

高 酸 素 気 ト レ ー ニ ン グ が 全 身 持 久 力
に 及 ぼ す 効 果

所 属 学 科 目 体 力 学

著 者 名 杉 山 康 司

論 文 指 導 教 員 青 木 純 一 郎

合 格 年 月 日 昭 和 63 年 2 月 18 日

論 文 審 査 委 員

米田 健武

山本 武彦

沢木 啓祐

(順天堂大學用箋)

(順天堂大學用箋)

第 1 章 緒 言

84)

1970年、Wyndhamらは海面下1270mの地下で働いている鉱夫を対象に、地下、平地および高地（海拔1763m）の各地点でトレッドミルでの最大運動負荷テストを行わせた。その結果、地下での最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）が平地および高地でのそれより、それぞれ11.3%および17.3%高く、走る距離も地下の方が高地より1.6km、平地より0.8km長かったという。高圧環境下では外気の酸素分圧が高くなるため、特に持久性のperformanceに有利に影響したものと思われる。

しかし、高圧下では酸素分圧が高くなるという利点に対して、二酸化炭素分圧も上昇し、また高気圧そのものがperformanceに悪影響を及ぼすという欠点も指摘されている。例え

27)39)77)78)

27)

ば、Fagraeusは8名の被験者に対し、0.68, 1.0, 1.4, 2.0, 3.0および6.0気圧下で最大運動を行わせ、performanceが1.0気圧下に比べ、1.4気圧下で約15%の最も大きな改善

を認めしたが、2.0, 3.0 および 6.0 気圧下では 1.4 気圧下で認められたほど大きな改善は得られなかった。さらに、6.0 気圧下においては、8 名の被験者全員に激しい呼吸困難がみられ、その内 3 名は眩暈や視覚障害も訴えて運動を中止せざるを得なかったという。また、Cook¹⁵⁾は運動中に吸入される酸素分圧を一定にし、圧力を 2 気圧および 3 気圧に上昇させたところ、performance に 2 気圧では 15%、3 気圧では 40% 以上の減少があったことを認め、同一の酸素分圧であれば 1 気圧下において運動を行った方が、高い能力を発揮できると報告している。

22)

一方、Wilson と Welch は 9 名の被験者を対象に 1 気圧下で、21, 40, 60, 80 および 100 % 酸素気を吸入させながら疲労困憊までトレッドミル走を行わせての performance を比較した。その結果、21% 酸素気吸入に比べて、100% 酸素気吸入では 38% の最も大きな改善を認め、80, 60 および 40% 酸素気吸入でもそ

れ ぞ れ 29, 22 お よ び 18% の 有 意 な 改 善 が あ っ
 た と 報 告 し た 。 同 時 に 、 吸 入 気 の 酸 素 濃 度 が
 高 い ほ ど よ り 大 き な performance の 改 善 が 期
 待 でき る と 結 論 し て い る 。 高 酸 素 気 (hyper-
 oxia) 吸 入 に よ っ て 持 久 性 の performance が
 空 気 (normoxia) 吸 入 に 比 べ て 向 上 す る こ と
 は 、 こ の 他 に も 多 く の 研 究 に よ っ て 認 め ら れ
 (17) 8) 9) (8) 23) 34) 47) 48) 53) 55) 77) 78) 79) 83)

高 酸 素 気 吸 入 が こ の よ う に 、 performance
 を 改 善 す る 理 由 と し て 、 Ekblom²³⁾ ら や Weltman⁷⁹⁾
 ら は 細 胞 へ の 酸 素 供 給 お よ び 酸 素 利 用 が 高 ま
 っ た こ と を 挙 げ て い る 。

し た が っ て 、 1 気 圧 下 で 高 酸 素 気 を 吸 入 し
 て い れ ば 、 よ り 高 強 度 で 長 時 間 の 運 動 が 可 能
 に な る こ と は 明 ら か で あ ろ う 。

と こ ろ で 、 ト レ ニ ン グ の 効 果 を 得 る た め
 に は 、 対 象 者 の 日 常 活 動 に お け る 強 度 以 上 の
 運 動 強 度 で 行 わ な け れ ば な ら な い (オ ー バ ー
 ロ ー ド の 原 則) 。 し た が っ て 、 競 技 者 の よ う
 に 体 力 水 準 の 高 い 者 は 非 常 に 高 い 強 度 の ト レ

註) 1 気 圧 下 で の 高 酸 素 濃 度 の 混 合 気 を 意 味 す る 。

ー ニ ン グ が 必 要 で あ る 。 そ の 手 段 の 一 つ と し
 て 、 例 え ば 低 酸 素 環 境 下 あ る い は 低 酸 素 気 (
 h y p o x i a) 吸 入 に よ る ト レ ー ニ ン グ が 行 わ れ
 5)10)36) 62) 66)
 て い る 。 し か し 、 こ の 方 法 で は 主 観 的 な 苦 し
 さ の 割 に は ト レ ー ニ ン グ の 質 や 量 が 十 分 で な
 く 、 必 ず し も 平 地 で の 競 技 力 を 高 め る こ と が
 5)10) 66)
 で き な い こ と が 少 な く な い 。

し た が っ て 、 よ り 高 強 度 の ト レ ー ニ ン グ を
 必 要 と す る 競 技 者 に と っ て は 、 高 酸 素 気 吸 入
 に よ る ト レ ー ニ ン グ こ そ よ り 有 効 な 手 段 で は
 な い か と 思 わ れ る 。 し か し 、 高 酸 素 気 ト レ ー
 ニ ン グ が 平 地 で の 全 身 持 久 力 に 及 ぼ す 効 果 に
 つ い て は 、 こ れ ま で ほ と ん ど 研 究 が 行 わ れ て
 36)
 い な い 。

そ こ で 、 本 研 究 は 高 酸 素 気 ト レ ー ニ ン グ が
 全 身 持 久 力 に 及 ぼ す 効 果 を 呼 吸 循 環 機 能 , 乳
 酸 閾 値 お よ び p e r f o r m a n c e の 面 か ら 検 討 し た 。

第 2 章

関 連 文 献 の 考 証

高酸素気 (hyperoxia) 吸入が人間の作業能力 (performance) に及ぼす効果に関する研究は 20 世紀の初等に始められたと言われている。⁷⁷⁾ なかでも、^{32) 33)} Douglas と ³¹⁾ Haldane, Hill と ²²⁾ Flack, Hill らおよび Furusawa らの論文が知られている。これらの論文は高酸素気吸入によってより多くの作業が可能になり、酸素摂取量も増加すると報告している。さらに、⁶⁷⁾ 杉本によると、Hill は地球をとりまく空気を全て酸素で置き換えることは不可能だが、例えば、トンネルの中の空気を酸素に置き換えることは費用がかかるけれども、全く不可能なことではない。このようなトンネルの中で人間を走らせたならば、素晴らしい記録をいくらかでも出すことができるだろうと述べているという。

それ以降、今日に至るまで、高酸素気吸入が performance に及ぼす効果に関する研究が

2)9)53)67)77)78)

数多く集積されている。そこで、高酸素気吸入によってこのように performance が改善されるならば、これをトレーニングに利用することによってより高強度で長時間のトレーニングが可能になるものと予想される。Gamow はそのような観点からこのトレーニングの有効性を示唆し、実験に取り組んでいるという。

60)70)

ここでは、高酸素気吸入が performance に及ぼす影響について総括しながら、高酸素気トレーニングの有効性について考証した。

第 1 節 高酸素気吸入と高圧環境暴露

高酸素気が呼吸循環系に及ぼす影響に関する先行研究では、しばしば加圧室を利用した高圧環境下に人間を暴露する方法が用いられている。しかし、高酸素気と高圧環境下はどちらも酸素分圧が高くなる点では一致しているが、呼吸循環系に与える影響は明らかに異なる。この節では高酸素気吸入と高圧環境暴露の差を考証した。

7)39)44)59)69)

78)

内 3 名 が 眩 暈 や 視 覚 障 害 も 訴 え て 運 動 を 中 止
 したことを記述した。彼はこれら一連の研究
 を総括し、高圧環境下では酸素分圧が高くな
 るという利点に対して、気体の密度の上昇（
 1 気圧； 1.205 mg/cm^3 ，6 気圧； 7.230 mg/cm^3 ），
 二酸化炭素分圧の上昇（1 気圧； 0.228 mmHg ，
 6 気圧； 1.368 mmHg ）あるいは高気圧そのも
 のが performance に悪影響を及ぼすと結論し
 た。

これらの研究から、高圧環境下では約 1.4
 気圧までは人間の performance を改善させる
 と思われるが、それ以上の気圧では逆に悪影
 響を及ぼすと考えられる。

(2) 運動と高酸素気

1.40 気圧下における空気中の酸素分圧は約
 223 mmHg と計算され、1 気圧下では約 29.32
 % 酸素を呼吸するのに等しい。また、1 気圧
 下における 100 % 酸素の酸素分圧（ 760 mmHg ）
 は約 4.78 気圧における空気の酸素分圧と等し
 い。そして、Cook は運動中に吸入される酸素

分圧を一定にし圧力を2および3気圧に上昇
 させた時、performanceに2気圧では15%、
 3気圧では40%以上の減少があつたことを認
 め、同一の酸素分圧であれば1気圧下におい
 て運動を行なつたほうが高い能力が発揮でき
 ると報告している。よつて、高圧環境下と高
 酸素気の違いは、濃度の異なる高酸素気がど
 のくらいperformanceに影響するかを調査し
 た実験で明らかとなる。

8)

BannisterとCunninghamは33% (11分48秒)
 , 66% (18分38秒) および100%酸素気呼吸
 (17分19秒)の方が空気呼吸(7分58秒)よ
 りもperformanceタイムが有意に長く、33%
 酸素呼吸よりも66%および100%酸素気呼吸
 の方がさらに長くなることを報告した。

82)

WilsonとWelchは9名の被験者にそれぞれ
 21, 40, 60, 80および100%酸素気を吸入し
 ながら疲労困憊までトレッドミル走を行わせ
 たときのperformanceを比較した。彼らは空
 気吸入に比べ、100%酸素呼吸では38%の最

も大きな performance の改善が認められ、80、

60 および 40 % 酸素気でもそれぞれ 29、22 およ

び 18 % の有意な performance の改善があった

ことを指摘した。また、吸入される気体の酸

素濃度が高いほど performance の改善が期待

できるだろうと考察した。

以上の研究から高酸素気吸入と高圧環境暴

露とでは生体に及ぼす影響が明らかに違っ

ており、performance の改善を狙う場合は高酸

素気吸入の方が期待できると思われる。

第 2 節 高酸素気吸入が生体に及ぼす影響

(1) 安静時に及ぼす影響

1932 年のロスアンゼルスオリンピックで大

活躍した日本の水泳選手達がレース前に酸素

吸入を行っていた事が歴史的事実として記録

されている。⁶⁷⁾ また、プロフットボール選手や

プロ野球選手達が疲労回復の手段として高酸

素気吸入をしている光景は珍しくない。さら

に、日本では一般人でさえも仕事や運動の合

間に高酸素気を吸入するようになった。

(a) 安静時の生理的影響

²³⁾

E k b l o m らは安静時に 50% 酸素気を吸入した

時の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) , 換気量 , 心拍出量 ,

心拍数および平均血圧が空気呼吸時と変わら

なかったと報告している。

(b) 疲労回復への影響

⁵⁴⁾

S n e l l らは高酸素気吸入の疲労回復への影

響を明かにするため、プロのサッカー選手 12

名を対象に 2 重盲検法による実験を行った。

トレッドミルを用いて 5 分間の休息をはさん

で 2 回の疲労困憊運動を行わせる際、5 分間

の休息および回復時に純酸素吸入を行った場

合と行わなかった場合のオールアウトタイム

および回復 4 分後の血中乳酸濃度を比較した。

その結果、オールアウトタイムおよび血中乳

酸濃度に差が認められなかった。彼らは高酸

素気吸入に利点があるとすれば、それは心理

的なものであろうと結論した。

以上の研究から、安静時の高酸素気吸入は

生 理 的 に は 効 果 が な く 、 心 理 的 な 効 果 に 依 存
す る も の と 思 わ れ る 。

(2) 最 大 下 運 動 に 及 ぼ す 影 響

高 酸 素 気 吸 入 に よ っ て ト レ ー ニ ン グ 効 果 と
よ く 似 た 生 理 機 能 の 変 化 が 生 じ る 。

(1)(2)(3)(4)

(a) 絶 対 強 度 を 用 い た 研 究

(1)

B y r n e s と M u l l i n は 高 酸 素 気 吸 入 が 呼 吸 循 環
お よ び 代 謝 応 答 に 及 ぼ す 影 響 を 調 査 す る た め 、

7 名 の 男 子 被 験 者 に 空 気 お よ び 70% 酸 素 気 を
吸 入 し な が ら 80% $\dot{V}O_{2max}$ 強 度 で 30 分 間 の 自 転

車 エ ル ゴ メ ー タ 駆 動 を 行 な わ せ た 時 の $\dot{V}O_2$,

$\dot{V}CO_2$, 換 気 量 ($\dot{V}_E$) , 呼 吸 交 換 比 (R) , 終

末 呼 気 P_{CO_2} , 心 拍 数 お よ び 筋 グ リ コ ー ゲ ン レ

ベ ル の 変 化 を 比 較 検 討 し た 。 そ の 結 果 、 空 気

吸 入 に 比 べ 70% 酸 素 気 吸 入 で は 心 拍 数 , 血 中

乳 酸 濃 度 お よ び 換 気 量 が そ れ ぞ れ 15 拍 / 分 , 31

mg / dl お よ び 15 l / 分 低 く 、 R も ま た 有 意 に 低

下 し た 。 さ ら に 終 末 呼 気 P_{CO_2} は 70% 酸 素 気 吸

入 の ほ う が 有 意 に 高 か っ た 。 し か し 、 筋 グ リ

コ ー ゲ ン の 減 少 量 お よ び $\dot{V}CO_2$ は 70% 酸 素 気 吸

入によつて減少する傾向にあったが $\dot{V}O_2$ と同様に差を示さなかった。

²³⁾
Ekblomらも空気および50%酸素気を吸入しながら $\dot{V}O_{2max}$ の30および70%強度で6分間の運動を行わせた時、50%酸素気吸入の方が空気吸入よりも30%強度において血中乳酸濃度および心拍数が 0.6 mmol/l および5拍/分低下し、70%強度において換気量、心拍数および血中乳酸濃度がそれぞれ 11.4 l/分 、 14 拍/分 および 2.0 mmol/l 有意に低かったことを認めた。加

えて、心拍出量の減少および動静脈酸素較差の増加も指摘した。心拍出量および動静脈酸

素較差の変化は ⁶⁾ Asmussen と Nielsen ^{74) 77)} によつて

も報告されており、さらに、Welch ^{74) 77)} によつて作業筋における血流量および動静脈酸素較差に同様の差があったことが示されている。

¹¹⁾
以上の結果は ⁴⁶⁾ Davis と ³⁸⁾ Sargeant, ⁷⁴⁾ Lundin と ²⁹⁾

⁴⁶⁾ Strom, ³⁸⁾ Hughesら, ⁷⁴⁾ Welchら, ²⁹⁾ Gautierら,

⁴¹⁾ Kozlowskiら, ⁴³⁾ Byrd と ³⁷⁾ Horvath, ³⁷⁾ Howleyらお

よび ³⁰⁾ Hesseらによつても指摘されている。

(b)	相	体	強	度	を	用	い	た	研	究
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

12)

Byrnesらは空気を吸入することによって得られた $\dot{V}O_{2max}$ の75%に相当する強度で20分間の自転車運動を空気および70%酸素気を吸入をしながら行ったとき、70%酸素気吸入によって得られた $\dot{V}O_{2max}$ の75%に相当する強度で20分間自転車運動を行ったときの3条件における代謝およびホルモン応答について調査した。絶対強度が等しいとき $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ に有意差はなく、血中乳酸濃度、換気量、ノルエピネフリン（NE）およびエピネフリン（E）はそれぞれそれぞれ1.2mmol/l、8.3l/分、26%および37%有意に低く、逆に絶対強度が等しい時 $\dot{V}CO_2$ および $\dot{V}O_2$ は0.49l/分、0.19l/分有意に高いこととを指摘し、心拍数、血中乳酸濃度、換気量、NEおよびEには変化を認めなかった。

こ	の	よ	う	な	こ	と	か	ら	、	彼	ら	は	絶	対	強	度	が	等	
し	い	な	ら	ば	高	酸	素	気	吸	入	に	よ	っ	て	生	体	へ	の	負
担	は	軽	く	な	り	、	相	対	強	度	が	等	し	い	な	ら	ば	生	体
負	担	度	は	同	じ	に	な	る	と	結	論	し	た	。					

85)

一方、Yamajiらは空気，40，60，80および100%酸素気を吸入させながら身体作業能力(PWC₁₇₀)を測定したところ、高酸素気吸入によってPWC₁₇₀が改善されたことを認めた。

34)

さらに、Hoganらは17%，21%，および60%酸素気を6名の被験者に吸入し、60，90および105Wで各3分間運動したのち3分ごとに15Wずつ漸増する負荷法を用いて運動させた。その結果、17%および21%酸素気吸入に比べて60%酸素気吸入では各負荷段階で血中乳酸濃度の有意な減少を認め、2 mmol/lを越える時の強度は17%および21%酸素気吸入の55% $\dot{V}O_{2max}$ に対し60%酸素気吸入では60% $\dot{V}O_{2max}$ であったと報告した。PWC₁₇₀および無酸素的作業閾値(2 mmol/lとした時)からも高酸素気吸入にはトレーニングと同様の効果があると考えられる。

以上のことから、高酸素気を利用することによって、最大下運動では絶対強度を同じにすれば“楽”に運動ができ、相対強度を同じ

にすればより高いレベルでの運動が可能になるものと思われる。

(3) 最大運動に及ぼす影響

高酸素気吸入が performance に及ぼす効果のメカニズムについては最大運動と付随してその解明の努力がなされてきている。¹⁾²³⁾³¹⁾⁴⁸⁾⁵¹⁾⁷⁷⁾⁸¹⁾⁸³⁾

(a) 代謝応答

肺の拡散は肺胞内酸素分圧と静脈血中の酸素分圧との差によって行われ、圧力勾配が高いほど早く拡散されることや、安静レベルにおいて動脈血中の酸素飽和度は95%以上であるが、激しい運動時には85%程度にまで低下²⁰⁾⁸⁰⁾することが知られている。すなわち、高酸素気吸入によりこの低下を防ぐことができ、作業筋により多くの酸素が供給できると推察される。

¹⁹⁾

Cunninghamはトレッドミル上で疲労困憊まで走ったときのタイムが、70～73%酸素気吸入によって141秒長くなったが、酸素負債および回復期の血中乳酸濃度は有意に減少した

こ と を 報 告 し て い る 。 彼 は 高 酸 素 気 吸 入 で は 、
空 気 呼 吸 時 に 達 成 さ れ 得 る 無 酸 素 的 代 謝 レ ベ
ル に 達 し な い う ち に 疲 労 困 憊 に な る と 考 え た 。

23)

ま た 、 E k b l o m ら は 被 験 者 9 名 に 空 気 お よ び 5 0
% 酸 素 気 を 吸 入 さ せ な が ら ト レ ッ ド ミ ル を 用
い た 最 大 運 動 を 行 わ せ 、 両 者 の オ ー ル ア ウ ト
タ イ ム お よ び 代 謝 応 答 を 比 較 検 討 し た 。 高 酸
素 気 吸 入 に よ っ て タ イ ム は 空 気 吸 入 の 5 . 9 分
か ら 9 . 9 分 に 伸 び 、 $\dot{V}O_{2max}$, 動 静 脈 酸 素 較 差
お よ び 動 脈 血 酸 素 濃 度 に も そ れ ぞ れ 1 2 . 5 % ,
1 1 . 0 % お よ び 7 . 4 % の 有 意 な 増 加 を 認 め た 。

し か し 、 最 高 心 拍 数 お よ び 心 拍 出 量 は 変 化 し
な か っ た 。 そ こ で 、 彼 ら は 高 酸 素 気 吸 入 に よ
っ て p e r f o r m a n c e が 改 善 さ れ た の は 、 作 業 筋
へ の 酸 素 供 給 が 高 ま っ た た め で あ る と 結 論 し
た 。

77)

一 方 、 W e l t m a n ら は 自 転 車 エ ル ゴ メ ー タ を
用 い て 仕 事 量 を 測 定 す る こ と に よ り 、 高 酸 素
気 吸 入 に お け る p e r f o r m a n c e の 改 善 を 明 ら か
に し た 。 す な わ ち 、 2 6 名 の 男 子 大 学 生 に 彼 ら

の $\dot{V}O_2 \max$ の 115% に相当する負荷で 6.5 分間、
 毎分 60 回転のペダル頻度をできるだけ維持す
 るように努力させた。その結果、空気呼吸時
 のペダル回転数の減少率は 18.1% であったの
 に対して、高酸素気吸入時には 13.3% で、有
 意に減少率が小さかった。その際、心拍数、
 $\dot{V}CO_2$ および心拍出量に有意な差は認められな
 かったが、 $\dot{V}O_2$ および動静脈酸素較差にはそ
 れぞれ 18% および 2.92 vol% の有意な増加を
 認めた。彼らもまた高酸素気吸入によって作
 業筋における酸素利用を高めることができる
 と結論した。

(48)

また、Margaria⁴⁸⁾らは 10 名の被験者に 50 秒か
 ら約 5 分で疲労困憊に至るトレッドミル走を
 空気および純酸素吸入で実施したところ、オ
 ールアウトタイムおよび $\dot{V}O_2 \max$ の改善は 2 分
 以上の最大運動の時だけしか認められなかつ

(49)

た。Christensen¹⁴⁾らも同様の知見を得ている。

(32)(33)

(28)

この他にも、Hill³¹⁾と Flack²⁾, Furusawa³²⁾⁽³³⁾ら、
 Hill³¹⁾ら、Briggs²⁾, Margaria⁴⁷⁾⁽⁴⁸⁾らおよび Byrnes²⁸⁾ら

が 高 酸 素 気 吸 入 に よ っ て 有 気 的 代 謝 が 向 上 す
 る こ と を 示 し て い る 。

以 上 の こ と か ら 、 高 酸 素 気 吸 入 に よ っ て 酸
 素 運 搬 お よ び 利 用 が 激 運 動 中 に 高 め ら れ る と
 考 え ら れ る 。

(b) 肺 換 気 応 答

⁷⁴⁾
 Welch ら は 犬 の 骨 格 筋 を 用 い た 実 験 に お い
 て 高 酸 素 気 お よ び 空 気 吸 入 に よ る $\dot{V}_{O_2}$ に は ほ
 と ん ど 差 が な か っ た こ と を 認 め 、 高 酸 素 気 吸
 入 に よ っ て 作 業 筋 の 酸 素 利 用 が 高 ま る か ど う
 か 疑 問 を も ち 、 高 酸 素 気 吸 入 に よ っ て 換 気 量
 の 減 少 が 生 じ る と 報 告 さ れ て い る こ と か ら 、
 performance を 改 善 さ せ る 理 由 と し て 換 気 量
 の 減 少 が 影 響 し て い る も の と 推 察 し た 。

⁸¹⁾
 Wilson と Welch は 9 名 の 被 験 者 に 5 種 類 の
 気 体 、 す な わ ち 空 気 , 40 , 60 , 80 お よ び 100
 % 酸 素 気 を 吸 入 し な が ら ト レ ッ ド ミ ル 走 を 疲
 労 困 憊 ま で 行 わ せ た 時 の オ ー ル ア ウ ト タ イ ム
 と 換 気 量 と の 関 係 を 検 討 し た 。 オ ー ル ア ウ ト
 タ イ ム は 酸 素 濃 度 が 高 く な る に し た が っ て 長

くなり、逆に換気量は減少することを認めた。
 彼らは、この関係から高酸素気吸入によって
 生じる performance の改善は呼吸筋に負担が
 かからなくなつたためであると考察した。

57) 実際、Otisらによると、116 l / 分の換気量を
 必要とする運動時では呼吸筋が消費する酸素
 43) は約 1100 ml / 分という。Levison と Cherniack
 は呼吸筋の $\dot{V}_{O_2}$ が 70 l / 分のとき、全 $\dot{V}_{O_2}$ の 10
 ～15% 程度であると報告した。さらに、玉木
 48) と石河は呼吸筋の $\dot{V}_{O_2}$ を持久性運動の制限因
 子としてみたとき、900 kg m / 分の運動時におけ
 る呼吸筋の $\dot{V}_{O_2}$ と全 $\dot{V}_{O_2}$ に対する割合は鍛練
 者で 17% , 非鍛練者で 23% であったと指摘し
 ている。

83) その後、Wilson と Welch は酸素を希釈する
 気体として、窒素 (標準状態 ; 1.250 mg / cm³)
 よりも密度の薄いヘリウム (0.1785 mg / cm³)
 を利用して換気量と performance との関係に
 さらなる検討を加えた。彼らは、高酸素気吸
 入による performance の改善を説明する要因

の 一 つ と し て 呼 吸 筋 に 対 す る エ ネ ル ギ ー 消 費
 量 の 減 少 を 挙 げ て お り 、 単 に 細 胞 の 酸 素 利 用
 だ け で は 説 明 で き な い だ ろ う と 結 論 し た 。

こ れ ら の 研 究 か ら 、 高 酸 素 気 吸 入 に よ る 換
 気 量 の 減 少 も ま た p e r f o r m a n c e を 改 善 さ せ る
 理 由 の ひ と つ で あ る と 思 わ れ る 。

(c) 酸 塩 基 平 衡

高 酸 素 気 吸 入 に よ る p e r f o r m a n c e の 改 善 を
 説 明 す る と 思 わ れ る 要 因 が も う 一 つ あ る 。

Adams と Welch は 酸 素 濃 度 が そ れ ぞ れ 17, 21
 お よ び 60% の 気 体 を 吸 入 し な が ら 運 動 を 行 っ
 た 時 の p e r f o r m a n c e を 比 較 し た 。 6 名 の 被 験
 者 に 対 し 彼 ら の $\dot{V}O_{2\max}$ の 55% 強 度 で 10 分 間 の
 自 転 車 運 動 を 行 わ せ た の ち 、 $\dot{V}O_{2\max}$ の 90% 強
 度 で 疲 労 困 憊 に 至 ら し め た 。 彼 ら は 、 60% 酸
 素 気 吸 入 時 に 運 動 中 の 血 中 乳 酸 濃 度 が 有 意 に
 低 か っ た こ と , 疲 労 困 憊 に 至 っ た と き の 血 中
 の 水 素 イ オ ン 濃 度 お よ び 乳 酸 濃 度 が 3 条 件 で
 ほ ぼ 一 致 し て い た こ と か ら 、 高 酸 素 気 吸 入 が
 p e r f o r m a n c e に 及 ぼ す 効 果 は 水 素 イ オ ン 濃 度

お よ び 血 中 乳 酸 濃 度 を 調 節 す る こ と に 関 係 す
 る だ ろ う と 考 察 し た 。

³⁴⁾ Hogan ¹⁾ ら は Adams と Welch が 用 い た 3 種 類
 の 気 体 を 用 い て 自 転 車 エ ル ゴ メ ー タ に よ る 負
 荷 漸 増 運 動 を 行 っ た と き の 血 中 乳 酸 濃 度 の 変
 化 を 比 較 し 、 彼 ら も ま た 乳 酸 の 蓄 積 の 仕 方 が
 異 な る 酸 素 濃 度 の 気 体 を 吸 入 し た 場 合 の 差 を
 説 明 す る も の で は な い か と 推 察 し た 。

³⁵⁾ さ ら に 、 Hogan と Welch は 6 名 の 健 康 な 男
 子 に 16% , 21% , 60% 酸 素 気 を 吸 入 し な が ら
 彼 ら の 95% $\dot{V}O_{2max}$ で 5 分 間 の 自 転 車 エ ル ゴ メ
 ー タ 運 動 を 行 わ せ 血 中 の 水 素 イ オ ン 濃 度 お よ
 び 乳 酸 濃 度 を 意 図 的 に 3 段 階 に 分 け 、 4 分 後
 に 空 気 吸 入 を し な が ら 90% $\dot{V}O_{2max}$ で 疲 労 困 憊
 に 導 い た と き の performance の 差 を 比 較 検 討
 し た 。 オ ー ル ア ウ ト タ イ ム は 高 酸 素 気 吸 入 に
 よ っ て 乳 酸 濃 度 お よ び 水 素 イ オ ン 濃 度 が 低 下
 さ せ ら れ た と き 長 く な る 傾 向 に あ っ た こ と か
 ら 、 彼 ら は 乳 酸 お よ び 水 素 イ オ ン の 増 加 抑 制
 が 高 酸 素 気 吸 入 に よ る performance の 改 善 を

説明する理由の一つであるだろうと結論し、

(134)

先行研究を支持した。

以上の研究から、高酸素気吸入により2分

以上の運動であれば performance を改善させる

ことが可能であり、この理由としては作業

筋への酸素供給および酸素利用が増加したこ

と、呼吸筋の負担が減少したことおよび組織

の酸性化が遅れることに帰すると思われる。

第3節 高圧および高酸素気トレーニング

(1) 高圧トレーニング

(84)

Wyndham らによれば、海面下 1270 m の地下

で働いている鉱夫を対象に、地下、平地およ

び高地（海拔 1763 m）の各地点でトレッドミ

ルを用いて最大運動負荷テストを行わせたと

ころ、地下での $\dot{V}O_{2max}$ が平地および高地での

$\dot{V}O_{2max}$ よりそれぞれ 11.3% および 17.3% 高く、

走る距離も地下のほうが高地より 1.6 km、平

地より 0.8 km 長かったという。Gamow はこの

研究をヒントに、高圧環境下においては高強

度で長時間のトレーニングが可能になり、極
 限に近いレベルでトレーニングしなければな
 らない競技者にとって最大の効果が得られる
 であろうと考えている。⁶⁰⁾ また最近、研究者は
 もとより競技者の間でも全身持久力を向上さ
 せるトレーニング手段として高圧トレーニング
 の有効性に³³⁾⁶⁾⁶⁰⁾⁷⁰⁾関心がもたれてきている。しか
 し、前節の通り酸素分圧を高めることによっ
 て performance の改善を図るという点では高
 酸素気吸入の方が有効であろうということが
 明らかである。

(2) 高酸素気トレーニング

高酸素気トレーニングに関する研究はこれ
 まで1例しかない。³⁴⁾ Hollman と Liesen はよく
 トレーニングされた男子5名を対象に、100
 % の酸素を吸入させながら5週間にわたって
 170～200拍/分の強度で毎日30分間のトレッド
 ミル走を行わせた。その結果、100%酸素を
 吸入しながら最大下運動(170～200拍/分)を
 行わせたときの $\dot{V}O_2$ およびヘモグロビン濃度

がトレ－ニング後において有意に減少するこ
とを示し、高地トレ－ニングと逆の現象が生
じると報告した。

しかし、彼らの実験では、対照群がなくこ
れらの変化が高酸素気トレ－ニングによるも
のかどうかわからないままである。また、高
酸素気トレ－ニングが空気呼吸時における全
身持久力に及ぼす効果について全く実験が行
われていない。

第 4 節 酸素の安全性

酸素は水とともに生体にとって必要不可欠
なものであるが、高酸素気吸入あるいは高圧
環境下である期間以上与えると逆に生体に有
害な影響を及ぼすことが古くから知られてい
る。^{42) 52) 67) 73) 86)}

(1) 酸素中毒の 2 つのタイプ

現在まで、酸素の毒性は 2 つのタイプに分
けて考えられている。第 1 は「Paul Bert 効
果」または急性型といわれるもので、酸素が

中 枢 神 経 系 を 犯 し、癲 癇 様 の 痙 攣 発 作 を 生 ず
 る タイプである。⁷³⁾ このタイプの兆候としては
 吐き気、局所的筋攣縮、痙攣、めまい、視力
 障害、過敏性および痺れ感がある。^{42) 86)} しかし、
⁶⁴⁾ Smith はこれらの症状が発生する吸気酸素
 分圧と暴露時間との関係について過去の研究
 データをまとめ、1気圧下で純酸素呼吸を行
 っても中枢神経系への害は全くないことを明
 らかにした。

第 2 のタイプは「Lorrain Smith 効果」ま
 たは慢性型といわれるもので、肺胞の浸潤を
 起こす。⁷³⁾ このタイプの兆候には、⁸⁶⁾ 胸骨後部の
 疼痛、⁷³⁾ 咳および胸痛がある。渡辺は高酸素気
 吸入では第2のタイプの危険があることを示
 唆している。

したがって、高酸素気吸入を行わせる時、
 第2のタイプを考慮して、酸素の吸入濃度お
 よび時間についての配慮が必要であると思わ
 れる。

(2) 高酸素気吸入の安全性

21)

Dolezal は 12 名の健康な被験者に最短 42 時間から最長 74 時間まで純酸素呼吸を連続的に行なわせたところ、8 ～ 14 時間までは全く症状が現れなかったと報告した。Van De Water⁷¹⁾らも健康な成人男子 9 名に 12 時間および 3 名に 6 時間の純酸素吸入をしたとき、9 名のうち 4 名がそれぞれ 6, 6, 7.5 および 11 時間後に自覚症状を訴えたが 12 時間まで肺機能に異常を認めなかったと報告した。

50)

Michel⁵⁰⁾らは 6 名の被験者に酸素分圧が 418 mm Hg (55% に相当する) の気体に 168 時間 (7 日間) 暴露させながら作業を行わせたところ、約 36 時間まで全く生体に異常を認めず自覚症状もなかった。この研究は純酸素よりもはるかに長い時間の吸入が可能であることを証明している。

65)

Smith と Shields⁶⁵⁾は酸素中毒に関する先行研究から、酸素中毒の症状発現までの時間を示した “Time pressure tolerance curve” を

作成した。これによると、60%酸素気に相当する酸素分圧では30時間まで十分に連続吸入が可能であり40%酸素気以下では無害であることが分かる。

以上のことから、1気圧下において60%以下の酸素気では長時間の吸入が可能であり、例えば前節までに紹介してきた研究に用いられている1時間にも満たない高酸素気吸入は安全であると思われる。

(3) 生化学的に見た酸素の安全性

最近、生体に取り込まれた酸素のうちエネルギー代謝に用いられない酸素が非常に活性化の高いフリーラジカル（活性酸素）となつて生体を脅かすということが言われている。^{4) 45) 64) 86)}

通常、この活性酸素はスーパーオキシドジスムターゼ（SOD）、パーオキシダーゼ、カタラーゼおよびグルタチオンパーオキシダーゼといった酵素およびトコフェロール（ビタミンE）⁴⁾などの働きによって消去されるが、この恒常性が働かなくなったとき、細胞膜の

脂 質 を 酸 化 し て 過 酸 化 脂 質 を 形 成 し 細 胞 の 崩

壊 に 導 く と 考 え ら れ て い る 。 ^{4) 45)}

激 し い 運 動 を 行 っ た と き で さ え も こ の 活 性

酸 素 の 影 響 が 問 わ れ て い る 今 日 、 高 酸 素 気 吸 ^{1) 7) 45) 72)}

入 を し な が ら 運 動 を 行 う 場 合 に も 同 じ よ う に

こ の 方 面 か ら の 安 全 性 を 確 か に す る こ と が 、

望 ま し い と 思 わ れ る 。

第 3 章 実 験 方 法

第 1 節 被 験 者

高 酸 素 気 ト レ ニ ン グ が 全 身 持 久 力 に 及 ぼ
す 効 果 を 検 討 す る た め に 、 日 常 規 則 的 な ト レ
ー ニ ン グ を 行 っ て い な い 本 学 の 男 子 学 生 14 名
(年 齢 ; 22 ± 2 歳 , 身 長 ; 171.1 ± 4.8 cm , お よ
び 体 重 ; 65.3 ± 7.1 kg) に 本 実 験 の 意 図 , 方 法
お よ び 安 全 性 に つ い て 説 明 し 、 被 験 者 と し て
本 実 験 に 参 加 す る こ と を 依 頼 し た 。 そ の 結 果 、
全 員 す す ん で 被 験 者 を 志 願 し 、 承 諾 書 に 署 名
し た 。

ト レ ニ ン グ 実 験 の 前 に 空 気 呼 吸 に よ る 最
大 運 動 テ ス ト を 実 施 し 、 持 久 性 の 体 力 レ ベ ル
に 差 が 生 じ な い よ う に 最 大 酸 素 摂 取 量 を 基 準
と し て 、 被 験 者 14 名 を 7 名 ず つ 高 酸 素 気 ト レ
ー ニ ン グ 群 お よ び 空 気 呼 吸 に よ る 正 常 気 ト レ
ー ニ ン グ 群 の 2 群 に 分 け た 。 各 群 の 被 験 者 の
身 体 特 性 を 表 1. に 示 し た 。 な お 、 実 験 期 間 中 、
正 常 気 ト レ ニ ン グ 群 の 被 験 者 1 名 (M O)

表1

に大腸炎の疑いが生じて2週間入院したため、
被験者から抜かざるを得なかった。そのため、
正常気トレーニング群は6名となった。

第2節 実験手順

(1) 最大運動テスト

各被験者に対し、トレーニングの負荷決定
および効果判定のためにトレーニング期の前
に2回および後に1回の最大運動テストを実
施した。前者の2回のテストは疲労およびト
レーニングの影響を最小限にするため少なく
とも1週間離し、1回が空気もう1回が高酸
素気吸入によって行われ、テストの試行順序
は無作為とした。

トレーニング後の最大運動テストは、各被
験者のトレーニング最終日の翌日から1週間
以内に空気吸入で行われた。なお、3回のテ
ストとも被験者には高酸素気吸入が行われて
いることを伝えた。さらに、空気あるいは高
酸素気のどちらを呼吸しているのか悟られな

い よ う に 配 慮 し た (図 1) 。

図1

テ ス ト 当 日 、 被 験 者 は 室 温 21℃ お よ び 相 対

湿 度 60% に 保 た れ た 実 験 室 に 出 頭 し 、 呼 吸 マ

ス ク を 装 着 し て 20分 間 の 椅 座 位 安 静 を 保 っ た 。

こ れ は 、 テ ス ト に 高 酸 素 気 を 用 い る 時 に 、 代

謝 測 定 上 吸 気 お よ び 呼 気 に 含 ま れ る 窒 素 の 量

を 平 衡 に す る た め の 十 分 な 時 間 で あ る 。 20分

間 の 安 静 の 後 、 直 ち に 自 転 車 エ ル ゴ メ タ (

M o n a r k 社 製) を 用 い て テ ス ト を 実 施 し た 。 負

荷 は ペ ダ ル 回 転 数 が 60rpm に な る よ う に 調 節

さ れ た リ ズ ム ボ ッ ク ス (竹 井 機 器 社 製) の テ

ン ポ に 合 わ せ 、 被 験 者 が 疲 労 困 憊 す る ま で 0

k p か ら 2 分 毎 に 0.5kp ず つ 漸 増 し た (図 2)

図2

(2) ト レ ニ ン グ

高 酸 素 気 ト レ ニ ン グ 群 の ト レ ニ ン グ 強

度 は 、 高 酸 素 気 吸 入 を し な が ら 行 わ れ た 最 大

運 動 テ ス ト か ら 得 た 各 被 験 者 の $\dot{V}O_2$ - 負 荷 関

係 を 直 線 回 帰 し 、 そ れ ぞ れ $\dot{V}O_{2max}$ の 85% に 相

当 す る 負 荷 を 内 挿 し て 求 め た 。 ま た 、 彼 ら の

ト レ ニ ン グ 時 間 は 10分 間 と し 、 運 動 中 に 高

酸素気吸入をした。

これに対し、正常気トレ－ニング群のトレ

－ニング強度は、空気吸入をしなが行った

最大運動テストから得た各被験者の $\dot{V}O_2$ －負

荷関係より高酸素気トレ－ニング群と同様に

$\dot{V}O_{2max}$ の 85% に相当する負荷を求めた。そし

て、運動時間は彼らが高酸素気吸入によつて

得た $\dot{V}O_{2max}$ の 85% 強度で 10 分間運動したとき

と同じ仕事量になるように求めた。その結果、

最短 10 分 22 秒 から 最長 11 分 30 秒 の 範囲 となつ

た。彼らの運動中には空気吸入をした。

トレ－ニングの頻度および期間は両群とも

週 3 回 および 4 週間 とした。

(3) 高酸素気吸入

本実験では、酸素濃度が $59.79 \pm 1.61\%$ (

シヨランダ－微量ガス分析器による) の窒素

との混合気を高酸素気とし、トレ－ニング期

の前に行つた 2 回の最大運動テストのどちら

か一方および高酸素気トレ－ニング群のトレ

－ニング時に吸入した。この吸入気は圧縮ボ

ンベから蒸留水の入った水槽を通して加湿した後、容量が 150ℓ のダグラスバッグ内に貯め、採気マスクを用いて被験者に吸入させた(図 1 参照)。

第 3 節 測定項目

(1) 酸素摂取量

最大運動テストおよびトレニング期の第 1 日目の安静時および運動中の呼気を、熱線式流量計 (RM-300; ミナト医科学) を用いて計量した。また同時に、その一部をあらかじめシヨランダ-微量ガス分析器 (ユフ精器) で化学的に分析した既知濃度のガスによって校正された赤外線方式およびジルコニア素子方式による医用ガス分析器 (MG-360; ミナト医科学) を用いて CO_2 および O_2 濃度について分析した。計量された呼気量および分析値から以下に示した Haldane の変形方程式を用いて酸素摂取量 ($\dot{V}_{\text{O}_2}$) を算出した。

$$\dot{V}_{\text{O}_2} = \dot{V}_{\text{E}} \left(\left(F_{\text{E}} \text{N}_2 / F_{\text{I}} \text{N}_2 \right) F_{\text{I}} \text{O}_2 - F_{\text{E}} \text{O}_2 \right)$$

た	だ	し	、	$\dot{V}_E$	；	呼	気	量	，	$F_{E N_2}$	；	呼	気	N_2	分	画	濃	度	，
$F_{I N_2}$	；	吸	気	N_2	分	画	濃	度	，	$F_{I O_2}$	；	吸	気	O_2	分	画	濃	度	お
よ	び	$F_{F O_2}$	；	呼	気	O_2	分	画	濃	度	を	示	す	。					
(2)		心	拍	数															
最	大	運	動	テ	ス	ト	お	よ	び	ト	レ	ー	ニ	ン	グ	期	の	初	
日	(	初	期	)	，	第	2	週	目	の	3	回	目	(	中	期	)	お	よ
び	最	終	日	(	後	期	)	の	安	静	お	よ	び	運	動	中	の	心	電
図	を	胸	部	双	極	誘	導	に	よ	り	患	者	監	視	装	置	(	ハ	ー
モ	リ	2	E	2	6	；	三	栄	測	器	)	で	連	続	的	に	モ	ニ	タ
な	が	ら	記	録	器	(	R	J	G	-	4	1	2	4	；	日	本	光	電
し	、	後	に	1	分	毎	に	R	棘	の	数	を	数	え	て	心	拍	数	を
求	め	た	。																
(3)		乳	酸	閾	値														
安	静	時	の	1	5	分	お	よ	び	各	負	荷	段	階	の	最	後	の	3
秒	間	に	耳	朶	よ	り	3	0	μ l	用	サ	ン	プ	リ	ン	グ	チ	ュ	ー
(	エ	ル	マ	社	製	)	を	用	い	て	採	血	し	、	直	ち	に	氷	冷
さ	れ	た	1	5	0	μ l	の	除	蛋	白	液	(	0	.	6	N	過	塩	素
液	)	と	混	和	し	た	。	そ	の	後	、	3	0	0	0	r	p	m	で
																			40)
の	遠	心	分	離	を	行	い	、	そ	の	上	澄	液	か	ら	酵	素	法	(
ラ	ク	テ	ー	ト	テ	ス	ト	コ	ン	ビ	ネ	-	シ	ョ	ン	；	ベ	ー	リ
																			ン
																			ハ
																			イ

ム社)を用いて血中乳酸濃度の分析を行った。

時間軸に対して血中乳酸濃度を目盛り、血

中乳酸濃度が安静水準から上昇するおよびさ

らにより急激な上昇が観察されるそれぞれ直

前の点を乳酸閾値1 (LT1) および乳酸閾値

2 (LT2) とし、いずれも酸素摂取量で表わ

した(図3)。

(4) 血液組成

トレーニングの初日および最終日の運動前

に肘前静脈より約2 mlの血液を採取した。採

取した血液は血液希釈装置 (AD-240; 東亜医

用電子)を用いて赤血球数およびヘマトクリ

ット値の測定では50000倍に、ヘモグロビン

濃度の測定では500倍に希釈した後、赤血球

数、ヘマトクリット値およびヘモグロビン濃

度を、それぞれ電気抵抗検出方式、血球パル

ス波高値検出方式およびシアンメトヘモグロ

ビン法による自動血球計数装置 (CC-150; 東

亜医用電子)で検出した。

図3

(5) performance

performance は時間および総仕事量で表した。最大運動テストの開始から終了までの時間をオールアウトタイムとし、デジタルストップウォッチ (S022-500T; SEIKO) で測定した。また、フォトトランジスタを用いてペダル一回転毎の信号を記録器 (RJG-4124; 日本光電) に記録し、ペダル回転数を求め、各負荷での仕事率および疲労困憊に至るまでの総仕事量を算出した。

第 4 節 統計処理

トレーニング前後における各測定項目の平均値の差を対応のある Student の t テストによって検定した。有意水準は危険率 5 % 以下とし、 $p < 0.05$, 0.01 および 0.001 に分けて表示した。

第 5 節 実験期間および場所

全ての実験は、1987 年 10 月 17 日から 12 月 5

日までの期間に順天堂大学運動生理学研究室
内の実験室にて行われた。

第 4 章 実 験 結 果

第 1 節 高 酸 素 気 吸 入 が 最 大 運 動 に 及 ぼ し
た 影 響

(1) 呼 吸 循 環 機 能

高 酸 素 (60% O_2) 気 吸 入 に よ る 最 大 運 動 テ
ス ト に よ っ て 得 ら れ た 最 大 酸 素 摂 取 量 , 最 高
心 拍 数 お よ び 最 大 換 気 量 を 、 空 気 呼 吸 に よ る
も の と 一 緒 に 表 2. に 示 し た 。

(a) 最 大 酸 素 摂 取 量

高 酸 素 気 吸 入 に よ っ て 得 ら れ た 最 大 酸 素 摂
取 量 ($53.38 \pm 7.01 \text{ ml} / \text{kg} \cdot \text{分}$) は 空 気 呼 吸 時 ($46.09 \pm 5.12 \text{ ml} / \text{kg} \cdot \text{分}$) よ り も $16.3 \pm 7.2\%$ 有 意
($p < 0.001$) に 増 加 し た 。

(b) 最 高 心 拍 数

空 気 お よ び 高 酸 素 気 吸 入 に よ っ て 得 ら れ た
最 高 心 拍 数 は そ れ ぞ れ $183 \pm 12 \text{ 拍} / \text{分}$ お よ び $184 \pm 13 \text{ 拍} / \text{分}$ で 両 群 間 に 有 意 な 差 は 認 め ら れ な か
っ た 。

表2

(c) 最大換気量

高酸素気吸入によって最大換気量は 114.5 $\pm 15.5 \text{ l / 分}$ から $107.6 \pm 19.9 \text{ l / 分}$ に有意な減少($p < 0.05$) を得た。

(2) performance

高酸素気吸入時のオールアウトタイムは空

気呼吸時の $17 \text{ 分 } 48 \text{ 秒} \pm 1 \text{ 分 } 27 \text{ 秒}$ から $18 \text{ 分 } 27 \text{ 秒}$ $\pm 1 \text{ 分 } 50 \text{ 秒}$ まで長くなり、総仕事量も $12,531$ $\pm 2,268 \text{ kpm}$ から $13,685 \pm 2,746 \text{ kpm}$ に改善された。これらはいずれも統計的に有意 ($p < 0.01$)

であった (図 4.) 。

(3) $85\% \dot{V}_{O_2 \max}$ 強度の負荷空気および高酸素気吸入時に得られた $\dot{V}_{O_2}$ -

負荷関係式から、それぞれ推定されたトレー

ニング負荷 ($85\% \dot{V}_{O_2 \max}$) は、 $196 \pm 24 \text{ watts}$ および $216 \pm 25 \text{ watts}$ であった (表 3.) 。

また、最大酸素摂取量および performance と同様、

 60% 酸素気吸入の方が有意に高い ($p < 0.001$)

トレーニング負荷を示した。

第 2 節 ト レ ー ニ ン グ の 効 果

ト レ ー ニ ン グ 前 後 の 最 大 酸 素 摂 取 量 、 最 高

心 拍 数 お よ び 最 大 換 気 量 の 変 化 を 表 4 お よ び 表4.乳 酸 閾 値 を 表 5 に 示 し た 。 表5.

(1) 最 大 酸 素 摂 取 量

高 酸 素 気 ト レ ー ニ ン グ 群 で は 45.79 ± 4.36 ml / kg · 分 から 50.09 ± 4.61 ml / kg · 分 と 有 意 な 増加 ($p < 0.01$) を 示 し た 。 正 常 気 ト レ ー ニ ン グ群 で は 47.02 ± 7.67 ml / kg · 分 から 47.39 ± 5.54

ml / kg · 分 の 増 加 す る 傾 向 に あ っ た が 、 統 計 的

に 有 意 で は な っ た 。

(2) 最 高 心 拍 数

ト レ ー ニ ン 前 後 の 最 高 心 拍 数 は 高 酸 素 気 ト

レ ー ニ ン グ 群 が 181 ± 10 拍 / 分 お よ び 185 ± 8 拍 / 分 ,正 常 気 ト レ ー ニ ン グ 群 が 184 ± 15 拍 / 分 お よ び 18 6 ± 11 拍 / 分 で 、 両 群 と も 有 意 な 変 化 を 示 め な か

っ た 。

(3) 最 大 換 気 量

ト レ ー ニ ン グ 前 後 の 最 大 換 気 量 は 高 酸 素 気

ト レ ー ニ ン グ 群 で は 118.0 ± 13.0 l / 分 から $133.$

$0 \pm 18.0 \text{ l / 分}$ の有意な増加 ($p < 0.05$) を示したが、正常気トレーニング群では有意な増加を示さなかった。

(4) 乳酸閾値

$\dot{V}O_2$ で表わされた LT1 は高酸素気トレーニング群で $19.7 \pm 2.7 \text{ ml / kg} \cdot \text{分}$ から $24.3 \pm 4.0 \text{ ml / kg} \cdot \text{分}$ 、正常気トレーニング群で $19.6 \pm 4.3 \text{ ml / kg} \cdot \text{分}$ から $23.0 \pm 4.5 \text{ ml / kg} \cdot \text{分}$ まで増加した。これらはいずれも有意な増加 ($p < 0.05$, $p < 0.001$) であった。しかし、LT2 に関しては高酸素気トレーニング群および正常気トレーニング群とも有意な改善を示さなかった。

(5) 血液組成

トレーニング前後の赤血球数、ヘマトクリット (Hct) 値およびヘモグロビン (Hb) 濃度の差を図 5 に示した。

図5.

高酸素気トレーニング群では、赤血球数、Hct 値および Hb 濃度がそれぞれ $43 \pm 25 \text{ 万個 / mm}^3$ ($p < 0.01$)、 $2.4 \pm 1.8 \%$ ($p < 0.05$) および $0.66 \pm 0.3 \text{ g / dl}$ ($p < 0.05$) の有意な減少を示した。

しかし、正常気トレーニング群ではこれらの減少は認められなかった。

また、高酸素気トレーニング群の赤血球数および Hct 値の減少量は正常気トレーニング群のそれに比べて、統計的に有意であった ($p < 0.01$, $p < 0.05$)。

(6) performance

高酸素気トレーニング群はオールアウトタイムが 18 分 7 秒 $\pm$ 1 分 23 秒から 19 分 58 秒 $\pm$ 1 分 52 秒に、総仕事量が 12,978 $\pm$ 2,075 kpm から 16,020 $\pm$ 3,088 kpm に有意な改善 ($p < 0.001$, $p < 0.01$) を示した。また、正常気トレーニング群についても、オールアウトタイム (17 分 18 秒 $\pm$ 1 分 37 秒から 19 分 7 秒 $\pm$ 1 分 53 秒) および総仕事量 (11,792 $\pm$ 2,432 kpm から 14,853 $\pm$ 3,176 kpm) に有意な改善 ($p < 0.01$) が認められた (図 6)。

図 6.

(7) トレーニング中の心拍数

トレーニングの初日、6 日目および最終日 (12 日目) に得られた被験者のトレーニング

中の心拍数を図7に示した。両群ともトレーニング
 ニングの進行に伴って心拍数が減少する傾向
 にあったが、正常気トレーニング群の初日の
 値 176 ± 14 拍/分 と最終日の 167 ± 18 拍/分 との間に
 は統計的に有意な差は認められなかった。し
 かし、高酸素気トレーニング群では6日目の
 値 175 ± 16 拍/分 がすでに初日に対して有意に減
 少 ($p < 0.05$) しており、さらに、最終日の値
 との間にも有意な差 ($p < 0.01$) が認められた。

第 5 章 考 察

23)

Ekblomらは9名の被験者に50%酸素気を吸入しながら、トレッドミルを用いた最大運動を行わせた。その結果、空気呼吸に比べ50%酸素気吸入では最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) が12.5%有意に増加し、オールアウトタイムも5.9分から9.9分に伸びたと報告している。

また、純酸素を高酸素気として被験者に吸入

27)

したWeltmanらも $\dot{V}O_{2max}$ が18%有意に増加し、performanceも改善されたことを認めている。

彼ら以外にも数多くの研究者によって高酸素気吸入は全身持久力を改善させるという知見

(1)(2)(34)(48)(55)(82)(85)

が得られている。

本研究でもトレーニング前に2回の最大運動テスト(一方は空気、もう一方は高酸素気吸入を行った)を実施した結果、高酸素気吸入により $\dot{V}O_{2max}$ が平均16.3%有意に増加した。

また、図4に示したようにオールアウトタイムおよび総仕事量で表わしたperformanceも

有意に改善された。これは、高酸素気吸入によって全身持久力が改善されると結論している。先行研究と一致するものであり、より高強度のトレーニングが可能になることを示している。実際、高酸素気吸入の $\dot{V}O_2$ - 負荷関係の直線回帰式から求めた 85% $\dot{V}O_{2\max}$ 強度の負荷は、空気呼吸のそれに比べて $10.8 \pm 4.1\%$ 有意に高い負荷であることが分かった。

本研究で計算された各被験者の 85% $\dot{V}O_{2\max}$ 強度は、それぞれのトレーニング第 1 日目に実測することによって確かめた。その結果、実測された強度は高酸素気トレーニング群が $86.2 \pm 2.6\%$ $\dot{V}O_{2\max}$ および正常気トレーニング群が $85.0 \pm 2.8\%$ $\dot{V}O_{2\max}$ であった。つまり、各被験者のトレーニング強度が正確に計算されたことを示している。また、群間には有意な差がなく、両群のトレーニング時の生体負担度は等しかったと考えられる。

一方、トレーニング前後の体重は両群とも有意な変動を認めなかった ($\pm 0.5\%$ 以内)。

すなわち、トレーニング前後の各測定項目に
おける差は体重の増減による影響を受けな
かったことを示している。

そこで、持久力のある人ほど高い強度まで
血中乳酸濃度の急増なしで運動することが可
能であることが分かっている⁸⁷⁾ので、乳酸閾値
からトレーニングの効果を評価してみた。そ
の結果、 $\dot{V}O_2$ で表わされた LT1 が高酸素気ト
レーニング群で $19.7 \pm 2.7 \text{ ml} / \text{kg} \cdot \text{分}$ から $24.3 \pm$
 $4.0 \text{ ml} / \text{kg} \cdot \text{分}$ に、正常気トレーニング群が 19.6
 $\pm 4.3 \text{ ml} / \text{kg} \cdot \text{分}$ から $23.0 \pm 4.5 \text{ ml} / \text{kg} \cdot \text{分}$ までそれ
ぞれ、有意に増加した。また、LT2 では正常
気トレーニング群および高酸素気トレーニン
グ群とも有意な増加を示さなかったが、両群
で高まる傾向にあった（表 5. 参照）。これら
の結果は、トレーニングによって両群とも耐
乳酸性に対する能力が改善されたものと考え
られる。

さらに、トレーニングによってオールアウ
トタイムが、高酸素気トレーニング群で 18 分

07秒 ± 1分 23秒 から 19分 58秒 ± 1分 52秒 に、
正 常 気 ト レ ニ ン グ 群 で 17分 18秒 ± 1分 37秒
か ら 19分 07秒 ± 1分 53秒 に 両 群 と も 有 意 な 増
加 を 示 し、同 じ く 総 仕 事 量 も ま た、ト レ ニ
ン グ に よ っ て 有 意 に 増 加 し た。す な わ ち、
performance か ら み て も、本 研 究 で 行 わ れ た
ト レ ニ ン グ に よ っ て 高 酸 素 気 ト レ ニ ン グ
群 お よ び 正 常 気 ト レ ニ ン グ 群 と も に 全 身 持
久 力 を 高 め る こ と が で き た と 思 わ れ る。以 上
ま で の 知 見 は、両 群 に お い て 有 酸 素 的 能 力 が
と も に 改 善 さ れ た こ と を 意 味 し て い る よ う に
思 わ れ る。

ところ、持久力の指標となる $\dot{V}O_{2max}$ に対するトレニングによる改善は、高酸素気トレニング群では、 $45.79 \pm 4.36 \text{ ml/kg} \cdot \text{分}$ から $50.09 \pm 4.61 \text{ ml/kg} \cdot \text{分}$ の有意な増加を示したが正常気トレニング群では有意な増加を示さなかった（表4参照）。また、 $\dot{V}O_{2max}$ の増量で両群を比較しても、高酸素気トレニング群の $4.37 \pm 2.47 \text{ ml/kg} \cdot \text{分}$ に対して正常気トレ

ニング群では $2.03 \pm 1.88 \text{ ml / kg} \cdot \text{分}$ でしかなかった。
 これは、正常気トレーニング群に比べて運動時間が短く、絶対強度が高い高酸素
 気トレーニング群の方が持久力の改善を行う
 トレーニングとしてより有効であることを示
 している。乳酸閾値や performance でこのよ
 うな両群の違いを認めることができなかった
 のは、トレーニング期間が4週間と短かった
 ためではないかと思われる。
 さらに、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ と同様、その他の測定項目
 で高酸素気トレーニングの有効性が示された。
 最大換気量は全身持久力にすぐれている人
 ほど大きいことが知られている。⁸⁷⁾ 高酸素気ト
 レーニング群では、トレーニング前後で最大
 換気量が $118.0 \pm 13.0 \text{ l / 分}$ から $133.0 \pm 18.0 \text{ l / 分}$
 に有意に増加しているが、正常気トレーニン
 グ群においてこのような差は得られなかった。
 高酸素気トレーニングの有効性を支持する理
 由として、正常気トレーニング以上に最大換
 気量の増大に導くことができることが挙げら

れる。

また、トレーニング初日、2週目の最後の日（6回目）、および最終日（12回目）に得られた被験者の心拍応答では高酸素気トレーニング群が 182 ± 12 拍/分から 175 ± 13 拍/分に、最終日には 169 ± 15 拍/分まで有意に減少した。しかし、正常気トレーニング群ではトレーニング初日の 176 ± 14 拍/分から 176 ± 16 拍/分に、また最終日には 167 拍/分に減少する傾向にあったが有意な減少を示すまでには至らなかった。これは、高酸素気トレーニング群のトレーニング開始時の強度（ $85\% \dot{V}O_{2\max}$ ）が、すでに2週目の終了時には $85\% \dot{V}O_{2\max}$ 強度の負荷を生体に与えていないものと考えられる。よってトレーニングの原則の一つである漸進性の原則に従って、もし、トレーニング2週目に彼らのトレーニング強度を修正していれば、4週目においてさらに $\dot{V}O_{2\max}$ 、乳酸閾値および performance は大きく改善され、正常気トレーニング群に対しても明らかな違いを示した。

かもしれない。これもまた高酸素気トレ－ニ
 ングの有効性を示唆している。
 ところで、赤血球数、ヘマトクリット値（
 Hct）およびヘモグロビン（Hb）濃度は高酸
 素気トレ－ニング群で 43 ± 25 万個/mm³、 2.4 ± 8
 % および 0.66 ± 0.3 g/dl の有意な減少を認め
 た。特に、赤血球数の減少量およびヘマトク
 リット値の低下は正常気トレ－ニング群に対
 しても有意なものであった。
 この理由として2つのことが考えられる。
 一つは両群のトレ－ニング強度である。本研
 究では両群のトレ－ニング強度を $85\% \dot{V}O_{2max}$
 とし、呼吸循環系に与える生体負担度を同じ
 にした。しかし、高酸素気トレ－ニング群の
 方が正常気トレ－ニング群よりも絶対強度で
 は約10%高かったことから、骨格筋などに与
 えたストレスは高酸素気トレ－ニング群の方
 が大きかったのかもしれない。本研究ではト
 レ－ニング期間中の被験者の栄養摂取状況を
 調査していないので明らかではないが、もし

トレーニング前までの状況と同じであればこの理由は十分考えられる。

もう一つの理由としては、高酸素気トレーニングによって高地馴化とは逆の影響が生じたのではないかということである。Hollman

とLiesen³⁶⁾はよくトレーニングされた被験者に純酸素吸入をしながら5週間にわたって、脈拍が170-200拍/分の強度で30分間の運動を毎日行わせたところ、ヘモグロビン(Hb)濃度が有意に減少したことを報告した。彼らは、高酸素気トレーニングに高地トレーニングと全く反対の影響があるだろうと推察している。

また、高圧環境下に反復暴露⁷³⁾された人は赤血球数が減少するといわれている。

本研究もこれらの結果と一致している。したがって、赤血球数およびHb濃度を増加させ酸素輸送能力を高める目的で行う高地トレーニングとは反対の結果であり、高酸素気トレーニングのマイナスの効果として示しているように思われる。しかし、高地トレーニング

によつて平地帰還後の持久力が逆に低下する
という理由の一つとして、Hct 値の増加、す
なわち血液の水分量の減少が生じ、血液の粘⁶²⁾
性が高められてしまうことが指摘されている
本研究では、Hct 値もまた有意に減少した。
つまり、高酸素気トレーニングによつて生じ
た赤血球数および、Hb 濃度の減少は血液の水
分量が増加したためかもしれない。このよう
な観点から見れば、高酸素気トレーニングの
有効性を反映しているとも考えられる。
しかし、本研究で得られた血液組成の変化
が高酸素気トレーニングによるものであった
かどうか、あるいはそうであったとしてもこ
れが全身持久力の改善にどの程度寄与してい
るのかは明らかではない。この点については
さらに研究が必要であらう。
本研究は、高酸素気トレーニングの有効性
を明らかにする目的で行われた。その結果、乳
酸閾値 (LT1) および performance には正常気
トレーニングと等しい改善が得られ、トレー

ニ　ン　グ　期　間　が　短　か　っ　た　に　も　か　か　わ　ら　ず　、　最　大
酸　素　摂　取　量　お　よ　び　最　大　換　気　量　の　増　加　な　ら　び　に
ト　レ　ー　ニ　ン　グ　中　の　心　拍　数　の　減　少　と　い　う　点　で　は
高　酸　素　気　ト　レ　ー　ニ　ン　グ　の　方　に　有　意　に　高　い　効　果
が　得　ら　れ　た　。　し　た　が　っ　て　、　高　酸　素　気　ト　レ　ー　ニ
ン　グ　は　全　身　持　久　力　の　向　上　の　た　め　の　ト　レ　ー　ニ
ン　グ　と　し　て　、　正　常　気　ト　レ　ー　ニ　ン　グ　以　上　に　有　効　で
あ　る　と　結　論　さ　れ　る　。

第 6 章 結 論

正 常 気 ト レ ー ニ ン グ 群 お よ び 高 酸 素 気 ト レ
 ニ ン グ 群 の 両 群 に お い て 乳 酸 閾 値 (L T 1)
 オ ー ル ア ウ ト タ イ ム お よ び 総 仕 事 量 で い ず れ
 も 有 意 な 改 善 が 得 ら れ た 。 し か し 、 最 大 酸 素
 摂 取 量 お よ び 最 大 換 気 量 の 増 加 な ら び に ト レ
 ニ ン グ 中 の 心 拍 数 の 減 少 に 関 し て は 、 高 酸
 素 気 ト レ ー ニ ン グ 群 の み 有 意 な 効 果 が 認 め ら
 れ た 。 し た が っ て 、 高 酸 素 気 ト レ ー ニ ン グ は
 正 常 気 ト レ ー ニ ン グ に 比 べ 、 全 身 持 久 力 の ト
 レ ー ニ ン グ と し て よ り 効 果 的 で あ る と 結 論 さ
 れ る 。

第 7 章 要 約

1) 本研究の目的は高酸素気トレニングが全身持久力に及ぼす効果を明らかにすることであった。

2) 日常規則的な持久性のトレニングを行っていない14名の健康な男子被験者を最大酸素摂取量を基準に、高酸素気トレニング群 ($n = 7$) および正常気トレニング群 ($n = 7$) に2分した。

3) 高酸素気トレニング群のトレニング強度は、60%酸素気吸入で行われた最大運動テストから得られた最大酸素摂取量の85%、正常気トレニング群の強度は、空気呼吸で行われた最大運動テストから得られた最大酸素摂取量の85%とした。トレニング時間は高酸素気トレニング群を10分とし、両群の仕事量を等しくするために、正常気トレニング群は10分22秒から11分30秒とした。またトレニングの頻度および期間は両群とも週3回および4週間であった。

4)	高	酸	素	気	ト	レ	ー	ニ	ン	グ	群	は	、	最	大	酸	素	摂	
取	量	、	乳	酸	閾	値	(	L	T	1	)	、	オ	ー	ル	ア	ウ	ト	
ム	、	総	仕	事	量	、	お	よ	び	最	大	換	気	量	が	45.79	±	4.	
36	ml	/	kg	・	分	か	ら	50.09	±	4.61	ml	/	kg	・	分	、	19.7	±	2.7
分	か	ら	24.3	±	4.0	ml	/	kg	・	分	、	18	分	7	秒	±	1	分	23
8	秒	±	1	分	52	秒	、	12,978	±	2,075	k	p	m	か	ら	16,020	±	3,088	
k	p	m	お	よ	び	118.0	±	13.0	l	/	分	か	ら	133.0	±	18.0	l	/	
分	ま	で	、	そ	れ	ぞ	れ	有	意	に	増	加	し	た	。	ま	た	、	ト
レ	ー	ニ	ン	グ	中	の	心	拍	数	が	有	意	に	減	少	し	た	。	
5)	正	常	気	ト	レ	ー	ニ	ン	グ	群	は	、	乳	酸	閾	値	(	L	T
1	)	、	オ	ー	ル	ア	ウ	ト	タ	イ	ム	お	よ	び	総	仕	事	量	が
19.6	±	4.3	ml	/	kg	・	分	か	ら	23.0	±	4.5	ml	/	kg	・	分	、	17
分	37	秒	か	ら	19	分	7	秒	±	1	分	53	秒	お	よ	び	11,792	±	2,432
か	ら	14,853	±	3,176	k	p	m	ま	で	、	そ	れ	ぞ	れ	有	意	に		
増	加	し	た	。	し	か	し	、	最	大	酸	素	摂	取	量	、	最	大	換
気	量	お	よ	び	ト	レ	ー	ニ	ン	グ	中	の	心	拍	数	に	は	有	意
な	変	化	は	認	め	ら	れ	な	か	っ	た	。							
6)	以	上	の	結	果	か	ら	、	高	酸	素	気	ト	レ	ー	ニ	ン	グ	
は	、	正	常	気	ト	レ	ー	ニ	ン	グ	よ	り	も	全	身	持	久	力	を
改	善	さ	せ	る	の	に	効	果	的	で	あ	る	と	結	論	さ	れ	た	。

謝

辞

摺筆に当り、数々の御配慮および御助言下
さいました運動生理学研究室の形本静夫、高
岡郁夫ならびに堀田昇先生に深く感謝の意を
表します。

また、被験者として心よく御協力して下さい
いました皆さんに対し厚く御礼申し上げます

引用文献

- 1) Adams, R. P. and H. G. Welch: Oxygen uptake, acid-base status, and performance with varied oxygen fractions. J. Appl. Physiol. 49: 863-868 (1980)
- 2) Adams, R. P., P. A. Cashman and J. C. Young: Effect of hyperoxia on substrate utilization during intense submaximal exercise. J. Appl. Physiol. 61: 523-529 (1986)
- 3) 青木純一郎: 環境とスポーツ. J. J. Sports Sci. 6: 2 (1987)
- 4) 浅田 浩二: 活性酸素の生物に対する作用. 代謝 15: 1277-1285 (1978)
- 5) 朝比奈一男, 阿久津邦男, 青木純一郎, 猪飼 道夫, 池上 晴夫, 小川 新吉, 勝田 茂, 喜多 弘, 杉本 良一, 高瀬 敏, 塚越 克巳, 中西 光雄, 中川 功哉, 春山 国広, 馬場先恵美子, 三宅 章介, 横堀 栄: 低酸素気トレーニングの研究報告. スポーツ科学研究委員会, 研究報告集, pp. 1-15 (1964)
- 6) Asmussen, E. and M. Nielsen: The cardiac output in rest and work at low and high oxygen pressures. Acta Physiol. Scand. 35: 72-83 (1955)
- 7) Banister, E. W., J. E. Tawnton, T. Patrick, P. Oforasag and W. R. Duncan: Effect of oxygen at high pressure at rest and during severe exercise. Respiration Physiol. 10: 74-84 (1970)
- 8) Bannister, R. G. and D. J. C. Cunningham: The effects on the respiration and performance during exercise of adding oxygen to the inspired air. J. Physiol. 125: 118-137 (1954)
- 9) Briggs, H. : Physical exercise, fitness and breathing. J. Physiol. 54: 292-318 (1920)
- 10) Busukirk, E. K., J. Kollias, R. F. Akers, E. K. Prokop and E. P. Reategui: Maximal performance at altitude and on return from altitude in conditioned runners. J. Appl. Physiol. 23: 256-266 (1967)

- 11) Byrnes, W. C. and J. P. Mullin: Metabolic effects of breathing hyperoxic gas mixtures during heavy exercise. Int. J. Sports Med. 2:236-239 (1981)
- 12) Byrnes, W. C., P. M. Mihevic, P. S. Freedson and S. M. Horvath: Submaximal exercise quantified as percent of normoxic and hyperoxic maximum oxygen uptakes. Med. Sci. Sports Exerc. 16: 572-577 (1984)
- 13) Byrd, R. J. and S. M. Horvath: Cardiovascular and ventilatory responses to exercise breathing 100 per cent oxygen. Int. Z. angew. Physiol. 28:263-268 (1970)
- 14) Christensen, E. H., A. Krogh and J. Lindhard: Investigations on heavy muscular work. Q. Bull. Hlth. Org. League Nat. 3:388-417 (1934)
- 15) Cook, J. C.: Work capacity in hyperbaric environments without hyperoxia. Aerospace Med. 41:1133-1135 (1970)
- 16) Cooper, B.: Take the low road? Triathlete Sept.:20-21 (1986)
- 17) Corbucci, G. G., G. Montanari, M. B. Cooper, D. A. Jones and R. H. T. Edwards: The effect of exertion on mitochondrial oxidative capacity and on some antioxidant mechanisms in muscle from marathon runners. Int. J. Sports Med. 5:135-134 (1984)
- 18) Cunningham, D. A.: Effects of breathing high concentrations of oxygen on treadmill performance. Res. Quart. 37:491-494 (1966)
- 19) Davies, C. T. M. and A. J. Sargeant: Physiological responses to one- and two-leg exercise breathing air and 45% oxygen. J. Appl. Physiol. 36:142-148 (1974)

- 20) Dempsey, J. A. , P. E. Hansen, C. Pegelow and A. Claremont: Limitations to exercise capacity and endurance: pulmonary system. Can. J. Appl. Sports Sci. 7:4-13(1982)
- 21) Dolezal, V.: The effect of longlasting oxygen inhalation upon respiratory parameters in man. Physiol. Bohemoslov. 11: 149-158(1962)
- 22) Douglas, C. G. and J. S. Haldane: The effects of previous forced breathing and oxygen inhalation on the distress caused by muscular work. J. Physiol. 39:i-iv(1909-1910)
- 23) Ekblom, B. , R. Huot, E. M. Stein and A. T. Thorstensson: Effect of changes in arterial oxygen content on circulation and physical performance. J. Appl. Physiol. 39:71-75(1975)
- 24) Fagraeus, L. , J. Karlsson, D. Linnarsson and B. Saltin: Oxygen uptake during maximal work at lowered and raised ambient air pressures. Acta Physiol. Scand. 87:411-421(1973)
- 25) Fagraeus, L. , C. M. Hesser and D. Linnarsson: Cardiorespiratory responses to graded exercise at increased ambient air pressure. Acta Physiol. Scand. 91:259-274(1974)
- 26) Fagraeus, L. :Maximal work performance at raised air and helium-oxygen pressures. Acta Physiol. Scand. 91:545-556(1974)
- 27) Fagraeus, L. :Cardiorespiratory and metabolic functions during exercise in the hyperbaric environment. Acta physiol. Scand. 83:Suppl. 414:1-40(1974)
- 28) Furusawa, K. :Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilisation of oxygen. Part X. The oxygen intake during exercise with breathing mixtures rich in oxygen. Proc. R. Soc. Lond. (Biol.) 98:287-289(1925)

- 29) Gautier, H., D. Maillard, J. Vincent and D. Zaoui: Gas exchange during exercise in normoxia. Respiration Physiol. 33:199-211 (1978)
- 30) Hesse, B., I. -L. Kanstrup, N. J. Christensen, T. Ingemann-Hansen, J. F. Hansen, J. Halkjær-Kristensen and F. B. Petersen: Reduced norepinephrine response to dynamic exercise in human subjects during O₂ breathing. J. Appl. Physiol. 51:176-178 (1981)
- 31) Hill, A. V., C. N. H. Long and H. Lupton: Muscular Exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. Part VII. Muscular exercise and oxygen intake. Proc. R. Soc. Lond. (Biol.) 97:155-167 (1924)
- 32) Hill, L. and M. Flack: The influence of oxygen on athletes. J. Physiol. 38:xxviii-xxxvi (1909)
- 33) Hill, L. and M. Flack: The influence of oxygen inhalations on muscular work. J. Physiol. 40:347-372 (1910)
- 34) Hogan, M. C., R. H. Cox and H. G. Welch: Lactate accumulation during incremental exercise with varied inspired oxygen fractions. J. Appl. Physiol. 55:1134-1140 (1983)
- 35) Hogan, M. C. and H. G. Welch: Effect of varied lactate levels on bicycle ergometer performance. J. Appl. Physiol. 57:507-513 (1984)
- 36) Hollmann, W. and H. Liesen: The influence of hypoxia and hyperoxia training in a laboratory on the cardiopulmonary capacity., Limiting factor in physical performance. In J. Keul, ed., Georg Thieme Verlag: Stuttgart, pp. 213-218 (1973)

- 37) Howley, E. T., R. H. Cox, H. G. Welch and R. P. Adams: Effect of hyperoxia on metabolic and catecholamine responses to prolonged exercise. J. Appl. Physiol. 54:59-63(1983)
- 38) Hughes, R. L., M. Clode, R. H. T. Edwards, T. J. Goodwin and N. L. Jones: Effect of inspired O₂ on cardiopulmonary and metabolic responses to exercise in man. J. Appl. Physiol. 24: 336-347(1968)
- 39) Kaijser, L.: Limiting factors for aerobic muscle performance. Acta Physiol. Scand. 79 Suppl. 346:1-96(1970)
- 40) 北上 茂樹, 鈴木 チヨ: 乳酸の酵素的測定法. 臨床検査 10:631-634(1966)
- 41) Kozlowski, S., B. Rasmussen and W. G. Wilkof: The effect of high oxygen tensions on ventilation during severe exercise. Acta physiol. scand. 81:385-395(1971)
- 42) 黒島 晨汎: 環境生理学, 第1版, 理工学社: 東京, PP. 86-121(1981)
- 43) Levison, H. and R. M. Cherniack: Ventilatory cost of exercise in chronic obstructive pulmonary disease. J. Appl. Physiol. 25: 21-27(1968)
- 44) Linnarsson, D., J. Karlsson, L. Farraeus and B. Saltin: Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia. J. Appl. Physiol. 36:399-402(1974)
- 45) Lovin, R., W. Cottle, I. Pyke, M. Kavanagh and A. V. Belcastro: Are indices of free radical damage related to exercise intensity. Eur. J. Appl. Physiol. 56:313-316(1987)
- 46) Ludin, G. and G. Ström: The concentration of blood lactic acid in man during muscular work in relation to the partial pressure of oxygen of the inspired air. Acta Physiol. Scand. 13:253-266(1974)

- 47) Margaria, R., P. Cerretelli, S. Marchi and L. Rossi: Maximum exercise in oxygen. Int. Z. angew. Physiol. 18:465-467(1961)
- 48) Margaria, R., E. Camporesi, P. Aghemo and G. Sassi: The effect of O₂ breathing on maximal aerobic power. Pflügers Arch. 336: 225-235(1972)
- 49) McArdle, W. D., F. I. Katch and G. S. Pechar: Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle tests for max $\dot{V}O_2$. Med. Sci. Sports 5:156-160(1973)
- 50) Michel, E. L., R. W. Langevin and C. F. Gell: Effect of continuous human exposure to oxygen tension of 418 mmHg for 168 hours. Aerospace Med. 31:128-144(1960)
- 51) Miller, A. T., H. L. Perdue, E. L. Teague and J. S. Ferebee: Influence of oxygen administration on cardiovascular function during exercise and recovery. J. Appl. Physiol. 5:165-168(1952)
- 52) 三浦 豊彦: 新労働衛生ハンドブック, 第1版, 労働科学研究所: 東京, p. 352(1974)
- 53) Morris, A. F.: Oxygen. :Ergogenic aids in sports. In Williams, M. H., ed., Human Kinetics Publishers: Illinois, pp.187-201(1983)
- 54) Murphy, P.: Pure oxygen doesn't help athletes recover. Phys. Sportsmed. 14:31(1986) より引用
- 55) Nielsen, M. and O. Hansen: Maximal Körperliche Arbeit bei Atmung O₂-reicher Luft. Skand. Arch. Physiol. 76:37-59(1937)
- 56) Noguchi, H, Y. Ogushi, I. Yoshiya, N. Itakura and H. Yamabayashi: Breath-by-breath $\dot{V}CO_2$ and $\dot{V}O_2$ require compensation for transport delay and dynamic response. J. Appl. Physiol. 52: 79-84(1982)
- 57) 小川 新吉, 勝田 茂, 坪井 実, 田中 保子: 低酸素環境下における酸素吸入の効果に関する研究. 東京教育大学体育学部スポーツ研究所報 5:17-29(1967)

- 58) Otis, A. B., W. O. Fenn and H. Rahn: Mechanics of breathing in man. J. Appl. Physiol. 2:592-607 (1950)
- 59) Pirnay, F., R. Marechal, R. Dujardin, M. Lamy, R. Deroanne, and J. M. Petit: Exercise during hyperoxia and hyperbaric oxygenation. Int. Z. angew. Physiol. 31:259-268 (1973)
- 60) Prehn, T.: The lowdown on altitude training: Can training below sea level elevate your performance? Bicycling Aug.: 42-48 (1986) より引用
- 61) Scholander, P. F.: Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one-half cubic centimeter samples. J. Biol. Chem. 167:235-250 (1947)
- 62) 島岡 清: トレーニング法の開発, I ハイポキソックトレーニング: 体カトレーニング, 運動生理学的基礎と応用, 宮村実晴・矢部京之助, 編集, 第1版, 真興交易出版部: 東京, pp. 386-404 (1986)
- 63) Simon, J., B. Gutin, J. L. Young and D. L. Blood: Lactate accumulation during constant-load work just below and just above the anaerobic and respiratory compensation thresholds. Med. Sci. Sports Exerc. 12:126 (1980)
- 64) Smith, G.: Oxygen toxicity., General anaesthesia, In T. C. Gray, J. F. Nunn and J. E. Utting, 4th ed., vol. 1, sect. 28, Butterworths: London, pp. 551-571 (1980)
- 65) Smith, G. and T. G. Shields: Oxygen toxicity. Pharmac. Therap. B. 1:731-756 (1975)
- 66) Smith, M. H. and B. J. Sharkey: Altitude training: Who benefits? Phys. Sportsmed. 12:48-62 (1984)
- 67) 杉本 良一: スポーツと酸素., 医学の動向, 第26集, スポーツ医学, 金原出版: 東京, pp. 165-191 (1959)
- 68) 玉木 伸和, 石河 利寛: 鍛練者および非鍛練者の運動中の呼吸筋の酸素消費量. 体力科学 25:78-84 (1976)

- 69) Tounton, J. E. , E. W. Banister, T. R. Patrick, P. Oforsagd and W. R. Duncan:Physical workcapacity in hyperbaric environments and conditions of hyperoxia. J. Appl. Physiol. 28:421-427(1970)
- 70) Taylor, D. :Training low is the way to go. Colo. Engineer Summer:3(1986) より引用
- 71) Van De Water, J. M. , K. S. Kagey, I. T. Miller, D. A. Parker, N. E. O' Connor, J. -M. Sheh, J. D. MacAathur, R. M. Zollinger and F. D. Moor:Response of the lung to six to 12 hours of 100 per cent oxygen inhalation in normal man. New Eng. J. Med. 283: 621-626(1970)
- 72) Viinkka, L. , Jvuori and O. Ylikorkala:lipid peroxides, prostacyclin, and thromboxane A₂ in runners during acute exercise. Med. Sci. Sports Exerc. 16:275-277(1984)
- 73) 渡辺 敬一:気圧環境., 基礎環境衛生学, 増補版、朝倉書店:東京, pp. 53-67(1986) より引用
- 74) Welch, H. G. , J. P. Mullin, G. D. Wilson, and J. Lewis:Effects of breathing O₂-enriched gas mixtures on metabolic rate during exercise. Med. Sci. Sports 6:26-32(1974)
- 75) Welch, H. G. , F. Bonde-petersen, T. Graham, K. Klausen and N. Secher:Effects of hyperoxia on leg blood flow and metabolism during exrecise. J. Appl. Physiol. 42:385-390(1977)
- 76) Welch, H. G. and P. K. Pedersen:Measurement of metabolic rate in hyperoxia. J. Appl. Physiol. 51:725-731(1981)
- 77) Welch, H. G. :Hyperoxia and human performance:a brief review Med. Sci. Sports Exerc. 14:253-262(1982)

- 78) Welch, H. G. :Effects of hypoxia and hyperoxia on human performance., Exercise and sport sciences reviews, vol.15, In Pandolf, K. B. , ed. , Macmillan Publishing Company:New York, pp. 191-221 (1987)
- 79) Weltman, A. , V. Katch and S. Sady:Effects of increasing oxygen availabilty on bicycle ergometer endurance performance. Ergonomics 21:427-438 (1978)
- 80) Williams, J. H. , S. K. Powers and M. K. Stuart:Hemoglobin desaturation in highly trained athletes during heavy exercise. Med. Sci. Sports Exerc. 18:168-173 (1986)
- 81) Wilson, B. A. , H. G. Welch and J. N. Liles:Effects of hyperoxic gas mixtures on energy metabolism during prolonged work. J. Appl. Physiol. 39:267-271 (1975)
- 82) Wilson, G. D. and H. G. Welch:Effects of hyperoxic gas mixtures on exercise tolerance in man. Med. Sci. Sports 7: 48-52 (1975)
- 83) Wilson, G. and H. G. Welch:Effects of varying concentrations of N₂/O₂ and He/O₂ on exercise tolerance in man. Med. Sci. Sports Exerc. 12:380-384 (1980)
- 84) Wyndham, C. H. , N. B. Strydom, A. J. Van Rensburg and G. G. Rogers: Effects on maximal oxygen intake of acute changes in altitude in a deep mine. J. Appl. Physiol. 29:552-555 (1970)
- 85) Yamaji, K. , Y. Nishida, K. Kitamura and K. Arisawa:Effects of breathing high concentrations of oxygen on PWC₁₇₀. J. Sports Med. 25:1-4 (1985)
- 86) 山村 秀夫, 海藤 薫:酸素中毒. 代謝 17:1741-1751 (1980)

- 87) 安田 好文, 宮村 実晴: 全身持久力のトレーニング, 現代体育スポーツ大系 第8巻 トレーニングの科学, 浅見 俊雄, 宮下 充正, 渡辺 融, 編, 講談社: 東京, pp. 76-108 (1984)
- 88) Yoshiya, I., T. Nakajima, I. Nagai and S. Jitsukawa: A bidirectional respiratory flowmeter using the hot-wire principle. J. Appl. Physiol. 38: 360-365 (1975)
- 89) Yoshiya, I., Y. Simada and K. Tanaka: Evaluation of a hot-wire respiratory flowmeter for clinical applicability. J. Appl. Physiol. 47: 1131-1135 (1979)

The effect of hyperoxic training on endurance capacity and performance

Koji SUGIYAMA

Summary

- 1) The purpose of the present study was to evidence if hyperoxic training would be more effective on endurance capacity and performance more than normoxic training.
- 2) Participated fourteen male students as subjects who had not been performing any regular endurance training. They were divided into two groups on the basis of their $\dot{V}O_2\text{max}$; one engaged in a hyperoxic training and another a normoxic.
- 3) Training intensity of the hyperoxic training group was 85% of $\dot{V}O_2\text{max}$ obtained at maximal exercise test performed breathing gas mixture of 60% O_2 in N_2 . That of the normoxic was 85% of $\dot{V}O_2\text{max}$ obtained breathing room air. Duration of daily training of the former was 10min, and that of the latter was 10min 22sec to 11min 30sec; thus both work was equal. Frequency and period were 3days/week and 4weeks, respectively.
- 4) $\dot{V}O_2\text{max}$, Lactate threshold(LT1), all-out time, total work and $\dot{V}_E\text{max}$ in the hyperoxic training group were significantly improved from $45.79 \pm 4.36 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$ to $50.09 \pm 4.61 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$, $19.7 \pm 2.7 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$ to $24.3 \pm 4.0 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$, 18min7sec $\pm$ 1min23sec to 19min58sec $\pm$ 1min52sec, 12,978 $\pm$ 2,075kpm to 16,020 $\pm$ 3,088kpm and 118.0 $\pm$ 13.0 l/min to 133.0 $\pm$ 18.0 l/min, respectively. In addition, heart rate during training was significantly decreased.
- 5) Lactate threshold(LT1), all-out time and total work in the normoxic were significantly improved from $19.6 \pm 4.3 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$ to $23.0 \pm 4.5 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$, 17min18sec $\pm$ 1min37sec to 19min7sec $\pm$ 1min53sec and 11,792 $\pm$ 2,432kpm to 14,853 $\pm$ 3,176kpm, respectively. But, $\dot{V}O_2\text{max}$ and $\dot{V}_E\text{max}$ and heart rate during training were not significantly improved.
- 6) From those results, it was concluded that hyperoxic training would be more useful to improve the endurance capacity and performance than normoxic training.

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

Subject		Age yr	Stature cm	Weight kg
Normoxic training group				
N	A	19	173.4	71.8
M	I	23	182.7	77.3
T	N	23	163.1	62.3
N	S	21	165.8	54.7
K	S	19	167.1	69.0
M	O	19	169.7	63.7
H	W	21	166.8	54.1
Mean		21	169.8	64.7
SD		2	6.1	8.0
Hyperoxic training group				
K	Ka	24	173.4	59.8
H	K	24	170.4	62.6
K	Ki	21	169.2	66.2
H	M	23	166.7	65.2
Y	O	20	173.0	63.0
K	Si	21	175.0	79.7
H	T	23	163.1	65.2
Mean		22	170.1	66.0
SD		1	3.9	6.0

Table 2. Maximal oxygen uptake($\dot{V}_{O_2\text{max}}$),heart rate(HRmax) and ventilation ($\dot{V}_{E\text{max}}$)obtained while breathing room air or 60%O₂ gas mixture.

Subject	$\dot{V}_{O_2\text{max}}$		HRmax		$\dot{V}_{E\text{max}}$	
	ml/kg·min		beats/min		l/min	
	room air	60%O ₂	room air	60%O ₂	room air	60%O ₂
N A	36.20	35.51	153	153	87.3	59.7
M I	39.70	46.10	188	192	107.9	98.9
T N	48.19	52.40	182	200	121.3	129.4
N S	51.96	59.00	196	194	122.0	106.5
K S	49.54	56.80	191	184	139.5	124.7
M O	52.65	62.90	186	188	107.6	94.2
H W	46.52	56.24	194	191	90.6	88.1
K Ka	46.11	62.72	180	186	115.2	116.5
H K	38.77	48.65	175	164	92.8	88.9
K Ki	46.58	51.80	162	165	120.0	125.4
H M	54.65	60.54	184	186	140.2	139.6
Y O	45.18	51.60	183	186	118.6	108.7
K Si	43.74	51.91	196	200	122.9	114.0
H T	45.47	51.15	189	188	116.8	111.4
Mean	46.09	53.38***	183	184	114.5	107.5*
SD	5.12	7.01	12	13	15.5	19.9

* :p<0.05

*** :p<0.001

Table 4. $\dot{V}_{O_2\max}$, HRmax and $\dot{V}_{E\max}$ obtained through performed the maximal exercise tests before and after training while breathing room air.

Subject	$\dot{V}_{O_2\max}$		HRmax		$\dot{V}_{E\max}$	
	ml/kg·min		beats/min		l/min	
	Before	After	Before	After	Before	After
Normoxic training group						
N A	36.20	37.99	153	162	87.3	85.1
M I	39.70	42.40	188	191	107.9	119.4
T N	48.19	51.25	182	188	121.3	122.0
S N	51.96	50.43	196	196	122.0	124.0
K S	49.54	54.17	191	186	139.5	146.0
H W	46.52	48.07	194	191	90.6	95.3
Mean	47.02	47.39	184	186	111.0	115.0
SD	7.67	5.54	15	11	18.0	20.0
Hyperoxic training group						
K Ka	46.11	49.17	180	178	115.2	126.3
H K	38.77	43.95	175	180	92.8	102.8
K Ki	46.58	54.79	162	173	120.0	155.0
H M	54.65	57.10	184	189	140.2	142.7
Y O	45.18	52.20	183	186	118.6	158.6
K Si	43.74	44.30	196	200	122.9	126.2
H T	45.45	49.19	189	189	116.8	125.2
Mean	45.79	50.09**	181	185	118.0	133.0*
SD	4.36	4.61	10	8	13.0	18.0

*:p<0.05

**::p<0.01

Table 5. Lactate threshold (LT1 and LT2)
before and after training.

Subject	L T 1		L T 2	
	$\dot{V}O_2$		$\dot{V}O_2$	
	ml/kg·min		ml/kg·min	
	Before	After	Before	After
Normoxic training group				
N A	14.5	17.5	17.5	24.2
M I	17.5	19.5	26.2	28.0
T N	20.5	25.0	41.0	36.5
N S	20.0	22.9	33.0	41.3
K S	28.0	31.5	37.5	44.0
H W	17.0	21.5	36.0	37.0
Mean	19.6	23.0***	31.9	35.2*
SD	4.3	4.5	7.9	7.0
Hyperoxic training group				
K Ka	15.0	18.7	30.8	29.7
H K	16.7	26.2	26.2	40.0
K Ki	23.0	24.5	33.8	34.5
H M	20.0	32.0	36.6	46.5
Y O	20.5	20.0	30.0	38.0
K Si	20.3	24.3	36.5	32.5
H T	22.8	24.3	34.5	37.5
Mean	19.7	24.3*	32.5	36.9
SD	2.7	4.0	3.4	5.1

*:p<0.05

***:p<0.001

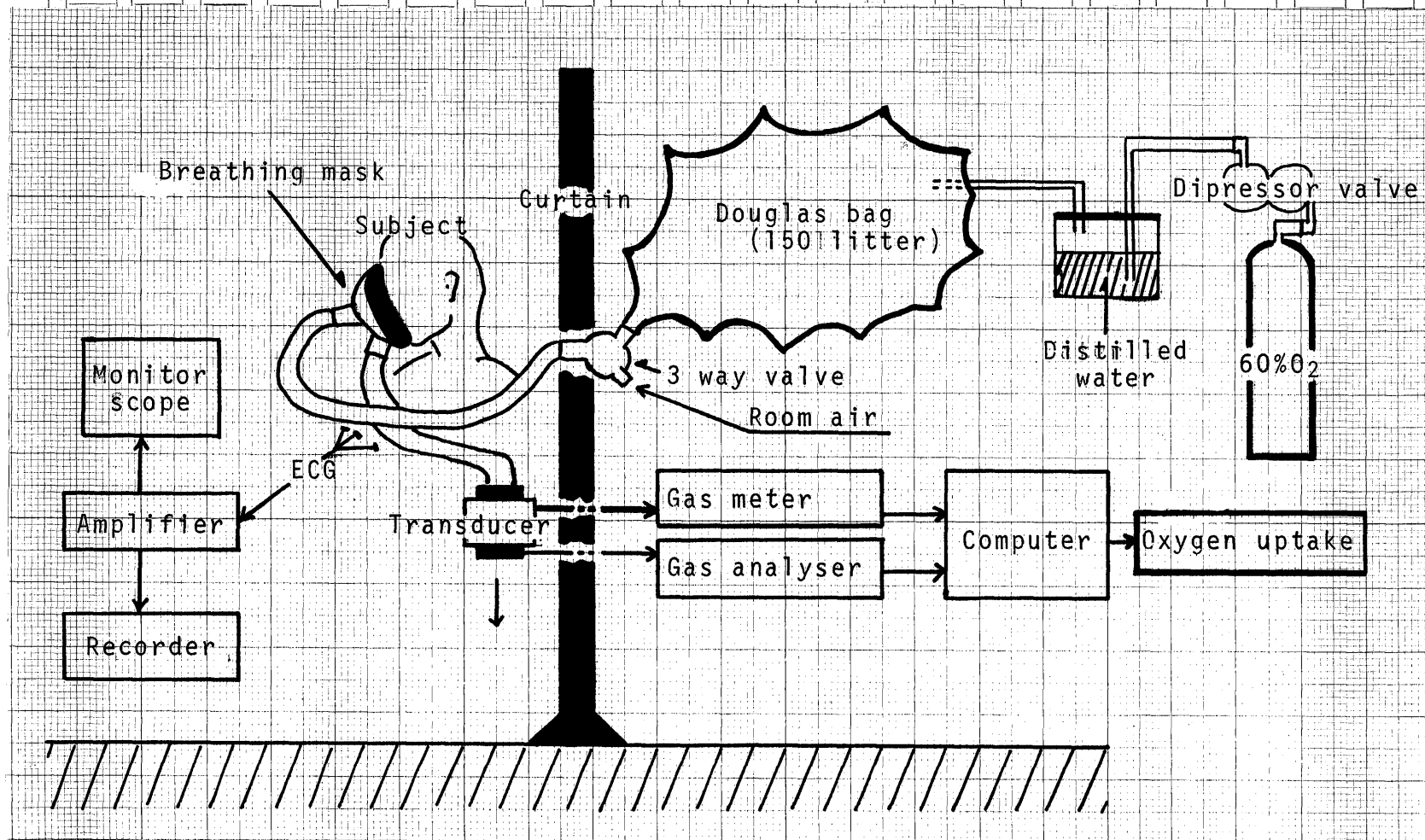
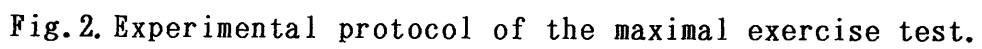


Fig.1 .Block diagram of the present study.



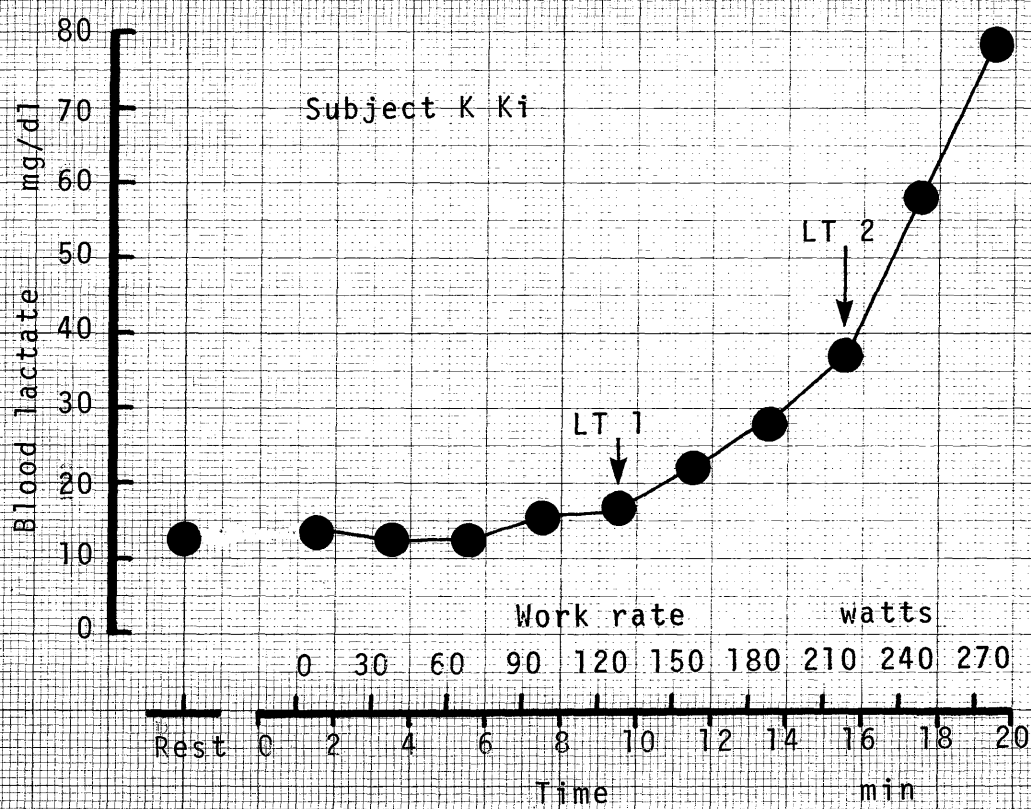


Fig.3 Determination of lactic threshold, LT1 and LT2.

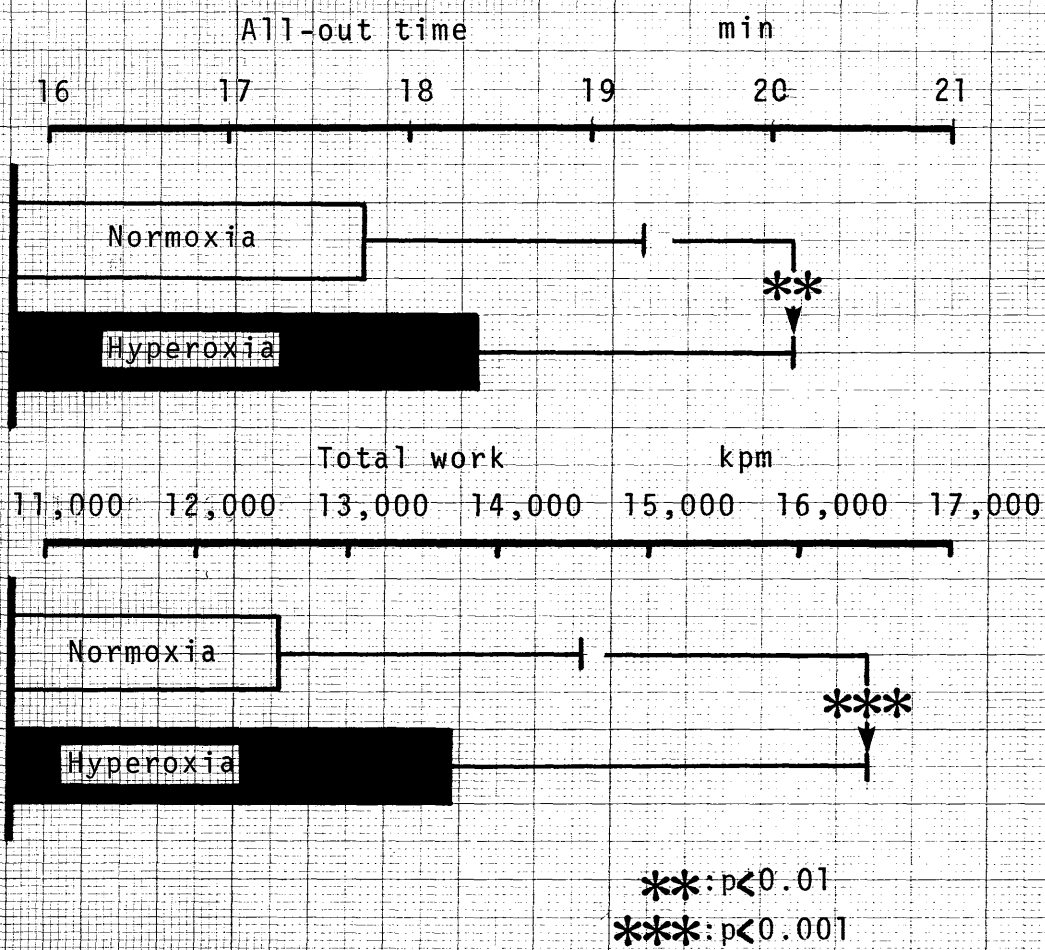


Fig. 4. All-out time and total work during maximal exercise tests while normoxia and hyperoxia inhalation before training.

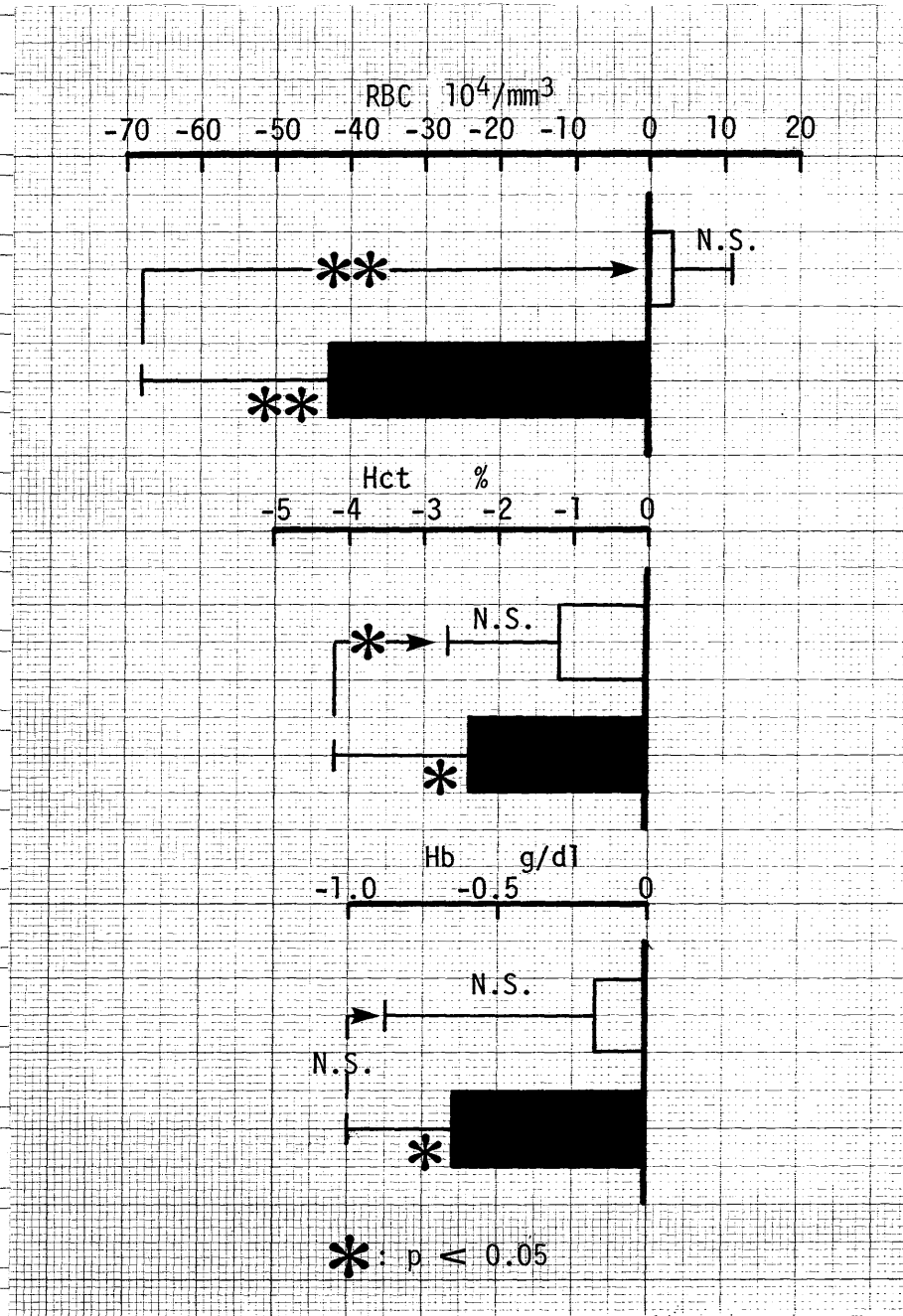


Fig.5. Decrease or increase of red blood cell(RBC),hematcrit(Hct) and hemoglobin(Hb) concentration before and after training (Solid columns: hyperoxic training group, and open: normoxic training group).

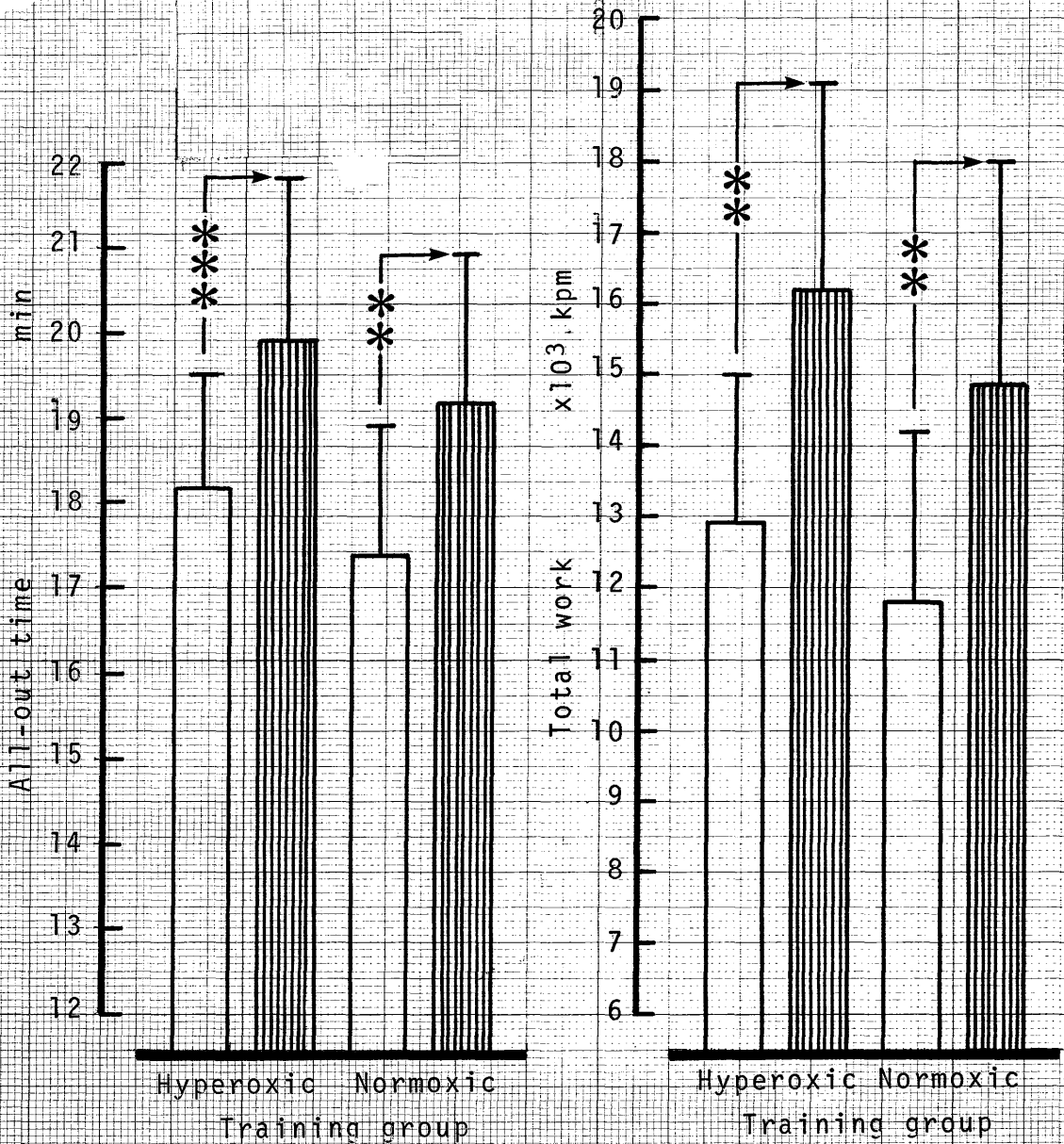


Fig.6. All-out time and total work obtained at the maximal exercise tests before and after training (Open columns: before training, and striped: after).

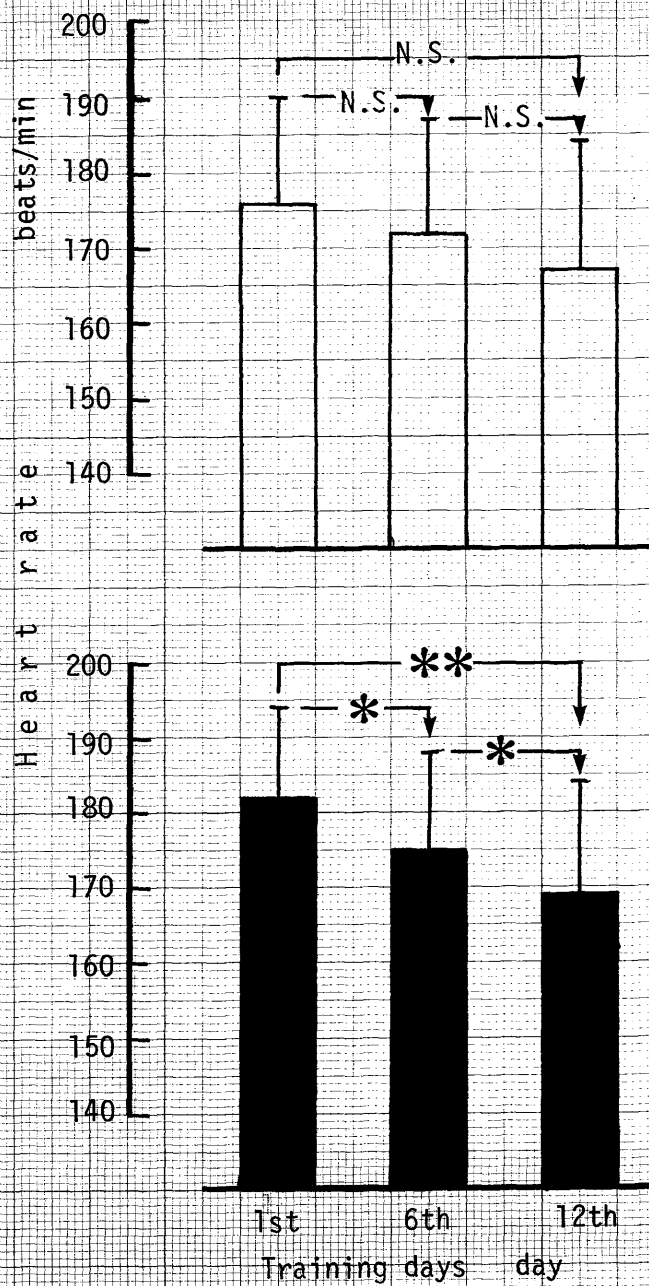


Fig.7. Heart rate during training of 1st, 6th and 12th training days (Open columns: normoxic training group, and solid: hyperoxic training group).