度は90%以上となる。したがつて安静あるいは極く軽い活動をする人には酸素不足症状を呈せずに永く生存し得る。

### III. 結 論

一酸化炭素中毒に対する人体耐力を表わす数式を考案した。本式により任意の空気中一酸化炭素濃度と吸入時間により出現可能な症状と血中 carboxyhemoglobin

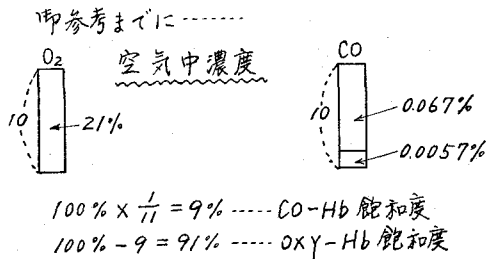
第2表 一酸化炭素中毒例による(3)式の吟味：濃度・時間・症状とP値との関係

CO濃度(%)	吸入時間	報告された症状	報告者	P 値
1	数分以内	意識喪失, 死亡	(13) Luder (14) Webster (15) Katz	100 (9分) 57.2 (6分)
0.4	1 hr. 以内	死亡	(1) Boyd, (11) Dreisbach (16) Rosenau	277
0.15	1 hr.	意識喪失, 危険, 致命的	(1) Boyd, (11) Dreisbach (17) Brookes	84.9
0.2	1 hr. 以内	意識喪失	(13) Luder	123 以下
0.1	4 hrs.	死亡	(3) McConnell	188
"	1 hr. 以上	意識喪失, 呼吸障碍, 死亡	(3) McConnell (11) Dreisbach	46.2 以上
"	1 hr.	劇しい頭痛, 悪心, 非危険	(11) Dreisbach (17) Brookes	46.2
0.09	"	不快, 頭痛, 嘔吐, 非危険	(1) Boyd, (18) Haggard	38.5
0.08	"	不快	(1) Boyd	30.8
0.06	4 hrs.	死亡	(3) McConnell	100
"	2 hrs.	意識喪失	"	50.4
"	1 hr.	頭痛	(3) McConnell (1) Boyd, (18) Haggard	15.4
0.05	"	無症状, 或は軽い頭痛	(11) Dreisbach	7.7
0.04	2¼-3¼ hrs.	血中 CO-Hemoglobin 飽和度 25%	(14) Webster	28.0-45.5
"	1¼-2¼ hrs.	" "	"	6.3-28.5
"	2.5-3.5 hrs.	後頭痛	"	32.9-49.2
"	1.5-2 hrs.	前頭痛	"	12.4-23.3
"	1 hr.	安全, 最大許容量(毎日1回)	American Standards (2)(3) Association, (17) Brookes, (18) Haggard	0
0.03	4-5.5 hrs.	血中 CO-Hemoglobin 飽和度 30%	(14) Webster	34.4-47.5
"	3-4 hrs.	" "	"	23.4-34.4
"	2.5-3.5 hrs.	" "	"	16.9-29.1
"	3 hrs. 以上	後頭痛, 眩暈	"	23.4
"	2.5-3 hrs.	前頭痛	"	16.9-23.4
"	2 hrs. 以内	若干の自覚症状	"	9.7
0.03	1 hr.	無症状	(1) Boyd, (18) Haggard	--7.7

0.02	5—6 hrs.	血中 CO-Hemoglobin 飽和度 25%	(14) Webster	18.6—23.5
"	3¼—4½ hrs.	" 20%	"	7.1—15.7
"	3½—4 hrs.	前頭痛	"	9.0—12.5
"	2 hrs.	無症状	"	—3.9
0.01	8 hrs.	安全, 最大許容量 (毎日勤務する工場)	American Standards (2) (3) Association (11) (19) Dreisbach, Haldane	0
0.007	13 年	無症状 (毎日 8 時間勤務) (24 時間平均濃度を 0.0023 % として P 値を算出せり)	(12) Sieves	—19.3

第 3 表 P 値, 血中 CO-Hb 飽和度と症状との間の関係

P 値	血中 CO-Hemoglobin 濃度	症 状
10 以下	10 以下	(18) 無症状, 安全
10—20	10—20	軽度の前頭痛, 食欲不振 (慢性中毒時)
20—30	20—30	中等度の頭痛
30—40	30—40	劇しい頭痛, 眩暈, 無力感, 視力朦朧, 悪心, 嘔吐
40—50	40—50	虚脱, 呼吸及び脈膊の増加, 可逆的病変非危険
50—60	50—60	意識喪失, 間歇的痙攣, 昏睡, 非可逆的病変, 危険
60—70	60—70	心臓及び呼吸運動の減退, 非可逆的病変, 危険
70—100	70—80	死 亡



飽和度を近似的に予測し得る。完全な数式の誘導には多数の人体実験例が将来必要であると考えられる。

文 献

- 1) Henderson Y. : Boyd, M.F. Preventive Medicine, p. 430 W.B. Saunders, Philadelphia, (1942)
- 2) American Standards Association : Hamilton, A. et al. : Industrial Toxicology, p. 66 Oxford University Press, New York (1947)
- 3) McConnell W.J. : Cecil's Textbook of Medicine, 9th Edition, p. 507 W.B. Saunders, Philadelphia (1956)

- 4) 鄭 聖 璋 : Positive radial acceleration stress 下のマウスの行動, 生存線, 致命線, 危険帯, 死亡率; g 防止服効果心電図及び病理に関して 航空医学 4 7 (1956)
- 5) Chung, S.J. : Studies of positive radial acceleration on micro J. Applied Physiol, 14 52 (1959)
- 6) 鄭 聖 璋 : Quinacrine Hydrochloride に対する Paramecium の耐力に関する実験 航空医学 6 77 (1958)
- 7) 鄭 聖 璋 : 電離性放射線に対する人体耐力の数式的表示 航空医学 6 13 (1958)
- 8) 鄭 聖 璋・曹 德 煥 : 温熱ストレスに対する Paramecium の耐力に関して カトリック大学医学部論文集 第 3 輯 p. 59 Seoul, (1959)
- 9) 鄭 聖 璋・曹 德 煥 : 極温度に対する人体耐力の数式的表示 カトリック大学医学部論文集 第 3 輯 p. 72 Seoul, (1959)
- 10) Selye Hans : 田多井吉之介著 : 汎適応症候群 p. 協同医書出版社 東京 (1953)
- 11) Dreisbach, R.H. : Handbook of Poisons,

- Lange Medical Publications, Los Altos (1955)
- 12) **Sieves, R.F. et al** : Effects of exposure to known concentrations of carbon monoxide, J.A.M.A. **118** 585 (1942)
  - 13) **Luder, W.L., Vernon, A.A., Zuffat S.** : General Chemistry, p. 288 W.B. Saunders, Philadelphia. (1953)
  - 14) **Webster, R.W.** : Legal Medicine an Toxicology, p. 550 W.B. Saunders, Philadelphia (1930)
  - 15) **Katz, M.** : Carbon monoxide asphyxia ; A common clinical entity. Canadian Med. Ass. J., **78** 182 (1958)
  - 16) **Rosenau, M.J.D.** : Preventive Medicine and Hygiene, p. 635 Appleton, New York(1914)
  - 17) **Brooks, V.J. et al.** : Poisons. Their Properties, Chemical Identification, Symptoms, and Emergency Treatments, D. Van Nost-rand, New York p. 59 (1946)
  - 18) **Haggard, H. W.** : Toxicology of Hydrogen Sulphide. J. Indust. Hyg. **7** 113 (1925)
  - 19) **Haldane, J.S.** : Carbon monoxide poisoning in man. Brit. Med. J. **11** 16 (1930)
  - 20) **Gilbert, G.J. & Glaser, G.H.** : Neurologic manifestations of chronic carbon monoxide poisoning. New Eng. J. Medicine **261** 1217 (1959)