

横須賀地区病院潜水医学実験部 小此木国明 大岩弘典

目的：高圧環境下では中等度の労作が換気異常を招来するという事実から最大換気量(MVV)が1/2以下に減少する5 ATA(40m深度)において、最も労作能(work capacity)に近い重労作時の換気、血液所見を求め、労作能の相異を検討した。

方法：潜水医学実験部潜水員2名を被験者とし、1 ATA(0m深度)及び5 ATA(40m深度)の環境下で自転車 ergometer により、1000kg.m/minの労作を20分間、1200kg.m/minの労作を15分間負荷し、呼吸性生理指標を求めた。なお被験者は実験中、呼気ガス採取のため non-return valve付き mouth piece を装着していた。呼気ガスはダグラスバッグに安静時5分間、1 ATA運動負荷時3分間、5 ATA運動負荷時1分間採気し、タンク外Spirometerでガス量を測定し、Scholander微量ガス分析器で酸素及び二酸化炭素濃度を測定した。血液ガスの測定にはILメーターを用い、Sampleは動脈化した耳朶血を嫌氣的にキャピラリーチューブに採取し、直ちにタンク内にセットされたILメーターで測定した。運動中の採血は5分間隔で行った。高圧下におけるILメーターの安全性及び特性はあらかじめ検討し、5 ATAでの使用可能を確認した。Base Excess、重炭酸イオン(HCO₃⁻)及びTotal CO₂はSiggaard-Andersen alignment nomogramより求めた。なお呼吸動態の測定と血液ガスの測定は時を別けて行なった。

結果：換気動態では換気量の減少が認められ、同時に酸素消費量の増加、Ventilatory equivalentの減少が2被験者とも現われた(表1)。同じ労作においても5 ATAではEnergy Costが高く、作業効率も低下し、1200kg.m/minの労作では20%を示した(表2)。血液ガスでは5 ATAにおけるPaco₂、HCO₃⁻、Total CO₂、Base Excessがともに高い値を示し、特に1200kg.m/minの労作ではPaco₂は60mmHgをこえ、Base Excessは10mEq/L以上の高値を示し、なかには20mEq/Lをこえる値があつた(表3、4)。

表1

Ventilatory Functions at Work under 1 and 5 Ata

Subj	Exerc-ise kgm/min	Ambi-ent Pressure Ata	Heart Rate	RR	V _E L/min	V _E L/min/m ²	V _O L/min	V _O L/min/m ²	V _O L/min	V _O L/min/m ²	V _E /V _O	RR	Ventil. Equiv. O ₂
JN	Rest	1	71	12	11.62	6.96	0.34	0.20	0.33	0.20	1.00	1.00	28.3
	1000	5	111	28	58.77	35.19	1.59	0.99	1.75	1.05	1.10	1.10	30.4
		5	108	28	38.72	23.19	1.82	1.09	1.59	0.95	0.87	17.6	
	1200	1	150	28	71.16	42.61	2.42	1.45	2.32	1.39	0.96	24.2	
		5	160	28	54.18	32.44	2.81	1.68	2.72	1.63	0.97	35.9	
	YH	Rest	1	68	8	15.63	8.31	0.42	0.22	0.25	0.23	1.03	30.7
1000		1	105	18	38.50	20.48	1.59	0.84	1.47	0.78	0.92	20.0	
		5	102	26	34.97	18.60	1.81	0.96	1.65	0.88	0.91	15.8	
1200		1	135	13	57.71	36.02	2.28	1.23	2.35	1.28	1.03	24.4	
		5	150	24	55.08	29.30	2.62	1.40	2.34	1.24	0.89	17.3	

表2 Energy Cost and Work Efficiency at 1 and 5 ATA

Subj	Exerc-ise kgm/min	Ambi-ent Pressure ATA	Energy Cost Kcal/min	Efficiency % (R.M.R.)
SN	1000	1	7.36	29.5 (5.95)
		5	4.50	25.8 (7.05)
	1200	1	11.43	23.2 (9.90)
		5	13.35	20.0 (11.76)
YH	1000	1	6.94	29.5 (4.94)
		5	7.98	25.9 (5.86)
	1200	1	10.25	24.7 (7.95)
		5	11.84	21.5 (9.28)

* Efficiency = $\frac{\text{Mechanical Work}}{\text{Oxygen Cost}} \times 100$
 $= \frac{(\text{kgm/min}) \times 23.43 \times 10^{-4}}{\text{Vol}^{0.45}} \times 100$

表3

Blood Gases during Work at 1 and 5 Ata

Exerc-ise kgm/min	Ambi-ent Pressure Ata	Duration min	RR	Paco ₂ mmHg	PH	BE	HCO ₃ ⁻ mEq/L	Total CO ₂ mEq/L	Paco ₂ mmHg
1000	1	0	8	37.9	7.470	4.0	27.1	28.0	96.6
		5	28	33.7	7.430	-1.0	21.9	22.7	100.8
		10	28	28.8	7.475	-0.5	21.2	21.8	97.7
		15	28	32.4	7.500	3.0	24.8	25.5	93.5
		20	28	31.2	7.465	0	25.0	25.0	91.4
	5	0	8	39.1	7.485	6.0	29.0	30.0	652.2
		5	27	51.6	7.360	2.3	28.3	29.6	640.0
		10	28	52.9	7.566	3.5	29.6	31.0	657.7
		15	28	51.6	7.409	6.0	31.5	32.9	674.3
		20	28	49.6	7.410	5.3	30.6	31.8	663.2
1200	1	0	8	41.0	7.470	5.2	29.0	30.0	102.9
		5	28	37.9	7.410	0.3	23.4	24.3	91.4
		10	28	36.7	7.490	5.0	27.5	28.5	87.2
		15	28	43.7	7.455	6.4	30.5	31.5	795.1
		20	28	64.4	7.420	13.2	40.5	42.2	715.0
	5	0	8	63.1	7.470	17.5	45.0	46.0	718.5
		5	28	56.1	7.490	16.6	42.0	43.0	718.5

Subject SN, 29yr, 59kg.

表4

Blood Gases during Work at 1 and 5 Ata

Exerc-ise kgm/min	Ambi-ent Pressure Ata	Duration min	RR	Paco ₂ mmHg	PH	BE	HCO ₃ ⁻ mEq/L	Total CO ₂ mEq/L	Paco ₂ mmHg
1000	1	0	9	31.7	7.520	4.0	25.6	26.3	91.4
		5	24	37.9	7.475	4.6	27.6	28.5	93.4
		10	34	36.1	7.500	5.0	27.5	28.4	79.8
		15	23	36.1	7.510	6.0	28.4	29.2	80.9
		20	23	34.4	7.510	4.9	26.9	27.7	79.8
	5	0	8	35.8	7.524	4.7	31.6	32.5	729.5
		5	23	49.0	7.488	11.7	36.4	37.5	735.1
		10	20	48.4	7.490	11.8	36.5	37.6	707.4
		15	23	50.9	7.525	16.0	41.5	42.5	718.4
		20	23	52.2	7.515	16.1	41.6	42.7	713.0
1200	1	0	13	31.2	7.520	4.0	25.5	26.0	100.8
		5	24	35.7	7.485	2.5	24.5	25.3	90.5
		10	23	31.8	7.520	4.0	25.6	26.4	84.0
		15	25	33.0	7.500	3.0	25.4	26.2	80.9
		20	10	37.4	7.528	7.7	30.4	31.2	724.0
	5	0	23	60.6	7.520	23.4	48.0	49.0	703.9
		10	23	54.1	7.530	18.5	45.0	46.5	696.4
		15	25	57.4	7.530	20.0	47.0	48.5	685.3

Subject YH, 30yr, 75kg.

考察：高圧下における呼吸ガス密度の増加は呼吸仕事の増加をひき起し、肺胞換気量の増加を伴わない肺胞気CO₂分圧の増加を招くという事実が換気応答性の鈍化、高酸素分圧の影響等と関連されて報告されてきた。一方この様な環境条件が同一労作時のO₂摂取を増加させるといふ報告がなされ、閉塞性換気障害時のOxygen Costの増加と関連されて研究されてきた。高圧環境下の労作能を意味するものとして過去の報告は換気予備能指標(MVV)が使われてきた。しかしながら高圧下(4ATA)でMVVが $\frac{1}{2}$ になるという事実があつても、人はいまだ十分な労作の遂行に必要なO₂摂取ができる換気量を保持できるであろう。大気圧では最大酸素摂取量の70%の労作でも長時間連続遂行が可能である。高圧下における最大労作を決定する換気量とその呼吸性及び代償性機転についてはほとんど報告されていない。

今回の実験成績は予想されたとおり、同一の労作負荷にもかかわらず肺胞気炭酸ガス分圧の増加(とりわけ1200kg.m/minでは両被験者とも60mmHgを示した)と低換気状態を示し、同時に測定した酸素摂取量は同一労作の大気圧にくらべ15%余の増加を示し、高圧下の換気異常を認めている。血液ガスの所見はacid base balanceの変化をきたし、alignment nomogramの結果であるが代償性alkalosisの傾向を示した。5ATAにおける1200と1000kg.m/minの労作には肺胞気炭酸ガス分圧の増加、引きつづくacid base balanceの所見に明らかな差があり、前者の1200kg.m/minの労作量が強い換気障害をきたすことを示している。

一方機械的にも1200kg.m/minの作業が効率の低下から、高圧下で著しく不利であることを示している。