

C-6 潜水中のダイバー酸素消費量の決定

北里大学衛生学部生理学教室 森田明紀

防衛庁技術研究本部 川島祥三

海上自衛隊横須賀地区病院潜水医学実験部

大橋光夫

秋田一直

目的：

潜水中のダイバーの酸素消費量を正確に把握する事は、潜水器の安全、正確な回路内酸素分圧を維持するための混合ガス供給装置を設計するうえで重要であるばかりでなく、潜水器を使っている水中換気が適切に行なわれているか否かを判定する方法として必要であり、更に混合ガス潜水時の減圧計算を行なう場合の呼吸回路内不活性ガス分圧設定上、不可欠である。

多くの研究者が水中、並びに高圧下でのダイバーの酸素消費量を求めているが、いずれも on-line の測定が行なえなかったり、高圧下での応答性が悪いため、運動あるいは水中姿勢等の影響で刻々変るダイバーの酸素消費量を real time に測定する事は難かしい。

そこで半閉鎖回路自給気式潜水呼吸器（半閉式スクーバ）使用時のダイバーと呼吸回路におけるガスの出入りを理論的に考察し、回路内酸素濃度を測定する事により酸素消費量を正確に求める理論式を組み立て、その実用性の検討を目的として以下の実験を行なった。

方法：

1. 酸素消費量測定理論式

酸素消費量測定理論式を求めるために、図1に示すようなできるだけ単純な半閉式スクーバ回路を考える。中等度の一定運動を行なった場合、数分以内に酸素消費 y は一定値に落ちつき、回路における酸素の出入りもバランスされて回路内酸素濃度 x_1 は一定値になる、従って、回路への酸素供給量、回路酸素の消費量、排気弁からの排泄量の関係は一定になり、 $xL - y = x_1(L - y)$ という関係を示す。これより酸素消費量 y は

$$y = \frac{x - x_1}{1 - x_1} L \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

で示される。

次に酸素消費量が一定値に達しないまま all out となってしまうような non steady state の運動の場合、ある時間 t_1 (回路酸素濃度 x_1) と t_2 (回路酸素濃度 x_2) との間における平均酸素消費量を y 、その時の回路内平均酸素濃度を $\frac{x_1 + x_2}{2}$ とする。 $(t_2 - t_1)$ 時間における回路内酸素は $(x_2 - x_1)V$ だけ変化するから、回路における酸素の出入りの関係は、

$$(x_2 - x_1)V = xL(t_2 - t_1) - \left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right)(L - y)(t_2 - t_1) - y(t_2 - t_1)$$

となり、これより酸素消費量 y は

$$y = \frac{\left(x - \frac{x_1 + x_2}{2}\right) L (t_2 - t_1) - (x_2 - x_1) V}{\left(1 - \frac{x_1 + x_2}{2}\right) (t_2 - t_1)} \dots\dots\dots ②$$

となる。従って、半閉式スクーバを用いて運動を行なった場合、回路内酸素濃度を連続測定すれば①、又は②式を用いてダイバーの酸素消費量を求める事ができる。

2. 酸素消費量測定理論式の妥当性検討

大気圧、ドライブの実験室内で10名の被検者に半閉式スクーバを呼吸させ、自転車エルゴメーターにて200、並びに400kg・m/minの運動を負荷し、スクーバ回路内酸素濃度を連続測定すると共に、ダグラスバッグ法により酸素消費量の直接測定を行なった。得られた酸素濃度測定値より酸素消費量を計算し、同時に求めておいたダグラスバッグ法による酸素消費量測定値と比較し、①、並びに②式の実用性を検討した。

結果、並びに考察：

200、並びに400kg・m/minの運動についてのべ28例の実験を行なった結果、回路内酸素濃度が一定値に達したのはわずか7例であり、そのうち400kg・m/minの運動については1例であった。これらの7例について式①、並びに②より求めた酸素消費量計算値を比較したところ有意な差はなく ($p < 0.01$)、表1には式②より求めた酸素消費量計算値のみを示した。

なお、10名の被検者の中には潜水未経験者が5名含まれており、これらの被検者の酸素消費量を経験者と比較したところ有意な差はみられず ($p < 0.01$)、両被検者グループのデータをまとめて検討した。

200、並びに400kg・m/minの運動についてのダグラスバッグ法、並びに理論計算法による単位体表面積あたりの酸素消費量は表1の如くであった。2つの方法による酸素消費量データの相関は図2の如くなり、回帰直線は $Y = 0.168 + 0.791 X$ 、相関係数 $r = 0.882$ ($p < 0.01$) となった。従って、半閉式スクーバを用いた回路内酸素濃度測定法による酸素消費量計算法は実用上、問題ない事がわかった。

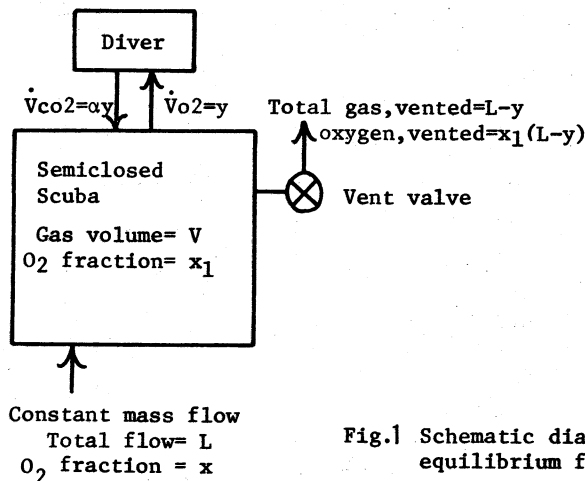


Fig.1 Schematic diagram of oxygen flow equilibrium for semiclosed scuba.

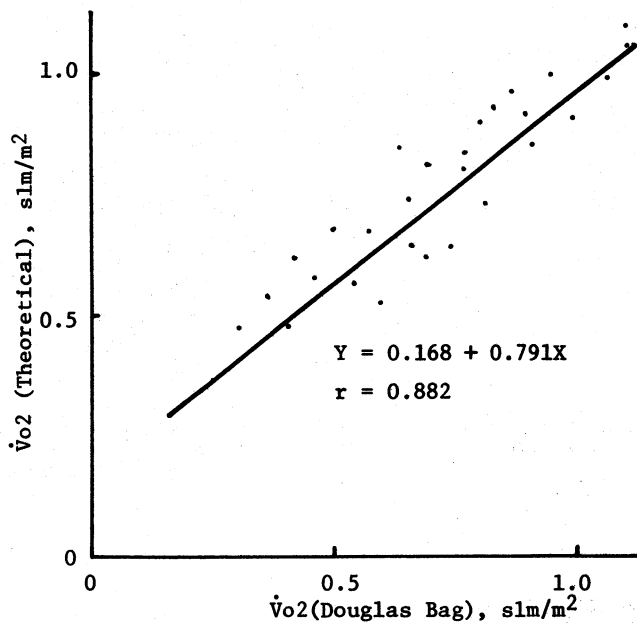


Fig.2 Correlation of oxygen uptake calculated from douglas bag's & theoretical methods.

Table.1 Oxygen uptake calculated from douglas bag's method and theoretical formulae.

Exercise	Oygen uptake, slm/m ²		Theor./Douglas
	Douglas bag's	Theoretical	
kg·m/min 100	.396	.474	1.54
	.306	.473	1.54
	.445	.678	1.52
	.801	.733	.91
	.755	.809	1.07
	.672	.687	1.02
	.598	.497	.83
	.448	.431	.96
	.732	.647	.88
	.518	.736	1.42
	.789	.766	.97
	.737	.641	.87
	.661	.646	.98
	.691	.544	.79
	.832	.687	.83
.673	.550	.82	
.597	.522	.87	
200	.768	.839	1.09
	.689	.920	1.33
	.635	.844	1.32
	.799	.893	1.11
	1.095	1.095	1.00
	.945	.992	1.04
	1.085	1.040	.95
	1.049	.964	.99
	1.053	1.037	.98
	.859	.963	1.12
	1.086	.993	.91