

## E-1. 「高気圧環境下生存の規定因子としてのガス拡散」

東海大学医学部生理学教室

太田 保世

沖野 遙

### 目 的：

海底開発の目的のためにも、より大きな深度に到達する必要がある、研究面でも、これまでにない深度に到達できる高圧室が作られ、いくつかの興味深い知見が得られつつある。

大きな深度における諸問題のうち、 $O_2$  中毒、不活性ガス麻酔、減圧症などについては、ある程度の対策が可能となった。しかし、1971年のChouteauらの報告、最近のRahnら（私信）の実験結果、Lambertsenらの研究成果のように、いわゆる拡散現象が問題点となっていると推定されるものがいくつか現れて来た。Chouteauらによれば、各種不活性ガスと $O_2$ の組合わせによる実験で、吸入気中の水蒸気飽和度が高い場合に、低酸素血症が同一の $O_2$ 分圧条件でも早期に出現するとされ、*bygrometric*な問題が大きな気道にうつ血性変化を招き、気道抵抗の増大が原因であろうと推論している。Rahnらの観察結果では、吸入気 $O_2$ 分圧は、平圧下空気呼吸と同様に保ち、各種不活性ガスで100ATAまでmiceを加圧した時の、miceの運動指数が著減し、 $O_2$ 分圧を上昇させると元に戻るという。

Lambertsenらの*iso-baric counter-Diffusion*の問題は、より複雑な解析が必要であり、本研究でとりあげる気相でのガス拡散とは異なる問題ともいえる。

本研究では、気相でのガス拡散（運搬）がどのような意義を持つかについて、平圧下での演者らの実験結果とChouteauらの実験成績とを、いくつかの仮定のもとに理論的考察を加え、肺胞内でのガス拡散が、高気圧下生存の*limiting factor*となり得る可能性について検討を加えた。

### 方 法：

肺胞内気相におけるガス拡散の意義について、10頭の雑種成犬を用いて、2種の拡散しやすさの異なるガス（ $C_2H_2$  および  $CHClF_2$ ）を指標として実験を行なった。（詳細は別に報告したので省略する）。また、Chapman-Enskog理論に基づいて、いくつかの、2種混合ガスについての*binary diffusion coefficients*を計算し、これから、 $O_2$ や $CO_2$ の、肺胞内気相での拡散平衡に必要な時間を算出した。

他方、Chouteauの報告から、*mini-pig*あるいは*goat*に低酸素血症を来たす気圧

と、起さない気圧とを、 $H_e$  ,  $N_e$  ,  $N_2$  ,  $A_r$  の4種のガスについて知り、この時の binary diffusion coefficients , 拡散平衡に要する時間を理論的に導き、比較検討した。結果ならびに考案：

平圧下で、 $C_2H_2$  および  $CHClF_2$  を用いた実験から、雑種成犬の肺においては、拡散平衡に少なくとも3秒ほど要することを知った。これと、拡散係数による比較とから、 $O_2$  が平衡に達するのにおよそ3秒、 $CO_2$  におよそ4秒ほどかかることを知った。

$O_2$  と他のガス ( $H_e$  ,  $N_e$  ,  $N_2$  ,  $A_r$  ) との組合わせにおける binary diffusion coefficients は Table 1 のようで、同様に  $CO_2$  については Table 2 のようになる。四角で囲まれた数値は、それぞれの混合気において、実験動物に低酸素血症の発生を見る直前の気圧 (Chouteau らによる) での binary diffusion coefficients を示している。平圧下での拡散係数の大きな差にもかかわらず、低酸素血症発生の critical な圧力条件では、いずれの混合気も、きわめて近い値をとることが判った。

このことは、hygrometric な問題、吸入気密度の問題、その他換気力学的な問題点や、何らかの組織解剖学的変化などに加えて、気相における拡散によるガス交換の障害をも強く示唆するものと考えられた。

Table 3. は、各種混合気の、それぞれの圧力下における、肺内での拡散平衡に要する時間を、演者らの実験成績と binary diffusion coefficient の理論的計算とを結合して求めたものである。四角で囲まれた数字は、それぞれの混合気での、低酸素血症発生の critical な圧力条件における平衡時間を示している。

すなわち、たとえば  $Ar-O_2$  混合気吸入下、13気圧では、41秒たたねば、この2種のガスは平衡に達しないことを示している。しかしながら、これらはきわめて大胆ないくつかの仮定に基いた計算値であり、肺毛細血管に還流してくる血液にも  $O_2$  が存在し、さらに  $CO_2$  ; 水蒸気の加わった複雑なガス系が肺胞内には存在するので、binary diffusion coefficient の計算のみからすべてを断ずることは出来ない。

しかしながら、これまであまり考慮されることの少なかった、肺内気相でのガス拡散現象が、呼吸生理学的に無視され得ない存在であり、かつ加圧条件下では圧力に反比例して拡散しやすさを減ずることから、終局においては、極端な深度に到達する場合、normoxic な  $O_2$  があっても十分な酸素加が行われず、あるいは  $CO_2$  の排泄が出来ないという状態が考えられ、到達深度の1つの limit となると考えられる。

	He-O <sub>2</sub>	Ne-O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	Ar-O <sub>2</sub>
1 ATA	0.791	0.349	0.219	0.208
13 ATA	0.061	0.027	0.017	0.016
15 ATA	0.053	0.023	0.015	0.014
21 ATA	0.038	0.017	0.010	0.010
71 ATA	0.011	0.005	0.003	0.003

Table 1. Binary diffusion coefficients, calculated on Chapman-Enskog theory. For details, see text.

	He-CO <sub>2</sub>	Ne-CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> -CO <sub>2</sub>	Ar-CO <sub>2</sub>
1 ATA	0.635	0.268	0.166	0.155
13 ATA	0.049	0.021	0.013	0.012
15 ATA	0.042	0.018	0.011	0.010
21 ATA	0.030	0.013	0.008	0.007
71 ATA	0.009	0.004	0.002	0.002

Table 2. Binary diffusion coefficients, calculated on Chapman-Enskog theory. For details, see text.

	He-O <sub>2</sub>	He-O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	Ar-O <sub>2</sub>
1 ATA	0.8	1.9	3.0	3.2
13 ATA	10	25	39	41
15 ATA	12	29	45	47
21 ATA	17	40	63	66
71 ATA	57	135	213	224

Table 3. Diffusive mixing of O<sub>2</sub> in the lungs.  
Hypothesized calculation of time  
requirement in seconds. For details,  
see text.