

無酸素的運動時の高濃度酸素ガス吸入が作業成績に及ぼす効果

Effects of hyperoxic gas inhalation during anaerobic exercise on performance

藤瀬 武彦*、重原 麻里**、長崎 浩爾***、

高橋 努****、岩垣 丞恒*****、山村 雅一*****

Abstract

The purpose of the study was to examine the influence of hyperoxic gas (60% O₂ in N₂) inhalation on performance of anaerobic exercise. Five male and five female university students measured 1RM (one repetition maximum) of bench press exercise using Olympic barbell, and then a load (39.8 ± 20.2 kg : $72.5 \pm 2.9\%$ 1RM) of performance test was decided. Subjects performed bench press (1 repetition/3 sec) until exhaustion while breathing air (normoxic condition: NOX) or a hyperoxic gas (hyperoxic condition: HOX) on two separate occasions. The hyperoxic gas was inhaled for 30 min before and during exercise. The number of repetition of bench press were 14.2 ± 4.5 repetitions in NOX and 15.6 ± 4.4 repetitions in HOX, that increased significantly by 9.9% ($p < 0.01$) with hyperoxia. Eight of the ten subjects increased the number of repetitions during hyperoxia than with normoxia. There was no difference in the exercise time per repetition between NOX (3.5 ± 0.5 sec/repetition) and HOX (3.5 ± 0.6 sec/repetition). Peak concentration of blood lactate after exercise were 3.30 ± 0.75 mmol/l in NOX and 3.36 ± 0.95 mmol/l in HOX, these showed no difference. The results of this study suggest that hyperoxia may enhance the performance of anaerobic exercise.

Key words: hyperoxia, anaerobic exercise, bench press, number of repetition, blood lactate

*FUJISE, Takehiko [情報文化学部情報システム学科]

**SHIGEHARA, Mari [情報文化学部体育非常勤講師]

***NAGASAKI, Koji [情報文化学部体育非常勤講師]

****TAKAHASHI, Tsutomu [新潟薬科大学]

*****IWAGAKI, Suketsune [東海大学体育学部]

*****YAMAMURA, Masaichi [東海大学医学部]

I. 緒言

ヒトに高濃度酸素ガス(以下高酸素とする)を吸入させながら持久的運動を行わせると、疲労困憊までの持続時間が有意に向上することが知られている。すなわち一定負荷運動では持続時間が22~68%向上し^{1, 6, 17, 22)}、また漸増負荷運動では持続時間が13~25%^{10, 17)}あるいは最大運動負荷強度が6~8%^{13, 15)}向上したことなどが報告されている。これらの報告で用いられている運動方法は、トレッドミルランニング^{6, 10, 16, 21)}や自転車エルゴメーターペダリング^{1, 13, 15, 17)}などのいわゆる有酸素的運動である。このときの高酸素吸入による作業成績向上の理由については、Welchの総説²¹⁾によれば活動筋への酸素の運搬や利用の増加、換気低下による呼吸運動のエネルギー消費量の減少、RER (respiratory exchange ratio: 呼吸交換比)の低下から推測されるglycogen sparing (グリコーゲン節約)、乳酸蓄積に伴うH⁺イオン濃度増加の抑制などの影響が考えられている。しかし、これらの問題については未だに明確な結論が得られていないのが現状であろう。

一方、およそ1分以内に終了するような運動開始時から最大努力で行ういわゆる無酸素的運動では、一般にその作業成績に及ぼす運動時酸素摂取の貢献度は比較的低いものの、それらに有意な相関関係の得られたことが報告されている⁸⁾。従って、無酸素的運動時の酸素摂取の意義については必ずしも明確ではないものの、その供給量は無視できないものと思われる。今日までに行われてきた運動時の高酸素吸入の影響についての研究は、有酸素的運動である持久的な全身運動を用いて検討したものがほとんどであり、無酸素的運動における作業成績などについて空気呼吸時と高酸素吸入時とを比較した報告はきわめて少ない。Eikenら⁵⁾はアイソキネティックマシン (Cybex II) を用いた最大努力での60回の膝伸展運動を1.3 ATA (atmosphere absolute pressure: 絶対気圧) の条件において純酸素呼吸で行わせ、平均ピークトルクや総仕事量が増加したことを報告している。この実験では純酸素呼吸のうえに30%気圧を上げているが(酸素分圧 PO₂: 988 mmHg)、過去には吸入酸素濃度は60% (PO₂: 456 mmHg)程度が最も作業成績を増加させることやPO₂を上げすぎると身体に悪影響を及ぼすことなどが示されている¹⁹⁾。

従って、現時点では無酸素的運動時の高酸素吸入が作業成績の向上に有効か否か、有効だとすればどの程度有効かについては必ずしも明らかではないものと思われる。そこで、本実験では比較的身体の局所を用いるウエイトトレーニング運動のような無酸素的運動における高酸素吸入の効果について検討した。

II. 方法

1. 被験者

被験者は健康な男子大学生5名及び女子大学生5名の計10名であった。被験者の身体特性は表1に示した。表中の体脂肪率は、上腕背部及び肩甲骨下部の皮下脂肪厚を測定することによって算出した³⁾。なお、被験者には口頭と文書で実験の趣旨、方法及び安全性について説明し、測定の同意を得た上で実験を行った。

Table 1. Physical characteristics of subjects.

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Fat (%)	LBM (kg)
Male					
A	23	166	65	11	54
B	22	164	61	16	52
C	22	179	72	17	60
D	20	181	98	21	78
E	21	181	75	13	65
Mean	21.6	174.2	74.2	15.6	61.8
SD	1.1	8.5	14.4	3.8	10.4
Female					
F	21	158	49	23	38
G	20	163	59	20	48
H	22	162	57	20	45
I	22	158	49	23	38
J	22	164	52	20	41
Mean	21.4	161.0	53.2	21.2	42.0
SD	0.9	2.8	4.6	1.6	4.4
Total (n=10)					
Mean	21.5	167.6	63.8	18.4	51.9
SD	1.0	9.2	15.2	4.1	12.9

LBM, lean body mass.

2. 実験手順

1) 運動種目及び最大挙上重量

本実験での運動種目には、私たちが通常行っているウエイトトレーニング運動のなかからベンチプレスを選択した。この種目はウエイトトレーニングの三大基本種目の一つであり、一般人でもバーベルを用いて比較的安全に疲労困憊までの反復運動が実施できるものと思われた⁹⁾。なお、被験者10名中5名はウエイトトレーニングの経験がなかったものの、全員ベンチプレス運動の経験があった。

(1) ベンチプレス運動の規定

ベンチプレス運動の規定はパワーリフティング競技規則¹⁶⁾を参考にした。グリップの幅は肩幅よりも拳1つか2つ分くらい広くするが、両手の人差し指間の距離は81 cm以内とした。運動動作はラックから外したバーベルを胸部に触れるまで下ろし、身体の反動や胸上でのバウンドを利用せずに肘がロックするまで挙上するものとした。なお、この動作中に臀部をベンチから浮かさないことを条件としたが、上体の反りいわゆるブリッジは認めるものとした。写真1にはベンチプレス運動のフォームを示した。

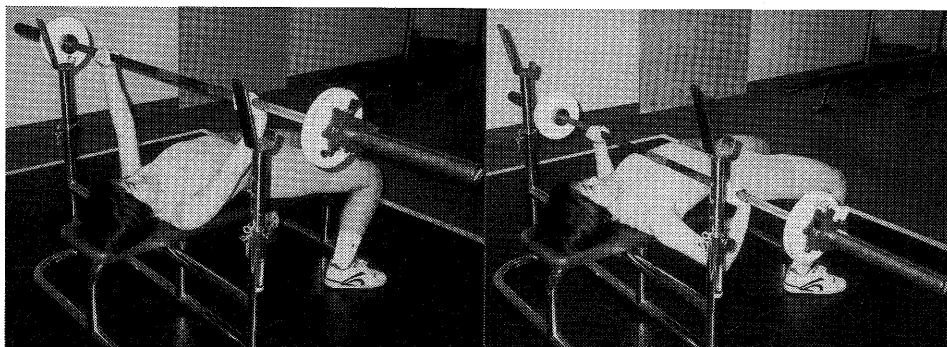


Photo. 1. The form of bench press exercise.

(2) 最大挙上重量の測定

最大挙上重量（1RM: one repetition maximum）の測定は、被験者がある程度の重量を正しいフォームで挙上できるように練習してから行わせた。すなわち、1RM（kg）の測定は任意の重量と回数でウォーミングアップを兼ねた軽重量の挙上から徐々に増量していく方式で、5から7セット目に最大重量がくるようにした。このときの最低重量変更単位は2.5 kgとした。1RMの判定はパワーリフティング競技の公認審判資格を有する測定者が行った。すなわち、バーベルの重量を増加させていく過程で挙上が不可能になったときの最大重量、あるいは挙上後に被験者本人が最大であると申告して、かつその試技を見た測定者が同様に判断した場合の重量を1RMの記録とした⁹⁾。

2) 最大反復運動テスト

本実験における最大反復運動テスト（以下最大テストとする）は、一般に通常のトレーニ

ング時に用いる重量であるおよそ70%1RMの重量で疲労困憊に達するまでベンチプレスを何回反復できるかを、各被験者とも日を替えて空気呼吸時（以下空気条件とする）及び高酸素吸入時（以下高酸素条件とする）の2回行わせるものであった。すなわち、まず被験者に30分間の仰臥安静を行わせ、その後ベンチプレス運動を、また疲労困憊後は再び30分間の仰臥安静を行わせた。

最大テストの試行順序は10名の被験者のうち5名が1回目は空気条件で2回目は高酸素条件で、他の被験者はこの逆の順序とした。なお、被験者には2回のテストとも高酸素吸入が行われていることを伝え、空気と高酸素のどちらを吸入しているかを知られないよう配慮した。

3. 高酸素吸入方法

本実験の高酸素条件では、太陽東洋酸素社製の高酸素（58.83% O₂+5.17% CO₂ in N₂）を使用した。被験者に対する高酸素の吸入方法は、まず高酸素をガス圧縮ボンベからビニールチューブを介して、蒸留水入りのプラスチックタンクを通すことにより加湿し、200 lのダグラスバッグに貯めた。そして、この高酸素を蛇管を介して被験者に吸入させた。本実験では高酸素吸入は安静時30分間及び運動中に行い、被験者が疲労困憊に達したと同時に二方活栓を閉めて、回復時には空気を呼吸させた。なお、空気条件では高酸素を貯めたダグラスバッグの二方活栓を閉めて空気を呼吸させた。写真2は高酸素の吸入装置を写したものである。

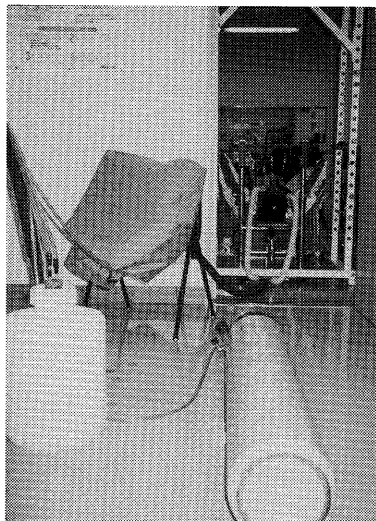


Photo. 2. The device for inhaling hyperoxic gas.

4. 測定項目

1) ベンチプレスの反復回数

ベンチプレス運動はメトロノームに同調させて3秒に1回のリズムで疲労困憊に達するまで行わせた。このときのバーベルの移動距離は、バーベルが胸上からパワーラックのストッパーに触れるまでとし、この距離（ストッパーの高さ）は各被験者毎に調節した。疲労困憊の判定はバーベルのセンター補助を行っている測定者が行い、また反復回数は一連の最大テストを8ミリビデオで撮影し、バーベルのバーが胸上からパワーラックのストッパーまで移動する距離を1.0回として小数第1位まで求めた。また、運動開始から疲労困憊までの時間をストップウォッチで計測し、運動1回あたりの所要時間を算出した。なお、写真3は実験風景を示したものである。

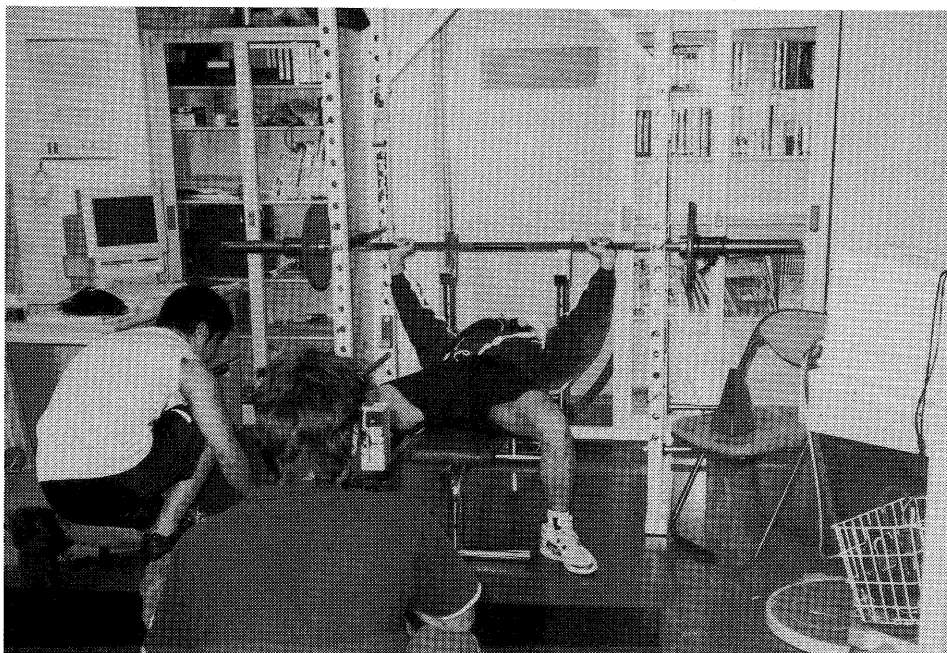


Photo. 3. Experimental set up of performance test.

2) 血中乳酸値

空気条件及び高酸素条件における血中乳酸値は、30分間の仰臥安静後及び運動終了後1分、4分、7分、20分、30分にオートレットにより指先を穿刺して専用のガラス製キャピラリーチ

ューブ (YSI 1505 CAPILLARY DISPENSERS, 25 μ l) を用いて採血し、Yellow Springs Instrument社製血中乳酸測定器 (YSI 1500 SPORTS) によって測定した。

3) 心拍数

心拍数は30分間の仰臥安静後の5分間 (仰臥位)、最大運動テスト中、及び運動終了後1分毎に30分間にわたり日本光電工業社製ヘッドサイドモニター (Life Scope 8, BSM-7103) を用いて双極胸部誘導法により求めた。

4) 酸素摂取量及び二酸化炭素排出量

酸素摂取量 (以下 $\dot{V}O_2$ とする) 及び二酸化炭素排出量 (以下 $\dot{V}CO_2$ とする) の測定は、ダグラスバッグ法により行った。すなわち、仰臥位安静30分後の5分間、最大運動テスト中、及び運動終了後30分間 (採気時間: 1分、2分、2分、5分、5分、5分、5分、5分) にわたり採気した。呼気ガス中の O_2 及び CO_2 の分析には、日本電気三栄社製ガス分析器 (Respina IH26) を用いた。これは予め太陽東洋酸素社製の超高純度 N_2 (99.9999%) で校正した後、空気条件では標準ガス (15.15% O_2 + 4.85% CO_2 in N_2)、高酸素条件 (安静時及び運動時) では太陽東洋酸素社製の高酸素 (58.83% O_2 + 5.17% CO_2 in N_2) によって校正した。また、換気量の測定には品川精器社製乾式テストガスメーター (MODEL DC-5A) を用いて、それぞれ1分毎の $\dot{V}O_2$ 及び $\dot{V}CO_2$ を算出した。測定時の実験室の室温は21.0~25.5 $^{\circ}C$ 、気圧は753~773 mmHgの範囲にあった。

なお、高酸素条件の $\dot{V}O_2$ は、本実験で行なわれたダグラスバッグ法では値が過大評価される可能性が高いため²⁰⁾ に測定を行わなかった。

5. 統計処理

各測定値は平均及び標準偏差によって示した。また、高酸素条件及び空気条件における各測定値は、paired t-testにより比較した。統計的な有意性は危険率5%水準とした。

Ⅲ. 結果

1. 1RM及び運動負荷

表2に各被験者の1RM、運動負荷、及び運動負荷の1RMに対する割合を示した。それらの値はそれぞれ 55.5 ± 29.5 kg、 39.8 ± 20.2 kg、及び $72.5 \pm 2.9\%$ であった。なお、男性被験者の1RMは 78.5 ± 23.4 kgであり、女性被験者の1RMは 32.5 ± 9.2 kgであった。

Table 2. 1RM and exercise load of repetition maximum test in each subject.

	1RM (kg)	Exercise load (kg)	% of 1RM (%)
Male			
A	85.0	60.0	70.6
B	55.0	40.0	72.7
C	52.5	37.5	71.4
D	100.0	70.0	70.0
E	100.0	70.0	70.0
Mean	78.5	55.5	70.9
SD	23.4	15.9	1.1
Female			
F	25.0	20.0	80.0
G	47.5	35.0	73.7
H	35.0	25.0	71.4
I	27.5	20.0	72.7
J	27.5	20.0	72.7
Mean	32.5	24.0	74.1
SD	9.2	6.5	3.4
Total (n=10)			
Mean	55.5	39.8	72.5
SD	29.5	20.2	2.9

1RM, one repetition maximum.

2. 作業成績

表3には空気条件及び高酸素条件における最大テストの作業成績を示した。ベンチプレスの反復回数は空気条件では 14.2 ± 4.5 回であったのに対して、高酸素条件では 15.6 ± 4.4 回であり有意に高かった ($p < 0.01$)。最大テスト時の時間は表4に示したように、空気条件では 48.5 ± 9.9 秒、高酸素条件では 53.6 ± 13.4 秒であったが、1回あたりの運動時間は両条件とも同等であった (空気条件： 3.5 ± 0.5 秒、高酸素条件： 3.5 ± 0.6 秒)。

なお、反復回数は被験者10名のうち8名が高酸素吸入により増加し、他の1名が減少し、また他の1名が両条件とも同回数であった。

Table 3. Number of repetition of the bench press exercise in normoxic and hyperoxic conditions.

	Number of repetition	
	NOX	HOX
Male		
A	10.5	13.6
B	17.6	16.6
C	15.7	16.8
D	11.7	12.7
E	8.8	10.6
Mean	12.9	14.1
SD	3.7	2.6
Female		
F	13.1	15.5
G	8.6	8.6
H	15.8	18.6
I	18.2	20.1
J	22.3	22.9
Mean	15.6	17.1
SD	5.2	5.5
Total (n=10)		
Mean	14.2	15.6
SD	4.5	4.4
Significance	p<0.01	

NOX, normoxic condition; HOX, hyperoxic condition

Table 4. Exercise time of the bench press exercise in normoxic and hyperoxic conditions.

	Exercise time			
	(sec)		(sec/repetition)	
	NOX	HOX	NOX	HOX
Male				
A	44.6	46.7	4.2	3.4
B	56.1	58.2	3.2	3.5
C	51.0	60.7	3.3	3.6
D	39.4	38.9	3.4	3.1
E	31.0	35.5	3.5	3.4
Mean	44.4	48.0	3.5	3.4
SD	9.8	11.2	0.4	0.2
Female				
F	52.2	68.1	4.0	4.4
G	37.0	38.2	4.3	4.4
H	58.7	53.6	3.7	2.9
I	57.1	75.2	3.1	3.7
J	57.9	60.5	2.6	2.6
Mean	52.6	59.1	3.5	3.6
SD	9.1	14.2	0.7	0.8
Total (n=10)				
Mean	48.5	53.6	3.5	3.5
SD	9.9	13.4	0.5	0.6
Significance	p<0.05		ns	

NOX, normoxic condition; HOX, hyperoxic condition. ns, not significant.

3. 血中乳酸値

図1には空気条件及び高酸素条件における安静時及び回復期の血中乳酸値の変動を、また表5には同様に最高血中乳酸値を示した。血中乳酸値は空気条件及び高酸素条件ともほぼ同様な変動を示し、また最高血中乳酸値は空気条件では 3.30 ± 0.75 mmol/lであり、高酸素条件では 3.36 ± 0.95 mmol/lであり、ほぼ同等の値を示した。

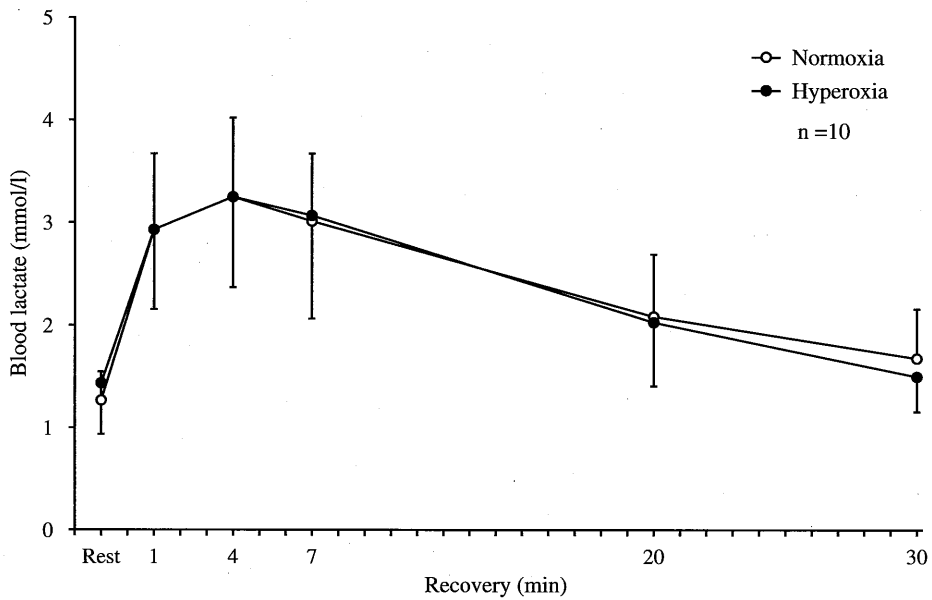


Fig.1. Changes in blood lactate during rest and recovery with normoxia and hyperoxia. Each data point is means \pm SD (vertical bars).

Table 5. Peak concentration of blood lactate after the bench press exercise in normoxic and hyperoxic conditions.

	Peak blood lactate (mmol/l)	
	NOX	HOX
Male		
A	4.22	5.03
B	4.11	3.47
C	3.78	3.56
D	4.13	4.38
E	3.30	4.21
Mean	3.91	4.13
SD	0.38	0.64
Female		
F	2.58	3.09
G	3.17	2.52
H	1.96	2.54
I	2.82	2.17
J	2.92	2.60
Mean	2.69	2.58
SD	0.46	0.33
Total (n=10)		
Mean	3.30	3.36
SD	0.75	0.95
Significance	ns	

NOX, normoxic condition; HOX, hyperoxic condition.
ns, not significant.

4. 心拍数

図2には空気条件及び高酸素条件における安静時及び回復期の心拍数の変動を示した。心拍数は全体的に高酸素吸入により低下傾向を示し、安静時及び運動終了後1分及び15分に空気条件と高酸素条件との間に有意差が認められた ($p<0.05$)。

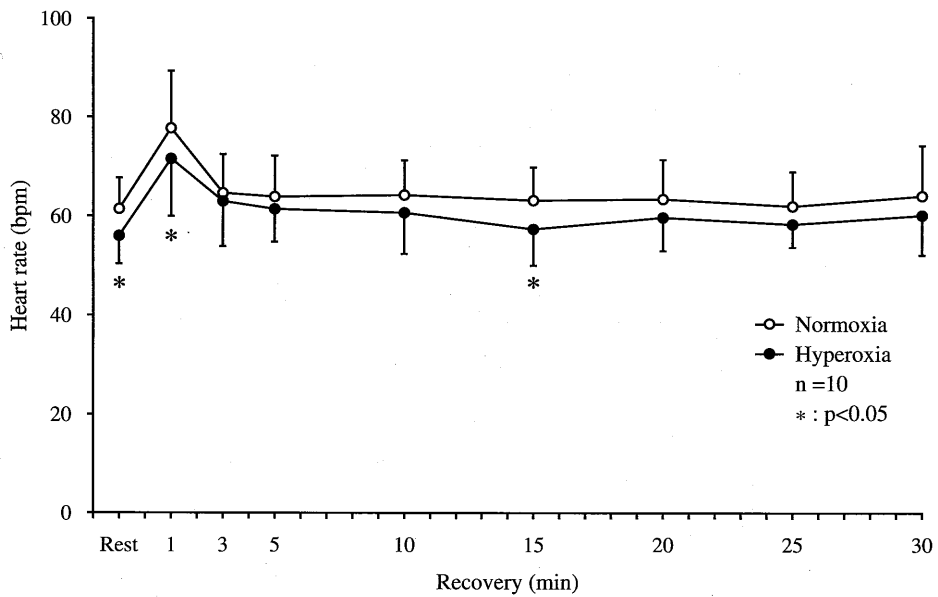


Fig.2. Changes in heart rate during rest and recovery with normoxia and hyperoxia. Each data point is means \pm SD (vertical bars).

5. 酸素摂取量

図3には空気条件における安静時、運動中、及び回復期の $\dot{V}O_2$ の変動を示した。 $\dot{V}O_2$ は安静時が 229 ± 56 ml/min、運動中が 513 ± 127 ml/min、運動終了直後が 698 ± 187 ml/min、運動終了後25分で 252 ± 69 ml/minとなり、安静値までほぼ回復した。

なお、本実験条件でのベンチプレス運動の酸素負債量は 1458 ± 628 ml/minであり、またその酸素需要量は 1777 ± 699 ml/minであった。

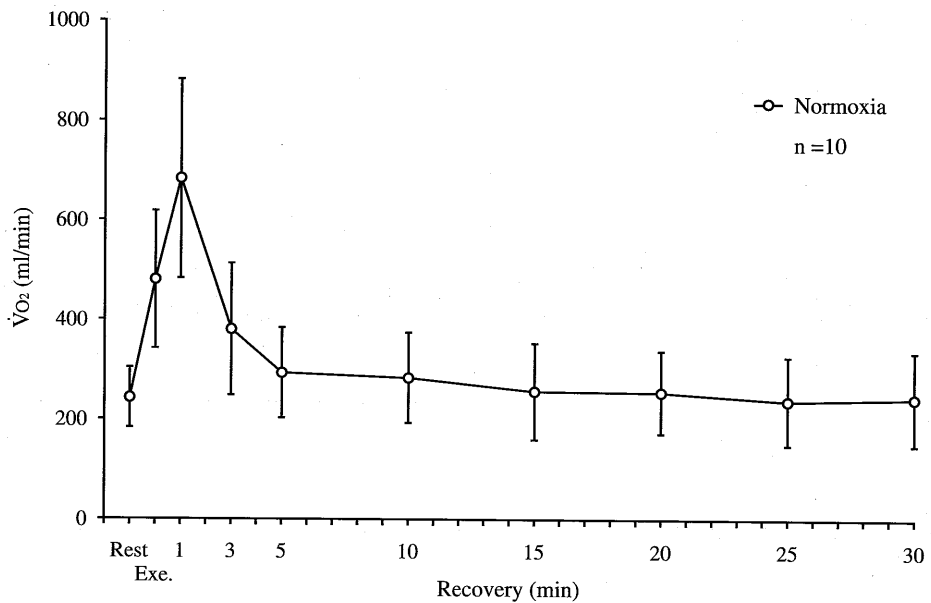


Fig.3. Changes in $\dot{V}O_2$ during rest, exercise, and recovery with normoxia. Each data point is means \pm SD (vertical bars).

6. 二酸化炭素排出量

図4には空気条件及び高酸素条件の安静時及び回復期の $\dot{V}CO_2$ の変動を示した。 $\dot{V}CO_2$ は全体的に高酸素吸入により低下傾向を示し、運動終了後20分に空気条件と高酸素条件との間に有意差が認められた ($p<0.05$)。

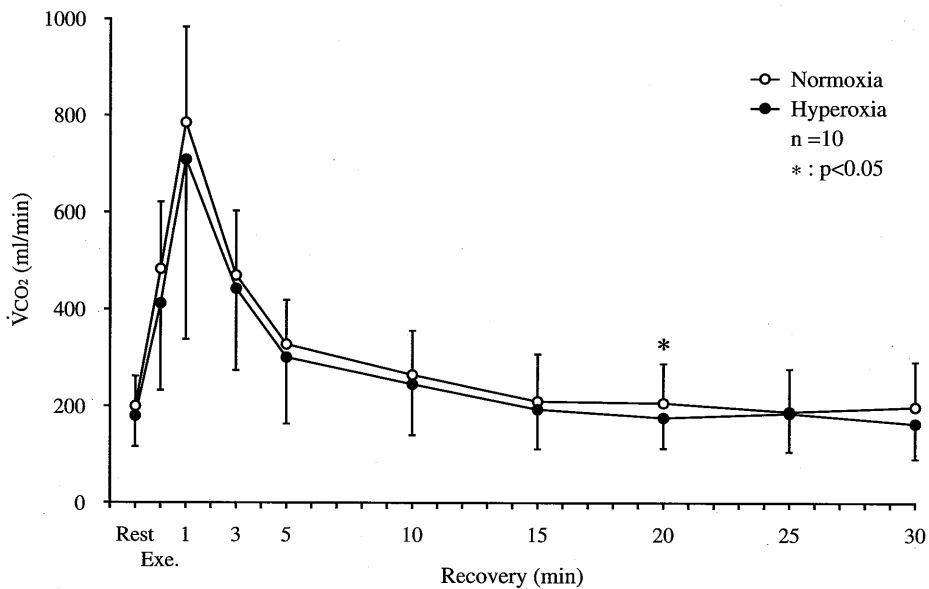


Fig.4. Changes in $\dot{V}CO_2$ during rest, exercise, and recovery with normoxia and hyperoxia. Each data point is means \pm SD (vertical bars).

IV. 考察

本実験における被験者のベンチプレスの1RMは男子 (体重: 74.2 ± 14.4 kg) が 78.5 ± 23.4 kg で、女子 (体重: 53.2 ± 4.6 kg) が 32.5 ± 9.2 kgであったが、藤瀬ら⁹⁾が報告しているバーベル挙上による筋力の5段階評価表から、男子が5 (優れている) で女子が4 (やや優れている) に相当した。本実験に参加した被験者には高校時代にスポーツの部活動経験者が5名おり、そのうち少なくとも男子2名と女子1名は現在もウエイトトレーニングを続けていること、またその他の被験者も日常は活動的であったことなどから筋力が優秀であるという結果となった。

本実験におけるベンチプレスの最大テストでは、被験者10名のうち8名が高酸素吸入により反復回数が増加した。前述したとおり、過去にはトレッドミルランニングや自転車エルゴメ

ーターペダリングを用いた有酸素的運動において高酸素吸入により持続時間や最大運動負荷強度が向上したとする報告は数多くなされているが、本実験のような無酸素的運動において作業成績が向上したという報告はほとんど見あたらない。Eiken⁵⁾らは、1.3 ATAの条件で純酸素を吸入させながら60回の膝伸展運動を70秒間かけて行わせて作業成績を検討している。この報告では平均ピークトルクが常圧下空気呼吸時では 94 ± 4 Nmであったのに対し、高酸素吸入時では 100 ± 4 Nmであり、純酸素吸入により有意に向上したことが示されている。このときの高酸素条件での筋中代謝産物は、運動直後のG-6-P(グルコース6-リン酸)が高値を示し、運動終了後1分のATP(アデノシン3-リン酸)及びCP(クレアチンリン酸)の増加、並びに乳酸レベルの減少が空気条件よりも有意に速かったことが示されている。これらのことから、高酸素吸入時にはより速いクレアチンリン酸の再合成が引き起こされ、高いレベルでの解糖によるエネルギー供給の維持が可能になったために作業成績が向上したとの見解がなされている。また、運動時の骨格筋における細胞内 PO_2 とATP/ADP比及びCPレベルに有意な相関関係が認められていることから⁴⁾、高酸素吸入による体内の PO_2 の上昇は運動時の主動筋における高エネルギーリン酸であるフォスファージェンの利用を亢進させることが考えられる。本実験においては高酸素吸入により反復回数が平均1.4回(9.9%)増加したが、Eiken⁵⁾ら実験成績では6.4%の増加が示されており、およそ同様な結果が得られたものと思われる。また運動条件は別にして、これらの増加の割合だけを比較すると、60%程度の酸素吸入が最も作業成績を増加させるという報告¹⁸⁾と一致するとの解釈も可能であろう。従って、無酸素的運動における高酸素吸入の効果は有酸素的運動のときよりも増加の割合は小さいものの、それが有効であることが示唆された。

血中乳酸値は、同一強度の運動を負荷した場合には高酸素を吸入すると空気呼吸時よりも低値を示すことが数多く報告されている^{1, 2, 10, 11, 12, 14, 17)}。この現象については、一般に解糖や乳酸産生の減少、いわゆるPasteur effectによる影響などが考えられている²⁾が、未だに明解な結論が得られていない。本実験における運動終了後の血中乳酸値の変動及び最高血中乳酸値は、空気条件と高酸素条件ともほぼ同等であった。しかし、血中乳酸値は一般に無酸素的運動におけるピークパワーや総仕事量などの作業成績と有意な正の相関を示す⁷⁾が、本実験では運動量(反復回数)の増加した高酸素条件と空気条件において有意差が認められなかった。このことは、血中乳酸値が高酸素条件において相対的に低下したという解釈も可能であり、無酸素的運動においても乳酸の蓄積を抑制するといえるのかもしれない。

また、本実験における心拍数は空気条件と高酸素条件の間で安静時、運動終了後1分及び15分以外有意差は認められなかったが、高酸素条件で全体的に低値を示す傾向にあった。一般に心拍数は高酸素吸入により低値を示すが^{1, 2, 11, 12)}、それに伴い心拍出量も低下する可能性も考えられる⁶⁾。しかし、本実験ではほとんどの被験者が1分以内に運動が終了するという短時間の無酸素的運動であり、心拍数や心拍出量の低下が作業成績に關与する可能性はほとんど考えられない。また、 $\dot{V}CO_2$ は運動終了後20分に高酸素条件が有意に低値を示し、全体的にも低下傾向にあった。これらのように運動終了後に生じる高酸素吸入の影響や作業成績との関連については不明なことが多く、今後の検討課題である。

V. 結語

本研究の目的は、高酸素吸入が無酸素的運動の作業成績に及ぼす効果について検討することであった。男子学生5名及び女子学生5名は、まずオリンピックバーベルを用いたベンチプレスの1RMを測定し(55.5±29.5 kg)、最大反復運動テストの負荷量を決定した(39.8±20.2 kg : 72.5±2.9%1RM)。被験者は日を替えて空気呼吸時及び60%酸素吸入時に3秒に1回のリズムで疲労困憊に達するまでベンチプレスを行った。

- 1) ベンチプレスの反復回数は空気条件では14.2±4.5回、高酸素条件では15.6±4.4回であり、高酸素吸入によって1.4回(9.9%)増加した(p<0.01)。なお、運動時間は空気条件では48.5±9.9秒(3.5±0.5秒/回)、高酸素条件では53.6±13.4秒(3.5±0.6秒/回)であり、両条件とも同等であった。
- 2) 運動終了後の血中乳酸値の変動は両条件ともほぼ同等であった。また、最高血中乳酸値は空気条件で3.30±0.75 mmol/l、高酸素条件で3.36±0.95 mmol/lであり、両条件ともほぼ同等であった。
- 3) 心拍数は安静時、運動終了後1分、及び15分に高酸素条件で有意に低値を示し、また $\dot{V}CO_2$ も運動終了後20分に高酸素条件で有意に低値を示した。これらの値は回復期全体において高酸素条件で低下傾向にあった。
- 4) ベンチプレスによる酸素負債量は1458±628 ml/minであり、またその酸素需要量は1777±699 ml/minであった。

以上の結果から、無酸素的運動であるベンチプレス運動において高酸素吸入を行わせると

作業成績が向上することが示唆された。

文献

- 1) Adams, R.P. and Welch, H. G. (1980) Oxygen uptake, acid-base status, and performance with varied inspired oxygen fractions. *J. Appl. Physiol.*, 49: 863-868.
- 2) Adams, R. P., Cashman, P. A., and Young, J. C. (1986) Effect of hyperoxia on substrate utilization during intense submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.*, 61: 523-529.
- 3) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T., and Keys, A. (1963) Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumption. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110: 113-140.
- 4) Bylund-Fellenius, A. -C., Walker, P. M., Elander, A., Holm, S., Holm, J., and Schersten, T. (1981) Energy metabolism in relation to oxygen partial pressure in human skeletal muscle during exercise. *Biochem. J.*, 200: 247-255.
- 5) Eiken, O., Hesser, C. M., Lind, F., Thorsson, A., and Tesch, P. A. (1987) Human skeletal muscle function and metabolism during intense exercise at high O₂ and N₂ pressures. *J. Appl. Physiol.*, 63: 571-575.
- 6) Ekblom, B., Huot, R., Stein, E.M., and Thorstensson, A.T. (1975) Effect of changes in arterial oxygen content on circulation and physical performance. *J. Appl. Physiol.*, 39: 71-75.
- 7) 藤瀬武彦, 玉木哲朗, 寺尾 保, 中野昭一(1989)「血中乳酸値および酸素負債量による無酸素的運動能力評価法の検討」『体力科学』38: 133-142.
- 8) 藤瀬武彦, 玉木哲朗, 寺尾 保, 永見邦篤, 中野昭一(1990)「短時間最大運動時の酸素摂取が作業成績に及ぼす影響」『体育学研究』35: 133-142.
- 9) 藤瀬武彦, 杉山文宏, 松永尚久, 長畑芳仁(1995)「一般青年男女における筋力評価尺度としてのバーベル挙上能力評価の試み」『体育学研究』39: 403-416.
- 10) 藤瀬武彦, 杉山文宏, 加藤健志, 岩垣丞恒, 松本正彦, 山村雅一(1997)「漸増負荷運動時の高濃度酸素吸入が持久的運動鍛練者の作業成績及び生理的変量に及ぼす効果」『トレーニング科学』9: 30-38.
- 11) 藤瀬武彦, 長崎浩爾, 岩垣丞恒, 山村雅一(1999)「トレッドミル歩行時の二酸化炭素排出量及び血中乳酸値に及ぼす高酸素吸入の影響」『新潟国際情報大学情報文化学部紀要』2:

221-235.

- 12) Graham, T. E., Pedersen, P.K., and Saltin, B. (1987) Muscle and blood ammonia and lactate responses to prolonged exercise with hyperoxia. *J. Appl. Physiol.*, 63: 1457-1462.
- 13) Hogan, M.C., Cox, R.H., and Welch, H.G. (1983) Lactate accumulation during incremental exercise with varied inspired oxygen fractions. *J. Appl. Physiol.*, 55: 1134-1140.
- 14) Hogan, M. C. and Welch, H. G. (1984) Effect of varied lactate levels on bicycle ergometer performance. *J. Appl. Physiol.*, 57: 507-513.
- 15) Hughes, R.L., Clode, M., Edwards, R.H.T., Goodwin, T.J., and Jones, N.L. (1968) Effect of inspired O₂ on cardiopulmonary and metabolic responses to exercise in man. *J. Appl. Physiol.*, 24: 336-347.
- 16) JPA 日本パワーリフティング協会技術委員会(1991)「パワーリフティング最新規則集」IPFパワーリフティング連盟.
- 17) Mateika, J.H. and Duffin, J. (1994) The ventilation, lactate and electromyographic thresholds during incremental exercise tests in normoxia, hypoxia and hyperoxia. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 69: 110-118.
- 18) Plet, J., Pedersen, P.K., Jensen, F.B., and Hansen, J.K. (1992) Increased working capacity with hyperoxia in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 65: 171- 177.
- 19) 坪井 実(1987)「運動時における酸素の効用」*J. J. Sports Sci.*, 6: 797-802.
- 20) Welch, H.G. and Pedersen, P.K. (1981) Measurement of metabolic rate in hyperoxia. *J. Appl. Physiol.*, 51: 725-731.
- 21) Welch, H.G. (1982) Hyperoxia and human performance: a brief review. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 14, 253-262.
- 22) Wilson, G.D. and Welch, H.G. (1975) Effects of hyperoxic gas mixtures on exercise tolerance in man. *Med. Sci. Sports.*, 7: 48-52.